

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad Dahleb Blida 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Biotechnologies



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences Agronomiques

Option : Eau et Environnement

Thème

**EVALUATION DE L'EMPREINTE DE L'EAU POUR LE BLE DUR PAR LES
MODELES AQUACROP ET CROPWAT**

Présenté par : Koriche Walid

Jury :

Président: L. Zella (USDB)

Promoteur: M. Amirouche (ENSA)

Examineur: H. Deghaichia (USDB)

Examinatrice: N. Degui (USDB)

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon père, pour son appui et son encouragement celui qui m'a guidé vers la voix de

Réussite.

A ma mère, la source de mes joies, pour son amour son soutien sa tendresse

A Mes chers frères : Hicham, Adel

A Mes chers sœurs Amira, Aya, kawther, Amina

A Mes chers cousins : Billel et Houssem

A Mes chers cousines : wafa, widad

A Ma chère tante et mon oncle : Aicha et khaled

A Mes chères Amies : sabrina, rabeah, joni, Hassan, Rajaa, dyna

A toute mes collègues de la promotion Eau et Environnement 2019-2020

A toute les personnes que je connais et que je n'ai pas citées ceux que j'aime et m'aiment

REMERCIEMENT

Nous remercions avant tout **DIEU**, tout puissant, pour la volonté, la santé et la patience qu'il

Nous avons donnée et le courage pour terminer ce travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciement à notre promoteur, Dr M.AMirouche pour

Avoir de bien voulu de nous encadrer, pour sa patience, son aide, ses conseils et

Encouragements, pour le temps qu'il nous avons consacré pour réaliser ce travail

Nous exprimons nos remerciements aux honorables membres du jury :

Lakhder Zella pour avoir fait l'honneur de présider le jury de ce travail

m'avoir accordé le temps et la patience pour évaluer notre travail

Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à N.Degui et N.Mmimouni

L'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nous ne saurons oublier de remercier tous ceux qui ont, de près ou de loin, contribué à la

Réalisation de ce travail, et toute personne qui m'a éclairé le chemin.

Introduction

Au cours des deux générations du dernier siècle, la population mondiale a augmenté de 90%, tandis que la production alimentaire s'est développée de 115% (DIXON .2007). Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une source de la nutrition humaine et animale.

Parmi ces céréales, le blé dur, constitue la première ressource en alimentation humaine et la principale source de protéines ; il fournit également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. Le blé dur prend mondialement, la cinquième place après le blé tendre, le riz, le maïs et l'orge avec une production de plus de 30 millions de tonnes (Amokrane. 2001).

Selon les statistiques du Conseil International des Céréales, dans l'année 2014/2015, la production de blé dur en Algérie est inférieure à la consommation. Cette faible production est souvent expliquée par l'influence des mauvaises conditions climatiques associées, notamment à la sécheresse, la désertification, l'érosion, et la salinisation des sols.

En Algérie, cette culture est conduite en pluviale ; elle est soumise à la variabilité climatique qui se traduit par des contraintes hydriques et thermiques erratiques, notamment dans l'étage bioclimatique semi aride).

Le manque d'eau reste également, le facteur le plus limitant de la productivité des cultures, particulièrement la culture de blé et afin de faire face à ce défi, l'amélioration de l'utilisation de l'eau s'avère nécessaire. Dans ce contexte, des travaux réalisés depuis plusieurs décennies sur l'effet de stress hydrique et l'efficacité d'utilisation de l'eau, s'orientent essentiellement, soit vers des approches expérimentales, soit vers des approches basées sur des modèles.

L'utilisation d'outils de simulation pourra améliorer la compréhension du comportement variétal en condition de contraintes hydriques et aider à déterminer les phases de stress avec exactitude et leur impact sur le potentiel de production. Ils permettent d'estimer les besoins en eau de la culture et donc de mieux gérer les ressources hydriques (Steduto et al.2009).

Les problématiques environnementales occupent une place grandissante dans notre société. Aussi, l'utilisation d'outils mesurant l'impact de nos habitudes consommatrices sur l'environnement, dans un schéma économique, ne cesse de s'affiner : empreinte écologique, bilan carbone... L'empreinte de l'eau a donc suivi le concept de l'eau virtuelle.

« L’empreinte eau » est un indicateur de l’usage direct ou indirect de l’eau par le producteur ou le consommateur, mise au point pour l’UNESCO par le professeur Arjen Y. Hoekstra en 2002.

La modélisation est devenue un outil très utilisé dans différents domaines scientifiques et techniques, Depuis plus de 25 ans, l’utilisation des modèles en agronomie ne cesse de s’accroître permettant ainsi d’étudier les différents aspects liés à la croissance et au développement des plantes.

Résumé

L'empreinte hydrique est un concept théorique récemment introduit, qui permet d'estimer la quantité d'eau nécessaire pour produire chacun des biens et services que nous utilisons. En agriculture, l'empreinte hydrique d'un cultivar donné est estimée par le volume d'eau de l'évapotranspiration potentielle des plantes par unité de rendement final de la culture. De nombreuses études ont été menées pour déterminer l'empreinte hydrique de diverses cultures dans différents pays, en utilisant divers modèles et ensembles de données allant du niveau national au niveau régional. Dans cette étude, nous avons utilisé deux modèles agronomiques de la FAO, CropWat et AquaCrop pour estimer l'empreinte hydrique annuelle de la culture du blé dur dans la région de Tiaret en pour la période de 28 ans (1990-2017).

Mots clés: l'eau virtuelle, l'empreinte de l'eau, blé dur, Aquacrop, cropwat, Tiaret

ABSTRACT

The water footprint is a recently introduced theoretical concept that estimates the amount of water needed to produce each of the goods and services we use. In agriculture, the water

footprint of a given cultivar is estimated by the volume of water from the potential evapotranspiration of plants per unit of final crop yield. Numerous studies have been conducted to determine the water footprint of different crops in different countries, using various models and data sets ranging from national to regional. In this study, we used two FAO agronomic models, CropWat and AquaCrop, to estimate the annual water footprint of durum cultivation in the Tiaret region for the 28-year period (1990-2017).

Key Word : vital water, the water print, hard blè, Aquacrop, cropwat, Tiaret

ملخص

البصمة المائية هي مفهوم نظري تم إدخاله مؤخراً ويقدر كمية المياه اللازمة لإنتاج كل من السلع والخدمات التي نستخدمها. وفي الزراعة، يقدر حجم المياه الناتجة عن الزراعة حجم المياه الناتج عن التبخر المحتمل للنباتات لكل وحدة من الغلة النهائية للمحاصيل. وقد أجريت دراسات عديدة لتحديد البصمة المائية للمحاصيل المختلفة في مختلف البلدان، باستخدام نماذج ومجموعات بيانات مختلفة تتراوح بين المستوى الوطني والإقليمي. استخدمنا في هذه الدراسة نموذجين زراعيين من منظمة الأغذية والزراعة، هما كروبات وأكواكروب، لتقدير البصمة المائية السنوية لزراعة القمح الصلب في منطقة تيارت لفترة 28 عاماً (1990-2017). وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الفرق بين 579.2 متراً و3 متراً في الهنار من

مياه القمح الصلب غير المهجنة. البصمة المائية التي تقدرها نماذج كروبوات وأكواكروب هي 4475.51 و 33878.31م3/طن على التوالي. لضمان موثوقية إخراج هذه النماذج والمعايرة والمهمة.

