

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجيلالي بونعاما خميس مليانة
Université Djilali Bounaama Khemis- Miliana
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département : Agronomie.



Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de **Master**
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Aménagement hydro agricole

Thème :

L'irrigation de complément de blé en Algérie

Présenté par :
M^r: Attou Alaa Eddine
M^r: Beskri Ahmed

Soutenu le: 14 juillet 2019 Devant le jury:

Président M^{me} : KARAHACANE. H	MAA	UDB Khemis-Miliana
Promoteur Mr : IMESSOUDENE. Y	MAA	UDB Khemis-Miliana
Examineur Mr : MEROUCHE. A	MCB	UDB Khemis-Miliana
Examinatrice M^{me} : BOAICHI. I	MAA	UDB Khemis-Miliana

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

Avant tout nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le Courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail. Au terme de ce travail nous tenant à remercier tout d'abord notre promoteur **Mr IMESSAOUDANE Yacine**, pour son encadrement, sa précieuse aide, son appui et ses conseils.

Comme nous remercions également :

Med Karahacane H pour avoir accepté de juger ce travail et de présider le jury.

Mr Merouche Ab et Med Boaichi I pour leur acceptation de faire partie du jury ce travail.

Nous tenant également à exprimer nos remerciements :

A tous les enseignants de l'université de Khemis Miliana, particulièrement aux enseignants de département d'agronomie. *Je remercie Mr Touil S et Mr Merouche Ab et Med Matene C.N et Med Boaichi I et Med Karahacane H et Med Chebab*

En fin, nous remercions les amis et les étudiants de département pour leur soutien en particulier les amis les plus proches de notre promotion, ainsi à tous ce qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A ma chère mère qui souhaité voir mon réussite et m'a donnée toute
l'affection pour que je puisse continuer.
A mon cher père qui m'a soutenu pour que je puisse réaliser mes rêves
et mes espérances et m'a donné le soutien tous le temps.*

A mes chères frères et ma sœur

A tous mes enseignants

*A mon cher binôme **Ahmed***

*A tous mes amis (**Bakdi H** et **Abdeli B** et **Abdeli F**)*

*Toute ma promotion, en générale et tous les étudiants de
l'aménagement hydraulique agricole (**Amara Ismail**)*

Je dédie ce mémoire

Attou Alaa Eddine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

***A ma chère mère qui souhaité voir mon réussite et m'a donnée toute
l'affection pour que je puisse continuer.
A mon cher père qui m'a soutenu pour que je puisse réaliser mes rêves
et mes espérances et m'a donné le soutien tous le temps.***

A Ma chère amie Rachida H

A mes chères sœurs

A tous mes enseignants

A mon cher binôme Aladin

A tous mes amis (Aboubakar et Djilali)

***Toute ma promotion, en générale et tous les étudiants de
l'aménagement hydraulique agricole (Amara Ismail)***

Je dédie ce mémoire

Beskri Ahmed

ملخص

تقدر المساحة المزروعة بالحبوب خلال الفترة 2000 الى 2012 حوالي 3200930 هكتار حيث يشغل القمح الصلب.

يعتبر الماء عنصرا حيويا في حيات النبات و قد يؤثر نقصه على نمو الحبوب وقدرتها الانتاجية.

ان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة يتمحور حول تقييم الاحتياجات المائية للحبوب بواسطة برنامج (Cropwat 8.0).

اطهرت النتائج ان معدلات استهلاك المياه خلال زراعة الحبوب في الولايات المدروسة بلغت 615.14 مم في الهكتار الواحد وتنقسم المياه الى المياه الخضراء بحوالي 237مم والمياه الزرقاء بحوالي 378.01 مم في الهكتار الواحد.

تختلف كمية الري التكميلي للحبوب من ولايات الشمال الى الجنوب حيث بلغت اقل كمية 186.5 مم بولاية سوق اهراس واكبر كمية سجلت بولاية الواد ب 1209 مم .

الكلمات المفتاحية: الحبوب . الري التكميلي . الطلب الجوي . احتياجات الماء . الانتاج .المياه الزرقاء . المياه الخضراء .

Résumer

La superficie cultivée en céréales entre 2002 et 2012 est estimée à 3 200 930 ha, où le blé et l'orge occupent la majeure partie de cette superficie, représentant environ 74% de la superficie totale en céréales.

L'eau est un élément vital de la vie végétale et son manque peut affecter la croissance et la productivité de blé.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les besoins en eau des céréales au moyen du programme de cropwat 8 .0.

Les résultats ont montré que les taux de consommation d'eau au cours de la culture du blé dans les wilayas étudiés s'élevaient à 615.14 mm/ha et que l'eau était divisée en eau verte de 237 mm et que l'eau bleue était d'environ 378,01 mm/ha.

La quantité d'irrigation d'appoint pour les céréales varie du nord au sud, la plus faible quantité étant 186,5 mm sur la wilaya de Souk haras et la plus grande quantité enregistrée dans la wilaya de El Oued 1 209 mm.

Mots-clés: Céréales. Irrigation d'appoint. ETP. BESOINS. BEI.BEE

Abstract

The cereals planted area between 2002 and 2012 is estimated at 3,200,930 ha, where wheat and barley occupy most of this area, accounting for about 74% of the total area under cereals.

Water is a vital part of plant life and its lack can affect grain growth and productivity.

The main objective of this study is to assess the water requirements of cereals using the 8.0 cropwat program, using the climatic and agricultural data of the studied wilayas, then distributing them to the other wilayas.

The results showed that the rates of water consumption during crops cultivation in the studied wilayas were 615.14 mm/ha and that the water was divided into green water of 237 mm and that the water blue water was approximately 378.01 mm/ha.

The amount of supplementary irrigation for cereals varies from north to south, the lowest amount being 186.5 mm on the wilaya of Souk haras and the largest amount recorded in the wilaya of El Oued 1,209 mm.

Keywords: Cereals, additional irrigation, BESOINS, BEEI, production, BEE.

Remerciements

Dédicaces

Résumer

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale⁴

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : La céréaliculture et la culture du blé en Algérie.....	4
I.1 Importance de la céréaliculture.....	4
I.2 La culture du blé.....	6
I.2.1 En Algérie.....	6
I.2.2. Description morphologique.....	6
I.2.2.1 Caractères du grain.....	6
I.2.2.2 Système aérienne.....	7
I.2.2.3 Système radiculaire.....	8
I.3 Stades de développement de blé.....	8
I.3.1 Germination-levée.....	8
I.3.2 Tallage.....	8
I.3.3 Montaison.....	9
I.3.4 Epiaison et la Floraison.....	9

I.3.5	Remplissage du grain et la maturation.....	9
I.4	Exigences agro-climatiques du blé dur.....	10
I.4.1	Exigences édaphique.....	10
I.4.2	Exigences en eau.....	11
I.4.3	Température.....	11
I.4.4	Lumière.....	12
I.4.5	Sol.....	12
I.4.6	Fertilisation.....	12
I.4.6.1	Fertilisation azotée.....	12
I.4.6.2	Fertilisation phospho-potassique.....	12
I.4.6.3	Fertilisation en magnésium.....	12
Chapitre II:	Les besoins en eau, irrigation d'appoint.....	13
II.1.	Notions d'évapotranspiration.....	13
II.1.1.	Evapotranspiration potentielle (ETP) ou (ET0).....	13
II.1.2.	Evapotranspiration Maximale (ETM).....	13
II.1.3.	Evapotranspiration réelle (ETR).....	13
II.2.	Détermination des besoins en eau.....	13
II.3.	Besoin en eau d'irrigation.....	14
II.3.1.	Besoin net en eau d'irrigation (Bn).....	14
II.3.2.	Besoin brut en eau d'irrigation(Bb).....	14
II.4.	Coefficient cultural Kc.....	15

II.4.1. Les phases de culture.....	15
II.5. Relation : Eau- Sol-Pante.....	16
II.5.1. Eau dans le sol.....	16
II.5.1.1. Circulation de l'eau dans le sol.....	16
II.5.1.2. Teneurs en eau caractéristiques.....	16
II.5.1.3. Notion de Réserve Utile (RU) et de Réserve Facilement Utilisable (RFU) ...	17
II.6. La précipitation en Algérie.....	18
II.7. irrigation de complément ou d'appoint.....	18
II.8. Calcul d'efficience d'utilisation de l'eau des Blés.....	19
II.8.1. Méthodes de détermination de l'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE)....	19

Deuxième Partie : Données et Méthodes

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.....	21
I .1 . Introduction.....	21
I .2. Climagramme d'Emberger.....	22
Cas de la wilaya de Tipaza.....	24
I .3. Situation géographique et administrative.....	24
I .4. Secteur de l'Agriculture.....	25
I .5. Relief.....	26
I .6. Hydrographie.....	27
I .7. Caractéristiques climatique.....	27
I .7.1. Les précipitations.....	27

I.7.2. La température.....	28
I.7.3. Les vents.....	29
I.7.4. L'humidité de l'air.....	29
I.7.5. Durée d'insolation.....	30
I.7.6. L'évapotranspiration.....	30
I.7.7. Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	31
Chapitre II: Présentation de logiciel CROPWAT 8.0.....	33
II.1. Introduction.....	33
II.2. Présentation la logicielle (CROPWAT 8.0).....	33
II. 3. Evaluation des besoins en eau des cultures.....	33
II.3.1.Les données climatiques.....	34
II.3.1.1.Les données climatiques et calcul de l'ETP (Exemple de Tipaza)	
II.3.2.Les données pluviométriques.....	35
II.3.3.Les données sur les types de culture.....	36
II.3.4.Les données liées au sol.....	37
II.3.4.1.La texture.....	38
II.3.4.2.Profondeur d'enracinement de blé.....	38
II.3.5.Le calendrier d'irrigation.....	39
II 3.6.L'efficience au champ.....	39
II.3.6.1.Calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau (EUE).....	40
II.4.Conclusion.....	39

Troisième Partie : Résultants et disruptions

Chapitre I : Calcul des besoins en eau des cultures du blé de la wilaya de Tipaza.....	40
I.1.Introduction.....	40
Exemple de calcul (Wilaya de Tipaza).....	40
I.Calcul des besoins en eau des cultures du blé de la wilaya de Tipaza.....	40
I.1. Calcul d'ET0.....	40
I.2. Calcul de la pluie efficace (eau verte).....	42
I.3. Données sur les cultures.....	43
I.4. Données liées au sol.....	44
I.5.Calcul des besoins en eau des cultures (ETM).....	45
I.5.1.Détermination des besoins en eau d'irrigation et pluie efficace du blé.....	48
I.5.2.Calcul des besoins en eau d'irrigation (Eau bleue).....	49
I.6.Calendrier d'irrigation.....	50
I.6.1. Les besoins en eau totaux (Eau verte et eau bleue).....	51
I.6.2. Calcul des besoins en eau d'irrigation (eau bleue) nets et bruts.....	53
I.6.3. Calcul des précipitations efficace (eau verte) par station.....	55
I.7. Calcule de l'efficience d'utilisation de l'eau EUE.....	57
I.7.1. Efficience d'utilisation de l'eau EUE par étage bioclimatique.....	59
I.7.2.Discussion.....	61
Conclusion.....	62

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en eau potable.

an : année.

ANDI : Agence Nationale de développement de l'Investissement.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques.

BEE : Besoin en eau.

BEI: Besoin en eau d'irrigation

Cm: Centimètre.

Cm²: Centimètre carré.

Croiss : Croissance.

DSA : Direction de Service Agricole.

DSA : Direction des servies Agricoles.

ET₀ : Evapotranspiration de référence.

ETc : Evapotranspiration de culture.

ETM : Evapotranspiration maximale.

ETr : Evapotranspiration réelle.

EUE: efficience utilisation en eau.

FAO : Organisation Mondiale de l'Alimentation et l'Agriculture.

hab : habitants.

Hm³ : hectomètre cube.

Hr : humidité relative.

INDRA: Institut national de la recherche agronomique

Init: Initiation.

INRA: Institut nationale de recherche algérienne.

IR: Irrigation.

ITGC : Institut technique des grandes cultures.

J : jours.

Kc : Coefficient cultural.

Kc_{fin} : Coefficient cultural final.

Kc_{ini} : Coefficient cultural initial.

Kc_{mid} : Coefficient cultural médium.

Km/h : kilomètre par heure.

l/j : Litre par jour.

l/s/ha: Litre par second par hectare.

m³ /ha : Mètre cube par hectare.

m³ : mètre cube.

MADR: Ministère d'Agriculture et de Développement Rural.

Mi-sais : Mi- saison.

MJ/m²/jour : Milli joule par mètre cube par jour.

mm/déc : Millimètre par décade.

Pe_{ff} : Pluie efficace.

Q_x : Quinto.

RDT : rendement totale.

RFU: Réserve facilement utilisable.

RU : Réserve utilisable.

S.C : Service conservation.

SAT : Surface agricole totale.

SAU : Surface agricole utile.

T_{max} : Température maximale.

T_{min} : Température minimale.

USDA: United States Département of Agriculture.

%: Pourcent.

°C : Degré Celsius.

Tableau°01:Paramètres pour le calcul des besoins en eau des cultures.....	14
Tableau n°02:Tableau des coefficients culturaux et des phases de culture du blé.....	15
Tableau n°03: Les étages bioclimatiques en Algérie.....	21
Tableau n°04: Températures minimales et maximales mensuelles pluie moyenne annuelle et quotient Q par station	22
Tableau n°05: Pluviométrie moyenne mensuelle (10ans).....	28
Tableau n°06: Température moyenne mensuelle (10ans).....	29
Tableau n°07: Les Vents moyenne mensuelle (10ans.....	29
Tableau n°08: L'humidité de l'air moyennes mensuelles (10ans).....	30

Tableau n°09: Durée d'insolation de moyennes mensuelles (10ans).....	30
Tableau n°10: L'évapotranspiration moyenne mensuelle (10ans).....	30
Tableau n°11: Température et la pluie moyenne (10ans).....	31
Tableau n°12:Les phases de développement de blé.....	37
Tableau n°13: Les values de la RU en fonction de type de sol.....	37
Tableau n°14: Profondeur d'enracinement de blé.....	38
Tableau n°15:Résultats de calculd'ET0 de la Wilaya de Tipaza.....	41
Tableau n°16:Calcul de la pluie efficace de la wilaya de Tipaza.....	43
Tableau n°17:Date de plantation et de récolte de culture du blé dans la zone méditerranéenne d'après la FAO.....	44
Tableau n°18:Les données liées au sol.....	45
Tableau n°19:ETM annuelle du blé de Tipaza.....	45
Tableau n°20:Résultats de calcul de l'ETM du blé par station.....	46
Tableau n°21:Résultats de l'ETM (Etc) par étage bioclimatique.....	47
Tableau n°22:Besoins en eau d'irrigation et pluie efficace du blé (wilaya de Tipaza).....	48
Tableau n°23:Calendrier d'irrigation de blé pour la wilaya de Tipaza.....	50
Tableau n°24:Résultats récapitulatifs des besoins en eau du blé pour la wilaya de Tipaza...	51
Tableau n°25:Les besoins en eau totaux (eau bleue et eau verte) en mm et m3/ha.....	52
Tableau n°26:Les besoins en eau d'irrigation nets et bruts par station.....	53
Tableau n°27:Besoins en eau d'irrigation par étage bioclimatique.....	55
Tableau n°28:Résultats de calcul des précipitations efficace par station.....	56

Tableau n°29:Résultat de calcul de l'ETM et l'efficience d'utilisation de l'eau EUE de la wilaya de Tipaza.....57

Tableau n°30:Résultat de calcul l'efficience d'utilisation de l'eau EUE de 30 stations...58

Tableau n°31:La moyenne de l'EUE en déferent zone.....60

Liste des figures

Figure n°01 : Structure du grain de blé. Source INRA_UMR IATE, 20157

Figure n°02 : Stades repères du cycle de développement du blé.....10

Figure n°03 : Les phases de culture du blé.....16

Figure n°04 : Positionnement des stations sur le climagramme d'Emberger.....24

Figure n°05 : Situation géographique de la wilaya de Tipaza. Source :(ANDI 2013).....25

Figure n°06: La Pluviométrie moyenne mensuelle (mm).....28

Figure n° 07 :Le point de projection de la wilaya de Tipaza dans le Climagramme d'emberger.....31

Figure n°08 : Diagramme Ombrothermique de bagnole et Gausse 2002 – 2012 (Tipaza)..32

Figure n°09 : Les données sur la station météorologique.....34

Figure n°10 : calcul de l'ET0.....35

Figure n°11 : calcul des pluies efficaces.....35

Figure n°12 : Les données de la culture de Blé. Source : FAO.....37

Figure n°13 : Les données liées au sol proposent dans le Cropwat38

Figure n°14: Calendrier d'irrigation de blé.....39

Figur n° 15: Evolution mensuelle de l'évapotranspiration de référence de la wilaya de Tipaza42

Figure n°16 : la pluie efficace et la pluie totale de la wilaya de Tipaza.....	43
Figure n°17 : Données sur les caractéristiques du blé Source : FAO.....	44
Figure n°18 : la moyenne d'ETM (Etc) par étage bioclimatique des stations	48
Figure n°19 : Besoins en eau d'irrigation (eau Bleue) de blé pour la wilaya de Tipaza.....	50
Figure n°20 : Les besoins en eau bleue et verte de blé de la wilaya de Tipaza	52
Figure n°21 : La moyenne d'irrigation nette en différentes zones.....	55
Figure n° 22 : La moyenne de LEUE en différentes zones	55

Liste des Annexes

Annexe 01 Les données climatiques de chaque wilaya

Annexe 02: Etages bioclimatique de chaque wilaya

Annexe 03: Calendrier d'irrigation de chaque

Annexes 4: Calendrier d'irrigation de 30 Stations

Introduction générale

L'agriculture est un facteur important de l'économie de l'Algérie. Les principales productions végétales sont les céréales, largement majoritaires en surface, l'arboriculture, les cultures maraichères, notamment les pommes de terre, les agrumes et les fourrages.

