

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Saad Dahleb BLIDA 1**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des Biotechnologies et Agro-Ecologie**



# **Mémoire de fin d'études**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Option : Eau et Environnement**

**Thème**

**Modélisation des besoins d'eau du blé dur**

**Présenté par : Ouaili Housseem**

**Devant le jury :**

<b>_ L. Zella</b>	<b>Professeur</b>	<b>U.Blida 1</b>	<b>Président de jury</b>
<b>_ M. Amirouche</b>	<b>MCB</b>	<b>U.Blida 1</b>	<b>Promoteur</b>
<b>_ N. Degui</b>	<b>MAA</b>	<b>U.Blida 1</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>_ N. Mimouni</b>	<b>MCB</b>	<b>U. Blida 1</b>	<b>Examineur</b>

---

**Résumé :**

Dans les régions où les ressources en eau sont limitées, la détermination des besoins en eau des cultures est l'un des paramètres clés pour une planification précise de l'irrigation. Dans cette perspective est inscrite la présente étude, qui consiste à évaluer les besoins en eau d'irrigation (BEI) de la culture de blé dur conduite sous un climat semi-aride (Walaya Bordj Bou Arreridj). La démarche consiste à estimer en premier temps l'évapotranspiration potentielle (ETP), les besoins en eau de la culture en question (ETM) sur une période de 33 ans (1989-2021) en utilisant le logiciel CropWat (version 8.0), conçu par la FAO. Les résultats obtenus ont montré que de l'évapotranspiration potentielle moyenne sur toute la période d'étude est de l'ordre de 881,82mm par contre les besoins en eau de la culture (ETM) et d'irrigation (BEI), sur la même période sont, respectivement, de l'ordre de 504,14 mm et 168,72 mm. Le modèle CropWat pourrait être devenu comme un outil important pour évaluer et développer des stratégies l'irrigation déficitaire, en particulier dans les régions arides et semi-arides.

**Mot clés :** CropWat, Blé dur, Irrigation, Bordj Bou Arreridj, Climat.

---

**Abstract :**

In regions where water resources are limited, the determination of crop water requirements is one of the key parameters for accurate irrigation planning. In this perspective, the present study consists in evaluating the irrigation water requirements (IWR) of the durum wheat crop grown under a semi-arid climate (Walaya Bordj Bou Arreridj). The approach consists in estimating first the potential evapotranspiration (ETP), the water needs of the crop in question (ETM) over a period of 33 years (1989-2021) using the CropWat software (version 8.0), designed by the FAO. The results obtained showed that the average potential evapotranspiration over the entire study period is of the order of 881.82 mm, while the water requirements of the crop (ETM) and irrigation (BEI), over the same period are, respectively, of the order of 504.14 mm and 168.72 mm. The CropWat model could become an important tool to evaluate and develop deficit irrigation strategies, especially in arid and semi-arid regions.

**Keywords :** CropWat, Durum wheat, Irrigation, Bordj Bou Arreridj, Climat

---

## ملخص

في المناطق التي تكون فيها الموارد المائية محدودة ، يعد تحديد متطلبات المياه للمحاصيل أحد المعايير الرئيسية لتخطيط دقيق للري. في محصول القمح القاسي المزروع في مناخ شبه جاف (BEI) المنظور يتم تضمين الدراسة الحالية ، والتي تتكون من تقييم احتياجات مياه الري على مدار فترة 33 عامًا (ETM) ، والاحتياجات المائية للمحصول المعني (ETP) (ولاية برج بوغريج). يتمثل النهج في تقدير التبخر المحتمل الإصدار (8.0) ، الذي طورته منظمة الأغذية والزراعة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن CropWat (1989-2021) باستخدام برنامج الري (ETM) متوسط التبخر المحتمل خلال فترة الدراسة بأكملها هو من 881.82 مم ، من ناحية أخرى ، فإن الاحتياجات المائية للمحصول أداة مهمة لتقييم وتطوير CropWat ، خلال نفس الفترة ، على التوالي ، من ترتيب 504.14 ملم و 168.72 ملم. يمكن أن يصبح نموذج (BEI) استراتيجيات الري الناقصة ، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة

# Remerciements

Je remercie en premier lieu Dieu le tout-puissant de m'avoir accordé la puissance et la volonté pour terminer ce travail. Je tiens vivement à exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude à mon encadreur, Dr Amirouche M ; qui a bien voulu, par son aimable bienveillance, à diriger cette étude, qui a fait preuve d'une grande patience. Ses conseils, ses orientations ainsi que, ses qualités humaines et ses intérêts portés pour mon sujet de recherche m'ont permis de mener à terme ce projet. Son encadrement était des plus exemplaires. Mes remerciements vont aussi à M. Zella L, Professeur et chef d'option eau et environnement, d'avoir eu l'amabilité d'accepter volontairement et aimablement de présider le jury. Je tiens aussi à remercier les membres de jury : Madame Degui , pour avoir bien voulu me faire honneur d'examiner mon mémoire. En fin, j'adresse ma profonde gratitude à ma famille, surtout ma mère qui m'a toujours soutenue et qui est contribué à ma formation au niveau de tous les cycles d'études. Et mes remerciements à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Merci à tous .



# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>ix</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>x</b>
<b>Liste des acronymes</b>	<b>xiii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>I Culture du blé</b>	<b>3</b>
I.1 Introduction .....	5
I.2 Classification botanique .....	5
I.3 Cycle végétatif du blé dur .....	6
I.3.1 Germination et levée .....	6
I.3.2 Tallage .....	6
I.3.3 Phénomène de montaison et de gonflement .....	6
I.3.4 Épiaison et floraison .....	6
I.3.5 Remplissage et maturation de la graine .....	7
I.4 Exigences climatiques.....	7
I.5 Exigences édaphiques .....	8
I.6 Aspect économique du blé .....	8
I.6.1 Dans le monde.....	8
I.6.2 Par continent .....	10
I.6.3 La culture de blé en Algérie .....	10
I.6.4 Principales zones de production du blé en Algérie .....	11
<b>II Modélisation agronomique .</b>	<b>12</b>
II.1 Introduction .....	14
II.2 Importance de la modélisation .....	14
II.3 Élaboration du modèle .....	14
II.4 Modèle cropwat .....	14
<b>III Irrigation</b>	<b>16</b>
III.1 Introduction .....	18

III.2	Avantages et inconvénients de l'irrigation .....	18
III.3	Techniques d'irrigation.....	18
III.4	Besoins en eau d'irrigation .....	19
<b>IV</b>	<b>Matériels et Méthodes</b>	<b>22</b>
IV.1	Introduction .....	24
IV.2	Zones d'études .....	24
IV.2.1	Situation géographique.....	24
IV.2.2	Climat de la région des hautes plaines .....	25
IV.2.3	Données climatique observé .....	25
IV.3	Ressource hydrique de la wilaya BBA.....	25
IV.4	Activités agricoles .....	26
IV.5	Couverture pédologique .....	26
IV.6	Besoin en eau des cultures par Cropwat.....	26
IV.6.1	Données climatiques .....	26
IV.6.2	Données liées à la culture .....	27
IV.6.3	Données liées du sol .....	28
IV.6.4	Calcul l'évapotranspiration potentielle .....	29
IV.6.5	Calcul de la pluie efficace .....	29
IV.6.6	calcul les besoins en eau des cultures .....	29
IV.6.7	Calcul l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) .....	30
<b>V</b>	<b>Résultats et discussions</b>	<b>32</b>
V.1	Analyse des paramètres climatiques .....	34
V.1.1	Pluie.....	34
V.1.2	Vitesse du vent.....	34
V.1.3	Température .....	35
V.1.4	Insolation .....	36
V.1.5	Humidité de l'air .....	36
V.2	Calcul de la pluie efficace .....	37
V.2.1	À l'échelle annuelle .....	37
V.2.2	À l'échelle saisonnière .....	37
V.3	Calcul de l'évapotranspiration de référence .....	38
V.3.1	À l'échelle de l'année .....	38
V.3.2	À l'échelle de la saison de la culture de Blé.....	39

V.4	Calcul du besoin en eau de la culture de Blé . . . . .	39
V.5	Calcul du besoin en eau d'irrigation du Blé . . . . .	40
	<b>Conclusion générale</b>	<b>42</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>43</b>



# Table des figures

I.1	Cycle de développement du blé. ....	7
I.2	Production de blé par continent .....	10
I.3	Évolution des superficies et production et endement du blé en Algérie. . .	11
I.4	Dix premières wilayas productrices de blé dur en Algérie(2019) .....	11
III.1	Taxonomie des différents types de systèmes d'irrigation .....	19
IV.1	Situation géographique de la zone BBA. ....	24
IV.2	Illustration des données climatiques entrées dans le Cropwat .....	27
IV.3	Illustration des données liées à la culture. ....	28
IV.4	Illustration des données sur les caractéristiques du sol .....	28
V.1	Illustration de la variabilité interannuelle de la pluie (1989-2021) .....	34
V.2	Illustration de la vitesse du vent moyenne mensuelle pour la période d'étude (1989-2021) .....	35
V.3	Illustration de la température moyenne mensuelle (1989-2021) .....	35
V.4	Illustration de la Variation de la durée d'insolation pour la période 1989- 2021. . . . .	36
V.5	Illustration de l'humidité moyenne mensuelle. ....	37
V.6	Illustration de la variation interannuelle de la pluie efficace, période (1989- 2021) .....	37
V.7	Illustration de la variation interannuelle de la pluie efficace a l'échelle saisonnnière, période (1989-2021) .....	38
V.8	Illustration de la variation interannuelle de l'évapotranspiration de réfère- nce période (1989-2021) .....	38
V.9	Illustration de la variation interannuelle de la pluie efficace a l'échelle saisonnnière, période (1989-2021) .....	39
V.10	Illustration de la variation interannuelle du besoin en eau de Blé (ETc) estimé par modèle Cropwat. ....	39

V.11	Illustration de la variation des besoins d'irrigation (BEI) du Blé, période (1989-2021).....	40
------	----------------------------------------------------------------------------------------------	----

# Liste des tableaux

I.1	Classification botanique du blé dur ( <i>Triticum durum</i> Desf) [1] . . . . .	5
II.1	Données d'entrés exigées pour le modèle CropWAT . . . . .	15
II.2	Paramètres de sortie du programme. . . . .	15
IV.1	Coordonnées géographiques de la station BBA . . . . .	25



# Liste des acronymes

<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>ETO</b>	évapotranspiration de référence
<b>ETP</b>	évapotranspiration potentielle
<b>ETc</b>	besoin en eau des cultures
<b>ETM</b>	Besoin en eau de culture
<b>EUE</b>	d'efficience d'utilisation de l'eau
<b>Ev</b>	évaporation
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>Kc</b>	Coefficient cultural
<b>Tr</b>	transpiration