الكلمات المفتاحية -المياه الحيوية - بصمة الماء- القمح الصلب- اكواكروب- كرمبوات- تيارت

Sommaire

Résumé

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Partie I. l'eau virtuelle

1. Concept d'eau virtuelle.....	01
2. L'eau virtuelle sans les relations internationales	03
3. Quelques ordres de grandeur	04
4. Empreinte eau	05

Partie 02 : Blé dur

I. Historique de blé dur.....06

1. Origine géographique.....06

2. Origine génétique du blé dur.....06

3. Le cycle biologique du blé dur.....08

3.1 Le tallage.....09

3.2 Période reproductrice.....10

3.2.1 Montaison-floraison.....10

3.3 Période remplissage et maturité du grain.....10

3.3.3 Floraison-maturité.....10

4. Les exigences de blé dur.....10

4.1 Les exigences édaphiques.....10

4.2 Les exigences climatiques.....11

4.2.1. Température.....11

4.2.2 Lumière.....	11
4.2.3 L'eau.....	11
4.3 Fertilisation.....	11
4.3.1 L'azote.....	12
4.3.2 Phosphore(P).....	12
4.3.3 Potassium (K.....	12
5. L'importance du blé dur.....	12
5.1 Importance alimentaire.....	12
5.2 Importance économique.....	13
6. Production de blé dur.....	23
6.1 Dans le monde.....	23
6.2 En l'Algérie.....	25
6.3 Variétés du blé dur utilisé en Algérie.....	26
Partie 03: Modélisation agronomique	
I. présentation de les deux logiciel Aquacrop et cropwat.....	27
1. Modèle de culture.....	27
2 Description des modèle AquaCrop et CropWat.....	28
3. Le modèle AquaCrop.....	28
4. Le modèle CropWat.....	30
5. Les données d'entrées.....	31
6. Données de sortie.....	31

Chapitre 2 : matériels et méthodes

Introduction

I. Présentation de la zone d'étude.....	33
1. Situation géographique de la zone d'étude.....	33
2. caractéristique physique.....	34
2.1 Relief.....	34
2.2 Géologie.....	35
3.2 Hydrogéologie.....	36

3.2.1 Les eaux superficielles.....	36
3.2.2 Les eaux souterraines	36
2.4 Types de sol.....	36
2.4.1 Occupation du sol.....	38
2.5Climatologie.....	38
2.5.1 la pluviométrie.....	38
2.5.2Les températures.....	39
3. Potentialités hydrauliques.....	40

II. Evaluation de l'empreinte de l'eau par les modèles AquaCROP et CropWat

1 Méthode d'évaluation de cropwat.....	42
1.1 les donnée climatique.....	42
1.2 les donnée d'entrées.....	42
2.Méthode d'évaluation de Aquacrop.....	42
2.1.Donnée climatiques.....	42
2.2 les paramètre d'entrie exiger par le modèle Aquacrop	43
2.3 les donnée liée du culture de cropwat.....	44
3.1 les paramètre du type de sol sans présentie dans cette tableaux de Aquacrop.....	44
3.2 les donnés liées au sol de cropwat	45
4. Calcule pluies efficace.....	45
5 Calcul l'évapotranspiration.....	45
6. Calcul des besoins en eau d'irrigation.....	46
7. calcul les besoins en eau de la culture de blè dur.....	46
8. calcule de l'eau virtuelle.....	47

Chapitre 3 : résultats et discussions

1. Analyse des paramètres climatiques

1.1. Pluie.....	46
1.2. Température.....	47
1.3. Humidité de l'air.....	47

1.4. Insolation.....	48
1.5. vitesse de vent.....	49
2. Calcul de l'évapotranspiration de référence.....	50
2.1. A l'échelle de l'année.....	50
2.2. A l'échelle de la saison de culture.....	50
3. Calcul de la pluie efficace.....	51
3.1. A l'échelle de l'année.....	51
4. Calcul les besoin en eau de la culture	52
5. Calcul les besoin en eau d'irrigation.....	52
6. Calcul de l'eau virtuelle.....	53
6.1. L'eau verte.....	53
6.2. L'eau bleue.....	53
7. Calcul l'empreinte eau.....	54
CONCLUSION GENERALE	55

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des figures

Figure 01. Les changes de l'eau virtuelle à travers le monde.....	4
Figure 02. Les due compos antes de l'eau virtuelle : l'eau bleue et l'eau verte.....	5
Figure 03. Le commerce de l'eau virtuelle Source :(Hoekstra, 2003)	10
Figure 04. . Bilans nets des échanges d'eau virtuelle en milliards de meters cubes (exportations11 importations) des pays de la region méditerranéenne, moyenne des années 2000-2004	
Figure 05. Place des céréales dans les importations des produits alimentaires.....	13
Figure 06. Phylogenies de blè dur- shewry 2009.....	17
Figure 07. Cycle de développement du blè dur.....	19
Figure 08. Moyne de 10 ans 2002-2012 de production de blè dur dans le monde.....	25
Figure 09. La production de blè dur en Algérie 1998-2012 source : Dsa de sètif.....	26
Figure 10. Interface ghraphique de le modèle Aquacrop.....	30

Figure 11. Interface graphique de le modèle de cropwat.....	31
Figure 12. Précipitations annuelles sur 9 ans 1999-2007.....	39
Figure 13. Température moyenne mensuelle et amplitude thermique pour 9 ans 1999 2007...39	
Figure 14. La précipitation moyenne mensuelle de la wilaya du tiaret a la période 1990-2017.46	
Figure 15. Les données liées à la culture de le modèle de cropwat.....	44
Figure 16. Les données liées au sol de cropwat.....	45
Figure 17. La précipitation moyenne mensuelle de la wilaya du tiaret a la période 1990-2018.47	
Figure 18. Températures moyennes mensuelles de la région de Tiaret (1990-2018).....	47
Figure 19. Humidités relatives moyennes mensuelles de la région de Tiaret (1990-2018).....	48
Figure 20. L'insolation moyenne mensuelle de la région du Tiaret 1990-2018.....	48
Figure 21. Vitesse du vent moyenne mensuelle pour la période d'étude (1990-2018)	49
Figure 22. Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence, période (1990-2018)...	50
Figure 23. Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence de la saison de culture.50	
	période (1990-2018)
Figure 24. Variation interannuelle de la pluie efficace totale, période (1990-2018).....	51
Figure 25. Variation interannuelle du besoin en eau de la culture par le modèle CropWat et...52	
AquaCrop	
Figure 26. Variation interannuelle du besoin en eau d'irrigation par le modèle.....52	
	CropWat et AquaCrop
Figure 27. Variation interannuelle de l'eau virtuelle par les modèles AquaCrop et cropwat.....	53
Figure 28. Variation interannuelle L'eau bleue par les modèles AquaCrop et cropwat.....	53
Figure 29. Variation interannuelle de l'empreinte d'eau de blé dur.....	54