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière. **(Aknouche. D et Laib. R ,2017)**

Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'albumen amylicé, réduit en farine, est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques. Sur le plan botanique la plupart des céréales appartiennent à la famille des Graminées(ou Poacées). Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des *Festucoïdées* : blé, orge, avoine, seigle; les autres à la sous-famille des *Panicoïdées* : maïs, riz, sorgho, millet. **(Moule.C, 1971)**. Sur le plan agronomique on distingue deux types de céréales : les céréales d'hiver et les céréales d'été selon la date de semis.

Le blé dur est la céréale la plus représentée devant l'orge et le blé tendre et la production varie fortement en fonction de la pluviométrie. Les besoins sont loin d'être couverts, même en année favorable, ce qui entraîne des importations massives, coûteuses en devises pour le pays.

Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin Méditerranéen à climat des régions arides et semi-arides là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Elle se caractérise par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse tuent les sols agricoles **(BajjiM, 1999)**.

La croissance et le développement des cultures céréalières peuvent être altérés à n'importe quel stade de développement et par conséquent les rendements en grains peuvent être fortement diminués à cause de la variabilité climatique **(Assem Net Hafid L, 2006)**.

De plus, le choix d'un système adéquat et économique en eau d'irrigation revient, non seulement améliorer les rendements mais aussi minimiser les pertes en eau, qui est un facteur limitant de la production. ceci semble obligatoire pour utiliser ce dernier avec efficacité en passant par une détermination préalable des besoins en eau de la culture on question, et nécessite d'une gestion rationnelle et durable de l'eau d'irrigation. **(Zouaoui .A et Bensaid .R, 2008)**

En Algérie, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties, elles ont été évaluées à 17,2 milliards de m³, dont 10,4 milliards de m³ d'eau de surface, 1,8 milliards de m³ d'eau souterraines du Nord et 5 milliards de m³ d'eau souterraine exploitable de Sud. (Kenanou.K, 2018).

Ce pendant, une gestion rationnelle et plus économe en eau dépend de la connaissance des besoins en eau de la plante. Ainsi, l'efficacité d'utilisation de cette eau dépendra de la bonne gestion de l'irrigation, car lorsque cette dernière est menée de manière rationnelle et cohérente, elle va engendra de multiples effets positifs concrets, impliquant la recherche d'une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau EUE.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui consiste à évaluer les besoins en eau à l'aide du logiciel CROPWAT et déterminer l'efficacité d'utilisation de l'eau de blé au niveau national en passant par l'efficacité de chaque station incluse dans des zones prédéfinies afin de définir celle qui valorisent mieux nos ressources hydriques.

Nous disposons actuellement d'un certain nombre de modèles informatisés permettant d'évaluer les besoins en eau des cultures (Aquacrop, Cropwat, etc.). Le logiciel Cropwat est un outil de référence pour l'estimation des besoins en eau des cultures qui utilise les méthodes de la FAO – Penman Monteith pour le calcul de l'évapotranspiration des cultures. Ces estimations sont utilisées dans le calcul des besoins en eau des cultures.

Notre étude porte sur 30 Wilaya d'Algérie représentées par 30 stations météorologiques en prenant la station de Tipaza à titre d'exemple de calcul.

Pour atteindre cet objectif, notre travail est subdivisé en trois grandes parties que nous résumons comme suit :

La première partie, est une synthèse bélinographique qui englobe un ensemble d'explication sur la culture de blé, besoins en eau, et une étude descriptive sur l'efficacité d'utilisation de l'eau.

La deuxième partie, les données et méthodes présenté la zone d'étude et traite les notions en relation avec notre sujet a savoir les méthodes de calculs des besoins en eau et l'EUE, et une brève présentation du logiciel « Cropwat », et dans le même partie nous allons présenter les données utilisé concernant le calcul des besoins (les données climatiques, les données liées aux cultures et au sol).

La troisième, concerne les résultats de notre étude sur le calcul des besoins en eau et l'EUE de blé en Algérie. Les résultats de l'étude sont suivis d'une interprétation et discussion.

Enfin, nous terminerons notre document par une conclusion générale après avoir aboutir au but prévu.

Chapitre I : La céréaliculture et la culture du blé en Algérie

I.1 Importance de la céréaliculture

Une céréale est une plante cultivée principalement pour ses grains, utilisés en alimentation humaine et animale, souvent moulus sous forme de farine raffinée ou plus ou moins complète, mais aussi en grains entiers (ces plantes sont aussi parfois consommées par les animaux herbivores sous forme de fourrage). Le terme « céréale » désigne aussi spécifiquement les grains de ces plantes. Les principales céréales sont le blé, le maïs, le riz, l'orge, et l'avoine.

Majeures qui correspondent à 75 % de la consommation céréalière mondiale (**Clerget, 2011**).

Les céréales constituent de loin la ressource alimentaire la plus importante au monde à la fois pour la consommation humaine et pour l'alimentation pour le bétail. Le secteur des céréales est d'une importance cruciale pour les disponibilités alimentaires mondiales. Le taux moyen d'augmentation des rendements céréaliers mondiaux est de 2.1% par an. (**Choueiri, 2003**).

Les principales régions productrices de céréales du globe, sont par ordre décroissant :
Asie, 2,6 milliards de quintaux (riz principalement);
Amérique du Nord et centrale, 2,5 milliards de quintaux (maïs et blé surtout);
Europe, 1,9 milliard de quintaux (blé, orge, maïs);
U.R.S.S., 1,6 milliard de quintaux (blé surtout) (**Moule, 1971**).

En Algérie les céréales occupent 60% des terres cultivées et représentent l'activité d'une masse importante de la population (**Aidaoui et Hartani, 1995**).

En Algérie, les principales cultures céréalières sont le blé (*Triticum* sp.) et l'orge (*Hordeum*. sp.) qui occupaient en 1994 respectivement 22% et 14% des terres arables. Le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) est de loin la céréale la plus cultivée en Algérie, sa part dans l'ensemble des cultures céréalières à l'échelle nationale est en moyenne pondérée à 46,6% (1998). La culture des céréales d'hiver demeure encore difficile à maîtriser tant que celle-ci reste confrontée et soumise à plusieurs contraintes (aléas climatiques, faible maîtrise de l'itinéraire technique, etc.). Cette situation engendre une production très faible (18 à 20 millions de quintaux) soit une couverture de 30% des besoins **Benbelkacem et Kellouk, 2000**).

La céréaliculture dont la production annuelle oscille depuis l'indépendance entre 10 et 45 millions de quintaux, semble être le domaine le plus vulnérable car pratiquée sur de grandes superficies sans irrigation (**Hazmoune, 1992**).

Une grande partie des terres situées dans les régions semi-arides est occupée par les céréales dont les rendements restent faibles et irréguliers (**Larbi et, Mekliche 2000**).

Les céréales et particulièrement le blé dur occupe une place prépondérante dans l'agriculture et par conséquent l'économie Algérienne. Le blé est cultivé en conditions pluviales dans les plaines intérieures et plus particulièrement dans les hauts plateaux, appartenant aux étages bioclimatiques semi-arides. Dans ces aires, les sécheresses variables dans le temps et l'espace restent le facteur le plus limitant auquel fait face la culture du blé dur (**Labelli et Adda, 2013**).

La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3et 3,5 million d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. En matière d'emploi, plus de 500 000 emplois permanents et saisonniers sont procurés par le système céréalier (ministère de l'Agriculture) (**Djarmoun,2009**) .

La consommation des céréales, en Algérie, est en croissance continue, plus de 8 millions de tonnes, fait qui incite la politique de développement de cette spéculation par l'accroissement la surface à plus de 11 millions d'hectares et de même par l'irrigation (**Bourkouch,2016**) .

L'Algérie parmi les plus gros importateurs mondiaux de céréales, en occupant 65 % du marché africain. Représentées en majorité par le blé dur (14 millions de quintaux), le blé tendre (26 millions de quintaux), l'orge (16 millions de quintaux) et l'avoine (quatre millions de quintaux). (**Smadhi et Lakhdar, 2009**).

Le blé (froment) est la variété de céréale la plus cultivée dans le monde. Tout au long de l'année, du blé est semé ou récolté quelque part sur la planète. Les plus gros producteurs de blé sont la Chine, l'Inde, les États-Unis, la France, la Russie et l'Australie (FAO, situation 2012). Quantitativement, les États-Unis, l'Australie et la Russie sont les plus grand (**Anonyme, 2012**).

Les efforts déployés en matière de techniques culturales et de sélection génétique réalisés ces dernières décennies, de par le monde, ont conduit à une amélioration significative des rendements qui sont passés de 8.6 q/ha en 1900 à plus 22.4 q/ha actuellement (FAO, 2006).

La production mondiale de blé dur est de 29,3 millions de tonnes moyenne annuelle pour la période 1988/97 (**Mekhlouf et Bouzerzour,2009**).

I.2 La culture du blé

I.2.1 En Algérie

En Algérie, la culture du blé dur est essentiellement pluviale, elle est par conséquent soumise à des régimes pluviométriques très variables, souvent faibles, et présentant des distributions aléatoires qui sont rarement en adéquation avec les besoins de la plante (**Benseddik, 1995**).

La demande en blé en Algérie est couverte, en partie par la production nationale qui oscille, selon les campagnes (fonction essentiellement, de la pluviométrie), entre 0,9 et 4,9 millions de tonnes. Le reste est satisfait par les importations.

La production de blé en Algérie est caractérisée par des fluctuations très instables. (**Kherch Medjden et Bouchafaa, 2010**).

I.2.2. Description morphologique

I.2.2.1 Caractères du grain

Les grains constituent la base de la classification commerciale. Dans le « triticum durum)), ils sont, d'ordinaire, de couleur ambrée avec des nuances allant, d'un côté, vers une teinte paillée, et, de l'autre, vers une teinte marron rougeâtre; sectionnés, ils présentent- et Ceci est important - une cassure vitreuse, glutineuse, dure, compacte, homogène, de Couleur ambrée.

Les grains du « triticum wlgare) ont une couleur claire avec des nuances qui passent de la teinte blanchâtre à la teinte couleur crème, allant jusqu'au rouge clair et rouge brique, avec une cassure interne blanche, farineuse, riche en amidon, tendre; mais toutefois, sous l'influence des conditions climatiques, nutritives et pédologiques, ils peuvent prendre, graduellement, une consistance toujours plus grande en passant de l'état typiquement farineux à celui compact, comme on peut le remarquer, par exemple, dans les blés «Manitoba)) du Canada, dans les «Red Hard Spring)) et «Red Hard Winter)) des Etats-Unis et du Canada, ainsi que dans les blés «Plata)) de l'Argentine (**Anonyme, 1965**).

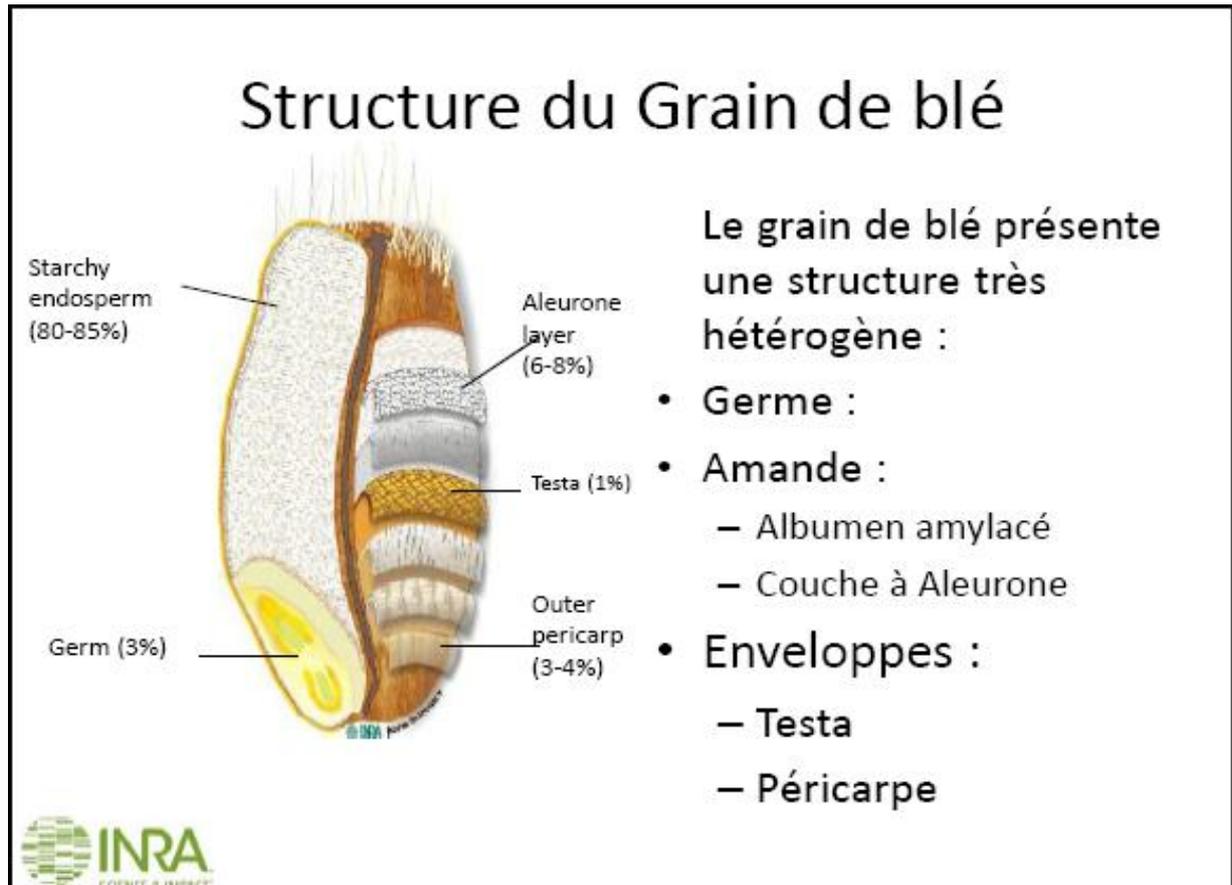


Figure n°01 : Structure du grain de blé. Source :INRA_UMR IATE, 2015

I.2.2.2 Système aérienne

a) **La tige** est formée d'articles ou **entre-nœuds** séparés par des **nœuds**, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est donc le point d'attache d'une feuille

b) **moelle à maturité**. On a alors, selon le cas :

Des pailles creuses : orge, avoine ; des pailles plus ou moins creuses : blé d'hiver (caractère variétal); des pailles pleines, lorsque la moelle est persistante : blé dur, maïs, sorgho.

Les feuilles sont alternes ou distiques (disposées sur deux rangs le long de la tige). Chaque feuille comprend deux parties :

une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant, *la gaine*;

une portion supérieure, *le limbe*.

Les gaines attachées au niveau des nœuds sont emboîtées les unes dans les autres pendant leur jeunesse et forment un tube cylindrique entourant la tige qui se déboîte au fur et à mesure de la croissance des entre-nœuds.

Le limbe, à nervures parallèles est nettement plus long que large, ses dimensions variant notablement d'une espèce à l'autre (blé, 15-20 cm X 1,5-2 cm; maïs, 35-50 cm X 15-20 cm).

A la jonction du limbe et de la gaine, on peut trouver une petite membrane non vasculaire, plus ou moins longue et dentelée, *la ligule*, et de chaque côté

I.2.2.3 Système racinaire.

Toute céréale dispose, au cours de son développement, de deux systèmes racinaires successifs.

a)Le système de racines primaires ou séminales, fonctionnel de la levée au début du tallage. Ce système est constitué d'une racine principale et de deux paires de racines latérales, soit 5 racines; éventuellement se développe une sixième racine à partir de l'épiblaste.

b)Le système de racines secondaires ou de tallage (ou coronales) apparaissant au moment où la plante émet ses talles (voir plus loin).

Ce système se substitue alors progressivement au précédent. Il est de type fasciculé, son importance et sa profondeur variant avec l'espèce :

Chez l'orge il est, relativement au blé, plus superficiel et moins important;

L'avoine a, relativement au blé et à l'orge, un système racinaire plus puissant et plus profond (Moule C, 1971).

I.3 Stades de développement de blé

I.3.1 Germination-levée

Elle correspond à la reprise d'une activité physiologique importante du germe et se traduit par une croissance rapide des méristèmes embryonnaires. Les conditions du milieu, Telles que la température, l'humidité et l'aération du sol doivent être, pour cela favorables.

La teneur en eau du sol optimale est comprise entre 30 -40% de la capacité du champ et la température dans l'intervalle 15°- 22°C. La levée se distingue par l'apparition, hors de la surface du sol, de la coléoptile.

I.3.2 Tallage

Le stade tallage est caractérisé par la manifestation et le développement des tiges Secondaires (talles) correspondant aux entre- nœuds situés au niveau de la couronne.

Le stade tallage dépend de plusieurs facteurs dont la variété qui intervient par sa

Longueur de la phase de formation des ébauches des épillets. Les conditions du milieu et en particulier la température agissent directement sur la durée de la phase tallage.

La nutrition azotée induit généralement la profusion des talles herbacées (**Madani et Hachemi, 2014**).

La profondeur du semis, lorsqu'elle est importante, réduit de la capacité de tallage de la plante. Mentionne qu'un tallage excessif est cependant peu intéressant, car il augmente les besoins en eau de la plante, et sous conditions de déficit hydrique une part importante de ces talles ne monte en épis (**BELAID, 1987**).

I.3.3 Montaison

Elle se distingue par la montée de l'épi sous l'effet de l'élongation des entre-nœuds 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. Ce phénomène se manifeste chez les Jeunes talles par une diminution de la croissance puis par un arrêt de celle-ci (**Gouasmi et Badaoui, 2017**).

I.3.4 Epiaison et la Floraison

L'épiaison se caractérise par l'émission de l'épi hors de la gaine de la feuille étendard, Les épis sortis de leur gaine, fleurissent, généralement, 4 à 8 jours après l'épiaison. Le nombre de grains par épi est fixé, à ce stade. Les facteurs du milieu qui agissent sur le nombre de grains par épi sont la lumière, la température, l'eau et l'azote disponible pour la plante.