# Introduction générale

 L'agriculture en Algérie reste le pilier de l'économie du pays, fournissant près de 60 zones rurales. Ces régions, qui appartiennent pour la plupart au territoire classé comme semi-aride, marquent l'est et les plaines occidentales du pays, dominées par la culture céréalière pluviale extensive. Les cultures céréalières couvrent en moyenne superficie de 2,5 millions d'hectares (ha) selon le Bulletin des statistiques agricoles [3]. Selon seuls 30 à 40 de la surface agricole utile (SAU) reçoit plus de 400 mm de précipitations par an. La céréaliculture, largement dépend de cette quantité, est très vulnérable à une production stable. Dans sa meilleure année (2010), elle n'a produit que 44 millions quintaux (Mq), un rendement à l'hectare équivalent à 17 q [3]. Selon [5], l'indice pluviométrique pondéré des terres agricoles est de 241,5 mm pour l'Algérie et de 287,5 mm pour Maroc, contre 190,32 mm pour la Mauritanie et 326,1 mm pour la Tunisie. La sécheresse se traduit donc par le manque de pluies ou pluies excessives menaçant la production céréalière du pays. Dans la région méditerranéenne, le manque de les précipitations provoquent entre 10 et 80 estimé à travers les définitions des sécheresses, note également que la baisse du rendement en grains de blé est variable selon sur la variété, l'intensité en plus de la durée du stress hydrique. Ces situations nous rappellent que la sécheresse est un phénomène de grande ampleur, qui varie d'un régime climatique à l'autre, même si son ampleur et son intensité varient d'un échelle de temps saisonnière ou annuelle [8,9]. Malgré les différents travaux, au niveau des cultures, la sécheresse reste mal définie. [10] note cependant que le le déficit hydrique commun à toutes les définitions peut être utilisé comme critère d'analyse. En Algérie, des études portant sur la les évolutions pluviométriques, associées à des déficits hydriques ou à des sécheresses liées à la céréaliculture, sont très rares. Leur les intérêts sont d'autant plus importants dans ce contexte marqué par le changement climatique et la hausse des prix des produits céréaliers. Dans cette optique, cette recherche recommande une analyse de ces paramètres sur une histoire de 31 ans, à l'échelle de les régions semi-arides de l'Algérie.



# Chapitre I

## CULTURE DU BLÉ



## I.1 Introduction

Les premiers habitants de la terre vivaient principalement d'aliments provenant de la chasse et de la cueillette. Les grains des céréales ont été parmi les premiers à être cultivés et récoltés. La découverte du blé remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile, vaste territoire comprenant, la vallée du Jourdain et des zones adjacentes de Palestine, de la Jordanie, de l'Iraq, et la bordure Ouest de l'Iran [2].

C'était à une époque où l'homme pratiquait déjà la cueillette et faisait ses débuts comme agriculteur. Cette période coïncidait avec un épisode climatique sec, aboutissant à l'arrêt du mode de vie de 'chasseur-cueilleur', et engendrant la domestication progressive des plantes, associée à la création des premières communautés villageoises [3].

En Afrique, la diffusion des blés se fait à travers plusieurs voies. La route la plus ancienne gagne l'Égypte vers – 6000 avant aujourd'hui et se poursuit vers le Soudan et l'Éthiopie, au sud, et vers la Libye à l'est. Les voies d'introduction maritimes se font à partir de la Grèce. Certains blés rejoignent également la Libye ; d'autres, en provenance du Sud de la péninsule italienne et de la Sicile, parviennent aux côtes de la Tunisie, du Maroc et de l'Algérie. Son introduction en Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente [4].

## I.2 Classification botanique

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille.

<b>Embranchement</b>	<b>Spermaphytes</b>
<b>S/Embranchement</b>	<b>Angiospermes</b>
<b>Classe</b>	<b>Monocotylédones</b>
<b>Super ordre</b>	<b>Commeliniflorales</b>
<b>Ordre</b>	<b>Poales</b>
<b>Famille</b>	<b>Graminacées</b>
<b>Genre</b>	<b>Triticumsp</b>
<b>Espèce</b>	<b>Triticum durum Desf</b>

**Table I.1** — Classification botanique du blé dur (*Triticum durum* Desf) [1]

Différentes classifications basées sur des critères morphologiques ont été proposées par de nombreux auteurs [5]. Selon Mon neveu (1989), ce type de classification a eu le mérite d'orienter la recherche de gènes susceptibles d'intéresser le sélectionneur sur le plan des caractéristiques agronomiques tels que la résistance aux basses températures, la précocité et les grains gros et vitreux (Derbal, 2009).

### **I.3 Cycle végétatif du blé dur**

#### **I.3.1 Germination et levée**

Au cours de la germination, la coléorhize s'épaissit en une masse blanche et brise le tégument de la graine au niveau du germe, c'est le début de l'émission des racines primaires, garnis de poils absorbants. En même temps, le coléoptile, gainant la première vraie feuille, s'allonge vers la surface, où il laisse percer la première feuille, c'est la levée. La deuxième et la troisième feuille suivent bien après.

#### **I.3.2 Tallage**

Sitôt émise la troisième feuille émise, le deuxième entre-nœud qui porte le bourgeon terminal s'allonge à l'intérieur du coléoptile et stoppe sa montée à 2 cm sous la surface du sol, pour former le plateau de tallage. À l'aisselle des feuilles (à partir de la quatrième feuille), des bourgeons axillaires entrent alors en activité pour donner de nouvelles talles. La première talle se forme à la base de la première feuille et la deuxième talle à la base de la deuxième feuille. Les bourgeons axillaires à l'aisselle des feuilles des talles donnent naissance à l'émission de talles secondaires.

#### **I.3.3 Phénomène de montaison et de gonflement**

Elle se distingue par la montée de l'épi sous l'effet de l'élongation des entrenœuds qui constituent le chaume. Les talles montantes entrent en compétitions pour les facteurs du milieu avec les talles herbacées qui de ce fait n'arrivent pas à monter en épis à leur tour. Ces dernières régressent et meurent [6]. Ce phénomène se manifeste chez les jeunes talles par une diminution de la croissance puis par un arrêt de celle-ci [7].

#### **I.3.4 Épiaison et floraison**

Une fois l'épi émerge de la gaine de la feuille étendard, c'est le stade épiaison, au cours duquel la formation des organes floraux se termine. La floraison débute 4 à 5 jours plus tard. Durant la floraison, les fleurs demeurent généralement fermées (fleurs cléistogames), et les trois anthères éclatent et libèrent le pollen (anthèse). Les fleurs s'ouvrent rarement avant la libération du pollen.

La floraison dure de trois à six jours, selon les conditions météorologiques. Elle débute au centre de l'épi, puis se poursuit vers les deux extrêmes de l'épi. La durée de réceptivité du stigmate de blé dépend de la variété et des conditions du milieu, mais se situe entre 3 à 13 jours. Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement. Au bout de deux semaines

après la fécondation, l'embryon est physiologiquement fonctionnel et peut produire une nouvelle plantule [8].

### I.3.5 Remplissage et maturation de la graine

C'est la dernière phase du cycle végétatif. Elle correspond à l'élaboration de la dernière composante constitutive du rendement qui est le poids du grain, suite à la migration des substances glucidiques produites par la feuille étendard et stockées dans le pédoncule de l'épi [9]. Elle exige la chaleur et un temps sec, elle se fera sitôt en plusieurs étapes, la maturité laiteuse (le grain contient encore 50 % d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin), la maturité physiologique (le grain a perdu en humidité et l'amidon a été constitué), la maturité complète (la teneur en humidité atteint environ 20 %), le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons.

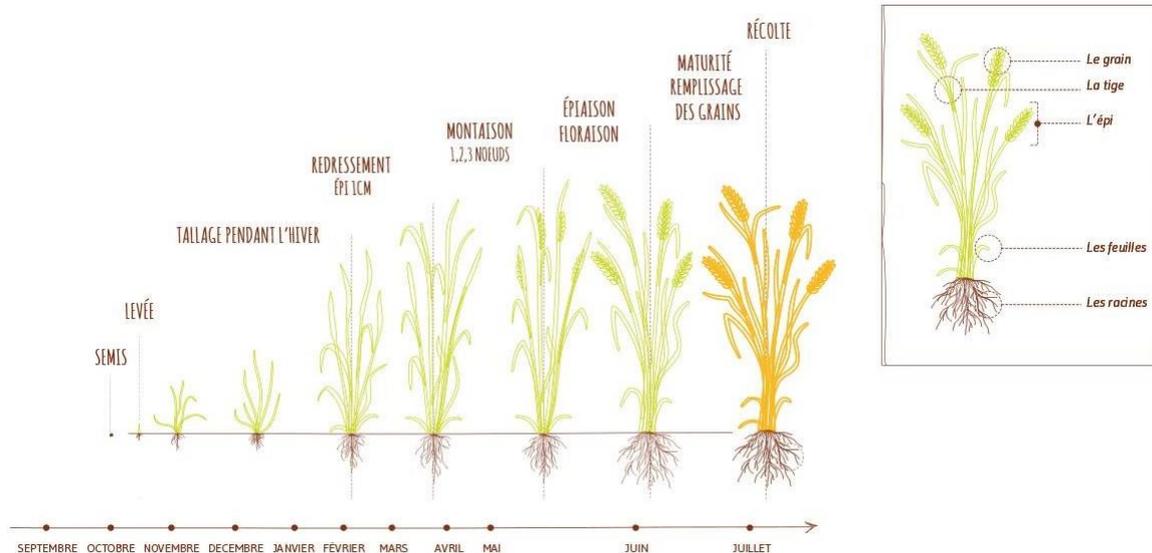


Figure I.1 — Cycle de développement du blé.

## I.4 Exigences climatiques

L'influence du climat est un facteur déterminant à certaines périodes de la vie du blé.

### 1. Température

La température est l'un des facteurs importants pour la croissance et l'activité végétative. La germination commence dès que la température dépasse 0°C, avec une température optimale de croissance située entre 15 à 22° C. Les exigences globales en température sont assez importantes et varient entre 1800 et 2400 °C selon les variétés. De même la température agit sur la vitesse de croissance, elle ne modifie

pas les potentialités génétiques de croissance ; c'est la somme de température qui agit dans l'expression de ces potentialités. Chaque stade de développement du blé nécessite des températures particulières [10].

## 2. Eau

L'eau est un facteur limitant de la croissance du blé. Ce dernier exige l'humidité permanente durant tout le cycle de développement. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm []. En zone aride, les besoins sont plus élevés au vu des conditions climatiques défavorables. Ces de la phase épi 1 cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison [11].

## 3. Lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. Un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement. Elle a aussi une influence sur les hormones de croissance. L'abondance de lumière favorise la ramification de floraison et la fructification (Soltner, 1988).

### I.5 Exigences édaphiques

Les blés durs sont sensibles à la salinité et au calcaire, un PH de 6,5 à 7,5 est indiqué car il favorise l'assimilation de l'azote (Soltner, 2005). Trois caractéristiques constituent une bonne « terre à blé », ses caractéristiques sont décrites dans ce qui suit.

- une texture fine, limono-argileuse, qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, par suite une bonne nutrition.
- une stable structure, qui résiste à la dégradation par les pluies d'hiver. Le blé n'y souffrira pas d'asphyxie et la nitrification sera bonne au printemps.
- une bonne profondeur et une richesse en colloïdes d'argile et d'humus, capables d'assurer la bonne nutrition nécessaire à de bons rendements.

À l'extrême, le blé peut être cultivé en plein désert à condition qu'il soit bien irrigué (Soltner, 2005).