Liste des tableaux

Tableau 01. Empreinte hydrique des quelques pays.....	7
Tableau 02. Tariffs de l'eau agricole dans quelques pays dans le monde. Source : (OIE, 2004) ..	8
Tableau 03. Quantities estimées d'eau virtuelle contenues dans les produits alimentaire.....	12
Importés par les pays Arabes (1997-2001)	
Tableau 04. Quantité d'eau virtuelle de certains produits en m ³ /tonnes.....	15
Tableau 05. Production mondiale de blè dur en Tonnes FAO stat.2012.....	24
Tableau 06. Les donnèe d'entree des modèles Aquacrop et Cropwat.....	31
Tableau 07. Les données de sorties des modèles AquaCrop et CropWat.....	31
Tableau08. Les donnèe liès a la culture du blè dur.....	43
Tableau09. Les paramètre du type de sol de Aquacrop.....	44

CHAPITRE I. L'EAU VIRTUELLE

1. Concept d'eau virtuelle

Le concept d'eau virtuelle a été introduit dans les années 1990, dans un contexte d'économie politique et l'idée est maintenant reconnue comme étant pluridisciplinaire. Le concept d'empreinte hydrique s'inspire largement des sciences fondamentales de la météorologie, de la physiologie des plantes, des sciences du sol et de l'agronomie afin de trouver un moyen de mesure. Elle se prête à aider à comprendre l'eau non seulement comme un bien économique et social, mais aussi comme une ressource naturelle.

Le concept d'empreinte hydrique est largement utilisé pour relier le mode de consommation à l'affectation des ressources. L'empreinte hydrique de l'agriculture est estimée sur la base de la demande spécifique en eau pour les cultures. La méthodologie de quantification de l'eau des cultures sur la base de l'évapotranspiration, développée par la Food and L'Organisation des Nations unies pour l'agriculture (FAO) est largement utilisée pour estimer l'empreinte de l'eau.

Les estimations de l'empreinte hydrique mondiale pour l'agriculture et les produits animaux ont été évaluées pour des périodes allant de 1986 à 2010 dans diverses études. Les empreintes pour les pays / régions, les secteurs et pour des produits spécifiques ont été estimées. Le concept est désormais considéré comme une idée similaire aux empreintes carbone et écologique et des efforts d'unification de ces indicateurs de consommation sont également tentés. Le concept d'empreinte eau, cependant, a été critiqué pour être juste une mesure indirecte abstraite de l'efficacité d'utilisation de l'eau et rien de plus (Kokila, 2016). La question de savoir si «empreinte eau» et «eau virtuelle» peuvent être traitées comme des synonymes est toujours en débat. Cependant, en tant que mesures de l'eau contenue dans un produit, ils peuvent être utilisés de manière interchangeable. Le domaine d'étude a évolué depuis son introduction et la littérature s'est épanouie, mais les analyses et les méthodologies sont encore en évolution.

Les études antérieures pertinentes sont examinées dans les paragraphes suivants et ont été classées par ordre chronologique afin de comprendre l'évolution du concept au cours des deux dernières décennies.

Allan (1998) a introduit le concept de l'eau virtuelle comme un instrument pour parvenir à la sécurité régionale de l'eau et un outil politique pour résoudre les problèmes géopolitiques dans les pays du Moyen-Orient confrontés à de graves déficits en eau.

Falkenmark et Roockstrom (2006) ont exprimé la teneur virtuelle en eau d'un produit comme étant constituée de trois composants. L'eau virtuelle «verte» est le volume d'eau de pluie qui s'est évaporée pendant la production et l'eau virtuelle «bleue» est le volume d'eau de surface ou d'eau souterraine qui s'est évaporée pendant la production. Celles-ci concernent principalement les produits agricoles, où elles se réfèrent à l'évapotranspiration totale du champ pendant la période de croissance de la culture. L'eau virtuelle «grise» est le volume d'eau qui est pollué au cours du processus de production.

Hoekstra et Hung (2005) quantifient les volumes de flux d'eau virtuels à travers le commerce international des cultures entre les nations au cours de la période 1995-1999 et analysent également les bilans hydriques virtuels nationaux en relation avec les besoins nationaux en eau et la disponibilité en eau. L'approche de base consiste à multiplier les flux commerciaux internationaux des cultures par leur teneur en eau virtuelle associée. La consommation totale d'eau par les cultures dans le monde a été estimée à $5400 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{an}$ et le volume global du débit d'eau virtuel international lié aux cultures entre les nations était de $695 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{an}$. L'étude ne prend en compte que les cultures importantes et exclut les produits végétaux. L'Inde figurait parmi les plus grands exportateurs nets d'eau virtuelle.

Kumar et Singh (2005) ont montré que l'excédent ou le déficit virtuel d'eau d'un pays n'est pas uniquement déterminé par sa situation en matière d'eau. Ils ont conclu qu'il n'existait aucune corrélation entre la disponibilité relative de l'eau dans un pays et le commerce virtuel de l'eau. Plusieurs pays riches en eau, dont le Japon, le Portugal et l'Indonésie, ont enregistré des importations nettes d'eau virtuelle élevées. Ils ont également montré que l'accès aux terres arables peut être un moteur clé du commerce virtuel de l'eau.

Ma *et al.*, (2006) ont quantifié le commerce virtuel de l'eau en Chine dans le contexte du projet de transfert Sud-Nord. L'étude a révélé que le nord de la Chine exporte $52 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{an}$ d'eau virtuelle vers le sud de la Chine, un volume supérieur au volume maximal de transfert d'eau proposé ($38 - 43 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{an}$) dans le cadre du projet.

Ils ont conclu que si la direction perverse du commerce virtuel de l'eau en Chine peut être inversée, cela peut constituer une meilleure alternative au transfert physique de l'eau entre les bassins. Verma *et al.*, (2007) présentent un résultat similaire pour l'Inde.

Verma (2007) a estimé qu'au niveau actuel de production et de consommation, le lait et les produits laitiers ne sont pas susceptibles d'ajouter de manière significative aux flux d'eau virtuels interétatiques, car l'Inde dans son ensemble est un excédent de lait et les niveaux de consommation dans les États qui produisent moins de lait sont bien en deçà des normes

prescrites pour la sécurité nutritionnelle. Dans un scénario de sécurité nutritionnelle où les normes nutritionnelles minimales sont respectées dans chaque état, on peut s'attendre à des flux d'eau virtuels interrégionaux de l'ordre de $40 \times 10^9 \text{ m}^3 / \text{an}$.

Brown *et al.*, (2009) fournissent une estimation de la teneur en eau virtuelle des cultures et du bétail au niveau du bassin versant. L'étude met en évidence la nécessité de disposer d'informations sur les besoins en eau à l'échelle du bassin versant / du bassin hydrographique. La production de baies dans la vallée du bas Fraser (une région humide) était une activité économique importante évaluée à 93 millions de dollars et nécessitant $32 \text{ Mm}^3 / \text{an}$ d'eau, tandis que les vergers et vignobles du bassin de l'Okanagan (une région sèche) avaient une valeur estimée de \$ 68 millions mais a nécessité le double de l'eau. Des estimations détaillées de l'efficacité de l'eau constituent la base pour déterminer les compromis et permettent une meilleure allocation des ressources.