I.3.5 Remplissage du grain et la maturation

Cette phase se compose de trois étapes successives. Il y a augmentation rapide du volume et du poids du grain en eau et en matière sèche, au cours de la première étape. Le grain atteint sa forme définitive au delà de 20 jours après épiaison.

Le contenu en eau du grain se stabilise au cours de la seconde étape, si aucune Contrainte hydrique ou thermique ne se manifeste. C'est le pallier hydrique.

C'est une étape qui est sensible aux effets de la variation environnementale, qui se répercute sur le rendement grains (**GATE ; 1987**).

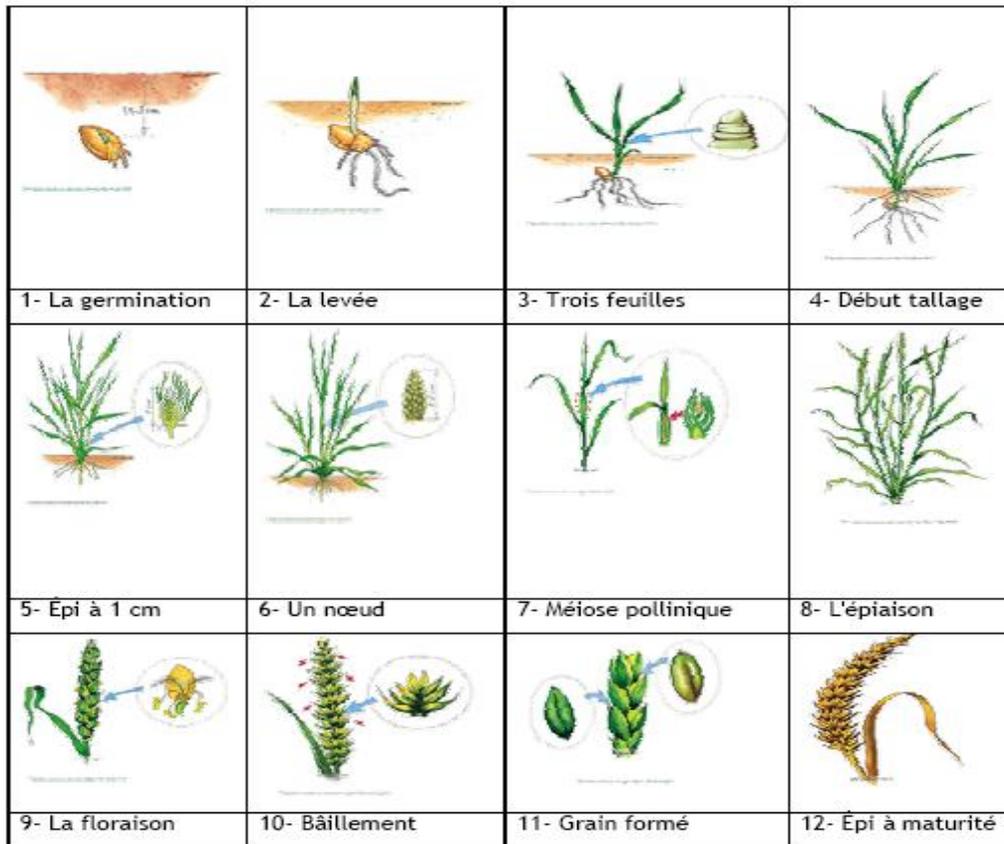


Figure n°02 : Stades repères du cycle de développement du blé .**Source :** (blé hybride HYN0, 2014).

I.4 Exigences agro-climatiques du blé dur

I.4.1 Exigences édaphique

Le blé exige un sol bien préparé, meulé et stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver pour éviter l'asphyxie de la culture et permettre une bonne nitrification au printemps. Sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements. Particulièrement un sol de texture argilo-calcaire, argilo-limoneux, argilo-sableux ne présentant pas de risques d'excès d'eau pendant l'hiver. Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente. Le pH (Gouasmi et Badaoui, 2017) .

Les exigences climatiques des céréales définies par la F.A.O. situent la pluviométrie totale nécessaire en période de croissance entre 450 et 1000 mm, avec une pluviométrie moyenne mensuelle de 45 à 90 mm pour la phase végétative, de 60 à 90 mm pour le stade floraison, et de 55 à 80 mm pour le stade maturation (Boutira, 2015).

I.4.2 Exigences en eau

En région méditerranéenne, la sécheresse est l'une des causes principales des pertes de rendement du blé dur, qui varient de 10 à 80% selon les années. Les besoins en eau de la culture varient de 450 à 650 mm. Au début du cycle, ces besoins sont relativement faibles. C'est à partir de la phase épi 1 cm jusqu'à la floraison qu'ils sont les plus importants. En effet, la période critique en eau se situe de 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison. De nombreuses recherches ont été faites dans ce contexte: Une étude souligne l'effet pénalisant du manque d'eau sur la physiologie de la plante et les composantes du rendement montre qu'un déficit hydrique survenant au stade jeune tallage réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsque ce déficit survient aux stades gonflement ou anthèse, il réduit plutôt le poids des épis et le rendement en grain. C'est cependant le stade juste avant épiaison qui demeure le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70%. (**agrimaroc**)

I.4.3 Température

Cultivé dans une gamme d'environnements différents, le blé dur présente une capacité d'adaptation très large. Les exigences globales en température de cette espèce sont assez importantes et varient entre 1800 et 2400°C selon les variétés. Les températures permettant une croissance optimale et un rendement maximum sont comprises entre 15 et 20°C. En conditions méditerranéenne, les fortes températures au-dessous de 30°C sont stressantes. Elles provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine. Mais elles affectent aussi le poids final des grains en réduisant la durée de remplissage. Au-delà de 32°C, on peut observer des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe ou de la plante. Quant aux basses températures et la tolérance au froid, le blé dur a la capacité de supporter les températures inférieure à 4°C considérée comme la température minimale pour la croissance. Cependant, une seule journée à une température minimale de l'ordre de -4°C entre le stade épi 1 cm et un nœud, pénalise le nombre de grains par épi. (**agrimaroc**)

I.4.4 Lumière

Le blé est une plante à jours longs, car il forme des ébauches d'épillet, lorsque la durée d'éclairement dépasse le seuil appelé *hémeropériode* critique qui diffère selon la variété, 12 à 14 heures, cependant les jours courts retardent beaucoup l'initiation florale qui pourrait coïncider avec une période sèche et des conditions difficiles d'humidité (**Boyeldieu., 1989.**).

I.4.5 Sol

Les meilleurs sols pour le blé dur ce sont les terres de limon, argileux-siliceuses et argileux-calcaire riches chimiquement qui sont les plus favorables, par leur structure stable et coagulée, leur perméabilité et leur réaction voisine de la neutralité. Les caractéristiques des bonnes terres a blé sont extrêmement variable, quant à la structure du sol, l'important est en fait que la terre soit profonde pour permettre le développement complet du système racinaire. La fertilisation peut être un facteur d'augmentation des rendements. Il constitue des points faibles de la céréaliculture Algérienne (**Boufrah et Moussa, 2015**).

I.4.6 Fertilisation

I.4.6.1 Fertilisation azotée

Le blé a besoin de la plus grande part de ses besoins en azote pendant la phase tallage-remplissage du grain. Les besoins en azote à l'automne sont beaucoup moins importants puisque la croissance du blé est modeste. La croissance est toutefois impossible sans azote du tout.

I.4.6.2 Fertilisation phospho-potassique

Sachant qu'il faut 1,7 kg de P, et 2,2 kg de K pour produire un quintal de blé, les besoins de la culture dépendent du rendement objectif. Ce dernier varie essentiellement en fonction des disponibilités en eau au cours du cycle de croissance.

I.4.6.3 Fertilisation en magnésium

Les symptômes de carence en magnésium se manifestent par des plantes rabougries de couleur pâle, qui présentent parfois des rayures internodales. Une application foliaire de sulfate de manganèse au printemps, après la reprise de la croissance, suffit généralement à combler cette carence, bien que quelques champs très carencés nécessitent une application foliaire à l'automne. Sinon, la survie des cultures dans les régions à hiver rigoureux sera compromise (**Bénisseur, 2004**).

Chapitre II: Les besoins en eau, irrigation d'appoint

II.1. Notions d'évapotranspiration

II.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) ou (ET_0)

La définition de l'évapotranspiration potentielle est la suivante : c'est « l'évapotranspiration maximale d'un gazon ras couvrant complètement le sol, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue » (**Perrier, 1977**).

II.1.2. Evapotranspiration Maximale (ETM)

L'évapotranspiration maximale correspond à la consommation d'eau maximale d'une culture, en bon état physiologique, en absence de toute restriction dans son alimentation hydrique. (**Mouhouche, 1983**).

Elle dépend du stade phénologique de la culture. Il peut donc évaluer les besoins maximums des plantes avec la relation suivante :

$$ETM = K_c \cdot ET_0 \text{ (en mm d'eau/ jour)} \dots\dots\dots(01)$$

Avec K_c c'est le coefficient cultural.

II.1.3. Evapotranspiration réelle (ETR)

C'est l'évapotranspiration d'une culture donnée dans les conditions réelles où elles se trouvent. Elle se produit dans un sol occupé par une culture lorsque son humidité varie dans le temps en fonction des ressources en eau disponibles (**Doorembos, 1975**).

II.2. Détermination des besoins en eau

La demande en eau est fonction des conditions climatiques de la région exprimée à travers l'évaporation réelle (ETR) combinaison de l'ETP et le K_c . Les ressources en eau sont la pluviométrie, la réserve en eau du sol et les doses d'irrigation. Pour évaluer la quantité d'eau à irriguer, il faut donc un bilan hydrique. (**Nanotechnologie, 2016**)

Tableau°01: Paramètres pour le calcul des besoins en eau des cultures.

Paramètres	composants	Représenté /synthétisé par
Climatique	Température et humidité de l'air, vent ensoleillement	ETP
Pédologique	Texture, structure ; (infiltrabilité), physicochimie du sol, disponibilité de l'eau de surface (RU)	Le potentiel hydrique
Biologique	Caractéristiques propres au végétal	Le coefficient culture(Kc)

Source: Henanou K, 2018

II.3. Besoin en eau d'irrigation

Étant donné que les besoins en eau d'irrigation diffèrent pour une même culture d'une région à une autre, nous avons eu recours au calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_0) d'une culture standard de gazon poussant dans des conditions optimales. Cette grandeur climatique est liée aux besoins en eau des cultures par le coefficient cultural (Kc), qui dépend à la fois de la culture et de l'état hydrique du sol (**Hamadi et Masmoudi, 2003**).

II.3.1. Besoin net en eau d'irrigation (Bn)

Le besoin net est la quantité qui doit être effectivement consommée par la plante

$$B_n = ETM + R - P + G_e \dots\dots\dots(02)$$

Pe : fraction des précipitations stockées dans la zone racinaire (Pluie efficace)

Ge: Eau souterraine apportée à la zone racinée

R : quantité d'eau superficielle sortant de la parcelle.

II.3.2. Besoin brut en eau d'irrigation(Bb)

Le besoin brut est le volume d'eau qui doit être délivré par le réseau ou prélevé sur la ressource en eau. Il s'agit d'une majoration des besoins nets pour tenir compte :

$$B_{brut} = B_{net} / E_a \dots\dots\dots(03)$$

Avec **Ea** : efficacité d'application ou l'efficience d'irrigation.

II.4.Coefficient cultural Kc

Le Coefficients culturaux Kc est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ETM) et l'évapotranspiration de référence (ET₀). Nous désignons par K_{ini}, K_{mi} et K_{ar}, les coefficients culturaux respectifs des phases initiales, de mi-saison et d'arrière-saison (**Hamadi et Masmoudi, 2003**).

Le coefficient cultural Kc facteur par lequel on multiplie l'ET₀ pour déterminer l'ETM (Evapotranspiration Maximale). Le Kc varie en fonction du stade de développement de la culture. (**Anonyme ,2014**)

Tableau n°02:Tableau des coefficients culturaux et des phases de culture du blé

Culture	Kc ini	Kc mid	Kcend	Hauteur maximale de couvert (m)
blé	0,40	1 ,15	2,25à 0,40	1,0

Source :**Jean. Robert T et Alain.V ,2006**

A un stade de développement donné "le coefficient cultural sera un nombre caractéristique de chaque culture traduisant le rapport entre son évapotranspiration réelle maximale (ETM) et l'expression de référence" (**Cardon et Crebet, 1990**).

II.4.1.Les phases de culture

Initiale: du semis à un taux de couverture de 10%. **Kc = Kc INI**, généralement faible, mais variant fortement en fonction de la fréquence des apports d'eau (pluie, irrigation)

Croissance: jusqu'à couverture maximale. **Kc INI < Kc < Kc MID**, fin de la partition évaporation/transpiration

Maturité: jusqu'au premier jaunissement/chute des feuilles. **Kc = KcMID** est maximum et constant (généralement > 1)

Sénescence: Jusque Jaunissement complet ou à la récolte **Kc MID < Kc < Kc END** (stade moins important en terme de besoin en eau et de pilotage de l'irrigation sauf dans le cas de cultures à récoltes multiples) (**Duchemin,2002**)52).

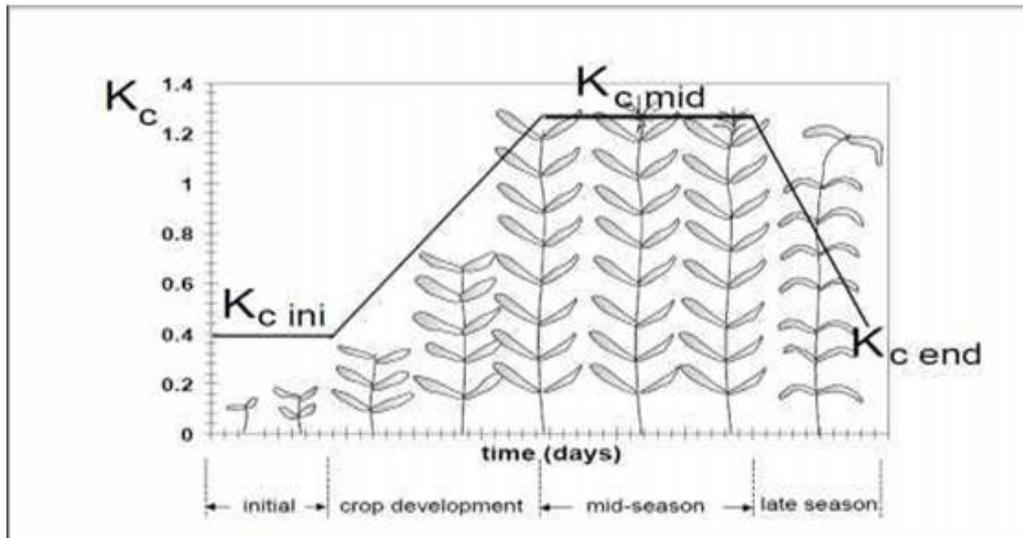


Figure n°03 : Les phases de culture du blé. **Source**: blé hybride HYNO, 2014.

II.5. Relation : Eau- Sol-Pante

II.5.1. Eau dans le sol

Le sol est la couche superficielle soumise aux conditions météorologiques, c'est le support et le réservoir de la plante dont elle puise de l'eau et les éléments indispensables à son alimentation. Les sources principales de l'eau du sol sont l'eau de précipitation et l'eau souterraine (Boufrah et Moussa, 2015).

II.5.1.1. Circulation de l'eau dans le sol

La circulation de l'eau dans le sol est un phénomène lié au fait que la partie végétative des plantes terrestres présente une extrême dispersion des valeurs du potentiel hydrique. La plante rejette continuellement par son feuillage de l'eau dans l'atmosphère, rejet qu'elle doit compenser en absorbant de l'eau dans l'atmosphère, rejet qu'elle doit compenser en absorbant de l'eau au niveau du sol (Boufrah et Moussa, 2015).

II.5.1.2. Teneurs en eau caractéristiques

Différents concepts et définitions relatifs à l'humidité des sols ont été développés dans l'optique d'une utilisation pratique. Les définitions des humidités caractéristiques sont :

Humidité à la saturation : teneur en eau à saturation du sol en condition de champ. En réalité, le sol n'atteint jamais une saturation complète car une certaine quantité d'air y reste toujours emprisonnée.

Humidité à la Capacité au champ : teneur en eau du sol après que l'excédent d'eau se soit drainé et que le régime d'écoulement vers le bas soit devenu négligeable, ce qui se produit habituellement d'un à trois jours après une pluie ou une irrigation.

Humidité à la Point de flétrissement : teneur en eau du sol où la plante ne peut y puiser l'eau nécessaire à sa survie, y subit des dégâts irréversibles et elle meure.

Humidité critique : la teneur en eau du sol lorsque la plante commence à souffrir d'un manque d'eau et que sa croissance en est affectée. Cette teneur en eau est utilisée en gestion de l'irrigation. Elle est aussi appelée point de flétrissement temporaire par certains (**Anonime, 2016**).

II.5.1.3. Notion de Réserve Utile (RU) et de Réserve Facilement Utilisable (RFU)

La réserve utile (RU) correspond à la capacité de rétention du sol dans le volume exploité par les racines. Elle est exprimée par la formule suivante:

$$RU = (H_{ce} - H_{pf}) \times d_a \times Z_r \dots \dots \dots (04)$$

Avec :

H_{ce} = humidité à la capacité a champ. %

H_{pf} = humidité au point de flétrissement permanent. %

d_a = densité apparente.

Z_r = la profondeur d'enracinement. m

La réserve facilement utilisable (RFU) est la quantité d'eau qu'une plante peut extraire d'un sol sans que sa production ne soit affectée. Les doses d'irrigation sont calculées à partir de la RFU et on irrigue dès que celle-ci est épuisée. La RFU est exprimée en fonction de la RU en introduisant un coefficient f selon la formule suivante:

$$RFU = f \times RU \dots \dots \dots (05)$$

En pratique, le coefficient (f) varie de 1/2 à 1/3, mais généralement il est admis de lui donner la Valeur de 2/3 (**Boulal et Zaghouane, 2007**).