### I.6 Aspect économique du blé

#### I.6.1 Dans le monde

Suivant les informations communiqué par la FAO [12], la production mondiale de céréales en 2021 a été augmenter de 2,2 millions et maintenant elle est d'environ 2.796

millions soit une hausse de 0,70 pour cent pour les produits de maïs et du riz, en ce qui concerne les céréales secondaires une progression de 20%. En ce qui concerne la production mondiale du Blé qui est de 519,30 en 2021 qui est due à l'augmentation de l'Australie qui a équilibré les prévisions à la baisse par l'Iraq, le Paraguay et l'Union Européenne.

Cette hausse de 2,2 millions de tonnes qui est de 0,70 pour cent plus qu'en 2020. Pour les prévisions de l'année 2022 la FAO indique une production mondiale de Blé qui devrait connaître une hausse annuelle atteignant les 790 millions de tonnes et cette augmentation elle est dû aux pays de l'Amérique du Nord qui sont le Canada et États-Unis d'Amérique avec une augmentation du rendement et accroissement des superficies plantées et amélioration climatique et météorologie pour les autres pays comme le Royaume-Unis, Irlande du Nord leurs productions restent identiques à l'année dernière et en ce qui concerne la Chine, les conditions de culture sont favorables et on dépasse la moyenne et pour les pays d'Afrique du Nord, Maroc, Algérie et Tunisie ont un rendement au-dessus de la moyenne. La Table I.6.1 montre les 10 premiers principaux producteurs du blé dur à l'échelle mondiale.

(Tonnes)	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	
					précédente	dernière
					(03 fev 2022)	(04 mars 2022)
<b>Production</b>	761.56	731.4	759.9	776.6	775.6	775.4
<b>Disponibilité</b>	1022.1	1020.2	1033.5	1055.8	1063.5	1063.7
<b>Utilisation</b>	738.8	750.3	751.9	761.5	775.8	772.8
<b>Commerce</b>	177.8	168.6	183.9	189.2	192.9	291.1
<b>Stock de clôture</b>	288.8	273.5	279.2	288.3	287.5	291.1

pays	Production (tonnes)
<b>République populaire de Chine</b>	<b>131447224</b>
<b>Inde</b>	<b>99700000</b>
<b>Fédération de Russie</b>	<b>72136149</b>
<b>États-Unis d'Amérique</b>	<b>51286540</b>
<b>France</b>	<b>35798234</b>
<b>Canada</b>	<b>31769200</b>
<b>Pakistan</b>	<b>25076149</b>
<b>Ukraine</b>	<b>24652840</b>
<b>Australie</b>	<b>20941134</b>
<b>Allemagne</b>	<b>20263500</b>
<b>Turquie</b>	<b>20000000</b>

Table I.2 — Principaux pays producteurs de blé [13].

### I.6.2 Par continent

elon les informations émissent par la FAO concernant la production de Blé dans le monde, durant les années entre 2015 et 2020 le continent Asiatique se classé en 1er position en atteignant une production de moyenne de 330 million de tonnes. En 2éme position, le continent Europe en atteignant une production de moyenne 260 million de tonnes. En 3éme position, le continent Amérique en atteignant une production moyenne de 113 million de tonnes. En 4éme position, L’Afrique en atteignant une production de 26 million de tonnes. En 5éme et dernier position, L’Australie et Nouvelle Zélande en atteignant une production de 24 million de tonnes. Et afin de mieux voir les productions, Une illustration pour chaque continent est présenté dans la Fig. I.2.

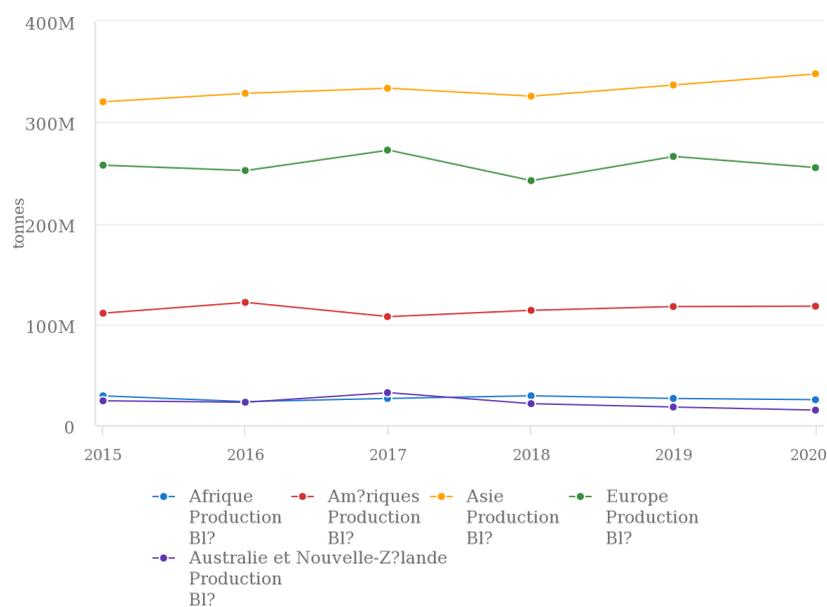


Figure I.2 — Production de blé par continent.

### I.6.3 La culture de blé en Algérie

En Algérie, les céréales et plus particulièrement le blé sont très importantes sur le plan agronomique et économique que social, de même qu’elles occupent une place privilégiée dans les habitudes alimentaires des populations aussi bien dans les milieux ruraux qu’urbains. Tableaux montre superficie et rendement et production du blé en Algérie (FAO Stat 2022) .

Le blé dur est l’aliment de base des régimes alimentaires algériens et revêtent une importance stratégique dans la nutrition humaine et animale; de ce fait, elles occupent une place privilégiée dans l’agriculture algérienne (Boulal et al. 2007). La consommation des produits céréaliers est à 250 kg par habitant et par an (Smadhi et Zella, 2009).

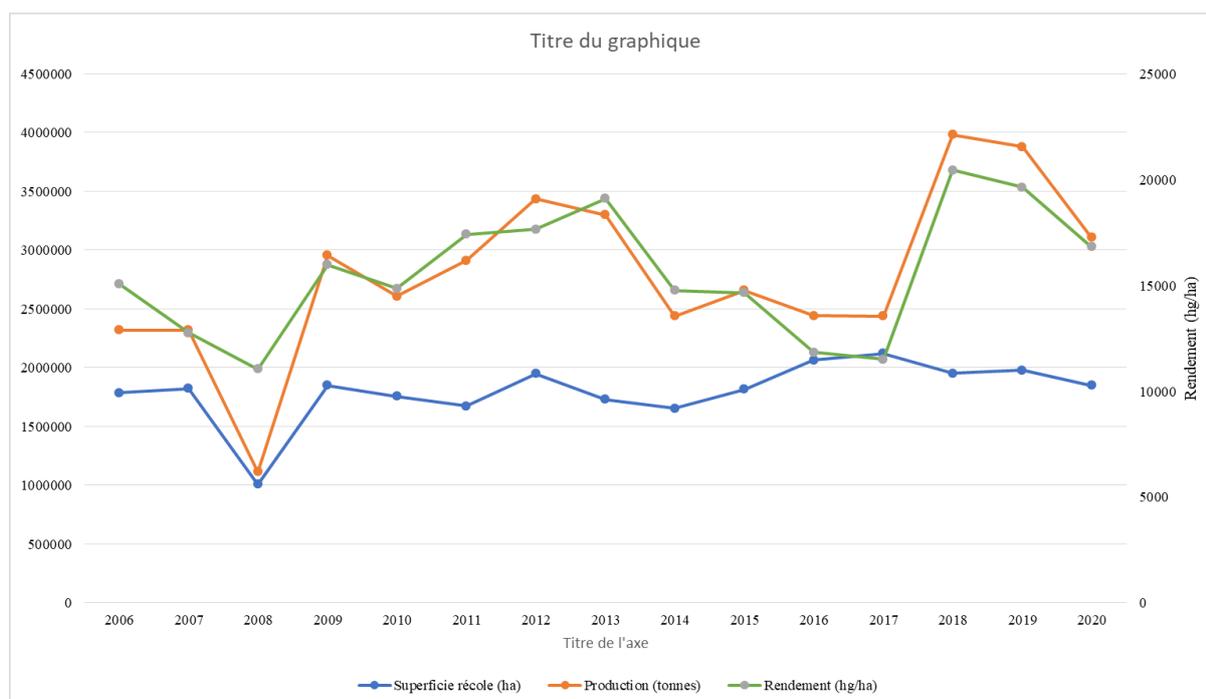


Figure I.3 — Évolution des superficies et production et endement du blé en Algérie.

#### I.6.4 Principales zones de production du blé en Algérie

Le blé est cultivé à travers l'ensemble des zones agro-écologique de l'Algérie, mais il est principalement localisé dans les régions semi-arides et même arides et donc, soumis aux aléas climatiques qui pénalisent fortement les niveaux de productivité et par la même occasion la production [14]. Selon les statistiques de la Direction des Services Agricoles d'Alger (2019), la wilaya de Sétif arrive en tête de liste avec une production de (2.298.889 q) suivie de Mila avec une production de (2.225.000 q) et puis Guelma (2.140.900 q).

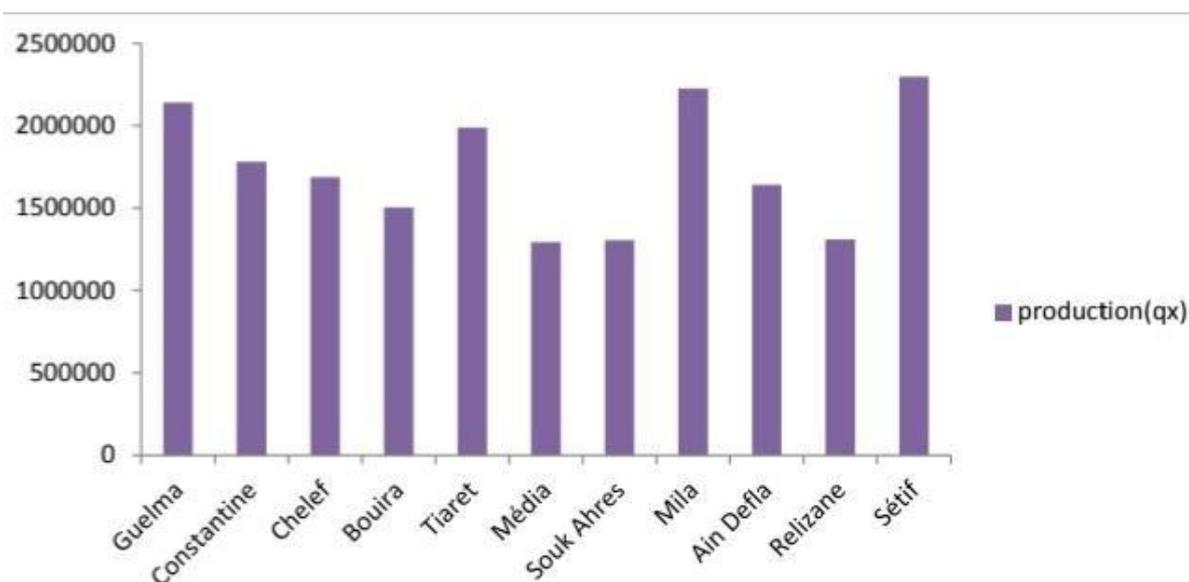


Figure I.4 — Dix premières wilayas productrices de blé dur en Algérie(2019).