Jiang et Marggraf (2015) estiment que l'Allemagne a exporté 192 millions de m^3 d'eau virtuelle vers la Chine et importé 801 millions de m^3 de Chine, ce qui a permis d'économiser 69,8 millions de m^3 pour l'Allemagne et une perte nette d'eau de 469,4 millions de m^3 pour la Chine, laissant perte d'eau. La perte provient de la différence d'efficacité d'utilisation de l'eau entre ces deux pays et il est suggéré que l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau en Chine atténuerait cette perte mondiale d'eau et augmenterait également la valeur de l'eau par unité en Chine.

2. L'eau virtuelle sans les relations internationales

L'eau virtuelle joue un rôle dans les échanges entre pays, notamment les échanges de produits agricoles. En effet, un pays dont les ressources d'eau sont faibles n'a pas intérêt à exporter des produits, par exemple des fruits ou de la viande, dont la production requiert une grande quantité d'eau. Des pays comme la Jordanie et Israël orientent certaines de leurs exportations en fonction de l'eau consommée. Le Conseil mondial de l'eau tente d'évaluer les flux mondiaux d'eau virtuelle¹. D'après les calculs de Hoekstra *et al.* en 2003, le continent américain, l'Asie du Sud-Est et l'Océanie seraient les principaux exportateurs d'eau virtuelle, les importateurs les plus importants étant l'Afrique du Nord, l'Europe de l'Ouest et l'Asie centrale et du Sud.

Le choix de développer des cultures gourmandes ou, à l'inverse, économes en eau, par exemple en vue de l'exportation, peut avoir des conséquences importantes sur le plan géopolitique lorsqu'un pays occupe la partie amont d'un bassin fluvial. Les pays situés en aval recevront en effet plus ou moins d'eau selon le type de culture ou d'exploitation de ses

terres que le pays en amont aura décidé d'adopter. L'idée d'eau virtuelle doit donc être prise en compte dans les coopérations régionales entre pays.

En 2008, le Royaume-Uni est le sixième plus grand importateur net d'eau au monde derrière le Brésil, le Mexique, le Japon, la Chine et l'Italie. Seulement 38% de la consommation totale d'eau du Royaume-Uni provient de ses propres ressources; le reste dépend des systèmes d'eau d'autres pays, dont certains font déjà face à de graves pénuries. Les Britanniques consomment en eau potable environ 150 litres par personne, mais ils consomment environ 30 fois plus d'eau virtuelle (4 645 litres par personne par jour), utilisée dans la production d'aliments et de textiles importés. Des quantités énormes de denrées alimentaires et de coton y sont consommées, cultivés dans les régions les plus sèches du monde où les ressources en eau sont déjà très sollicitées. Le WWF identifie l'Espagne, les pays d'Afrique du Nord, notamment l'Égypte et le Maroc, l'Afrique du Sud, Israël, le Pakistan et l'Ouzbékistan comme les pays confrontés à stress hydrique aigu fournissant au Royaume-Uni des exportations substantielles en eau.

Le Belge dépasserait ce chiffre avec 7 400 litres par personne par jour consommés, dans des produits d'importation tels que coton, café, soja et blé.

3. Quelques ordres de grandeur

D'après le Conseil mondial de l'eau, la quantité d'eau nécessaire pour produire divers types de nourriture varie considérablement selon le type de production. Le tableau01 montre les volumes d'eau nécessaire pour produire les produits de base de la nourriture.

Tableau 1. Le volume d'eau utilisé pour produire un kg de bien

La production d'un kg de	Le volume d'eau utilisé (litres)
lait	790
blé	1 160
riz	1 400
porc	4 600

bœuf	13 500
------	--------

4. Empreinte eau

L'**empreinte eau** (on parle également d'empreinte sur l'eau) est le volume total d'eau virtuelle utilisée pour produire un produit ou un service. Comme on le fait pour l'empreinte écologique, on peut également évaluer l'empreinte eau d'une entreprise, d'un pays, d'un individu, d'une ville etc. L'empreinte de l'eau ou *Water footprint* en anglais est un indicateur basé sur la consommation effective d'eau aux différents stades de la production d'un produit par le consommateur ou le producteur. On distingue l'eau verte, bleue et grise :

- l'eau **bleue** est l'eau captée pour les usages domestiques et agricoles. Elle est aussi définie comme l'eau douce de surface ou souterraine, autrement dit l'eau douce des lacs, des rivières et des aquifères ;
- l'eau **verte** est l'eau de pluie stockée dans le sol – humidité + évaporation + transpiration ;
- l'eau **grise** est l'eau polluée par les processus de production^{2,3}. Dans la terminologie émergente de l'empreinte eau, l'eau grise désigne aussi la quantité d'eau bleue nécessaire pour diluer suffisamment l'eau usée rejetée et rendre l'eau à nouveau disponible pour un autre usage.

Partie 2 : Blé dur

I. Historique de blé dur

La culture des céréales a permis l'essor des grandes civilisations, car elle a constitué l'une des premières activités agricoles.

En effet, Il ya plus de trois millions d'années, l'homme préhistorique était nomade, pratiquait la chasse et la cueillette des fruits pour assurer sa nourriture. Le nomadisme a progressivement laissé la place à la sédentarité qui permit la culture des céréales. Le blé est l'une de ces céréales connue depuis l'antiquité. Sa culture remontée au mésolithique vers 7000 avant Jésus-Christ. Le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran.

Le terme blé vient probablement du gaulois blato (à l'origine du vieux français balaie, blée, blaiier, blaver, d'où le verbe emblaver, qui signifie ensemer en blé) et désigne les grains qui broyés, fournissant de la farine, pour des bouillies (polenta), des crêpes ou du pain. On trouve sous le nom de blé des espèces variées: le genre *Triticum* (du latin *Tritus*, us= broiement, frottement): le blé moderne (froment), l'orge (*Hordeum*) et le seigle (*Secale* céréale), le blé noir (sarrasin).

C'est en l'an 300 ans avant JC, que les premiers procédés de panification ont été élaborés par les Egyptiens qui préparaient déjà les premières galettes à base de blé. L'homme sait alors produire sa propre nourriture, en même temps celui-ci acquiert son autosuffisance alimentaire et en ces temps là, apparaissent les premiers échanges commerciaux. Par la suite, les techniques de panifications se sont améliorées grâce au Hébreux, Grecs et enfin Romains qui en répandent l'usage à travers l'Europe et devenue, un des constituant essentiel de l'alimentation humaine.

1. Origine géographique

Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme depuis plus de de 7000 à 10000 ans, dans le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et des espèces tétraploïdes, remontant au VIIème millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient (Harlan, 1975).

2. Origine génétique du blé dur

Le blé dur appartient à la famille des graminées (*Gramineae* = *Poaceae*), qui comprend plus 10000 espèces différentes (Mac Key, 2005). Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo polyploïdie, dont les génomes homéologues dérivent de l'hybridation inter espèces appartenant à la même famille (Levy et Feldman, 2002) D'après Feillet (2000), ces espèces se différencient

par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génome AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42). La nature polyploïde du génome des blés aurait également contribué au succès de leur domestication (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

La filiation génétique du blé dur est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum. monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoides*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *T. tauschii*).