II.6. La précipitation en Algérie

Durant ces dernières décennies, le régime des pluies en Algérie a accusé une régression importante suivie de fortes chaleurs générant une évapotranspiration élevée avec un stress hydrique nuisible au rendement des cultures, rendant difficile toute amélioration de la production céréalière (**Zouaoui et Bensaid, 2008**).

II.7. Irrigation de complément ou d'appoint

L'irrigation de complément peut être définie comme l'addition de petites quantités d'eau aux cultures pluviales, essentiellement pendant les périodes où les précipitations ne fournissent pas suffisamment d'humidité pour la croissance normale des plantes, afin de stabiliser les rendements. Dans le cas de l'irrigation conventionnelle, la principale source d'humidité du sol est l'eau d'irrigation, et les pluies ne constituent qu'un apport complémentaire (**ICARDA, 2011 in Barbier et al2015**).

L'irrigation de complément à partir de petits bassins individuels: Potentiel et perspectives pour les pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest. (**uploads.2015**)

L'irrigation d'appoint se distingue de l'irrigation pérenne par le fait qu'elle consiste à apporter une quantité d'eau limitée aux cultures pour pallier au déficit hydrique et ceci dans le but de stabiliser les rendements. Ce type d'irrigation est d'autant plus bénéfique qu'il est appliqué aux stades critiques de la culture (**El Mourid., Karrou., 1993**).

L'irrigation est définie comme étant un apport d'eau, afin d'augmenter et de stabiliser la production. Deux

Types d'irrigation sont pratiqués actuellement, l'irrigation d'appoint et l'irrigation totale. La différence entre l'irrigation d'appoint et l'irrigation totale peut être résumée comme **suit**:

Dans le cas de **l'irrigation totale**, on apporte la quantité d'eau supplémentaire nécessaire pour satisfaire totalement les besoins en eau (optimum) de la culture ; alors que, dans le cas de **l'irrigation d'appoint**, on apporte une quantité d'eau limitée et ce, quelles que soient les conditions pluviométriques de l'année (**Handoufe ., Berkaoui., 1992**).

Ce type d'irrigation est basé sur la satisfaction totale des besoins en eau de la culture pour atteindre les rendements potentiels. L'objectif de cette irrigation est d'atteindre l'ETM de la culture. Les besoins en eau sont apportés à différentes périodes du cycle de la culture en

complément aux précipitations. Dans ce cas, la période d'apport des irrigations est fonction de l'humidité du sol et des précipitations

Ainsi, le nombre des irrigations pour satisfaire le besoin total des plantes est fonction de la zone agro climatique:

- dans les zones humides ou favorables : **1 à 3** irrigations sont suffisantes pour combler le déficit hydrique ;
- dans les zones semi-arides : il est recommandé d'apporter **3 à 4** irrigations ;
- dans les zones arides : **5 à 6** irrigations doivent être apportées ;
- dans les zones sahariennes (système oasien) : **8 à 10** irrigations peuvent être apportées.

Le nombre d'irrigations précité pour chacune des zones peut être revu à la hausse en cas de semis tardifs, d'utilisation de variétés à cycle long ou de sols peu profonds (**Boulal ., Zaghouane ., 2007**).

En Algérie, les résultats des essais indiquent que la meilleure période d'irrigation se situe généralement durant la phase **allant de la montaison** au début de **la formation du grain**. Durant cette phase, les besoins en eau de la céréale sont relativement importants et la culture est très sensible au stress. Pour le cas des céréales, l'irrigation totale est pratiquée uniquement au sud, comme c'est le cas des Systèmes oasiens. Autrement, la pratique la plus courante reste l'irrigation d'appoint ou complémentaire Pour pallier à un déficit hydrique à une période donnée (**Ameroun et al., 2002**).

II.8. Calcul d'efficacité d'utilisation de l'eau des Blés

L'agriculture irriguée se trouve confrontée aujourd'hui à un double défi le premier qui est d'améliorer l'efficacité globale d'utilisation de l'eau des systèmes d'irrigation (transport, distribution et application de l'eau de la parcelle). Le second qui est d'augmenter la productivité de l'eau utilisée (utilisation et valorisation par les cultures). L'amélioration de l'efficacité de l'eau passe certes par l'augmentation de l'offre (plus grande mobilisation de ressources en eau) mais aussi et surtout par l'amélioration de la gestion de la demande en agriculture et sa meilleure valorisation. Ce sont là, sans doute, les leviers les plus importants sur lesquels il faut agir pour améliorer les efficacités de l'eau et garantir une utilisation durable de la ressource pour les générations futures (**Bouaziz et Belabba, 2002**).

II.8.1. Méthodes de détermination de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE)

L'EUE est défini comme étant rapport du l'eau consommée par la culture et le rendement ou la production, c'est à dire l'évapotranspiration réelle (ETR), exprimé en kg/mm/ha ou kg/m³.

La formule utilisée :

$$E_{ff} = M / B \dots \dots \dots (06)$$

Avec :

E_{ff} : L'efficacité d'utilisation de l'eau (Kg/mm³) ;

B : besoins en eau (m³/ha) ;

M : poids de la production commercialisable (Kg/ha).

L'efficacité d'utilisation de l'eau se fait d'abord en partie, pour chaque station, puis, elle est calculée Pour l'ensemble du territoire national en prenant la moyenne arithmétique des Wilayas concernés par la production (**Mehbali . et Tararbit.,2014**) .

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1 . Introduction

Notre étude porte sur 30 wilayas de l'Algérie représentées par 30 stations météorologiques à savoir : Alger, Annaba,Oran, Skikda, Djelfa, Msila, Tairret, Tbessa, Jijel, Médéa, Tizi-Ouzou, Mascara, Bejaia, Batna, Sétif, Tlemcen, Biskra, EL Oued, Bouira, Sid Bel Abbés, Saida, Guelma, Constantine, Om el Bouaghi, Chelef, Mostaganem, Bordj bou arreiridj, Souk hrass, Khenchla ,Tipaza.

Nous avons choisis la wilaya de Tipaza à titre d'exemple pour le calcul des besoins en eau de blé ainsi que son efficience d'utilisation de l'eau EUE.

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période moyenne de 10 ans pour chaque station, le recueil des données climatiques (pluviométrie, température, humidité relative, vitesse du vent et durée d'ensoleillement) a été effectué auprès de l'ONM d'Alger et de l'ANRH représentées dans **l'annexe n°01**

Dans cette partie nous allons prendre le cas de la Wilaya de Tipaza comme étude de cas pour déterminer les besoins en eau du blé ainsi que son efficience d'utilisation de l'eau.

Les 30 stations étudiées se situent dans les régions du Nord et des hauts plateaux et des régions du Sud. Le climagramme d'Emberger présente les étages bioclimatiques des wilayas concernées.

Tableau n°03: Les étages bioclimatiques en Algérie

Etage bioclimatique	Pluviosité annuelle mm
Per humide	1200- 1800
Humide	900-1200
Sub humide	800-900
Semi aride	600-300
Aride	300-100
Saharien	≤100

Source : (Nedjraoui,2001).

I .2. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique d'EMBERBER (Q2) est déterminé par la combinaison des 3 principaux facteurs du climat. Il est donné par la formule suivante :

$$Q2 = 2000P/M2- m.....(07)$$

donc

P : pluviométrie annuelle moyenne en mm

M : moyenne des maximal du mois le plus chaud en degrés

m : moyenne des minimal du mois le plus froid en degrés

STEWART (1969) en transformant cette équation a obtenu pour le climat méditerranéen la formule suivante :

$$Q2= KP/M-m.....(08)$$

K : constante qui est à 3,43 ; les températures en degrés Celsius pour M et m ; P est la pluie en mm. Le facteur M-m est l'expression de l'évaporation, en général elle est d'autant plus forte que (M-m) est plus grand (**Emberger in Letrech- Belarouci. ,2001**).

Tableau n°04: Températures minimales et maximales mensuelles pluie moyenne annuelle et quotient Q par station :

Willaya	T °C	T min °C	P (mm)	Q
Alger	32,65	4,81	549,7	67,6
Annaba	31,82	6,33	678,96	91,2
Oran	32,25	6,163	346,413	43,8
Skikda	30,05	8,77	681,44	109,4
Djelfa	34,53	0,25	265,84	26,7
Msila	36,34	3,1	176,51	18,1
Tairret	35,94	-0,25	409,71	38,86
Tbessa	36,22	1,52	416,31	41,1

Jijel	31,6	6,4	964	130,9
Médéa	30,9	4,4	627,5	81,4
TiziOuzzou	36,1	6,7	767,4	88,6
Mascara	32,6	4,7	350,4	43
Bejaia	30,9	7,8	701,7	103,8
Batna	36,8	0,13	362,92	33,9
Setif	34,57	0,36	420,24	42,3
Telemcen	33,601	5,263	328,47	39,6
Biskra	40,8	7	178,27	17,8
EL Oued	38,04	5,16	82,89	8,6
Bouira	35,2	4,3	490,31	54,2
Sid Bel Abbés	34,7	4	345,4	38,5
Saida	35,7	3,4	362,6	38,3
Guelma	36,3	4,6	719,9	77,3
Constantine	34,5	2,9	564,8	61,2
Om el Bouaghi	34,6	1,6	420	43,7
Chelef	37,5	6,5	357,5	39,1
Mostaganem	31,6	2,6	410,8	48,8
Bordj bou arreiridj	34,2	2,8	364,9	39,7
Souk hrass	33,7	3,5	697,3	79,1
Khenchla	34,5	2,3	465,8	50,3
Tipaza	33	8,16	606,06	83,16

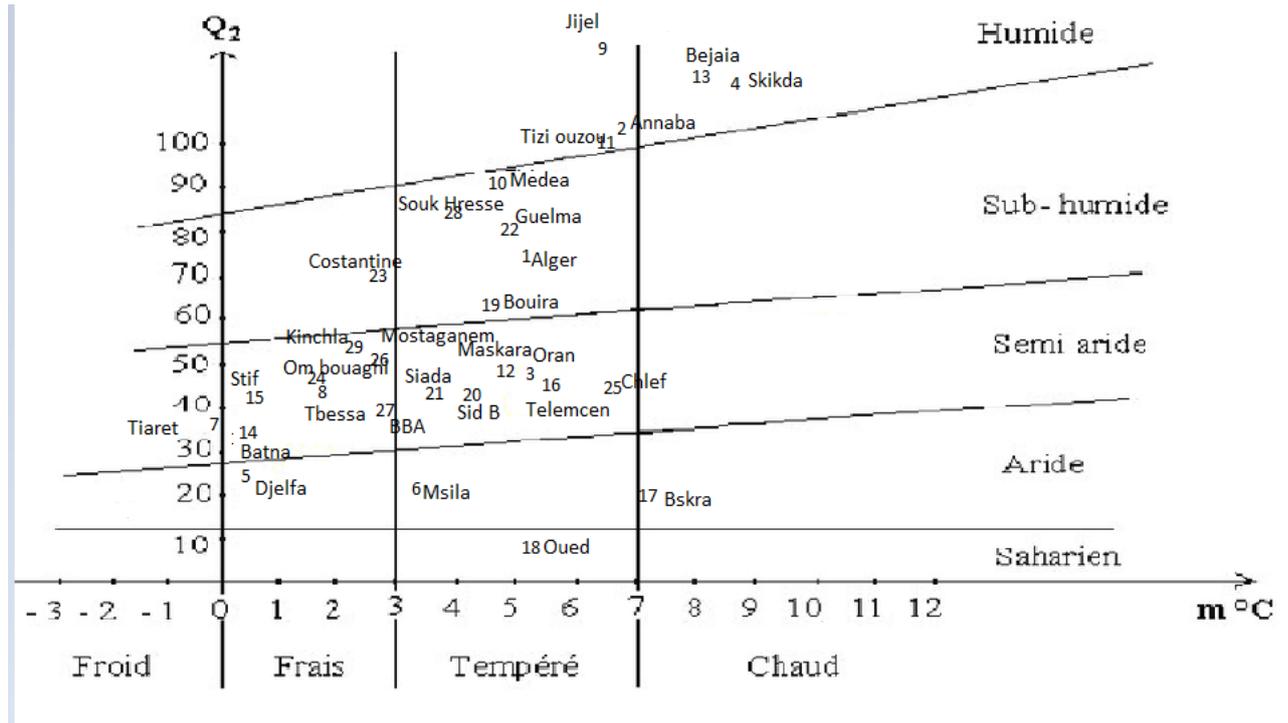


Figure n°04 : Positionnement des stations sur le climagramme d’Emberger

Cas de la wilaya de Tipaza :

I .3. Situation géographique et administrative

La wilaya de Tipaza, est une wilaya algérienne située à 68 km à l’ouest de la capitale Alger. Le chef-lieu de la wilaya est Tipaza.



Figure n°05 : Situation géographique de la wilaya de Tipaza. Source :(ANDI 2013)

La présence de la mer, des reliefs du Chenoua et du Dahra donnent un paysage particulier et d'un intérêt touristique. De nombreux vestiges puniques, romains, chrétiens et musulmans attestent de la richesse de l'histoire de cette région. La population parle l'arabe dialectal et le berbère dans sa variété locale appelée haqbaylith ou bien Chenoui propre à la région du Dahra.

La wilaya de Tipaza est située sur le littoral Nord-Centre du pays. Elle s'étend sur une superficie de 1 707 km². Elle est limitée par:

- La mer méditerranée au Nord ;
- La Wilaya de Blida au Sud-Est ;
- La Wilaya d'Aïn-Defla au Sud Ouest
- La Wilaya de Chlef à l'Ouest ;
- la Wilaya d'Alger à l'Est.

Le Chef lieu de la wilaya est située à 123 km à l'ouest de la capitale, Alger (**Anonyme, 2011**).

I .4. Secteur de l'Agriculture

Les superficies relatives des plaines (35,8%) ainsi que les collines et des piémonts (33,8%) donnent à ce secteur une place particulièrement importante dans la vie économique de la Wilaya. Les terres sont délimitées en trois grandes zones agro-climatiques ;

- La première étant le Sahel qui englobe toute la SAU du littoral dont la vocation est essentiellement maraîchère ;
- La seconde dénommée la plaine de la Mitidja constitue le futur berceau d'une agriculture intensive avec la mise en eau du périmètre irrigué. Ce périmètre couvre une superficie de 14 000 ha.
- Les cultures principales de cette zone sont les agrumes, l'arboriculture fruitière, la pomme de terre, les fourrages et les céréales. Ce sera aussi le futur bassin laitier de la Mitidja ouest.

- La troisième zone est formée par une zone montagneuse. Elle est constituée par les monts du Dahra, le Zaccar et celui du Chenoua. Elle est particulièrement favorable à l'arboriculture rustique ainsi qu'à l'élevage local bovin et caprin.

Les cultures pratiquées sur les terres de la wilaya varient selon la nature du sol. Elles sont dominées par les cultures suivantes :

- Céréales : 19 866 ha (30,7 %) ;
- Maraichages : 14 623 ha (22,6 %) ;
- Arboriculture : 8 823 ha (13,7 %) ;
- Fourrages : 6 103 ha (9,5 %) ;
- Viticulture : 4 133 ha (6,4 %) ;
- Légumes secs : 398 ha (0,7 %) ;
- Cultures industrielles : 455 ha (0,7 %). . **(ANDI 2013)**

I .5.Relief

Le territoire de la wilaya de Tipaza couvre une superficie de 1 707 km² qui se répartit en :

Montagnes : 336 km² ;

Collines et piémonts : 577 km² ;

Plaines : 611 km² ;

Autres : 183 km².

Au nord-ouest de la Wilaya, la chaîne de montagnes comprenant l'Atlas blidièn laisse la place à deux importants ensembles :

Les Monts du Dahra et du Zaccar ;

Le Mont du Chenoua.

Au nord-est, la Mitidja s'étend essentiellement sur la wilaya de Blida et se trouve limitée au niveau de la wilaya de Tipasa par le bourrelet constitué par le Sahel (Altitude Moyenne 230 m).

Au nord du Sahel un cordon littoral présente un rétrécissement et une élévation graduelle d'Est en Ouest jusqu'à disparition par endroits à Tipasa et dans les Dairas de Cherchell et Sidi Amar où le relief très accidenté autour du mont du Chenoua présente des escarpements importants en bordure de la mer.

I .6.Hydrographie

La wilaya de Tipaza dispose d'un réseau hydraulique important. D'est en ouest :

Oued Mazafran ;

Oued El Hachem ;

Oued Djer ;

Oued Damous.

I .7. Caractéristiques climatique.

Le climat de la zone d'étude est de type **sub-humide** , c'est -adire qu'ill est doux et humide en hiver et chaud et sec été. Les conditions climatiques sont dans l'ensemble favorables à l'activité agricole de la zone.

I .7.1. Les précipitations

La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre 606.02 mm/an, elle est plus important dans l'Atlas que dans la plaine. Les précipitations atteignent leur apogée en décembre, janvier et février, mois qui donnent environ **30 a 40 %** des précipitations annuelles. Inversement, les mois d'été (juin a aout) sont presque toujours secs, la répartition saisonnière est comma suit :

* Saison pluvieuse de Janvier, Novembre et Décembre ;

* Saison sèche de juin, Juillet et Aout;

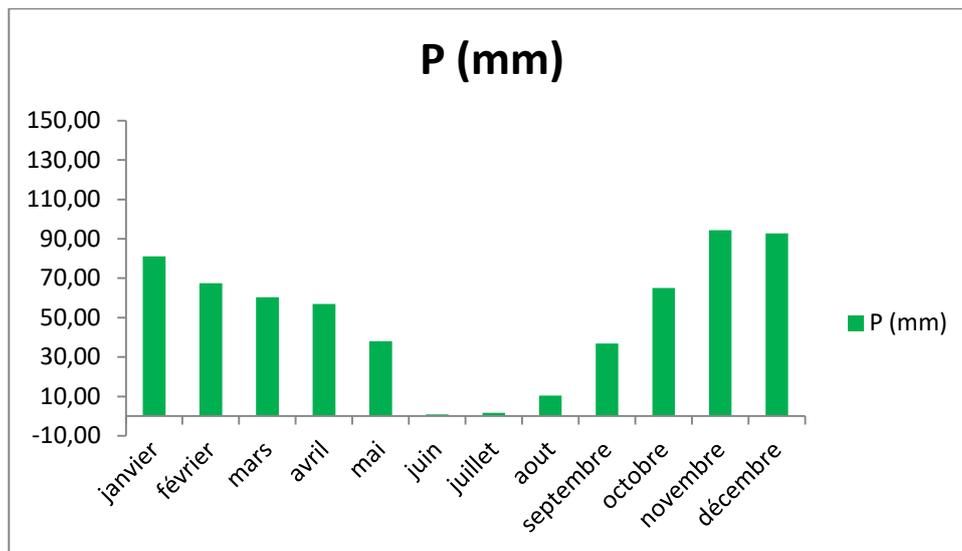
*Saison a pluviométrie moyenne Février, Mars avril, mai et septembre, octobre.