## **Chapitre II**

# **MODÉLISATION AGRONOMIQUE .**



## II.1 Introduction

Le modèle utilisé en agronomie peuvent aider les chercheurs a mieux comprendre entre les comportements humains et l'environnement climatique du sol et la réponse des écosystèmes agricole, C'est modèles peuvent analyser et évaluer les risques les changements des comportements des cultures (loyce et wéry).

## II.2 Importance de la modélisation

L'importance de la modélisation est une pratique agricole définissant aussi les modes de culture qui sont un ensemble de relation qui décrivent les fonctions de système sol-plante et comportement des cultures, la modélisation occupe aussi une place importante et elle est devenue un outil important pour comprendre les mécanismes de production végétale.

## II.3 Élaboration du modèle

D'après Zella (2010), la méthodologie de l'élaboration d'un modèle s'articule sous les quatre étapes présentées dans ce qui suit.

1. **Caractérisation** : C'est l'étape fondamentale et le point de départ de tout processus de modélisation, Elle consiste à choisir le modèle à partir d'une analyse de l'objet définit en tant que système, de proposer les relations les plus aptes à représenter son comportement. La caractérisation équivaut à une postulation de principe, facilitée par une bonne connaissance théorique de l'objet.
2. **Identification** : Dénommé calage ou calibration, consiste à attribuer aux paramètres structuraux, les valeurs numérique afin de minimiser l'écart entre les réponses calculée du modèle et les réponses du témoin ou référence.
3. **Vérification** : Est une étape qui devrait aboutir à la consolidation du modèle par la représentativité et la conformité des résultats.
4. **Exploitation** : Est l'ultime étape qui permet de vérifier que les entrées pour lesquelles le modèle est exploité appartiennent bien à la même classe que celle prise comme référence.

## II.4 Modèle cropwat

CropWat est un outil d'aide à la décision développé par la division du développement des terres et des eaux de la FAO. CropWat (V,8,0) pour Windows est un programme informatique permettons de calculer les besoins en eau des cultures et les besoins en

irrigation à partir des données sur le sol, le climat et les cultures, en outre, le programme de développer des calendriers d'irrigation pour différentes conditions de gestion et de calculer l'approvisionnement en eau du système pour différent modèle de cultures, il peut également utiliser pour évaluer les pratiques d'irrigation des agricultures et pour estimer la performance des cultures dans des conditions pluviale et irriguées.

### 1. Données d'entrée pour le modèle :

	2017/18
<b>Climat</b>	<b>Pluit (mm)</b>
	<b>Température minimale et maximale (C°)</b>
	<b>Humidité (%)</b>
	<b>Vitesse du vent (m-s)</b>
	<b>Insolation (Heurs)</b>
<b>Culture</b>	<b>Date de plantation et de récolte</b>
	<b>Stades phénologiques</b>
	<b>Profondeur d'enracinement</b>
	<b>Coefficient cultural</b>
	<b>Hauteur de a culture</b>
	<b>Cycle de la culturale</b>
<b>Sol</b>	<b>Nombre d'horizon</b>
	<b>Densité apparente</b>
	<b>Perméabilité</b>
	<b>les teneurs en eau du sol à saturation (OSAT), à la capacité de champ (OFC) et au point de flétrissement (OPF)</b>
<b>Condition initiales</b>	<b>L'eau disponible initiale</b>

**Table II.1** — Données d'entrées exigées pour le modèle CropWAT

2. **Sortie du modèle** : Une fois toutes les données d'entrées, le CropWat calcule automatiquement les résultats, il les affiche soit sous forme des tableaux ou bien des graphes, le pas de temps des résultats peut être n'importe quel pas de temps pratique : quotidien, décennal ou mensuel, Les paramètres de sortie du programme sont détaillées dans la Table II.2.

<b>Les sorties du modèle</b>
<b>Évapotranspiration potentielle</b>
<b>pluie efficace</b>
<b>Besoin en eau d'irrigation</b>
<b>Besoin en eau de la culture</b>
<b>Calendrier d'irrigation</b>
<b>Irrigation nette totale</b>
<b>Déficit d'eau à la récolte</b>
<b>Efficiencia des précipitations</b>
<b>Perte d'irrigation</b>

**Table II.2** — Paramètres de sortie du programme.

## **Chapitre III**

# **IRRIGATION**



### III.1 Introduction

Le secteur de l'irrigation est le principal utilisateur des ressources en eau douce dans le monde. Près de 75% de l'eau douce est utilisée pour l'irrigation des cultures. La gestion de l'irrigation est donc un défi majeur aujourd'hui et continuera de l'être dans un proche avenir.

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal, en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe.

### III.2 Avantages et inconvénients de l'irrigation

L'irrigation présente de nombreux avantages parmi eux en cite les suivantes. Il permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, en particulier dans les zones arides, d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, notamment dans certaines zones tropicales humides, d'améliorer les rendements et d'une façon générale d'intensifier et de stabiliser la production en se libérant des variations climatiques.

Enfin, les techniques modernes d'irrigation permettent aussi dans le même temps de fertiliser Les sols [15]. Cependant l'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques. Elle consomme assez d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions. L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols.

### III.3 Techniques d'irrigation

Le choix du système d'irrigation doit reposer sur des critères objectivement choisis, à savoir les caractéristiques du sol , l'étendue de la surface et sa topographie, la ressource en eau en quantité et qualité, le type en culture et le coût de l'irrigation (Zella, 2015). Il existe deux grandes méthodes d'irrigation, l'une n'utilise que la dénivelée topographique comme source d'énergie pour distribuer l'eau sur la parcelle depuis la source. C'est le système gravitaire où l'écoulement de l'eau se fait à la surface de terrain, apportant des débits instantanés importants à la faveur de la pente. Les doses d'arrosages sont relativement importantes mais les fréquences sont faibles. L'irrigation des grandes superficies, ou périmètres d'irrigation, nécessite le recours à d'autres méthodes d'irrigation plus perfectionnées mais sous pression. Les deux techniques les plus couramment utilisées sont

l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée avec toutes les variantes (Zella, 2015). Une taxonomie des différents systèmes d'irrigation est présentée dans la Fig. III.1.

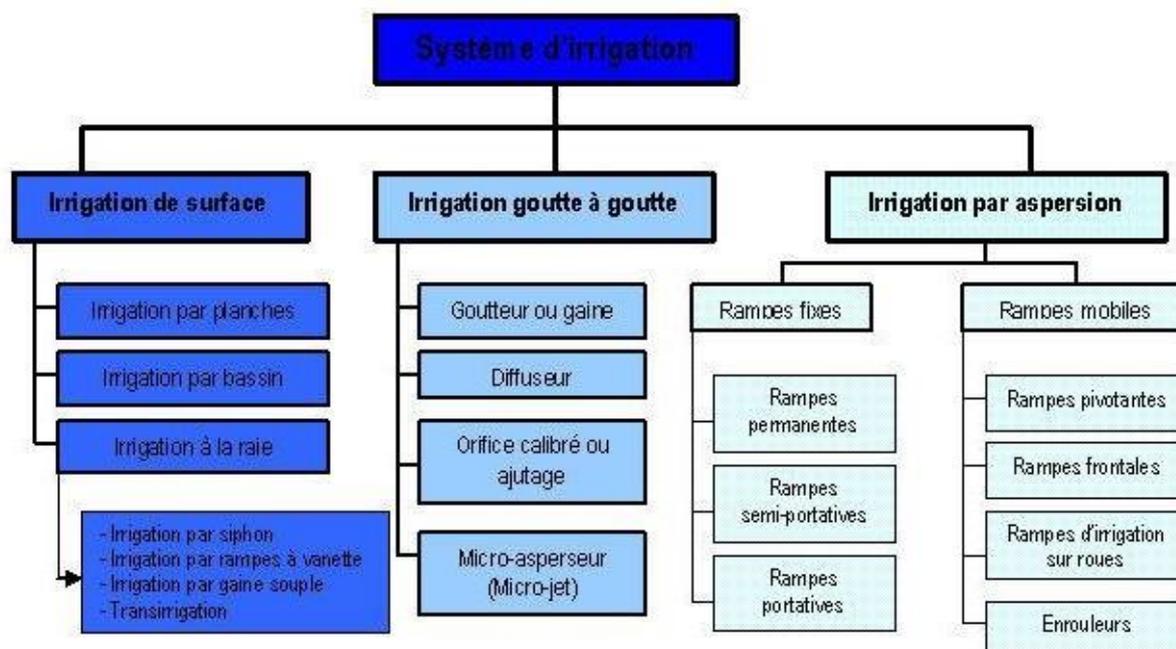


Figure III.1 — Taxonomie des différents types de systèmes d'irrigation.

En Algérie, des modes d'irrigation séculaires fonctionnent encore à ce jour (foggaras, séguias, épandages des eaux des crues ...). Ils côtoient maintenant des techniques modernes et plus performantes comme l'aspersion et l'irrigation localisée. La pratique dominante actuellement dans l'agriculture irriguée est le gravitaire traditionnel (60%), à cause de la facilité de sa pratique et son moindre coût, mais elle nécessite des aménagements. Les autres techniques modernes : l'aspersion (20%) et la micro-irrigation (20%)(Zella,2015). La connaissance des besoins en eau des cultures est certainement à la base de toute réflexion sur la gestion rationnelle et efficace de l'eau dans le domaine de la production agricole.

#### III.4 Besoins en eau d'irrigation

Les pluies, en particulier leur part efficace, fournissent une partie de l'eau requise pour satisfaire les besoins d'évapotranspiration des cultures. Le sol, agissant comme un tampon, stocke une partie de l'eau de pluie et la restitue aux cultures en période de déficit. Sous des climats humides, ce mécanisme suffit pour assurer une croissance satisfaisante dans des systèmes de culture sans irrigation. Dans des conditions arides ou en cas de saison sèche prolongée, il est nécessaire d'irriguer pour compenser le déficit d'évapotranspiration (transpiration des cultures et évaporation à partir du sol) dû à l'insuffisance ou à l'irrégularité des précipitations. La consommation d'eau pour l'irrigation est définie comme étant le volume d'eau nécessaire pour compenser le déficit entre d'une part l'évaporation

potentielle et d'autre part les pluies efficaces pendant la période de croissance des cultures et le changement dans la teneur en eau du sol. Elle varie considérablement en fonction des conditions climatiques, des saisons, des cultures et des types de sol. Pour un mois donné, le bilan hydrique des cultures peut s'exprimer comme suit :  $ICU = ETc - P - S$

où :

$ICU$  = consommation d'eau pour l'irrigation nécessaire pour satisfaire la demande des cultures (mm)

$ETc$  = évapotranspiration potentielle de la culture (mm)

$P$  = pluie efficace (mm)

$S$  = changement dans l'humidité du sol (mm)



## **Chapitre IV**

# **MATÉRIELS ET MÉTHODES**



## IV.1 Introduction

## IV.2 Zones d'études

### IV.2.1 Situation géographique

La région de Bordj Bou Arreridj (BBA) est positionnée sur les Hauts Plateaux à cheval de la chaîne de montagne des Bibans (Debeche et al. 2013). Géographiquement, elle est comprise entre les parallèles 35° et 37° de latitude Nord et entre les méridiens de longitude 4° et 5° à l'Est de GREENWICH. La ville de Bordj Bou Arreridj est située au point géographique 36° de latitude Nord et 4°30' de longitude Est [16] cette région occupe une place stratégique dans l'Est Algérien. En effet, elle se trouve à mi-parcours entre Alger et Constantine. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Bejaïa et Sétif, à l'Est par la wilaya de Sétif, à l'Ouest par la wilaya de Bouira et au Sud par la wilaya de M'sila. Elle est composée de trois zones géographiques qui se succèdent : une zone montagneuse au nord avec la chaîne des Bibans, une zone de hautes plaines qui constitue la majeure partie de la région et une zone steppique, au sud-ouest, à vocation agropastorale. L'altitude varie entre 302 m et 1 885 m. Une illustration de la situation géographique de la zone BBA est présentée dans la Fig IV.1



Figure IV.1 — Situation géographique de la zone BBA.