Le croisement naturel *T. monococcum* × *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*T. turgidum* ssp. *dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum* ssp. *dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000). Des restes de types primitifs de *T. turgidum* cultivé (l'amidonner, qui est un blé à grains vêtus), découverts sur plusieurs sites archéologiques en Syrie, ont été datés d'environ 8000 avant J-C (Brink et Belay, 2006). Le croisement entre l'espèce *T. durum* de constitution génomique AABB et l'*Aegilops tauschii* de constitution génomique DD, donna naissance à l'espèce *T. aestivum* de constitution génomique AABBDD (Feldman et Sears, 1981 ; Shewry, 2009)

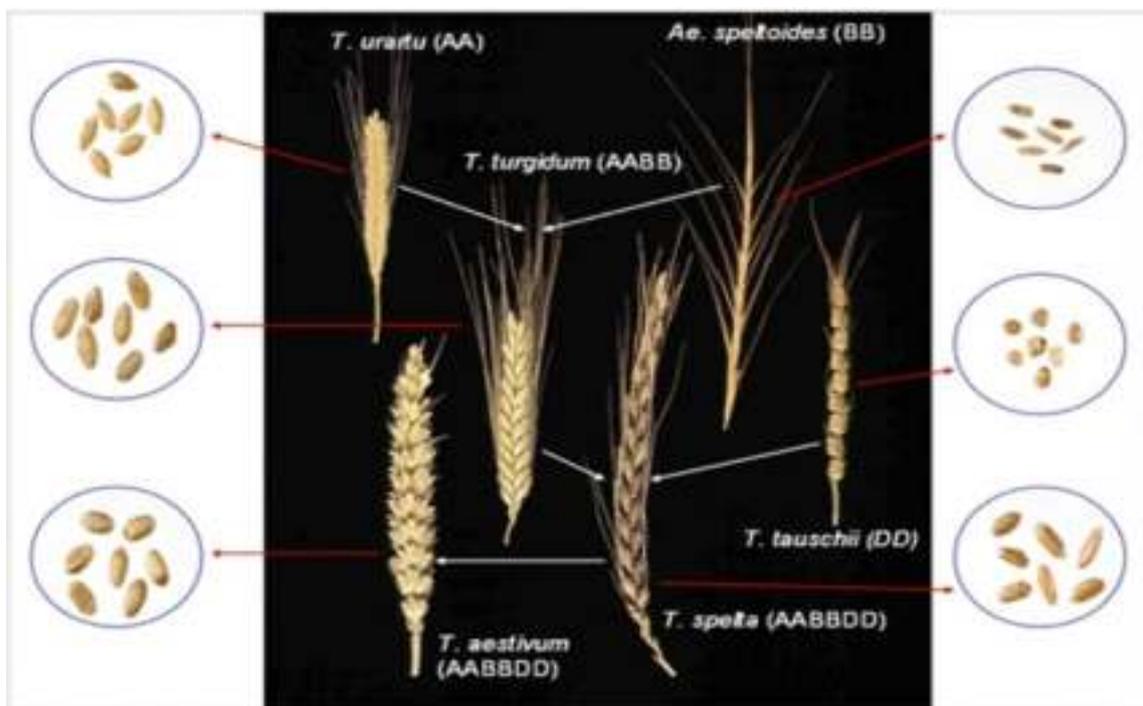


Figure 01 : phylogénie de blé dur- shewry 2009

La filiation génétique du blé dur est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum. monococcum*, le génome B d'un *Aegilops*

(*bicornis*, *speltoides*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *T. tauschii*).

Le croisement naturel *T. monococcum* × *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB (*T. turgidum* ssp. *dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T. turgidum* ssp. *dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000). Des restes de types primitifs de *T. turgidum* cultivé (l'amidonnier, qui est un blé à grains vêtus), découverts sur plusieurs sites archéologiques en Syrie, ont été datés d'environ 8000 avant J-C (Brink et Belay, 2006). Le croisement entre l'espèce *T. durum* de constitution génomique AABB et l'*Aegilops tauschii* de constitution génomique DD, donna naissance à l'espèce *T. aestivum* de constitution génomique AABBDD (Feldman et Sears, 1981 ; Shewry, 2009)

3. Le cycle biologique du blé dur

De graine à graine, le cycle biologique du blé dur se divise en trois périodes successives, chacune comporte des phases et des stades. La réalisation des différents stades est sous le contrôle de la somme des températures journalières (degré-jour) subie par la plante. La somme des températures, base zéro pour le blé, se calcule ainsi : Somme degré-jour = $(T^{\circ}\text{C min} + T^{\circ}\text{C max}) / 2$ Il ne faut prendre en considération que les valeurs positives (>0) (Hamadache, 2013).