La pluviométrie moyenne mensuelle enregistrée sur une période de 10 ans et synthétisée dans le tableau :

Tableau n°05: Pluviométrie moyenne mensuelle (10ans)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Pluie (mm)	81.14	67.49	60.38	56.94	37.94	0.81	1.73	10.49	36.8	65.09	94.4	82,8	606.02

Source : A.N.R.H, 2002.2012

**Figure n°06:** La Pluviométrie moyenne mensuelle (mm)

La **figure n°06** montre que le période sèche s'étale de juin jusqu'à août, et l'autre période la plus pluvieuse qui s'étale septembre jusqu'à mai

I.7.2. La température

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 10 ans. Les Minimal enregistrés varient 8.16 a 20.37 °C, respectivement aux mois de février et Juin, alors que les maximas variant de 17 a 33°C respectivement aux mois de janvier et Juin, avec une moyenne des minimum de 14 et des maximas de 24°C (**Tableau n°04**).

Tableau n°06: Température moyenne mensuelle (10ans)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	moy
T (min) °C	8.18	8.16	11.06	11.34	14.01	19.32	20.37	20.16	16.99	13.97	11.84	10.39	13.8
T (max)°C	17	17	19	21	26	30	33	32	30	27	20	17	24
T (moy)°C	12	12.08	14.5	15.61	19.81	24.41	26.52	26.39	23.37	20.04	15.91	12.80	19

Source : A.N.R.H, Tipaza, 2002.2012

I.7.3. Les vents

Les vents dominants soufflent de l'est à l'ouest, leur maximum est enregistré au mois de Avril avec 2.4 m/s et leur minimum au mois Aout avec 1.9 m/S (tableau).

Tableau n°07: Les Vents moyenne mensuelle (10ans)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avar	Mai	Jiu	Jiu	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec	moy
Vent (m /s)	2.2	1.9	2.1	2.4	2.3	2.3	2.2	1.9	2.2	1.9	2.1	2.3	2.2

Source : A.N.R.H, Tipaza, 2002.2012

I.7.4. L'humidité de l'air

Il s'agit d'un élément important du cycle hydrologique contrôlant entre autre l'évaporation du sol et la transpiration du couvert végétal. Concernant l'humidité relative relevée à la station de **Tipaza**, le mois le plus humide est le mois de février avec 79%. Alors que le mois le moins humide coïncide avec les mois de Juin ; Juillet ; Aout avec 68%. Avec une moyenne annuelle de 73% (tableau)

Tableau n°08: L'humidité de l'air moyennes mensuelles (10ans).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	moy
Humidité%	77	79	74	73	73	68	68	68	70	73	76	77	73

Source: A.N.R.H, Tipaza, 2002.2012

I.7.5. Durée d'insolation

Le (tableau) montre une durée d'insolation de 11.1 h/j au mois de Juillet et 4.8 h/j au mois de décembre avec une moyenne annuelle de 7.3 h/j.

Tableau n°09: Durée d'insolation de moyennes mensuelles (10ans).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	moy
Insolation (h/j)	5.3	5.5	6.9	7.5	8.6	6.6	11.1	10.03	8.4	7	5.7	4.8	7.3

Source : A.N.R.H, Tipaza, 2002.2012

I.7.6. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration de référence ET_0 déterminée à l'aide du logiciel CROPWAT varie de 1.39 mm au mois de décembre à 6.02mm au mois de juillet (**tableau**).

Tableau n°10: L'évapotranspiration moyenne mensuelle (10ans).

Mois	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	moy
ET_0 mm/j	1.46	1.57	2.6	3.36	4.27	4.77	6.02	5.32	4.27	2.92	1.84	1.39	3.32

Source : A.N.R.H, Tipaza, 2002.2012

D'après le diagramme bioclimatique d'emberger (**figure n°07**), on peut dire que la wilaya de Tipaza est dans l'étage bioclimatique sub-humide et à hiver chaud.

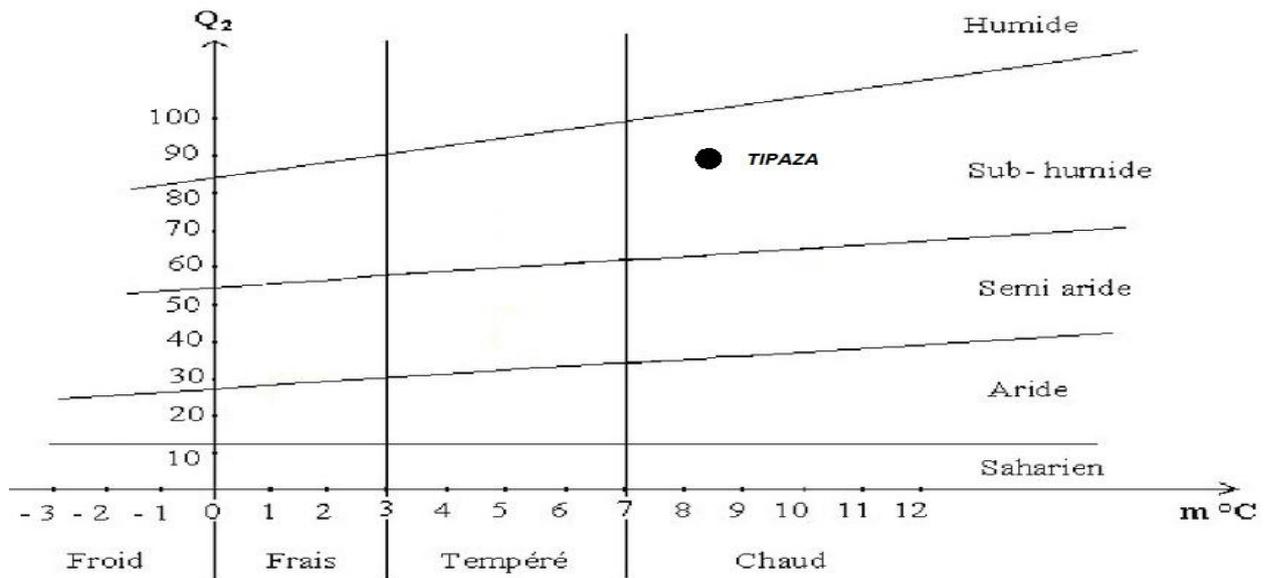


Figure n°07 : le point de projection de la wilaya de Tipaza dans le climagramme d'Emberger.

I.7.7. Diagramme ombrothermique de Gaussen

C'est une représentation graphique de variation des précipitations et des températures en fonction de temps (mois), en utilisant les températures moyennes mensuelles de la station de Tipaza, et Les précipitations moyennes annuelles. D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 5 mois, elle commence de la fin avril jusqu'au début octobre.

T: Température moyenne mensuelle en °C on $T = (T_{max} + T_{min}) / 2 \dots \dots \dots (09)$

P: Précipitations moyenne mensuelle en mm $(P = 2T)$

Tableau n°11: Température et la pluie moyenne (10ans).

Mois	P (mm)	T moy (°C)
janvier	81,14	12
février	67,49	12,08
mars	60,38	14,5
avril	56,94	15,61
mai	37,94	19,81
juin	0,82	24,41

juillet	1,73	26,52
août	10,49	26,39
septembre	36,80	23,37
octobre	65,09	20,04
novembre	94,42	15,91
décembre	92,82	12,80

Source : A.N.R.H, Tipaza,et tutiempo.net ,2012

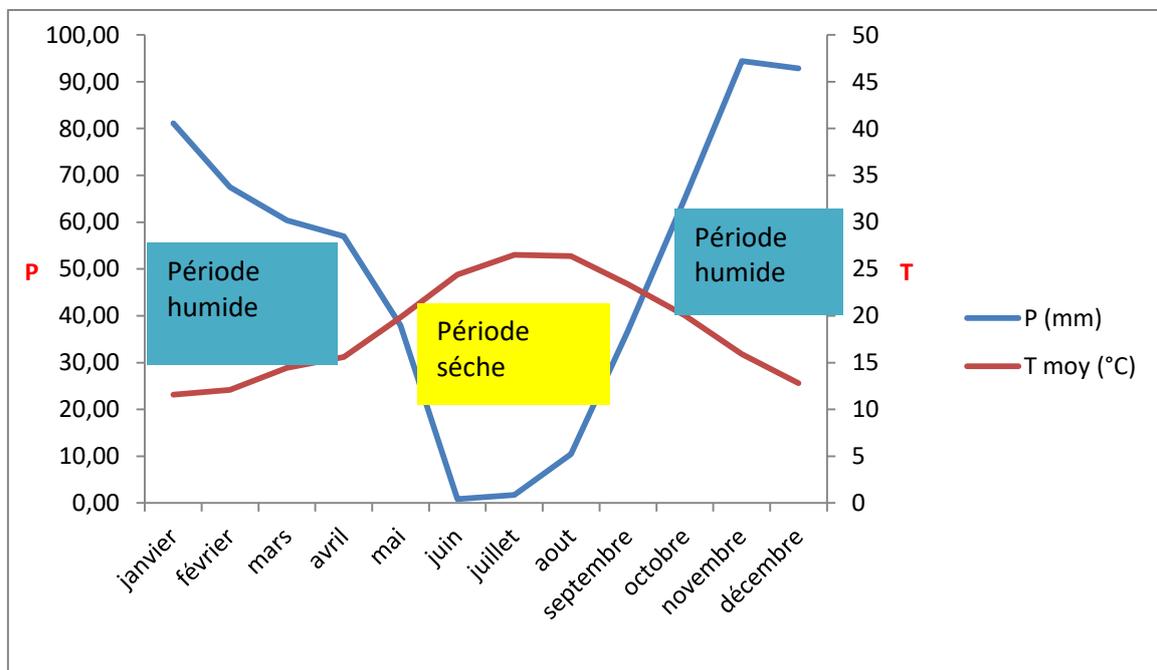


Figure n°08 : Diagramme Ombrothermique de bagnole et Gousse 2002 – 2012 (Tipaza).

D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 4 mois, elle commence de la fin de ' mai, jusqu'è début d'octobre et (les diagrammes ombrothermique des autres stations dans un tableau **annexe n°02**.

Chapitre II: Présentation de logiciel CROPWAT 8.0

II.1. Introduction

En termes d'économie d'eau, la maîtrise des besoins en eau des cultures permet d'agir sur les doses à apporter et donc d'économiser de façon significative la consommation en eau. Pour cela, la FAO a mis en place un outil simple et efficace, facile d'utilisation et rapide pour le calcul des besoins en eau des cultures, c'est le logiciel Cropwat, version 8.0.

Rappelons que nous disposons actuellement d'un certain nombre de modèles informatisés permettant d'évaluer les besoins en eau des cultures (Aquacrop, Cropwat, etc.). Le logiciel Cropwat est un outil de référence pour l'estimation des besoins en eau des cultures. Il permet d'étudier judicieusement ces informations en vue d'une utilisation rationnelle des ressources hydriques sur la base des données climatiques.

Nous avons calculé l'ET₀ à l'échelle nationale pour les 30 Wilaya représentées par 30 stations météorologiques sur une durée de 10 ans (2002-2010) pour l'exemple de Tipaza, par la formule de Penman modifiée par la FAO et qui est proposé dans le Cropwat et en vue d'estimer les besoins en eau d cultures du blé conduit en ETM et ressortir un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et les bilans hydriques.

II.2. Présentation la logicielle (CROPWAT 8.0)

Le logiciel Cropwat exige cinq 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 celles des aéroports ou dans les zones urbaines sont à éliminer. En cas ou 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 du vent dans son Bulletin-56 (FAO, 1998).

II. 3. Evaluation des besoins en eau des cultures

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance les paramètres suivants :

- Les données climatiques donneront les informations nécessaires concernant les besoins en eau de la culture ;
- Les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve utile du sol ;
- Les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante, sur la base de sa profondeur racinaire.

II.3.1. Les données climatiques

II.3.1.1. Les données climatiques et calcul de l'ETP (Exemple de Tipaza) :

Le logiciel Cropwat a besoin de l'intervention de 5 données climatiques sur 30 stations et comme notre travail a porté sur 30 stations, Nous avons opté pour la station de Tipaza avec ses coordonnées géographiques (altitude, longitude et latitude) comme suit :

La latitude : 36° 49' 00"N,

La longitude : 2° 81' 00",

L'altitude: 170m.

L'ensemble des données entrées dans logiciel Cropwat sont représenté dans la **figure°15**. (Tutiempo.net)

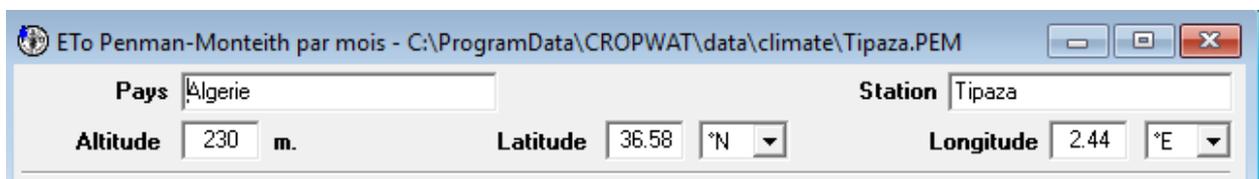
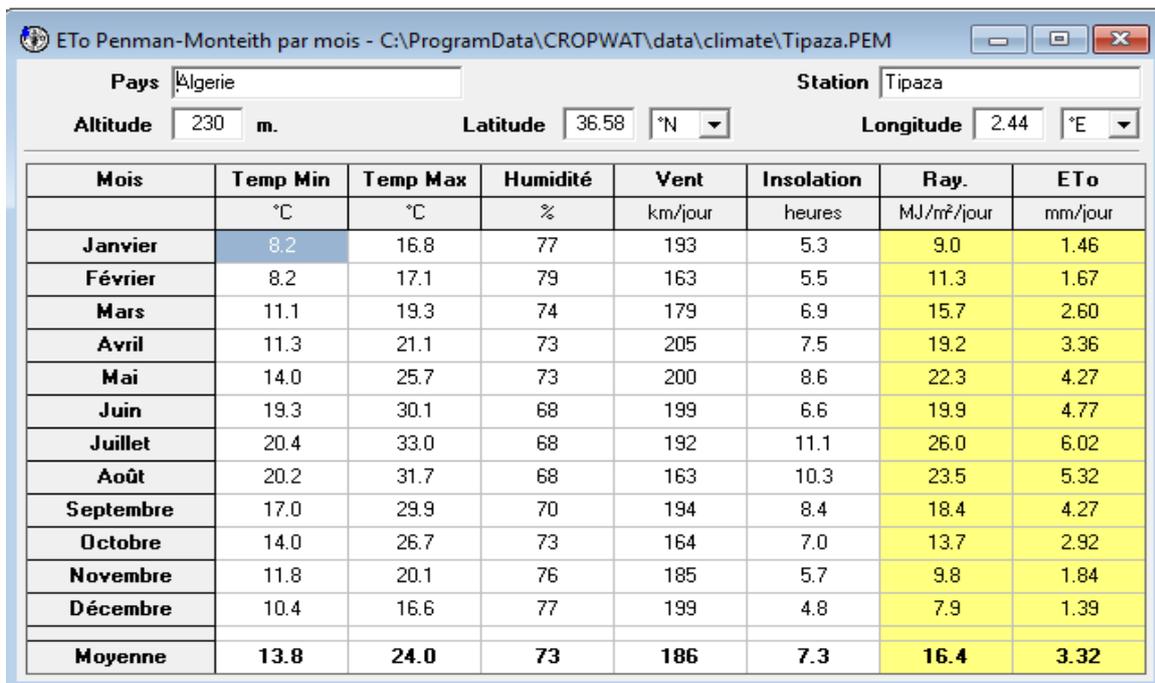


Figure n°09 : Les données sur la station météorologique

On introduit les températures moyennes maximales et minimales (°C), l'humidité relative de l'air (%), la vitesse du vent (m/s) et l'insolation journalière (heures/jour) (**Annexe n°1**). Les données introduites de chaque paramètre sont mensuelles. L'ensemble de données climatiques entrées dans le logiciel Cropwat sont synthétisés par la figure



Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m²/jour	mm/jour
Janvier	8.2	16.8	77	193	5.3	9.0	1.46
Février	8.2	17.1	79	163	5.5	11.3	1.67
Mars	11.1	19.3	74	179	6.9	15.7	2.60
Avril	11.3	21.1	73	205	7.5	19.2	3.36
Mai	14.0	25.7	73	200	8.6	22.3	4.27
Juin	19.3	30.1	68	199	6.6	19.9	4.77
Juillet	20.4	33.0	68	192	11.1	26.0	6.02
Août	20.2	31.7	68	163	10.3	23.5	5.32
Septembre	17.0	29.9	70	194	8.4	18.4	4.27
Octobre	14.0	26.7	73	164	7.0	13.7	2.92
Novembre	11.8	20.1	76	185	5.7	9.8	1.84
Décembre	10.4	16.6	77	199	4.8	7.9	1.39
Moyenne	13.8	24.0	73	186	7.3	16.4	3.32

Figure n°10 : calcul de l'ET₀

II.3.2. Les données pluviométriques

Cropwat utilise les données pluviométriques mensuelles pour calculer les précipitations efficaces. Le logiciel ne permet de rentrer que des données pluviométriques mensuelles, il est possible de rentrer des valeurs journalières dans le logiciel. Le logiciel interpole les valeurs mensuelles pour obtenir des valeurs journalières. Cropwat offre la possibilité d'utiliser plusieurs méthodes pour calculer les précipitations efficaces :

- Pourcentage fixé de précipitations.
- Précipitations probable.
- Equation empirique.
- Méthode Service USDA Conservation des sols.
- Précipitations non considérées pour les calculs d'irrigation (Précipitations efficaces = 0)

The screenshot shows a software window titled 'Précipitations par mois - C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\Tipaza.CRM'. The 'Station' field contains 'Tipaza' and the 'Méthode Précipitations eff.' field is set to 'Méthode USDA S.C.'. Below this is a table with three columns: 'Mois', 'Pluie (mm)', and 'Pluie eff. (mm)'. The table lists monthly data from January to December, along with a total row.