### IV.2.2 Climat de la région des hautes plaines

Les moyennes annuelles des précipitations dans les hautes plaines peuvent atteindre 500 mm au Nord et diminuer jusqu'à 300 mm au Sud et peuvent même atteindre moins de 200 mm dans les zones des lacs salés selon la carte des précipitations établies par l'ANRH en 1993. Au cours de la période 1995-2009, dans les Hautes plaines, la température maximale se situe entre 32 et 37°C, tandis que la température minimale varie entre 0 et 5°C (Kourat 2015). Le climat continental et les hautes altitudes ont rendu les Hautes plaines bien adaptées aux cultures céréalières pluviales. Cependant, la forte variabilité des précipitations annuelles entraîne des rendements extrêmement variables d'une année à l'autre.

### IV.2.3 Données climatiques observées

Les données journalières observées durant la période 1981-2013, des températures maximales et minimales ( $T_{max}$  et  $T_{min}$  °C), des précipitations ( $P$  en mm), de vent ( $V$  en m/s), de l'humidité relative ( $H_r$  en %) et de la durée d'insolation ( $S$  en heure) sont issues des stations professionnelles de l'Office National de la Météorologie (ONM) de BBA. La station de BBA est située dans le bassin versant d'Honda, les coordonnées géographiques et l'altitude de cette station sont présentées dans la Table IV.1.

Station	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
BBA	36.06 °N	4.66 °E	957

Table IV.1 — Coordonnées géographiques de la station BBA

### IV.3 Ressource hydrique de la wilaya BBA

Les wilayas de Bordj Bou Arreridj et Sétif sont alimentées principalement par le barrage d'Ain Zada doté d'une station de traitement en aval avec une capacité de traitement de 1200 l/s. Aussi il y a deux sens d'écoulement opposés principaux, séparés par une ligne de partage des eaux. Cette limite naturelle correspond à la limite de grands bassins versants :

- **Le bassin versant « Soummam »** : Le sens d'écoulement principal est Sud - Nord et couvre la moitié septentrionale de la wilaya à prédominance marneuse ou argileuse imperméable. Les points d'eaux y sont rares. 4.2.
- **Le bassin versant « chott du Hodna »** : Il s'étend sur la moitié méridionale de la Wilaya. On trouve de nombreuses sources ayant un débit appréciable. Les sources issues des reliefs ou des puits creusés dans les zones plus basses participent pour une

large part à l'alimentation des populations en eau potable ainsi qu'à l'irrigation des parcelles agricoles. L'insuffisance des ressources en eaux souterraines est justifiée par la nature peu perméable d'une grande partie des terrains du territoire de la wilaya. C'est pour cela qu'une étude Hydrogéologique couvrant l'ensemble du territoire de la Wilaya est vivement souhaitée. (Andi, 2014).

#### IV.4 Activités agricoles

La wilaya est à vocation agricole, notamment céréalière. Les potentialités sont de 246 154 ha de terres agricoles dont 187 000 ha de SAU, 7 300 ha en irrigué, 48.600 ha de pacage et parcours. 87 000 ha de la SAU sont consacrés à la céréaliculture. L'élevage, comprend 415683 têtes dont 379627 ovins. La zone des hautes plaines est à haut rendement céréalier. Au nord, la zone montagneuse des Bibans est dominée par l'arboriculture, surtout l'olivier et le figuier, la région possède de nombreuses huileries traditionnelles. Le sud-ouest est une zone steppique à vocation pastorale où se pratique une agriculture extensive avec association céréaliculture, jachère. (Zoheir siouane 2018).

#### IV.5 Couverture pédologique

Selon Bender [17], Au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj on peut distinguer les différents types de sol selon la zone. Dans ce qui suit nous citons les différentes zones auxquelles on peut faire face.

- **Zone montagneuse** : Les sols relativement peu profonds argilo-limoneuse et les sols de moyennes et hautes montagnes repose sur roche mère constituée de calcaire, marnocalcaire et de grès.
- **Zone des hautes plaines** : es sols rencontrés dans cette zone sont :-Sols bruns calcaires avec ou sans encroutements sur lesglacis.-Solsvertiques.-Sols lithiques et sols rigosoliques (CF BBA,2009) .
- **Zone Sud** : La couverture pédologique de la zone est une association des sols lithiques marneux. (DSA, 2016).

#### IV.6 Besoin en eau des cultures par Cropwat

##### IV.6.1 Données climatiques

Le logiciel CROPWAT exige 5 données climatiques d'une station météorologique normalisée, pour que cette dernière soit représentative elle doit être la plus proche de la zone agricole, les stations comme celle des aéroports ou dans les zones urbaines sont à éliminer

(Doorenbos et Kassam, 1987). En cas où la station la plus représentative ne donne pas les 5 données climatiques il est conseillé de les estimer, la FAO propose les méthodes d'estimation de l'humidité relative, rayonnement, et la vitesse de vent dans son Bulletin-56 [18]. Une illustration des cinq données climatiques fournies au Cropwat est présentée dans la Fig. IV.2.

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m <sup>2</sup> /jour	ETo mm/jour
Janvier							
Février							
Mars							
Avril							
Mai							
Juin							
Juillet							
Août							
Septembre							
Octobre							
Novembre							
Décembre							
Moyenne							

Figure IV.2 — Illustration des données climatiques entrées dans le Cropwat.

#### IV.6.2 Données liées à la culture

Selon DEBAUCHE et al. [19] Le logiciel CROPWAT contient un fichier reprenant les caractéristiques cultures et La Fig IV.3 présente une illustration des Données liées à la culture. Elle contient les informations relatives aux Noms de la culture, sa date de plantation.

- Valeurs de Kc : c'est-à-dire les trois valeurs caractéristiques de la courbe de Kc de base.
- Phase (jours) : les durées des quatre stades de développement (initiale, développement, *mi\_saison*, *etenfinarrire* — *saison*).

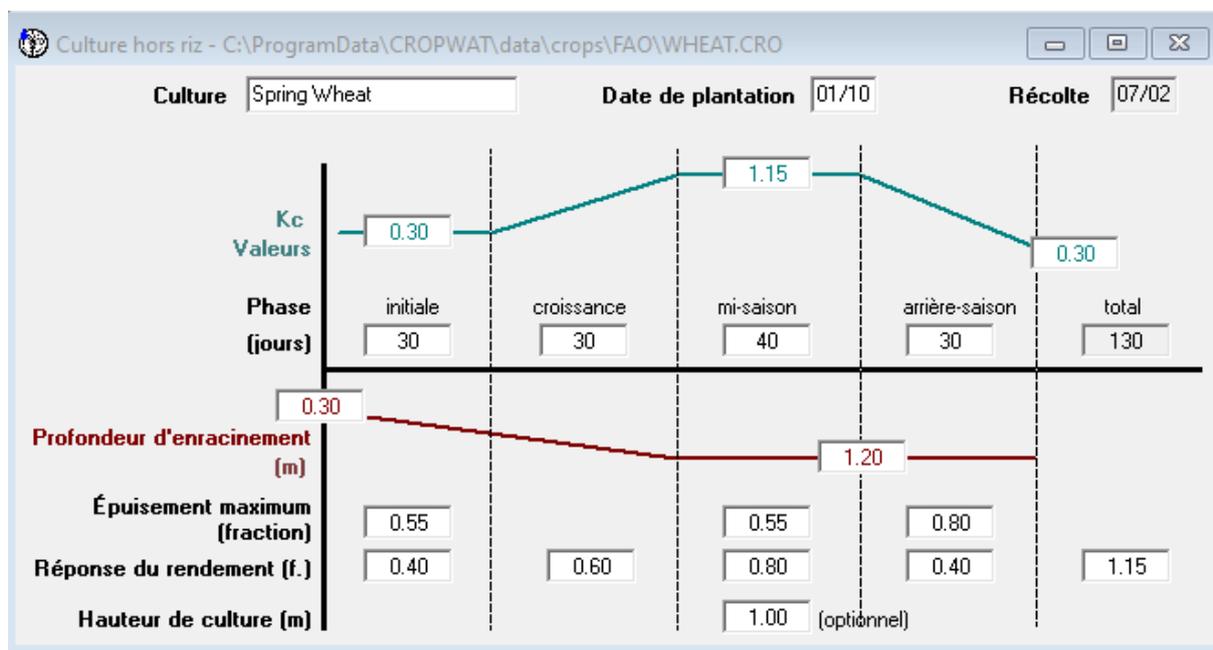


Figure IV.3 — Illustration des données liées à la culture.

#### IV.6.3 Données liées du sol

Les données relatives au sol sont nécessaires dans le pilotage des irrigations pour la détermination de la réserve utile (RU) qui est liée à deux facteurs importants qui sont détaillés dans ce qui suit.

1. **La texture** : D'après la FAO (1987), les valeurs de RU selon les différentes textures de sol considérées généralement sont comme suit.
  - sol grossier : 60 mm/m.
  - sol sableux : 100 mm/m.
  - sol limoneux : 140 mm/m.
  - sol argileux : 180 mm/m.

Nous avons opté dans le cas de notre étude pour un sol moyen ayant les caractéristiques présentées dans la Fig. IV.4.

Paramètre	Valeur	Unité
Nom du sol	Medium (loam)	
Eau disponible totale (CC - PF)	290.0	mm/mètre
Taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie	40	mm/jour
Profondeur maximum d'enracinement	900	centimètres
Épuisement de la teneur en eau initiale (en % TAM)	0	%
Eau disponible initiale	290.0	mm/mètre

Figure IV.4 — Illustration des données sur les caractéristiques du sol.

2.

#### IV.6.4 Calcul l'évapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration de référence (ETO) formule de Penman Monteith de la FAO, celle-ci nécessite comme données d'entrées la vitesse du vent, le rayonnement et la température (maximale et minimale) sur une seule station étudiée.

$$ETO = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Avec :

ETO = évapotranspiration de référence, en mm/j ou mm/h.

$R_n$  = rayonnement global en MJ/m<sup>2</sup>/j ou MJ/m<sup>2</sup>/h.

G = flux de chaleur dans le sol par conduction en MJ/m<sup>2</sup>/j ou MJ/m<sup>2</sup>/h0.

$e_s$  = constantes en kPa/°C.

Cste = 900 pour un pas de temps journalier et 37 pour un pas de temps horaire.

T = température en °C.

$e_s(T) = e_{sat}(T)$ , la pression de vapeur saturante en kPa.  $e_a(T)$  = pression de vapeur actuelle en kPa = humidité relative  $\times e_s / 100$ .