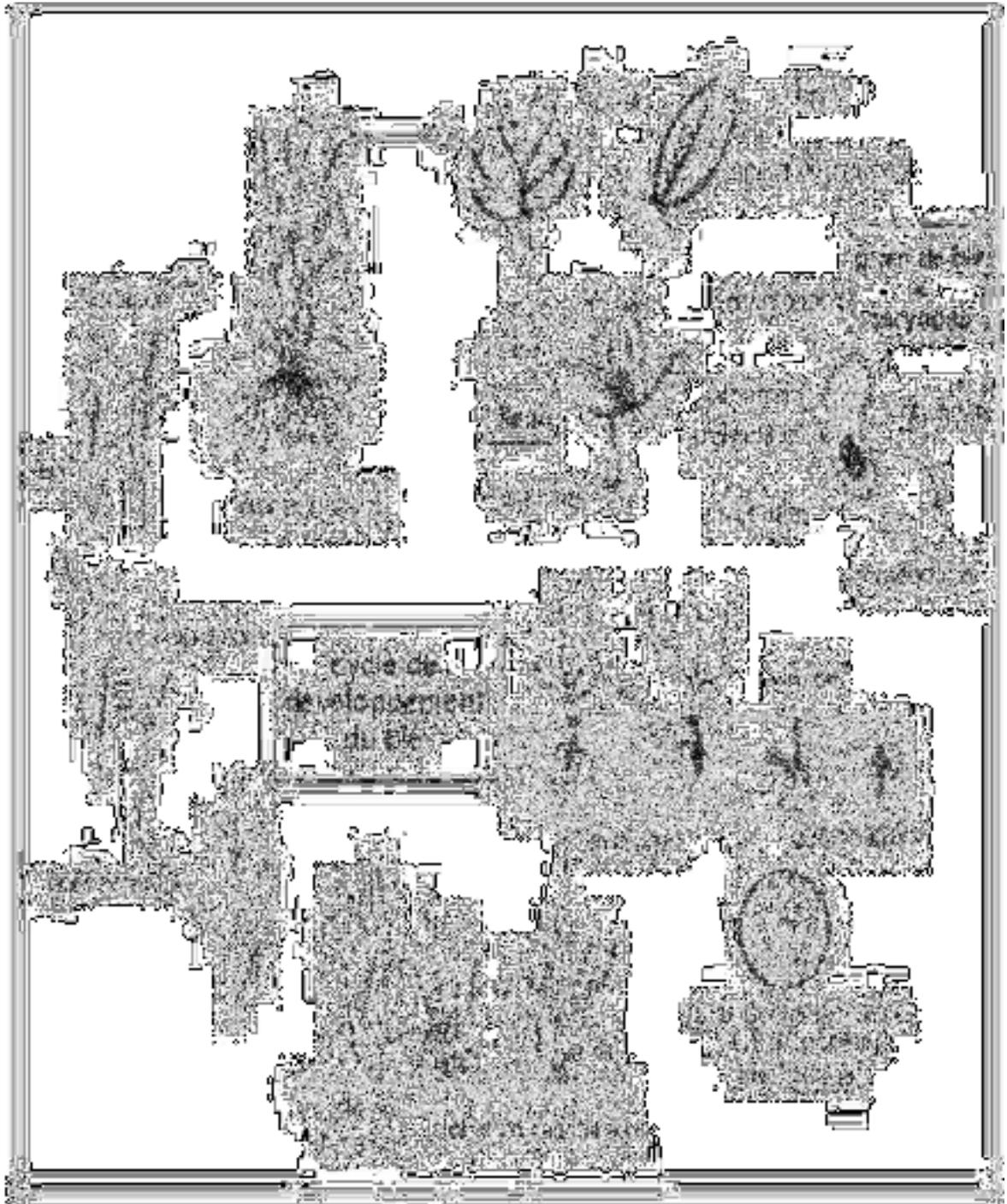


Figure02. cycle de développement du blé dur

3.1 Le tallage

Cette phase s’amorce à partir de la quatrième feuille. La formation de la première talle se fait au stade 3 feuilles. La première talle primaire (maitre-brin) apparaît à laissais de la première feuille du blé. La 2eme et la 3 eme talle apparaissent à laissais de la 2eme et la 3eme feuille (Hamadache, 2013). La fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l’élargissement des entre-nœuds (Gate, 1995) (Figure I.3).

Cependant, Longnecker et al. (1993) suggèrent que le tallage ne s'arrête pas à n'importe quel stade de développement du blé, mais il est plutôt contrôlée par un certain nombre de facteurs génétiques et environnementaux. Le nombre de talles productives dépend du génotype, de l'environnement et est fortement influencée par la densité de peuplement (Acevedo et al., 2002).

3.2 Période reproductrice

3.2.1 Montaison-floraison

La montaison débute lorsque les entrenœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage (Belaid, 1987). Selon Baldy (1984) la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit le nombre d'épis montants par unité de surface (Figure I.3).

A l'épiaison, l'épi sort de la dernière feuille. Les épis dégainés fleurissent généralement après quelques jours (moins de 7 jours) après l'épiaison. Les températures élevées et la sécheresse au cours de l'épiaison et de la floraison peuvent réduire la viabilité du pollen et ainsi réduire le nombre de grain (Herbek et Lee, 2009).

3.3 Période remplissage et maturité du grain

3.3.3 Floraison-maturité

La période floraison-maturité correspond à l'accumulation des hydrates de carbone et de l'azote dans le grain (Gallais et Bannerot, 1992). Cette période correspond à la formation de la dernière composante la durée, de la vitesse de remplissage et de la capacité de translocation des assimilats constitutive du rendement qui est le poids de 1000 grains (Robert et al., 1993). Le remplissage du grain, après la floraison, se fait de deux façons :

Par la migration d'une partie des réserves de la tige.

- Par la photosynthèse des parties de la plante encore vertes (feuilles, épis, barbes) (Hamadache, 2013).

Le rendement en grains, sous système de culture pluviale et sous environnement contraignant, est la résultante de du grain). Puis suit le dessèchement du grain, pour atteindre son poids sec final (Wardlow, 2002)

4. Les exigences de blé dur

4.1 Les exigences édaphiques

D'après (Soltner, 2000) ; le blé dur préfère les sols du type argilo-calcaire ou limoneux à limono-argileux à cause de son système racinaire fasciculées. Les sols qui conviennent le mieux au blé dur sont :

-Les sols profonds (plus de 60cm de profondeur)

- Les sols suffisamment riches en matières organiques et minérales
- Les sols bien drainés pour éviter tout développement de maladies
- Les sols capables de maintenir une réserve en eau suffisant pour assurer une bonne alimentation au moment de l'accumulation des réserves dans le grain

4.2 Les exigences climatiques

4.2.1. Température

La température est l'un des facteurs importants pour la croissance et l'activité végétative. Selon (Soltner, 1988), Le blé à un zéro de végétation très bas, à 0° c, son exigence en chaleur est très élevée, pour accomplir son cycle végétatif, il lui faut un cumul de température total de 2300°c, qui se répartissant comme suite

Semi-germination 150° c

Germination- tallage 500 °c

Tallage- floraison 85° c

Floraison-maturation 800° c

4.2.2 Lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé (Benasseur, 2003). Selon (Soltner, 2005) ; le bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement, dont dépendent à la fois résistance des tiges à la verse et le rendement

4.2.3 L'eau

Selon (Soltner ,1990), l'eau a une grande importance dans la croissance de la plante. En plus de l'eau de constitution des cellules et de celle qui entre dans les synthèses glucidiques catalysées par la chlorophylle, l'eau est le véhicule des éléments minéraux solubles de la sève brute.

A cet égard, (Clément et Parts ,1970) voient qu'il est intéressant de définir le coefficient de transpiration du blé, c'est-à-dire la quantité d'eau qui doit traverser la plante pour l'élaboration d'une certaine quantité de matière sèche. Pour le blé, suivant les variétés, l'avaleur du coefficient de transpiration varie de 450 à 550 grammes d'eau pour un gramme de matière sèche.

4.3 Fertilisation

La fertilisation est raisonnée sur le principe de la restitution au sol des quantités d'éléments (N, P, K) fertilisants prélevés par les récoltes. Le blé a besoin de ces trois éléments essentiels et le rôle de chaque élément sur le plan de blé est le suivant (Hacini ,2014).

4.3.1 L'azote

C'est un facteur déterminant du rendement

- Il permet la multiplication et l'élongation des feuilles et des tiges.
- Il a pour rôle l'augmentation de la masse végétative

4.3.2 Phosphore(P)

C'est un facteur de croissance qui favorise le développement des racines en cours de végétation.

- C'est un facteur de précocité qui favorise la maturation
- Il accroît la résistance au froid et aux maladies.
- C'est un facteur de qualité (Hacini, 2014)

4.3.3 Potassium(K)

- Il régule les fonctions vitales de la croissance végétale
- Il est nécessaire à l'efficacité de la fumure azotée.
- Il permet une économie d'eau dans les tissus de la plante
- Il assure une meilleure résistance à la verse et aux maladies (Hacini ,2014)

5. L'importance du blé dur

5.1 Importance alimentaire

Les blés constituent la première ressource alimentaire de l'humanité, et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. [4]

Le blé occupe la première place pour la production mondiale et la deuxième après le riz, comme source de nourriture pour les populations humaines, il assure 15% de ses besoins énergétiques. Le blé est cultivé principalement dans les pays du bassin méditerranéen à climat arides et semi-arides là où l'agriculture est dans la plus mauvaise passe. Ces régions se caractérisent par l'augmentation de la température couplée à la baisse des précipitations, en plus la désertification et la sécheresse.[8]

En Algérie la céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares. Le blé dur est une ancienne culture dont l'origine remonte à la venue des arabes.