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	81.1	70.6
Février	67.5	60.2
Mars	60.4	54.6
Avril	56.9	51.7
Mai	37.9	35.6
Juin	0.8	0.8
Juillet	1.7	1.7
Août	10.5	10.3
Septembre	36.8	34.6
Octobre	65.1	58.3
Novembre	94.4	80.1
Décembre	92.8	79.0
Total	605.9	537.6

Figure n°11 : calcul des pluies efficaces.

Dans notre étude, nous avons choisis la méthode USDA pour la détermination de la pluie efficace comme suit :

La méthode USDA-CSC (Mehbali . et Tararbit., 2014).

Pour calculer la pluie efficace, Cropwat utilise la formule de l'USDA -SCS :

$$P_{\text{eff}} = P_{\text{tot}} \times (125 - 0.2 \times P_{\text{tot}}) \div 125 \dots\dots\dots (06)$$

Pour des précipitations inférieures à 250mm.

P_{eff} : Précipitation efficace (mm)

P_{tot} : Précipitation totale (mm)

Pour des précipitations supérieures à 250 mm, il utilise la formule

$$P_{\text{eff}} = 125 + 0.1P_{\text{tot}} \dots\dots\dots (07)$$

(Ben ameurKerfah., et Cherir., 2016).

II.3.3. Les données sur les types de culture

Les données concernant la culture nécessaire pour les calculs des besoins en eau des cultures et le calendrier d'irrigation sont :

- Nom de la culture, sa date de plantation.
- Valeurs de K_c : c'est à dire les trois valeurs caractéristiques de la courbes K_c de base.
- Phase (jours) : les durées des quatre stades de développement. La durée totale de la culture est automatiquement calculée. La date de récolte est également automatiquement calculée.
- Profondeur d'enracinement: ce paramètre permet de calculer la réserve utilisable par la plante (RU).
- Epuisement maximum (fraction) : ce paramètre permet de déterminer la fraction de la réserve utilisable qui est facilement utilisable par la plante.
- Réponse en rendement : facteur qui lie la baisse du rendement au déficit d'évapotranspiration.

La hauteur de culture : permet d'ajuster les $K_{c_{\text{mid}}}$ et $K_{c_{\text{end}}}$ aux conditions locales.

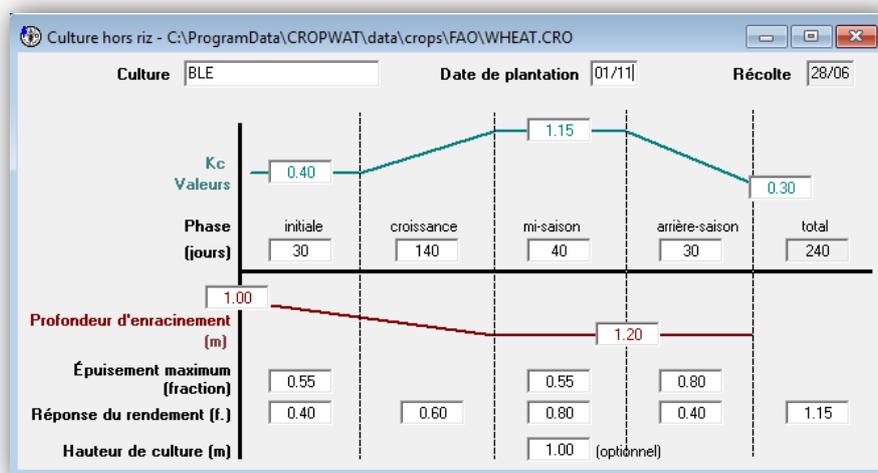


Figure n°12 : Les données de la culture de Blé. FAO

Tableau n°12: Les phases de développement de blé

Phase	initiale	croissance	mi-saison	arrière-saison	total
jours	30	140	40	30	240

<http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0b.htm>

II.3.4. Les données liées au sol

Les données relatives au sol sont nécessaires dans le pilotage des irrigations pour la détermination de la réserve utile (RU)

Les données concernant le sol nécessaire pour calculs le calendrier d'irrigation sont :

- Le nom du sol.
- L'eau disponible totale: c'est-à-dire la teneur en eau entre la capacité au champ et le point de flétrissement exprimé en mm/mètre de sol.
- Le taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie.
- La profondeur maximum d'enracinement : C'est-à-dire la profondeur où se trouve un horizon de sol imperméable ou la roche mer.
- L'épuisement de la teneur en eau initiale (en % de RU) : indique la sécheresse du sol au départ de la saison de développement qui correspond au semis pour les cultures hors riz .
- L'eau disponible initiale : est automatiquement calculée en fonction du % d'épuisement de RU.

II.3.4.1. La texture

Les valeurs de la (RU) variaient selon les différentes textures du sol qui sont d'après la FAO1987

Tableau n°13: Les valeurs de la RU en fonction de type de sol

Type de sol	Sol grossier	Sol sableux	Sol limoneux	Sol argileux
RU (mm/m)	60	100	140	180

II.3.4.2. Profondeur d'enracinement de blé

Nous retranscrivons également la profondeur maximale que peuvent atteindre les racines

Tableau n°14: Profondeur d'enracinement de blé

culture	Profondeur d'enracinement
Blé	1.00

(Mehbali .M et Tararbit.S, 2014.)

Vu la diversité des différents types de sols de la wilaya de Tipaza, il en ressort que la plupart des sols sont du type alluvionnaires à lourds, pour cela, nous avons opté dans tous le cas de notre étude pour un sol moyen ayant les caractéristiques suivantes (Interface 2)

Figure n°13 : Les données liées au sol proposent dans le Cropwat.

II.3.5. Le calendrier d'irrigation

Nous avons fixé les critères de la conduite d'irrigation comme suit :

- Irriguer quand la RFU est épuisée à 100 %
 - Remplir la RFU à 100 % (ramener la RFU à la capacité au champ) ;
 - Début de pilotage : la première date de plantation de chaque culture.

Sur cette base l'irrigation se fait sans restriction imposée sur les fréquences d'irrigation et la disponibilité en eau, donc c'est une irrigation du confort hydrique.

Date	Jour	Phase	Pluie	Ks	Etr	Épuis.	Irr. Net.	Déficit	Perte	Irr. Brut.	Débit
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
4 Mai	185	Mi-sais.	0.0	1.00	100	55	92.6	0.0	0.0	132.2	0.08
30 Mai	211	Fin	0.0	1.00	100	57	96.5	0.0	0.0	137.9	0.61
28 Jun	Fin	Fin	0.0	1.00	0	55					

Totaux					
Irrigation brute totale	270.1	mm	Précipitations totales	491.7	mm
Irrigation nette totale	189.1	mm	Précipitations efficaces	261.5	mm
Pertes totales d'irrigation	0.0	mm	Pertes totales de précipitations	230.2	mm
Utilisation réelle d'eau par culture	543.2	mm	Déficit d'eau à la récolte	92.7	mm
Utilisation potentielle d'eau par culture	543.2	mm	Besoins en eau réels	281.8	mm
Efficienc e calendrier d'irrigation	100.0	%	Efficienc e des précipitations	53.2	%
Inefficacit e calendrier d'irrigation	0.0	%			

Figure n°14 : Calendrier irrigation de Blé. Source : FAO

II 3.6.L'efficience au champ

Le Cropwat considère une efficience globale fixée à 70 %, on peut varier cette efficience selon le système d'irrigation utilisé et la nature du sol.

II.3.6.1.Calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau (EUE)

L'efficience d'utilisation de l'eau étant définie comme suit : c'est le rapport entre les besoins en eau de la culture durant tout son cycle végétatif en (m³) et le poids de la production commercialisable en (kg).

Donc

$$\text{EUE} = m / B \dots \dots \dots (8)$$

Avec :

EUE : L'efficience d'utilisation de l'eau (Kg/m³) ;

B : besoins en eau (m³) ;

m : poids de la production commercialisable (Kg).

II.4. Conclusion

Le Cropwat est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation, basé sur la formule de Penman - Monteith modifiée. Il permet le calcul des besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficience de différentes pratiques d'irrigation.

Chapitre I : Calcul des besoins en eau des cultures du blé de la wilaya de Tipaza

I.1.Introduction

Notre étude a pour but de déterminer la quantité d'eau consommée (Pluies efficaces et doses d'irrigations) les calendriers d'irrigations (**Annexe N°3**) et l'efficacité d'utilisation de l'eau au niveau du territoire national représenté par 30 stations météorologiques pour la culture de blé. Pour cela, nous avons effectué d'abord estimer des besoins en eau de la culture du blé pour la station météorologique de Tipaza, Lors du calcul des besoins en eau de du blé, la même démarche sera adoptée pour les autres stations.

Notre travail est subdivisé en deux parties:

- Evaluation des besoins en eau à l'échelle de chaque station avec la station de Tipaza comme exemple de calcul afin de faciliter la compréhension de la méthode de calcul des besoins en eau de tout le reste des stations.
- Calcul de l'efficacité d'utilisation de l'eau de la culture du blé

Les étapes de calcul que nous avons réalisées se résument comme suit :

- Calcul de la demande climatique ou l'évapotranspiration de référence ET_0 par la formule de Penman Monteith modifiée par la FAO citées auparavant (Matériel et méthodes) proposée dans le logiciel CROPWAT.
- Evaluation des besoins en eau (Pluie efficace et besoins en eau d'irrigation)
- Calcul de l'efficacité d'utilisation de l'eau sur EUE en Kg/m^3

Exemple de calcul (Wilaya de Tipaza)

I.Calcul des besoins en eau des cultures du blé de la wilaya de Tipaza

I.1. Calcul d' ET_0

Les facteurs climatiques ou physiques utilisés pour le calcul de l' ET_0 sont: le rayonnement solaire, la température de l'air, l'humidité de l'air, la vitesse de vent.

Nous avons besoin aussi des coordonnées géographiques de la station :

- L'altitude : 230 m
- La latitude : 36.58 N

- La longitude : 2.44 E

Les valeurs de l'évapotranspiration de références mensuelles moyennes ET_0 par la formule de Penman Monteith modifiée par la FAO sont calculées par l'introduction des coordonnées géographiques et les données climatiques mensuelles. Les résultats sont présentés par **le tableau N° 15** :

Tableau n°15: Résultats de calcul d' ET_0 de la Wilaya de Tipaza

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent m/s	Insolation heurs	ET_0 Mm/jour
Janv	8.18	16.75	76.59	2.2	5.33	1.46
Fév	8.16	17.08	78.59	1.9	5.55	1.67
Mar	11.06	19.31	74.27	2.1	6.88	2.60
Avr	11.34	21.14	72.94	2.4	7.47	3.36
Mai	14.01	25.68	73.49	2.3	8.47	4.27
Ju	19.32	30.08	68.08	2.3	8.64	4.77
Jui	20.37	32.95	67.72	2.2	11.05	6.02
Aout	20.16	31.70	67.51	1.9	10.29	5.32
sept	16.99	29.91	70.02	2.2	8.43	4.27
oct	13.97	26.69	72.52	1.9	6.97	2.92
nov	11.84	20.09	76.35	2.1	5.65	1.84
Déc	10.39	16.64	77.12	2.3	4.85	1.39
Moyenne	13.8	24.0	73	2.2	7.3	3.32

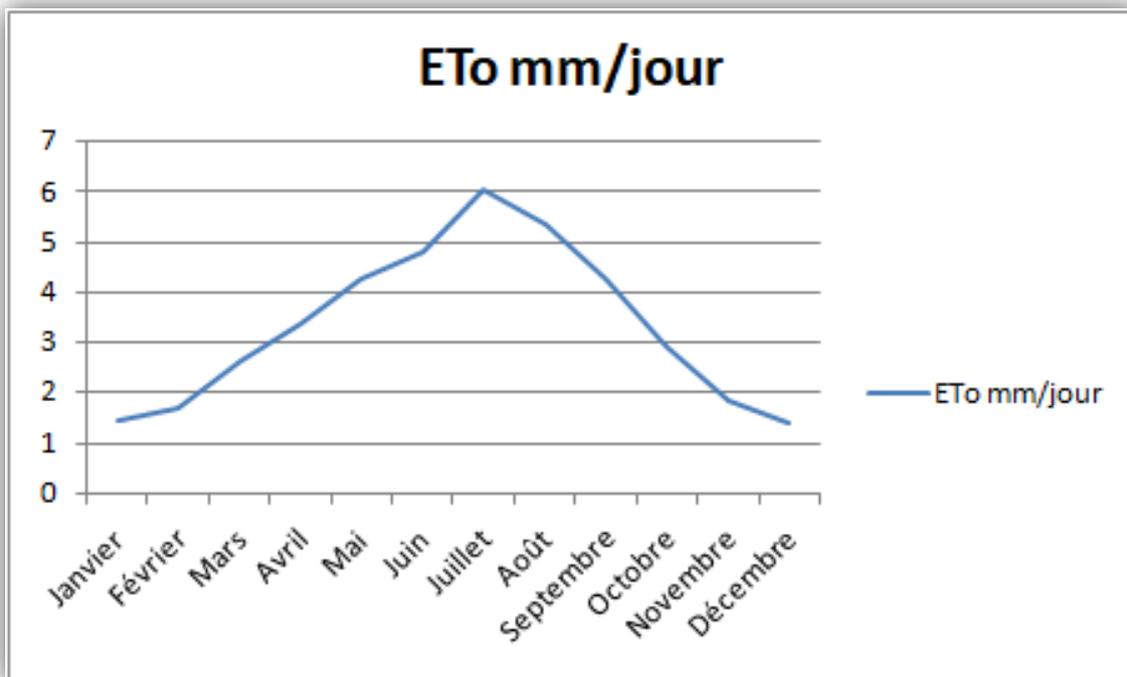


Figure n°15: Evolution mensuelle de l'évapotranspiration de référence de la wilaya de Tipaza

La figure n°15 montre l'évolution mensuelle de l'évapotranspiration de référence ET_0 qui passe par un pic en mois de Juillet de 6.02 mm, ceci s'exprime par le maximum des températures max et min et les valeurs importantes de la vitesse du vent enregistrées durant ce mois.

I.2. Calcul de la pluie efficace (eau verte)

La pluie efficace est la quantité de pluie qui arrive au sol, et qui est stocké au niveau du sol et constitue l'humidité du sol, cette quantité

Le calcul des pluies efficaces par le Cropwat peut se faire selon quatre méthodes, Pour calculer les pluies efficaces, nous avons utilisé la formule de l'USDA (Voir partie matériel et méthodes) Les résultats obtenus sont montrés par le tableau suivant :

Tableau n°16: Calcul de la pluie efficace de la wilaya de Tipaza

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	sep	oct	nov	Déc	total
Pluie(mm)	81.1	67.5	60.4	65.9	37.9	0.8	1.7	10.5	36.8	65.1	94.4	92.8	605.9
P.efficace(mm)	70.6	60.2	54.6	51.7	35.6	0.8	1.7	10.3	34.6	58.3	80.1	79	537.6

D’après le **tableau n°16** la pluie efficace est de l’ordre de 537.6 mm pour Une pluie totale annuelle de 605.9 mm, ce qui nous permis d’évaluer les pertes (évapotranspiration, ruissellement. . .) par simple différence entre la pluie brute et la pluie Efficace. Donc les pertes d’eau sont égales 68.3 mm soit un pourcentage de 11.27%.