$u_2$  = vitesse du vent à 2 mètres du sol en m/s.

#### IV.6.5 Calcul de la pluie efficace

C'est la portion d'eau tombée contribuant à la satisfaction des besoins en eau de la culture, toute précipitation ne se transformant pas en ruissellement ou en eau de recharge de la nappa souterraine peut être considérée comme effective, au point de vue l'irrigation, la pluie efficace elle est calculé selon la méthode de l'USDA (*United States Department of Agriculture*) basé sur l'équation suivante : pour des précipitations inférieures à 250mm :

$$P_{eff} = \frac{P_{tot} \times (125 - 0,2 \times P_{tot})}{125}$$

$P_{eff}$  = Précipitation efficace (mm)

$P_{tot}$  = Précipitation totale (mm)

Pour des précipitations supérieures à 250 mm, il utilise la formule :  $P_{eff} = 125 + 0,1 \times P_{tot}$

#### IV.6.6 calcul les besoins en eau des cultures

Dans le domaine de l'irrigation, On cherche à cultiver les plantes dans des conditions optimales et elle est subordonné sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETM) qui est une valeur ponctuelle liée à l'ETO qui est relative à une région par un coefficient cultural, donné par la formule de base de l'approche climatique :

$$ETM = kc \times ETO$$

ETM : évapotranspiration maximale d'une culture (mm).

KC : coefficient cultural.

ETO : évapotranspiration de référence (mm).

#### IV.6.7 Calcul l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE)

L'efficacité (EUE) est définie par le rapport du rendement à l'eau consommé par la culture, c'est-à-dire l'évapotranspiration réelle (ETR) On peut donc écrire :

$$EUE \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] = \frac{Rdt}{ETR}$$

Ou :

EUE : l'efficacité d'utilisation de l'eau (kg/m<sup>3</sup>).

Rdt : le rendement de la culture (kg).

ETR : l'évapotranspiration réelle de la culture (m<sup>3</sup>).



## **Chapitre V**

# **RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**



## V.1 Analyse des paramètres climatiques

### V.1.1 Pluie

La Fig. V.1 illustre la variabilité interannuelle de la pluviométrie durant de la série climatique (1989-2021).

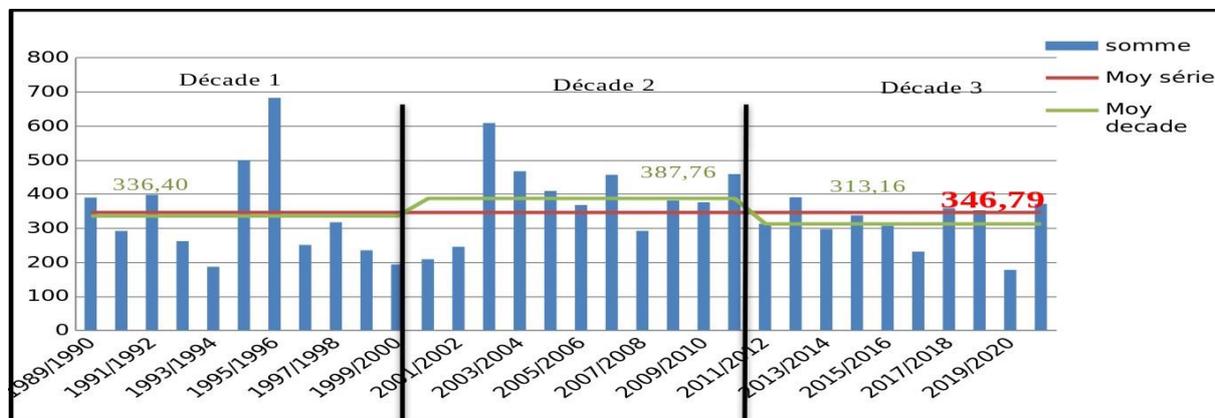


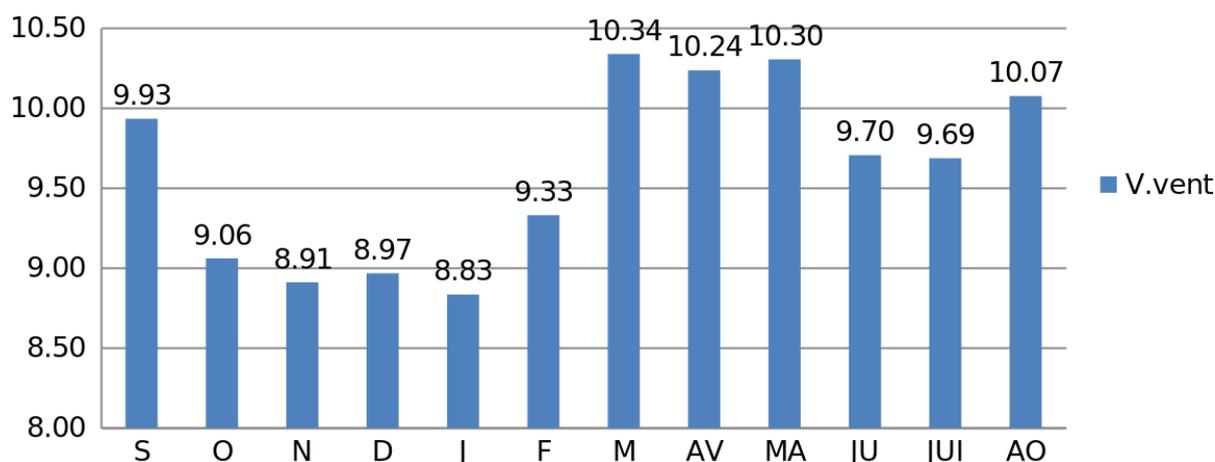
Figure V.1 — Illustration de la variabilité interannuelle de la pluie (1989-2021).

Après une étude approfondie des données réelles de pluviométrie de la région de Bordj Bou Arreridj nous avons constaté que les résultats ont enregistré des variations d'années en années ne sont constantes. Ces données nous ont fait connaître la valeur moyenne annuelle qui est de l'ordre de 346,79 mm et varie de 177mm à 681,81. La valeur la plus faible celle de l'année 2019/2020 et la valeur la plus forte est celle de l'année 1995/1996.

### V.1.2 Vitesse du vent

Il s'agit d'un facteur important aussi bien sur un plan agronomique que du point de vue de l'aménagement puisqu'il reste un élément déterminant dans le choix de type d'irrigation. Après la Fig la vitesse de vent durant les mêmes années et la même région Bordf Bou Arreridj, nous avons enregistré que la vitesse de vent la plus élevée est celle du mois de Mars avec une vitesse de vent de l'ordre de 10,34 est celle du mois de janvier qui est de l'ordre de 8,83. Une illustration de la vitesse du vent moyenne mensuelle est présentée dans la Fig.V.2.

## V.vent

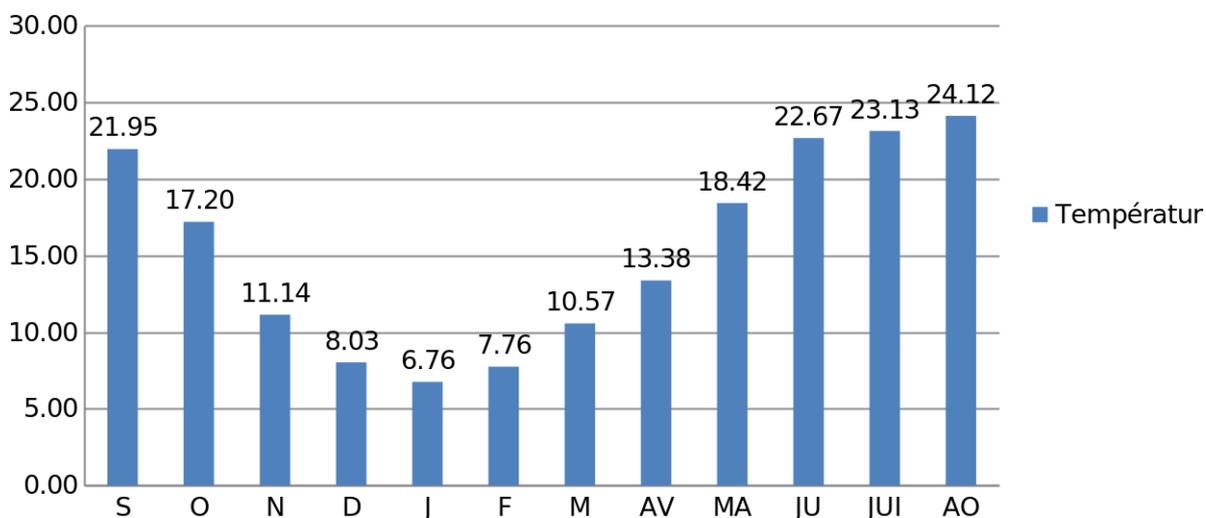


**Figure V.2** — Illustration de la vitesse du vent moyenne mensuelle pour la période d'étude (1989-2021).

### V.1.3 Température

Après constat et analyse de l'état des températures moyennes mensuelles pour une durée de trente années, on a pu relever que le degré de température est normal toute suivant les mois successives et durant l'année et suivant les saisons, l'hiver, l' printemps, été et automne. La température la plus basse est celle de la saison d'hiver marquée par les 2 mois de la saison et février et après cela les températures commencent à augmenter jusqu'à atteindre la limite supérieure durant le mois d'août de chaque année avec une température pouvant atteindre une moyenne de 24,12°C. Une illustration de la température moyenne mensuelle (1989-2021) est présentée dans la Fig. V.3.

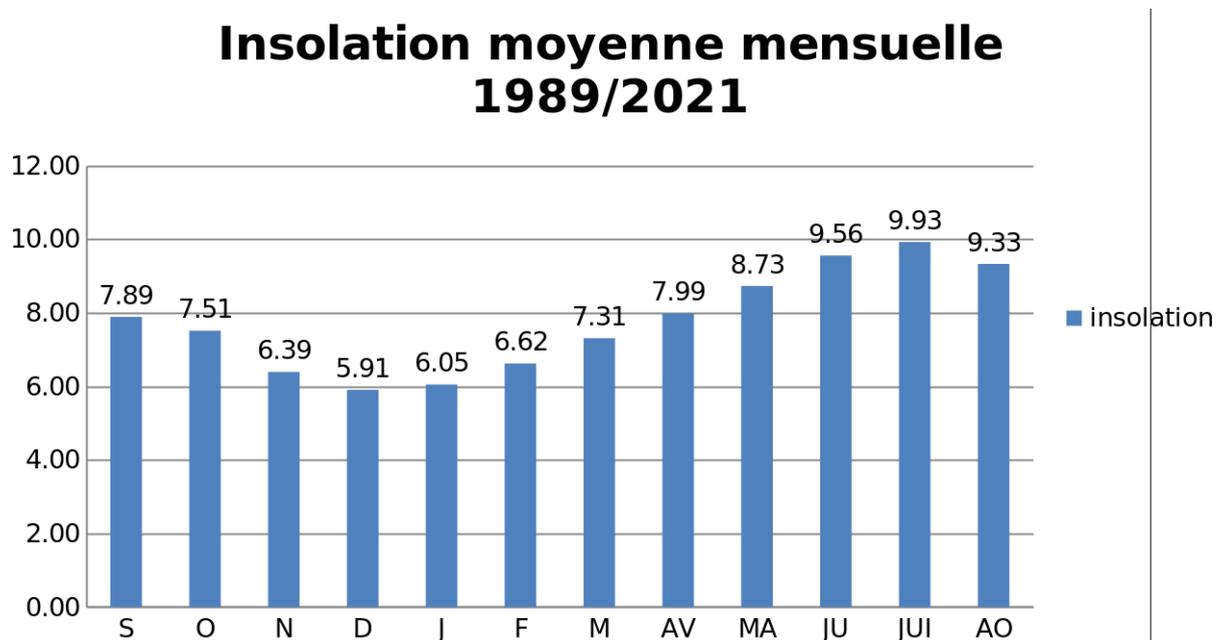
## Température



**Figure V.3** — Illustration de la température moyenne mensuelle (1989-2021).

#### V.1.4 Insolation

En ce qui concerne le taux d'insolation moyenne mensuelle de 1989 à 2021 de la région Bordj Bou Arreridj Figure , le taux d'insolation moyenne la plus élevée est celle du mois de juillet de l'ordre de 9,93 et commence à atteindre son plus bat taux le mois de décembre qui est de l'ordre de 5,93. Une illustration de la variation de la durée d'insolation pour la période 1989-2021 est présentée dans la Fig.V.4.