La superficie occupée par le blé dur est, en moyenne, de 1.3 millions d'hectares, durant la période 2000-2010.

5.2 Importance économique

Le blé dur représente environ 8% des superficies cultivées en blés dans le monde dont 70% sont localisées dans les pays du bassin méditerranéen. La Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne, et les pays d'Afrique nord, sont en effet, parmi les principaux producteurs. Par ailleurs, le blé dur occupe une place centrale dans l'économie Algérienne. En 2012, a atteint une production de blé de 51,2 MQ contre une production mondiale de 690 MT. Sur une superficie de 3 Mha réservée à la céréaliculture, 1 785 000 ha sont destinés à la culture du blé.

6. Production de blé dur

6.1 Dans le monde

La production mondiale en blé dur connaît des interannuelles importantes.

En 2002, selon les statistiques du conseil international des céréales sur la scène mondiale, la superficie consacrée annuellement à la culture du blé dur s'étend sur environ 18 millions d'hectares, ce qui donne une production annuelle moyenne approximative de 30 millions de tonnes. En 2009, année relativement favorable, la production mondiale de blé dur a atteint 40 millions de tonnes, puis a baissé vers 34 millions de tonnes en 2014.

L'Europe (hors CEI) a assuré en moyenne, au cours de la décennie 2000, 26% de la production mondiale (la balance commerciale de l'Union européenne en blé dur est en général excédentaire depuis 1985, mais l'Italie importe). viennent ensuite l'Amérique du Nord et centrale (24%), le Moyen-Orient (avec en particulier la Turquie et la Syrie (18%), puis la CEI (12%) et l'Afrique du nord.

La production de blé dur est soumise à deux variabilités : la récolte en Afrique du nord très irrégulière car dépendante des pluies d'hiver et de printemps, et la production en Amérique du Nord découlant de décisions de semis sur des bases économiques et agronomiques (avec peu d'alternatives en zone aride). La zone méditerranéenne dans son ensemble consomme 62% du blé dur mondial et est la principale zone importatrice de la planète . L'Amérique du Nord et centrale est la principale zone exportatrice de la planète . Elle réalise 72% des exportations mondiales. Le Canada est le premier exportateur de blé dur et l'Algérie est le premier importateur.

Tableau02 : production mondiale de blé dur en Tonnes FAO stat.2012

Code	Produit	Production (Tonnes)
001	Blé dur	100000000
002	Blé dur	100000000
003	Blé dur	100000000
004	Blé dur	100000000
005	Blé dur	100000000
006	Blé dur	100000000
007	Blé dur	100000000
008	Blé dur	100000000
009	Blé dur	100000000
010	Blé dur	100000000
011	Blé dur	100000000
012	Blé dur	100000000
013	Blé dur	100000000
014	Blé dur	100000000
015	Blé dur	100000000
016	Blé dur	100000000
017	Blé dur	100000000
018	Blé dur	100000000
019	Blé dur	100000000
020	Blé dur	100000000
021	Blé dur	100000000
022	Blé dur	100000000
023	Blé dur	100000000
024	Blé dur	100000000
025	Blé dur	100000000
026	Blé dur	100000000
027	Blé dur	100000000
028	Blé dur	100000000
029	Blé dur	100000000
030	Blé dur	100000000
031	Blé dur	100000000
032	Blé dur	100000000
033	Blé dur	100000000
034	Blé dur	100000000
035	Blé dur	100000000
036	Blé dur	100000000
037	Blé dur	100000000
038	Blé dur	100000000
039	Blé dur	100000000
040	Blé dur	100000000
041	Blé dur	100000000
042	Blé dur	100000000
043	Blé dur	100000000
044	Blé dur	100000000
045	Blé dur	100000000
046	Blé dur	100000000
047	Blé dur	100000000
048	Blé dur	100000000
049	Blé dur	100000000
050	Blé dur	100000000
051	Blé dur	100000000
052	Blé dur	100000000
053	Blé dur	100000000
054	Blé dur	100000000
055	Blé dur	100000000
056	Blé dur	100000000
057	Blé dur	100000000
058	Blé dur	100000000
059	Blé dur	100000000
060	Blé dur	100000000
061	Blé dur	100000000
062	Blé dur	100000000
063	Blé dur	100000000
064	Blé dur	100000000
065	Blé dur	100000000
066	Blé dur	100000000
067	Blé dur	100000000
068	Blé dur	100000000
069	Blé dur	100000000
070	Blé dur	100000000
071	Blé dur	100000000
072	Blé dur	100000000
073	Blé dur	100000000
074	Blé dur	100000000
075	Blé dur	100000000
076	Blé dur	100000000
077	Blé dur	100000000
078	Blé dur	100000000
079	Blé dur	100000000
080	Blé dur	100000000
081	Blé dur	100000000
082	Blé dur	100000000
083	Blé dur	100000000
084	Blé dur	100000000
085	Blé dur	100000000
086	Blé dur	100000000
087	Blé dur	100000000
088	Blé dur	100000000
089	Blé dur	100000000
090	Blé dur	100000000
091	Blé dur	100000000
092	Blé dur	100000000
093	Blé dur	100000000
094	Blé dur	100000000
095	Blé dur	100000000
096	Blé dur	100000000
097	Blé dur	100000000
098	Blé dur	100000000
099	Blé dur	100000000
100	Blé dur	100000000