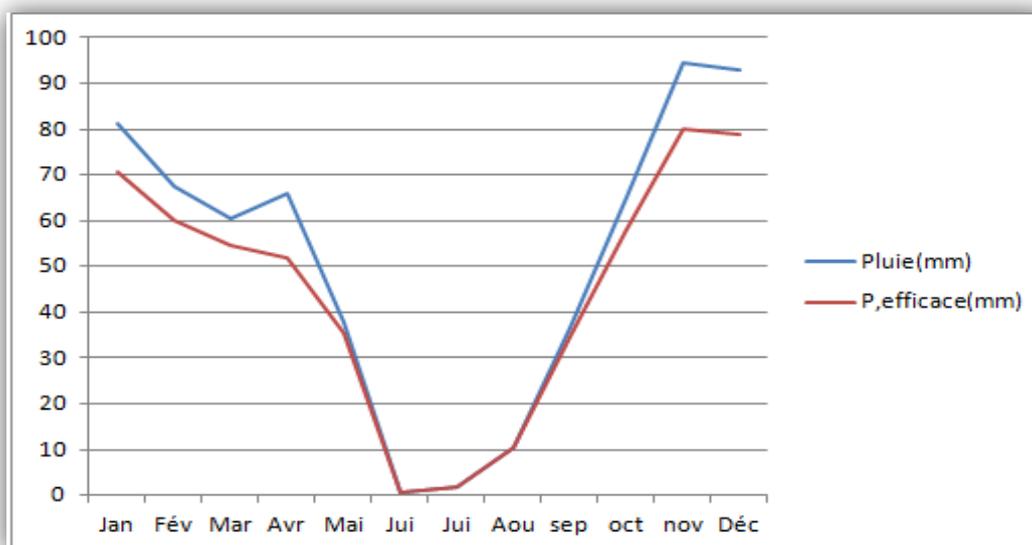


Figure n°16 : la pluie efficace el la pluie total de la wilaya de Tipaza

D’après la **figure n°16**, on constate que le stock d’eau dans le sol RFU est presque inexistant durant la période allant du mois de mai jusqu’au mois d’aout (période sèche)

I.3. Données sur les cultures

La **figure n°17** présente les caractéristiques de la culture du blé : date de semis (1enovembre) et la durée des différents stades de développement en jours et les coefficients culturaux Kc de chaque stade. Les données sont introduites comme le montre la **figure n°17**

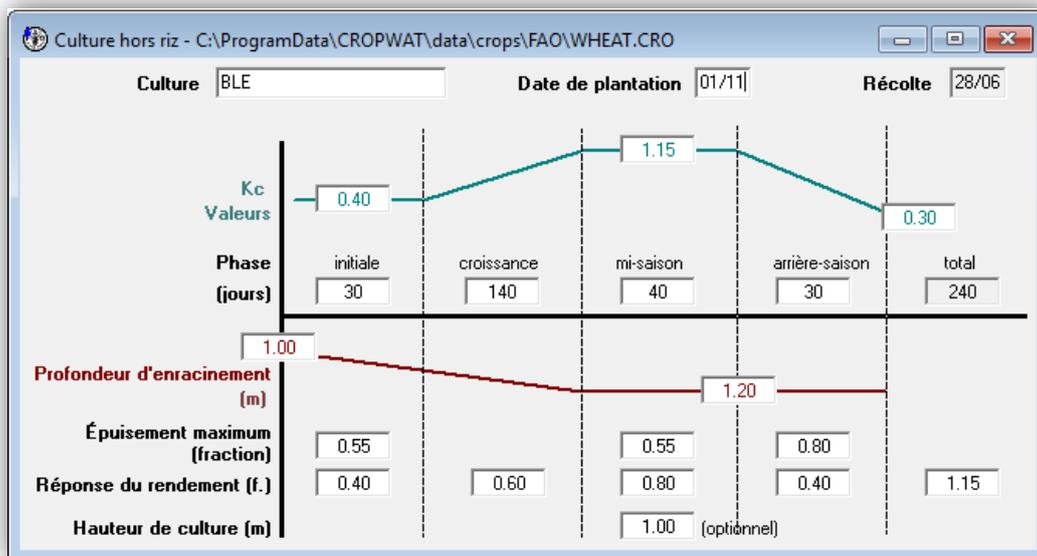


Figure n°17 : Données sur les caractéristiques du blé. FAO

D’après la figure n°17 la durée de cycle végétatif du blé est de 240 jours : Phase initiale 30 jours, phase de croissance 140 jours, phase mi-saison 40 jours et la phase arrière saison 30 jours. On note que la date de semis correspond au 1 novembre.

Les valeurs du K_C varient de 0.4 à la phase initiale de la culture, 1.15 an à la phase mi-saison et de 0.3 à la récolte.

Tableau n°17: Date de plantation et de récolte de culture du blé dans la zone méditerranéenne d’après la FAO

culture	Date de plantation	Date de récolte
Blé	01-novembre	28-juin

Source : <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0b.htm>

I.4. Données liées au sol

Vu la diversité des différents type de La wilaya de Tipaza il ne ressort que la plupart des sols sont de type alluvionnaires a lourds, pour cela, nous avons opté dans le cas de notre étude pour un sol moyen ayant les caractéristiques suivantes **Tableau n°18**

Tableau n°18: Les données liées au sol

Type du : sol moyen	Caractéristiques
Eau disponible totale (CC-PF)	140 mm /mètre
Taux d'infiltration maximum de l'eau	40mm/mètre
Profondeur maximum d'enracinement	120 centimètre
Epuisement de la teneur en eau initiale	0%
Eau disponible initiale	140.0 mm/mètre

Source : <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e0b.htm>

I .5.Calcul des besoins en eau des cultures (ETM)

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales et on fixe l'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETM) qui est une valeur ponctuelle liée à l' ET_0 qui est relative à une région par un coefficient cultural (k_c).

Evapotranspiration maximale de la culture (ETM), ou le besoin en eau des cultures est le produit de l'évapotranspiration de référence ET_0 et du coefficient cultural K_C , ce dernier varie en fonction du type de la culture et son stade de croissance. Pour calculer l'ETM, le logiciel utilise la relation :

$$ETM = K_C \cdot ET_0$$

Avec :

- K_c Coefficient cultural, il dépend du type de culture et de sa phase de développement ;
- ET_m Evapotranspiration maximale (mm) ;
- ET_o Evapotranspiration potentielle (mm).

Tableau n°19: ETM annuelle du blé de Tipaza

La culture	ETM (mm)	ETM (m ³ / ha)
Blé	588.2	5882

D'après le **tableau n°19 les besoins en eau du blé l'ETM** au niveau de la wilaya de Tipaza est de 588.2 mm .Les besoins en eau ETM du blé pour le reste des stations les résultats sont mentionnés par le **Tableau n°20**:

Tableau n°20:Résultats de calcul de l'ETM du blé par station :

willaya	ETM(Etc) mm
Alger	588,2
Annaba	645
Oran	680,4
Skikda	578,8
Djelfa	818,3
Msila	815,1
Tairret	712,1
Tbessa	724,5
Jijel	572,6
Médéa	551,3
Tiziouzou	544,2
Mascara	622,6
Bejaia	557,6
Batna	767,9
Setif	649,8
Telemcen	684,9
Biskra	813,9
El Oued	1142,3
Bouira	665,5
SidiBelabbés	659,5

Saida	703,8
Guelma	651,5
Constantine	628,8
Om el bouaghi	537,8
Chelef	781,8
Mostaganem	567,4
Bordj bouarreiridj	662,2
Souk hrass	585,2
Khenchla	973,2
Tipaza	545,3
moyenne	681.05

D'après le **Tableau n°20** La moyenne d'ETM est de 681.05mm avec un minimum de **544.2mm** pour wilaya de Tizi ousou et le maximum 1142.3 mm pour la wilaya d'El Oued, soit une différence de **598mm**.

Les résultats de l'ETM (ETc) par étage bioclimatique sont illustrés par le **tableau N°21 et la figure N°18**

Tableau n°21:Résultats de l'ETM (Etc) par étage bioclimatique

La zone	ETM(Etc) mm
semi-aride	694,85
Aride	815,77
sub-humide	579,64
Humid	602,26
Sahariene	1142,30

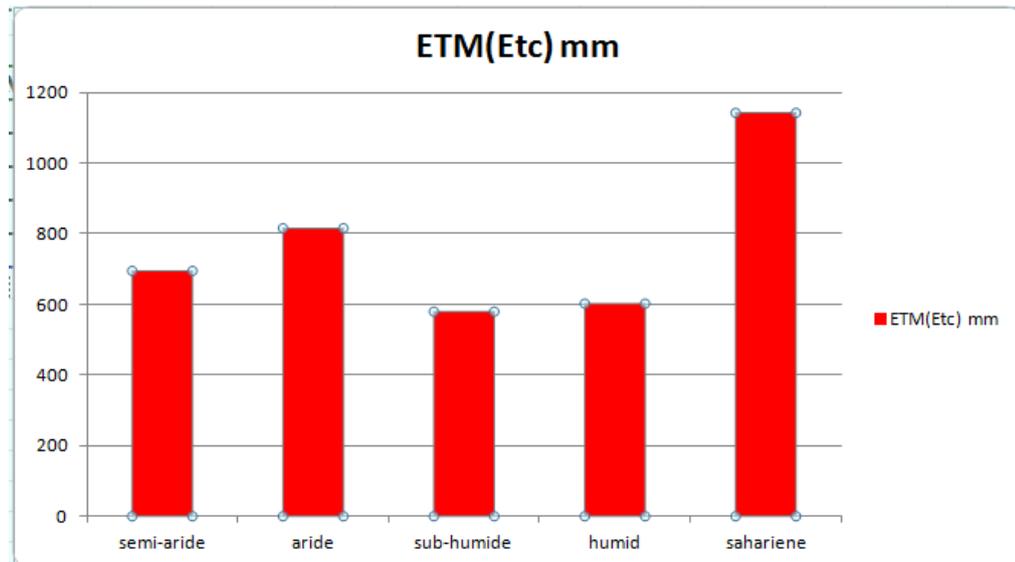


Figure n°18 : la moyenne d’ETM (Etc) par étage bioclimatique des stations

D’après le **tableau n°18** La valeur l’ETM varie d’une zone a une autre avec une maximum dans la zone saharienne de 1142.30mm.et un minimum de 579.64 mm dans la zone sub-humide.

I .5.1.Détermination des besoins en eau d’irrigation et pluie efficace du blé

Les valeurs décadaires d’ETM et de la pluie efficace ainsi que les doses d’irrigation sont mentionnés dans le **Tableau n°22:**

Tableau n°22:Besoins en eau d’irrigation et pluie efficace du blé (wilaya de Tipaza)

Mois	Décade	Phase	ETc mm/dec	Pluie eff. mm/dec	Bes. Irr. mm/dec
Nov	1	Init	8.8	25.0	0.0
Nov	2	Init	7.4	27.8	0.0
Nov	3	Init	6.8	27.3	0.0
Déc	1	Crois	6.6	26.7	0.0
Déc	2	Crois	6.7	26.6	0.0
Déc	3	Crois	8.4	25.6	0.0
Jan	1	Crois	8.6	24.5	0.0
Jan	2	Crois	9.5	23.6	0.0
Jan	3	Crois	11.9	22.4	0.0
Fév	1	Crois	12.2	21.1	0.0
Fév	2	Crois	13.6	19.9	0.0
Fév	3	Crois	13.6	19.3	0.0
Mar	1	Crois	20.8	18.7	2.0
Mar	2	Crois	25.0	18.1	6.9
Mar	3	Crois	31.9	17.8	14.1

Avr	1	Crois	33.4	18.0	15.4
Avr	2	Mi-sais	37.9	17.8	20.1
Avr	3	Mi-sais	42.0	15.8	26.1
Mai	1	Mi-sais	45.4	14.2	31.2
Mai	2	Mi-sais	48.9	12.7	36.2
Mai	3	Arr-sais	55.5	8.6	46.9
Jui	1	Arr-sais	43.0	0.9	42.1
Jui	2	Arr-sais	31.1	0.0	31.1
Jui	3	Arr-sais	16.5	0.0	16.5
		Total	545.3	432.4	288.7

D’après la **Tableau n°22**, les besoins en eau d’irrigations de complément est de l’ordre de 288,7 et commencent à partir de la première décade du mois de mars au stade de croissance avec une dose de 0.2 mm jusqu’au à la troisième décade du mois de juin avec 16.5 mm.

I .5.2.Calcul des besoins en eau d’irrigation (Eau bleue)

Le besoin d’irrigation, noté BEI est définit comme étant le volume d’eau qui devra être apporté par irrigation en complément à la pluviométrie et éventuellement d’autres ressources. Il est calculé sur la base de la différence entre les ET m et les pluies efficaces.

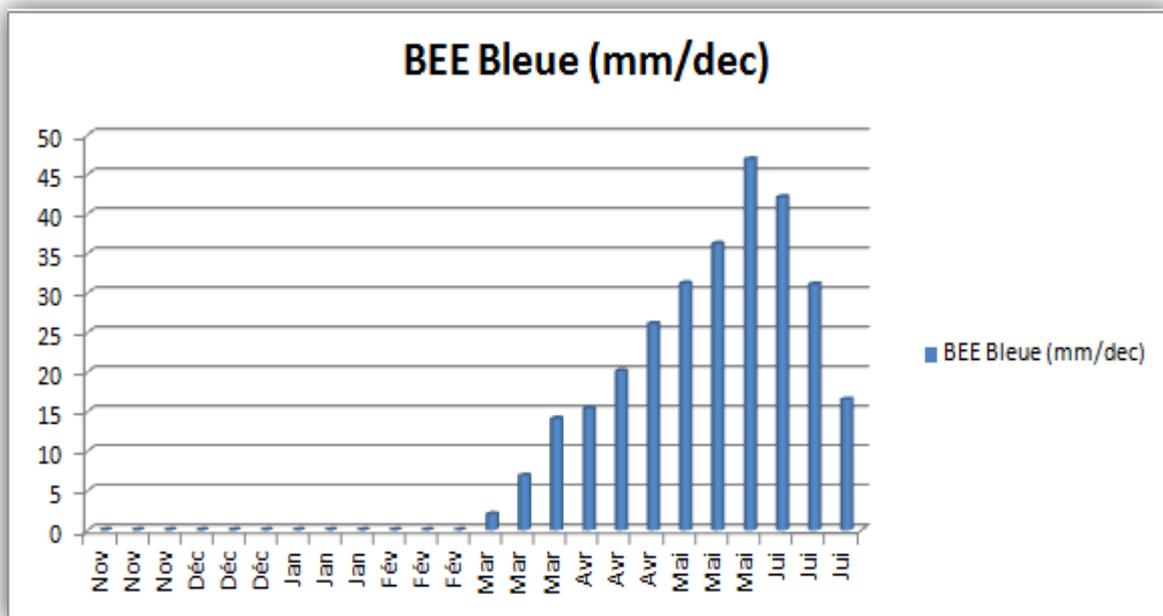


Figure n°19 : Besoins en eau d’irrigation (eau Bleue) de blé pour la wilaya de Tipaza

Après **Figure n°19**, La valeur la plus basse que représenté d'une mois de mars .Jusqu'à ce qu'ils atteignent leur valeur maximale à la fin du mois de mai, puis ils retombent jusqu'à la fin du mois de Juin.

I.6.Calendrier d'irrigation

Nous avons établi les calendriers d'irrigation du blé à l'aide de logiciel Cropwat, pour l'ensemble des 30 stations sur la base des critères que nous avons fixés dans le précédemment, Ce calendrier établit par le Cropwat nous donne la date de chaque irrigation par date, l'intervalle de jours entre deux irrigations, la dose d'irrigation de chaque apport d'eau, On peut aussi ajuster manuellement le calendrier en éditant les besoins nets d'irrigation dans le tableau de résultats du calendrier **Tableau n°22**

Tableau n°23:Calendrier d'irrigation de blé pour la wilaya de Tipaza

Jour	Phase	Pluie mm	Ks fract.	Etr %	Épuis. %	Irr. Net.mm	Déficit mm	Perte Mm	Irr. Brut.mm	Débit l/s/ha
185	Mi-sais.	0.0	1.00	100	55	92.6	0.0	0.0	132.2	0.08
211	Fin	0.0	1.00	100	57	96.5	0.0	0.0	137.9	0.61
Fin	Fin	0.0	1.00	0	55					

D'apes le **tableau n°23** le 1^{er} d'irrigation a la phase Mi- sais a la dose d'irrigation net de 92 .6mm et la 2^{eme} d'irrigation a la phase Fin avec une dose 96 .5mm et dernier .

Le tableau N° 24 récapitule les résultats des besoins en eau du blé pour la wilaya de Tipaza établis par CROPWAT.la même démarche sera adoptée pour les autres stations (**Annexe N° 3**).

Tableau n°24:Résultats récapitulatifs des besoins en eau du blé pour la wilaya de Tipaza.

Paramètre	Culture : Blé
Irrigation brute totale	270.1mm
Irrigation nette totale	189.1mm
Précipitation totales	491.7mm
Précipitation efficaces	261.5mm
Pertes totales des Précipitation	230.2mm
Efficiences du calendrier d'irrigation	100%
Déficit d'eau a la récolte	92 .7mm
Besoins en eau réels	281.8mm
Efficiences des Précipitation	53.2%

D'après le calendrier irrigation, on constate d'irrigation a partir de 15mai durant 28 Mars, cette date programmée par le Cropwat correspond à la phase de croissance ou l'ETr et de 100% avec un pourcentage d'épuisement de 56%, l'irrigation brute pour cette date est de 270.1mm.

Les calendriers d'irrigation des autres stations représentées dans l'annexe n°03 et 04

I .6.1. Les besoins en eau totaux (Eau verte et eau bleue)

Les besoins en eau totaux du blé de la station de Tipaza sont représentés par le tableau suivant :

Tableau n°25: Les besoins en eau totaux (eau bleue et eau verte) en mm et m³/ha

Culture	BEI(eau bleue) mm	BEE (eau Verte) mm	BEI(eau bleue) m ³ /ha	BEE (eau Verte) m ³ /ha	Besoins en eau totaux m ³ /ha
Blé	189.1	261.5	1891	2615	4506

Durant tout le cycle du blé, les besoins en eau totaux (Eau bleue et eau verte), est de l'ordre de 4324 m³ par ha. Ainsi l'eau verte représente 2615 m³ ce qui nécessite un apport d'irrigation (ou irrigation de complément de l'ordre de 1891 m³/ha (**Figure n°20**))

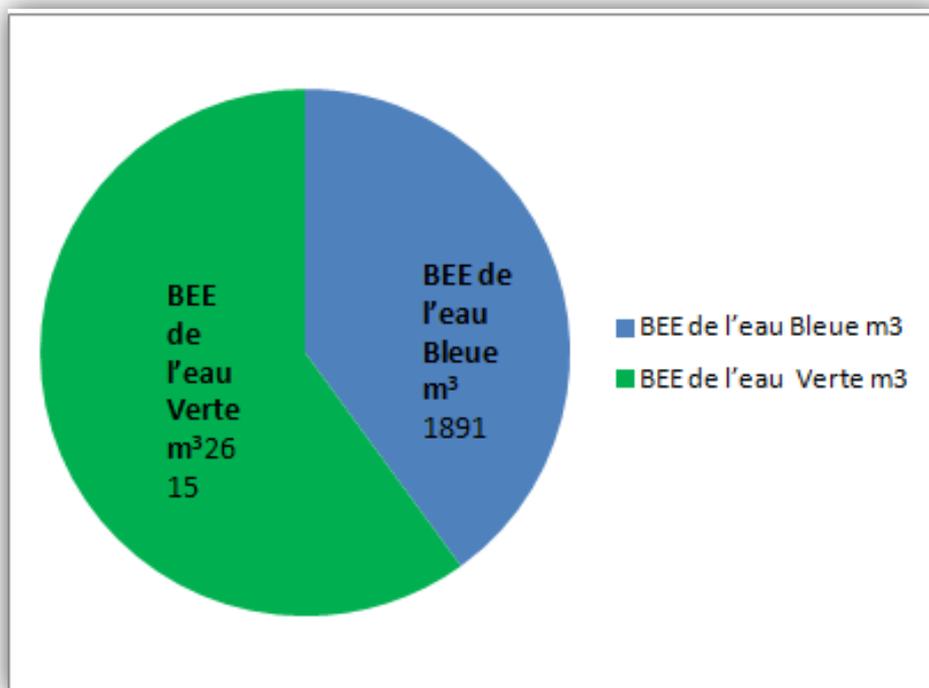


Figure n°20 : Les besoin en eau bleue et verte de blé de la wilaya de Tipaza

Les besoins en eau d'irrigation dans la wilaya de Tipaza dépassent les besoins en eau d'irrigation de complément définis par la FAO en 1986 dans les zones arides qui sont fixés à 1500 m³/ha.