**Figure V.4** — Illustration de la Variation de la durée d'insolation pour la période 1989-2021.

#### V.1.5 Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air est un élément du cycle hydrologique qui contrôle l'évaporation du sol et le couvert végétal. Un d'une étude approfondie du taux d'humidité moyenne mensuelle de la région de Bordj Bou Arreridj sur une durée de l'année 1989 à 2021 et dresser la Fig V.5 accompagnant cette analyse, on a pu constater que l'augmentation du taux d'humidité commence le mois juillet avec un taux de 34,37 et au fur à mesure des mois de l'année l'humidité augmente jusqu'à atteindre son plus haut niveau le mois de décembre avec un taux maximal de 72,87.

## humidité

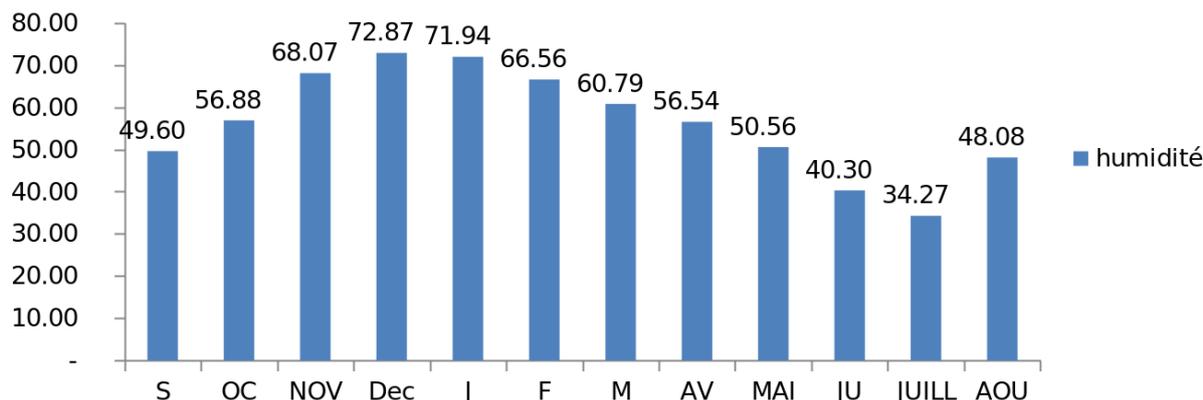


Figure V.5 — Illustration de l'humidité moyenne mensuelle.

## V.2 Calcul de la pluie efficace

### V.2.1 À l'échelle annuelle

Les précipitations efficaces se réfèrent à la fraction des précipitations qui peuvent être effectivement utilisées par la culture. Car celle-ci a une partie qui est perdue par ruissellement ou par percolation en profondeur. La Fig V.6 fait apparaître la pluie efficace qui est utilisée pour l'agriculture durant la période de l'année 1989 à l'année 2021 et qui fait apparaître qui varie de 166,20 d'année 2019/2020 à 518,60 de l'année 2002/2003.

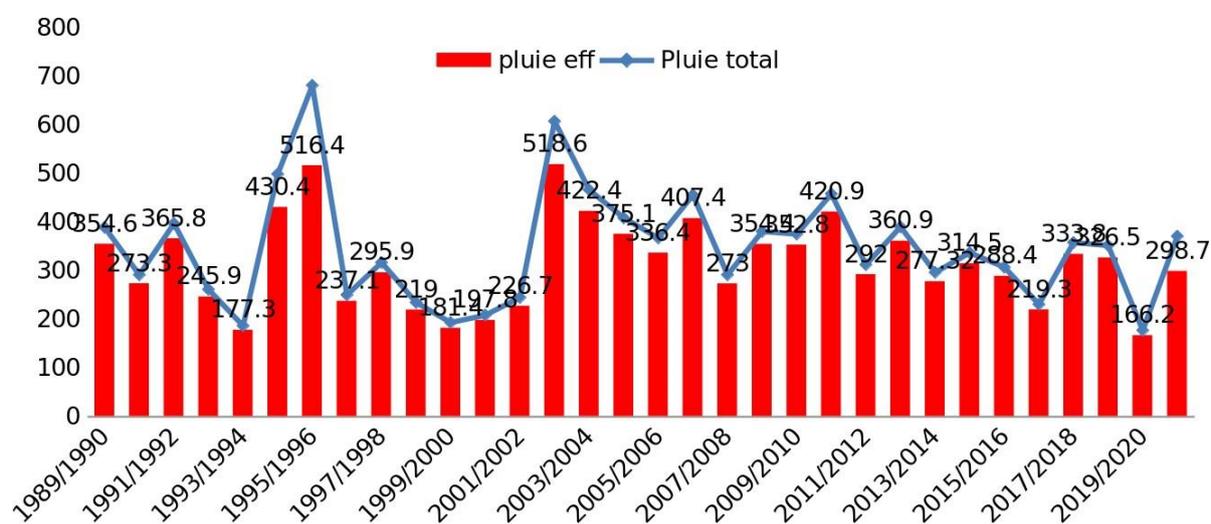


Figure V.6 — Illustration de la variation interannuelle de la pluie efficace, période (1989-2021).

### V.2.2 À l'échelle saisonnière

Les pluies efficaces bénéficiaires par la culture de Blé est illustrées par la Fig V.7. Il est constaté que la moyenne de la pluie efficace durant la saison est de l'ordre 232,38 mm

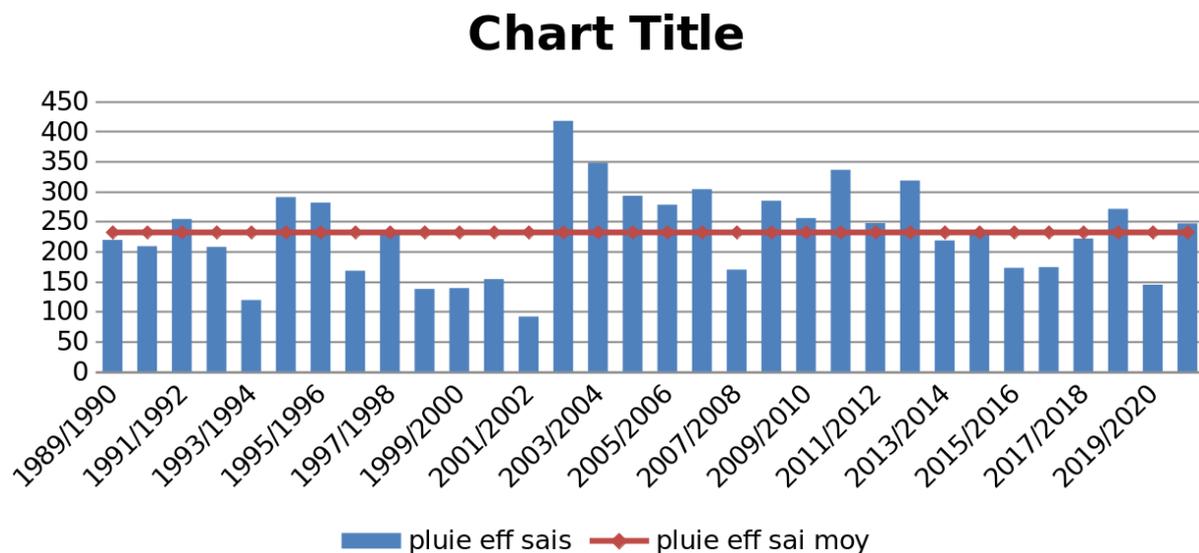


Figure V.7 — Illustration de la variation interannuelle de la pluie efficace a l'échelle saisonnière, période (1989-2021) .

### V.3 Calcul de l'évapotranspiration de référence

#### V.3.1 À l'échelle de l'année

L'évapotranspiration de référence (ETO) a été calculé selon la méthode penman-monteith de la FAO (allen et al, 1998). Celle-ci nécessite comme données la température, humidité, ainsi que la radiation solaire et la vitesse de vent a 2 mètre au-dessous du sol. La Fig V.8 illustre la variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence (ETO) sur ne période de 32 ans (1989-2021). Il est constaté que la moyenne annuelle de l'ETO es de l'ordre de 881,82mm, fluctue entre un minimum de 773,8 mm et un maximum de 1058,5.

Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence

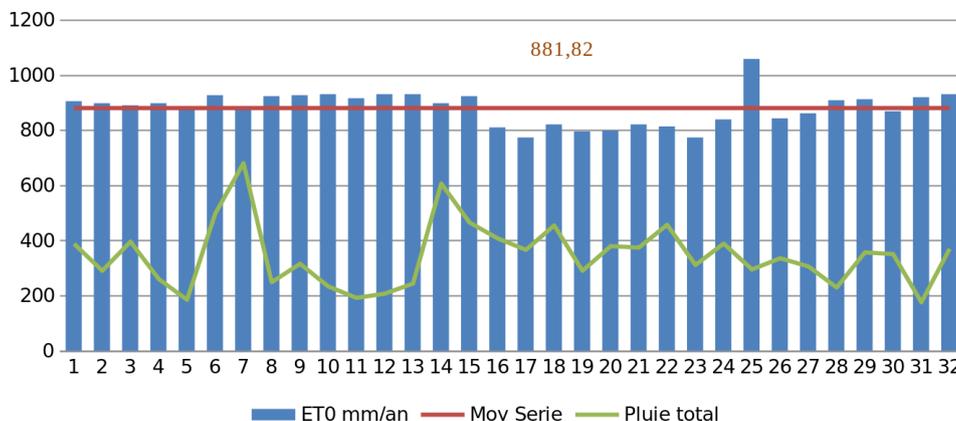
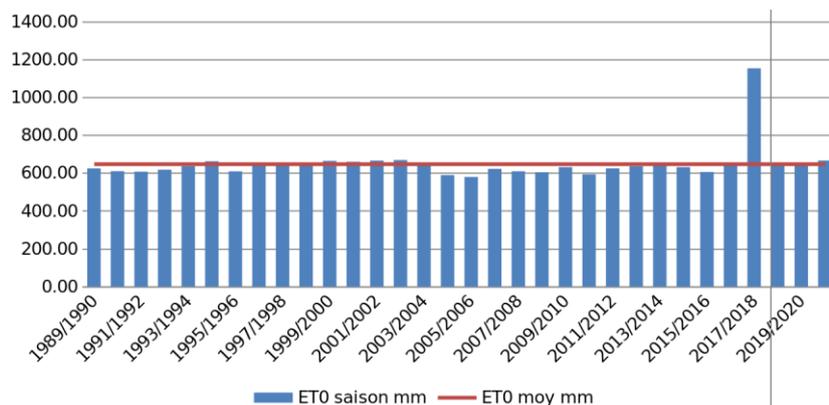


Figure V.8 — Illustration de la variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence période (1989-2021).