Les besoins en eau d'irrigations de complément durant tout le cycle végétatif des wilayas sont donnés par le tableau suivant :

I.6.2. Calcul des besoins en eau d'irrigation (eau bleue) nets et bruts

Pour l'efficacité d'application, Cropwat considère une efficacité globale fixée à 70 %, on peut varier cette efficacité selon le système d'irrigation utilisé et la nature du sol. Les résultats sont donnés par le **tableau N° 26** :

Tableau n°26: Les besoins en eau d'irrigation nets et bruts par station :

Wilayas	Besoins bruts irrigation (mm)	irrigation Besoins nets Total (mm)
Alger	454,6	318,2
Annaba	442,6	309,8
Oran	557,7	390,4
Skikda	276,2	193,3
Djelfa	840,7	588,5
Msila	838	586,6
Tairat	563,1	394,2
Tbessa	543	380,1
Jijel	298,1	208,7
Médéa	275,5	192,9
Tiziouzhou	295,7	207
Mascara	408,5	285,9
Bejaia	306,3	214,4
Batna	720,9	504,6
Setif	415,7	291
Telemcen	559	391,3
Biskra	1010,1	707,21
El Oued	1728,3	1209,8

Bouira	412,4	288,7
Sid Belabess	564,8	395,4
Saida	553,4	387,4
Guelma	296,6	188,7
Constantine	419,4	293,6
Om el bouaghi	395,4	276,8
Chelef	704,1	492,9
Mostaganem	430,9	301,6
Bordj bouarreiridj	565,6	396
Souk hrass	266,4	186,5
Khenchla	814,8	570,4
Tipaza	270,1	189,1
Moyenne	540.93	378.03

D'après le Tableau n°26 la quantité de l'eau d'irrigation nette moyenne de 378.03 mm. Le minimum **de 186.5mm** pour la wilaya de **Souk hrass** et le maximum **1209.8mm** pour la wilaya de el Oued, soit une différence de **1023.3mm**.

Les besoins en eau d'irrigation nets par étage bioclimatique sont illustrés par le tableau N° 27 et illustrés par la figure N° 21 :

Tableau n°27:Besoins en eau d’irrigation par étage bioclimatique.

La zone	irrigation net Total (mm)
semi-aride	389,86
Aride	627,44
sub-humide	226,64
Humid	236,81
Sahariene	1209,80

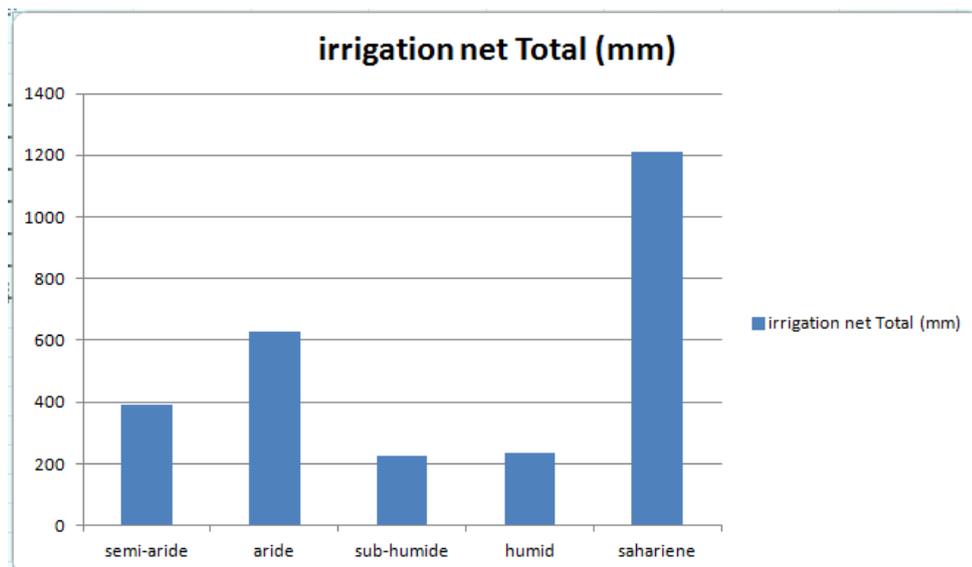


Figure n°21 : La moyenne d’irrigation nette en déférent zone

D’après le **Figure n°21** les doses d’irrigation nettes varient entre un maximum 1209.80mm pour la zone saharienne de et minimum de 226.4mm dans la zone sub humide .la moyenne est de 538.11mm.

I.6.3. Calcul des précipitations efficace (eau verte) par station :

Le tableau 28 donne les résultats du logiciel CROPWAT pour le calcul des pluies efficaces (eau verte) par méthode de l’USDA (citée dans matériel et méthodes).

Tableau n°28: Résultats de calcul des précipitations efficace par station

	Precipitation Total(mm)	Precipitation Efficace(mm)
Alger	459,9	261,2
Annaba	542,4	310,7
Oran	287,1	212
Skikda	555,2	290,1
Djelfa	172,3	164,1
Msila	172,3	161,9
tiaret	290,3	228,1
Tbessa	295,7	251,9
Jijel	801,9	308,4
Médéa	540,4	250,6
Tiziouzhou	679,4	287,7
Mascara	292,8	217,9
Bejaia	616,2	314,6
Batna	279,6	236,3
Setif	311,7	251
Telemcen	256,8	194,1
Biskra	151,2	146,8
El Oued	66,1	64,7
Bouira	407,8	255,1
SidiBel abbes	289,1	203,2
Saida	283,6	229,7
Guelma	521,8	359,3

Constantine	471,3	261,5
Om el bouaghi	297,6	196,8
Chelef	297,5	207,5
Mostaganem	343,6	205,7
Bordj bouarreiridj	269,1	210,9
Souk hrass	580	281,3
Khenchla	327,3	288,8
Tipaza	491,7	261,5
Moyenne	378.39	237.11

D'après le **Tableau n°28** On constate que la pluie efficace totale du cycle de culture de blé varie dans l'espace selon chaque station. Le maximum est de 359.3mm pour la Wilaya Guelma et le minimum est de 64.7 mm pour la Wilaya de El Oued La moyenne de la pluie efficace est de l'ordre de 237.11mm

I.7. Calcule de l'efficience d'utilisation de l'eau EUE

Nous rappelons que l'efficience d'utilisation de l'eau c'est le rapport entre les besoins en eau de la culture durant tout son cycle végétatif en (m³) et le poids de la production commercialisable en (kg).

Il est noté que les rendements et les productions de blé sont recueillis à partir de la « série B » du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la pêche MADRP. (Annexe N° 5). Le tableau N°30 présente le résultat de calcul l'ETM et de l'efficience d'utilisation de l'eau de blé pour la station de Tipaza.

Tableau n°29:Résultat de calcul de l'ETM et l'efficience d'utilisation de l'eau EUE de la wilaya de Tipaza

	Rrendement q/ha	Production Kg /ha	ETM mm m³	EUE Kg/m³
Tipaza	24,46	2446,29	4506	0,54

L'efficacité d'utilisation de l'eau du blé dans la wilaya de Tipaza est de l'ordre de 0,54 kg/m³ce qui très faible et est inférieur à moyenne mondiale de 1 kg/m³estimée par la FAO, 1997dans les zones arides, ceci est expliqué la forte demande climatique de la région et des rendements faibles et la non maîtrise de l'itinéraire technique de la région.

Tableau n°30:Résultat de calcul l'efficacité d'utilisation de l'eau EUE de 30 stations

wilaya	Rendement q/ha	Production Kg /ha	Besoins en eau ETM m ³ /ha	EUE Kg/m ³
Alger	20,6983	2069,83	5794	0,36
Annaba	16,262	1626,22	6205	0,26
Oran	10,12	1012,21	6024	0,17
Skikda	15,99	1598,80	4834	0,33
Djelfa	7,45	745,09	7526	0,10
Msila	10,70	1070,07	7485	0,14
Tairret	12,28	1227,98	6223	0,20
Tbessa	17,27	1726,67	6320	0,27
Jijel	17,11	1711,23	5171	0,33
Medea	14,98	1498,32	4435	0,34
Tiziouzou	19,42	1942,41	4947	0,39
Mascara	12,85	1284,95	5038	0,26
Bejaia	16,13	1612,90	5290	0,30
Batna	9,55	955,33	7409	0,13
Setif	14,09	1408,92	5420	0,26
Telemcen	10,63	1063,43	5854	0,18
Biskra	30,45	3044,51	8540.1	0.35
El Oued	35,80	3580,48	12745	0,28

Bouira	14,83	1482,97	5438	0,27
SidiBel abbes	11,94	1193,59	5986	0,20
Saida	10,79	1078,58	6171	0,17
Guelma	15,15	1514,79	5480	0,28
Constantine	18,97	1897,47	5551	0,34
Om el bouaghi	10,60	1060,17	4736	0,22
Chelef	13,76	1375,57	7004	0,20
Mostaganem	12,98	1298,34	5073	0,26
Bordj bouarreiridj	12,33	1233,03	6069	0,20
Souk hrass	11,31	1130,92	4678	0,24
Khenchla	15,93	1593,07	8592	0,19
Tipazza	24,46	2446,29	4506	0,54
Moyenne	15.49	1549.47	6069.10	0,26

D'après le tableau N°30 il s'est avéré que l'efficience d'utilisation de l'eau pour la production de blé varie d'une wilaya a une autre avec une moyenne nationale **de 0,26 kg/m³**. Cette efficience est inférieure à la moyenne mondiale qui est de 1 kg/m³ (FAO, 1997) a cause de la demande climatique élevée et des rendements relativement faibles et de l'itinéraire technique.

D'après la FAO (1997) Chaque culture a des besoins en eau particuliers, qui varient selon les conditions climatiques locales a production d'un kilogramme de blé nécessite environ 1 m³ d'eau (1 000 litres d'eau) qui retournent dans l'atmosphère.

(Source : <http://www.fao.org/3/y4683f/y4683f07.htm>)

I.7.1. Efficience d'utilisation de l'eau EUE par étage bioclimatique :

Les résultats de calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau par étage bioclimatique sont mentionnés dans tableau N° 31 :

Tableau n°31:La moyenne de l'EUE en déférent zone

Region	zone semi-aride	zone aride	zone humide	zone sub-humide	region Saharien
EUE Kg/m³	0.20	0.19	0.30	0.29	0.28

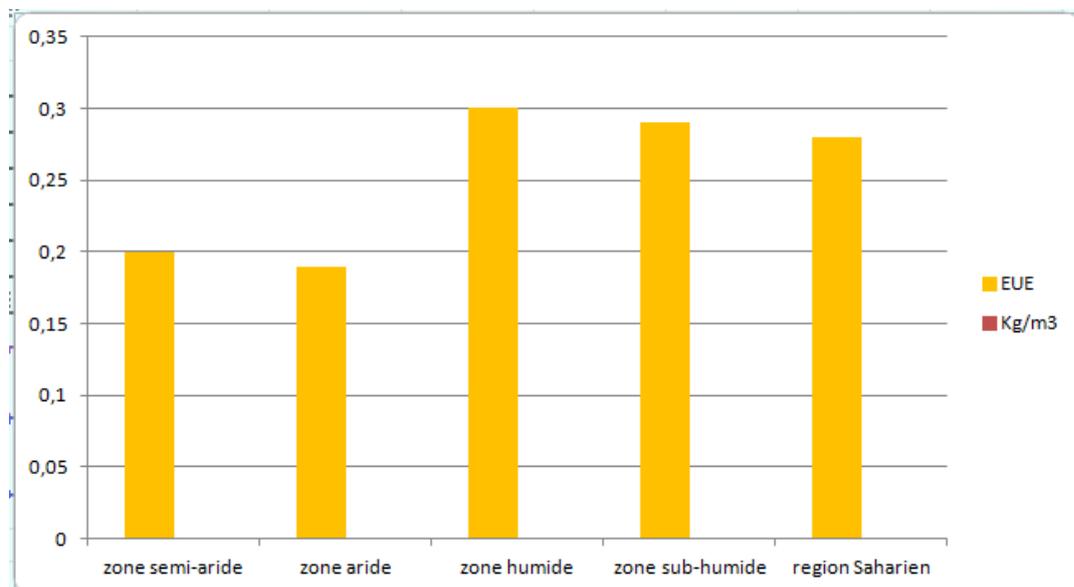


Figure n°21 : La moyenne de l'EUE en déférent zone

I.7.2. Discussion

D'après les tableaux n°30 et n° 31 nous constatons quel 'efficience d'utilisation de l'eau varie selon les étages bioclimatique.

Pour la zone semi-aride la valeur maximum de l'efficacité de l'utilisation de l'eau est de **0.27 Kg/m³** pour wilaya de Tbesa avec une dose irrigation de **3801 m³/ha** (tableau N° 31).

Pour la zone aride, la valeur maximum de l'efficacité de l'utilisation de l'eau est de **0.35 Kg/m³** pour la wilaya de Biskra avec une dose d'irrigation de **8540.1 m³/ha**.

Pour la zone humide l'efficacité maximum est de **0.39Kg/m³** pour wilaya de Tizi ouzou avec une dose d'irrigation de **2070 m³/ha**.

Pour la zone sub-humide la valeur maximum de l'efficacité de l'utilisation de l'eau est de **0.54Kg/m³** pour la wilaya de Tipaza avec une dose d'irrigation de **1887 m³/ha**.

La région Saharien avec une valeur maximale de l'efficacité de l'utilisation de l'eau de **0.28 Kg/m³** pour wilaya d'Oued avec une dose d'irrigation de **12098 m³/ha**.

De ce fait, connaissant les besoins en eau des zones irrigables et la quantité des eaux disponibles ainsi que l'efficacité d'utilisation de l'eau le planificateur peut faire une confrontation, une sélection par priorité des zones à mettre en irrigation et une mise en place des projets particuliers.

Conclusion générale

Cette étude a permis l'estimation des besoins en eau de blé en Algérie où climatiques ont toujours fait de l'irrigation un impératif technique et économique très important et une voie incontournable pour le développement agricole.

Les besoins en eaux a la sont fortement influe par les conditions climatiques et la pratique culturale notamment la date de semi et la durée de cycle végétatif. Dans notre étude nous retenons les valeurs de donnes par le **bulletin n° 56 d'AFO** et en absence les données locales.

D'après nos résultats, la culture de blé nécessite en moyenne de 681 ,05 mm pour couvrir les besoins sur tout le cycle végétatif.

Les doses d'irrigation nettes varient selon la station avec maximum de 1209,8 mm pour la wilaya d'El Oued et un minimum de 186.5 mm pour la Wilaya Souk hrass

La wilaya de Tipaza qui a titre d'exemple de notre étude présente des conditions de climat favorable dans leur ensemble a l'agriculture. Avec une précipitation annuelle de 606.9 mm ce qui fait une précipitation efficace de 537.6mm. Et un total moyen annule d' ET_0 de 3.32 mm/J.

Notre étude montre que la consommation totale d'eau par la culture de blé, (pluviale et irrigué) est estimée à 721,1 mm, ce chiffre élevé est le résultat de la demande climatique élevée surtout au sud du pays.

Le volume total qu'il faut solliciter pour couvrir les besoins en eau de la culture de blé est de 545.3 mm, dans la wilaya de Tipaza et les besoins en eau bleue est égale 288.7 mm pour le blé

L'efficience d'utilisation de l'eau par la culture de blé est de 0.54 kg/m^3 .

Au niveau de 30 stations, l'efficience d'utilisation de l'eau pour la production des céréales varie d'une wilaya é une autre avec une moyenne nationale de **0 ,26 kg/m^3** , d'eau par kg céréales. Cette efficience est inférieure à la moyenne mondiale a cause de la demande climatique élevée et des rendements relativement faibles. À cet effet, le faible rendement et le non-respect de l'itinéraire technique est l'un des principaux facteurs des faibles EUE.

Ainsi, l'efficacité d'utilisation de l'eau la plus élevée est enregistrée dans la wilaya de Tipaza avec 0.54 kg/m^3 et la plus faible est enregistrée **Djelfa** avec 0.10 kg/m^3 . Donc avec 1 m^3 d'eau on produira à Tipaza 04 fois plus qu'à **Djelfa**.

La comparaison des deux efficacités ci-dessus montre la vraie notion de valorisation de l'eau puisque le même m^3 d'eau peut produire 04 fois plus de blé d'un endroit à un autre.

En effet, la culture de céréale au sud du pays consomme beaucoup d'eau à cause de la demande climatique très élevée.

Après avoir déterminé la demande en eau de la culture céréalière, il est obligatoire et inévitable d'acquiescer une connaissance minutieuse des ressources hydriques disponibles pour pouvoir comparer l'offre et la demande en eau, dans le but de s'orienter finalement vers une gestion rationnelle appropriée et judicieuse de nos ressources hydriques.

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.

Si tous ces efforts sont conjugués, nul doute que l'efficacité d'utilisation de l'eau s'améliorera et permettra, à terme d'augmenter les surfaces irriguées, grâce à l'économie d'eau qui sera réalisée.

Compte tenu de la multiplicité des niveaux de gestion et de décision en terme de répartition des ressources en eau la détermination de l'efficacité d'utilisation de l'eau peut constituer un outil éclairant les termes de débats et les négociations aux différents niveaux de définitions et de mise en œuvre des politiques sectorielles qui influent sur les usages de l'eau de sa valorisation

Enfin, nous pouvons dire que 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.