### V.3.2 À l'échelle de la saison de la culture de Blé

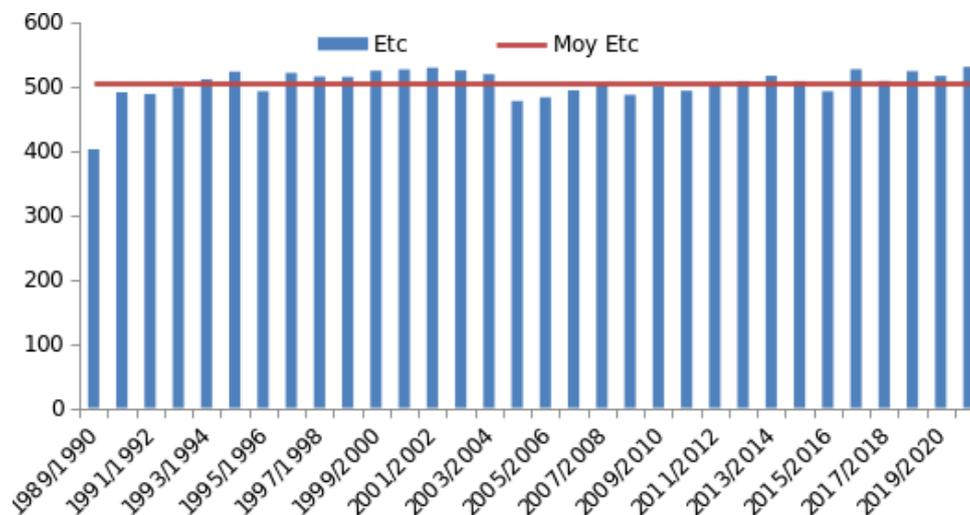
La Fig V.9 illustre la variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence (ETO) a l'échelle de la saison de croissance de culture, sur une période de 31 ans (1989-2021). Il est constaté que les moyennes annuelles de l'ETO de Blé est de 648,29 mm. L'évapotranspiration de référence (ETO) enregistrée Durant la saison de culture (octobre-mai).



**Figure V.9** — Illustration de la variation interannuelle de la pluie efficace a l'échelle saisonnière, période (1989-2021).

### V.4 Calcul du besoin en eau de la culture de Blé

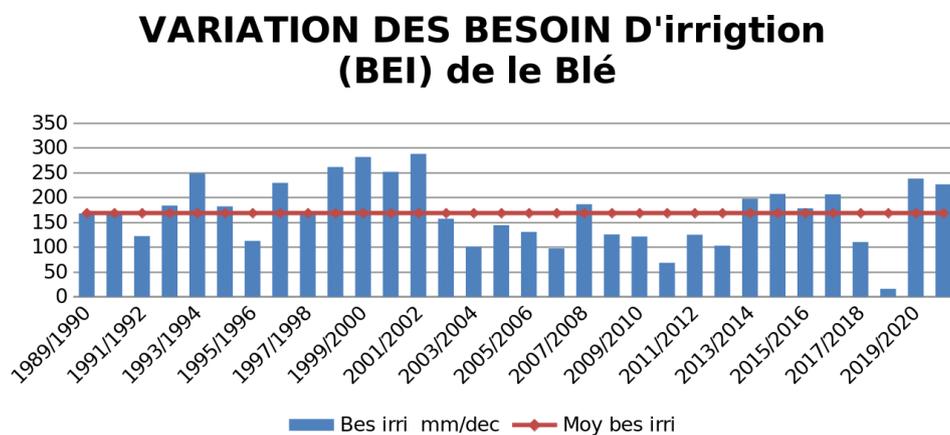
Les besoins en eau de la culture (ETc) de Blé estimés par le modèle Cropwat sont illustrés par La Fig V.10. D'après cette figure, il est constaté que les valeurs moyennes d'ETc de Blé estimées par le modèle Cropwat sont de l'ordre de 504,14 mm. Ces valeurs se situent dans la fourchette signalée par la FAO qui varie de 450 et 650 mm selon le climat.



**Figure V.10** — Illustration de la variation interannuelle du besoin en eau de Blé (ETc) estimé par modèle Cropwat.

### V.5 Calcul du besoin en eau d'irrigation du Blé

Les besoins totaux en irrigation de la culture (BEI) de le Blé estimé par le modèle Cropwat sont illustrés par la FigV.11. Il est constaté que les valeurs moyenne de BEI et, respectivement, de l'ordre de 168,72 mm. D'après cette Figure.



**Figure V.11** — Illustration de la variation des besoins d'irrigation (BEI) du Blé, période (1989-2021).



# Conclusion générale

L'équation FAO-Penman-Montieth est recommandée comme méthode standard pour l'estimation de l'évapotranspiration de référence et des cultures ainsi que de l'eau d'irrigation par le biais des modèles CropWat et de la FAO. L'évapotranspiration moyenne annuelle de référence (ET<sub>o</sub>) pour la région de Bordj Bou Arreridj a été estimée à 881,82 mm. Celles correspondantes à la saison de culture pour de blé sont, respectivement, de l'ordre de 648,29 mm.

Pour l'ensemble du cycle de développement de la culture de blé, les besoins en eau d'irrigation (BEI) ont atteint, respectivement, 168,72 mm. Par contre, les besoins en eau de ces cultures (ET<sub>c</sub>) sont, respectivement, 504,14 mm. Les valeurs moyennes de ces paramètres, ET<sub>c</sub> et BEI, fluctuent tout au long du cycle de développement de ces cultures en fonction des conditions météorologiques et des sols.

Les résultats sur l'ET<sub>c</sub> et BEI ont fourni une évaluation pratique pour la programmation de l'irrigation de ces cultures dans les milieux semi-arides. Ces résultats peuvent être utilisés pour une utilisation plus efficace de l'eau et pour optimiser la production blé dans les régions semi-arides.

La Compréhension des ET<sub>c</sub>, des IWR et de la planification de l'irrigation pendant les mois de pénurie aident les agriculteurs à prendre la bonne décision pour éviter toute réduction de rendement dans leur exploitation. Bien que le modèle CropWat fournisse des estimations raisonnables du ET<sub>c</sub> et BEI, pour plus des résultats fiables ; elles doivent être validées dans le contexte de la zone d'étude.

Enfin, dans le contexte actuel de rareté de la ressource en eau, les agriculteurs doivent être encouragés d'avantage à rationaliser l'utilisation de l'eau, à valoriser celle dont ils disposent, et aux gestionnaires d'assurer une distribution équitable de la ressource en fonction des besoins des cultures, tout en répondant aux contraintes de la maintenance, garante de la pérennité des aménagements, tout cela pour assurer une agriculture plus productive et durable.

# Bibliographie

- [1] A. Slama, M. Ben Salem, M. Ben Naceur, and E. Zid, “Les céréales en tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance,” *Sécheresse*, vol. 16, no. 3, pp. 225–229, 2005.
- [2] M. Feldman and E. R. Sears, “The wild gene resources of wheat,” *Scientific American*, vol. 244, no. 1, pp. 102–113, 1981.
- [3] A. Martin and G. Wadley, “The origins of agriculture—a biological perspective and a new hypothesis,” *Journal of the Australasian College of Nutritional and Environmental Medicine*, vol. 19, no. 1, 2000.
- [4] A. P. Bonjean, W. J. Angus *et al.*, *The World Wheat Book : A history of wheat breeding*. Lavoisier Publishing, 2001.
- [5] N. LADRAA, “Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur algérien,” Ph.D. dissertation, 2012.
- [6] J. Masle-Meynard, “Relations entre croissance et développement pendant la montaison d’un peuplement de blé d’hiver. influence des conditions de nutrition,” *Agronomie*, vol. 1, no. 5, pp. 365–374, 1981.
- [7] —, “Elaboration du nombre d’épis d’un peuplement de blé d’hiver en situation de compétition pour l’azote ii. modélisation du nombre d’épis,” *Agronomie*, vol. 2, no. 1, pp. 17–24, 1982.
- [8] A. Bozzini *et al.*, “Origin, distribution, and production of durum wheat in the world.” *Durum wheat : chemistry and technology*, pp. 1–16, 1988.
- [9] P. Gate and M. Giban, *Stades du blé*. ARVALIS, 2003.
- [10] W. MOSTEFAOUI and A. MOHAMADI, “Etude de la diversité morphologique de quelques variétés de blé dur (*triticum durum* desf).” Ph.D. dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M’Sila, 2019.
- [11] Aya, “La culture du blé dur : Besoins et contraintes,” [www.agrimaroc.ma](http://www.agrimaroc.ma), 10 2016. [Online]. Available : <https://www.agrimaroc.ma/la-culture-du-ble-dur-besoins-et-contraintes/>

- [12] “La situation des forêts du monde 2022 | fao | organisation des nations unies pour l’alimentation et l’agriculture,” [www.fao.org](http://www.fao.org). [Online]. Available : <https://www.fao.org/publications/sofo/2022/fr/>
- [13] “Statistiques,” Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online]. Available : <https://www.fao.org/statistics/fr/>
- [14] H. Boulal, O. Zaghouane, M. El Mourid, and S. Rezgui, “Guide pratique de la conduite des céréales d’automne (blés et orge) dans le maghreb (algérie, maroc, tunisie),” *TIGC, INRA, ICARDA, Algérie*, vol. 176, 2007.
- [15] N. Zellal and A. Zaouia, “An exploratory investigation of factors influencing data quality in data warehouse,” in *2015 Third World Conference on Complex Systems (WCCS)*. IEEE, 2015, pp. 1–6.
- [16] M. Toukali, “Importance des fourmis et des psylles dans un agroécosystème de poirier à sidi embarek (bordj bou arreridj),” Ph.D. dissertation, Université Mohamed BOUDIAF de M’Sila, 2016.
- [17] A. Toillier, “Capacités d’adaptation des agriculteurs à la conservation des forêts dans le corridor ranomafana-andringitra (madagascar). perspectives pour un aménagement intégré des territoires,” Ph.D. dissertation, Université de Géographie ; AgroParisTech, 2009.
- [18] M. Kili, B. El Mansouri, A. Taky, and J. Chao, “Nouvelle approche d’estimation des prélèvements d’eau d’irrigation à partir des ressources souterraines : cas de la nappe côtière du gharb,” *Bull. Inst. Sci*, pp. 31–39, 2006.
- [19] C. Houria, “Decadal evaluation of durum wheat water requirements to improve rain-fed agriculture under semi-arid conditions,” *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 896–904,