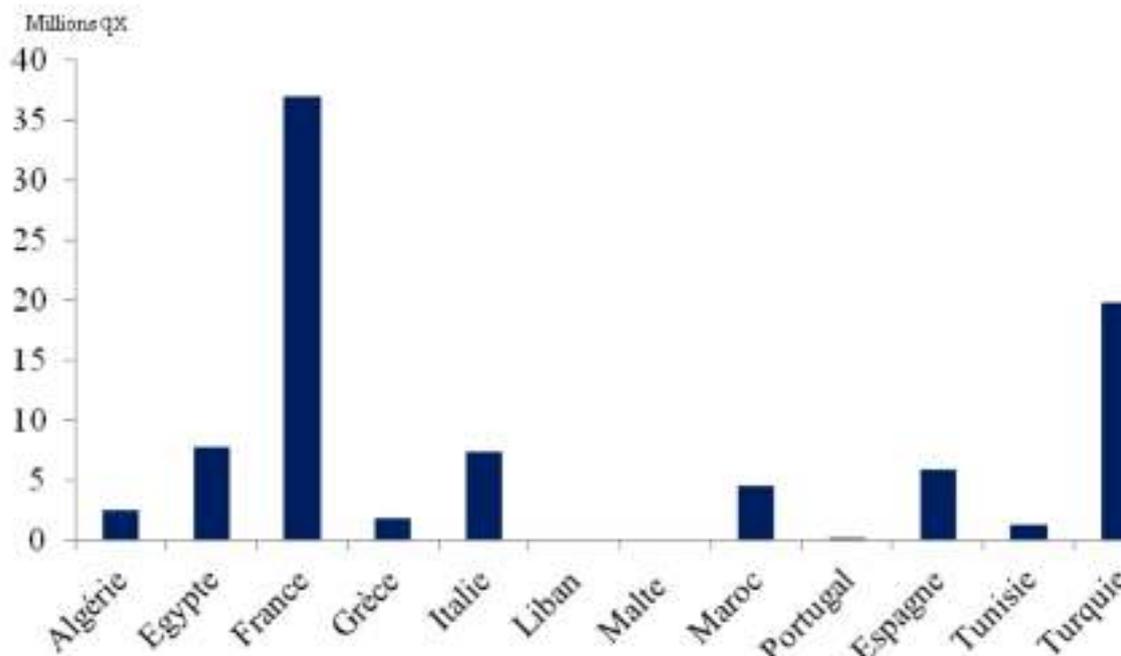


Figure 03. Moyenne de 10 ans 2002-2012 de production de blé dur dans le monde

6.2 En l'Algérie

Selon les statistiques de la Fao, en 2009 la production nationale en Algérie fut de 2953117 tonnes pour une superficie emblavée hectares, faisant une contribution 0.4% dans la production mondiale.

La vallée du Chleff qui englobe les wilayas d'Ain-Defla, Chleff et une grande partie de la wilaya de Tiaret prend une place importante dans la production des blés tendres et durs au niveau national sur la base des informations issues de la revue « statistiques agricole ». Cette place s'explique par des taux de production de blé dur comparés à la production nationale allant de 23% en 2002, année climatiquement relativement défavorable à 11% en 2010, année favorable. Ces taux sont plus faibles pour le blé tendre de 14.84% en 2002 à 8.58% en 2010. Ces fluctuations sont dues principalement aux variations interannuelles des conditions climatiques de la région à climat semi-aride.

La superficie moyenne emblavée du blé dur dans ces trois wilayas durant la période (2002-2010) est de 199218 hectares devant 1342425 hectares au niveau national. Constituant donc un taux d'occupation moyen de 14.84% de la superficie réservée dans le territoire national. Cependant, la superficie moyenne emblavée en blé tendre dans ces trois wilayas durant la même période n'est que de 65776 hectares devant 733380 hectares à l'échelle nationale faisant un taux moyen d'occupation de 8.37%.

Il ressort que la production moyenne du blé dur dans ces trois wilayas durant la même période s'éleva à 2713136 quintaux en face 15837585 quintaux au niveau national. Faisant un taux moyen de contribution de 17 % dans la production nationale.

Cependant la production moyenne du blé tendre dans ces trois wilayas durant la même période n'est que de 801837quintaux en face de 8561832 quintaux à l'échelle nationale. Faisant un taux moyen de contribution de 9.73% dans la production nationale.

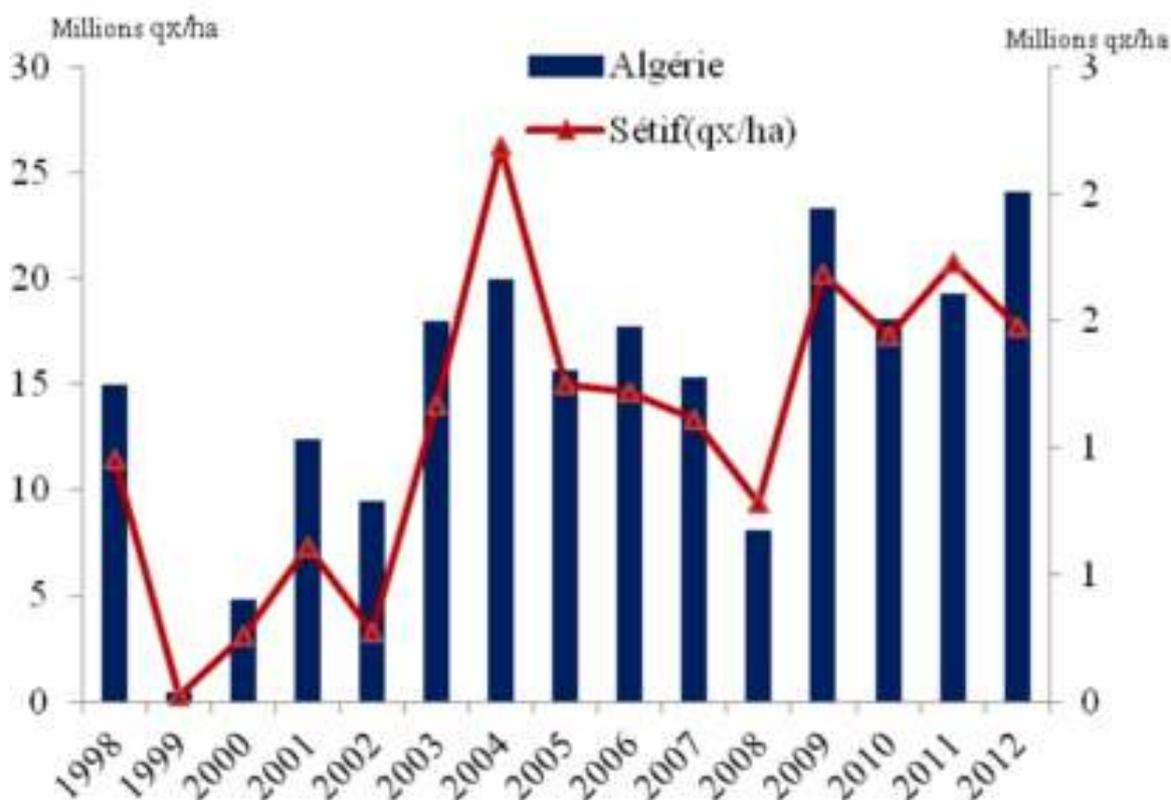


Figure 04. La production de blé dur en Algérie 1998-2012 source : Dsa de Sétif

6.3 Variétés du blé dur utilisé en Algérie

Les génotypes d'introduction nouvellement sélectionnés et caractérisés par un haut potentiel de production disparaissent plus rapidement à cause de leur inadaptation et leur sensibilité à la sécheresse. Néanmoins ; l'introduction de ce matériel génétique a fait régresser les variétés locales en les marginalisant pendant les années favorables avant de disparaître à son tour après les années défavorables.

Le succès de la production de céréales dépend en grande partie, du choix de la variété appropriée. C'est-à-dire résistante aux maladies, bien adaptées au sol et au climat, ayant un rendement élevé et une qualité du grain appréciable.

Les variétés de blé dur homologuées dont les semences peuvent être produites et commercialisées en Algérie sont éditées par le centre national de contrôle et de certification des semences et plants sur le bulletin des variétés 'céréales' de l'année 2009,

on compte au total trente variétés à savoir : les variétés locales : Bidi17, Cirta, Gloire de GuemgoumR'khem. Mohamed ben Bachir, Raouia, Hadba 3, Taslemt et les variétés traduites : belikh02, Bolenga, Bousseleme, Cannizo, Capieti cham 3, chen'sCiccio, Colesseo, Crioca. Durbel ,Eider, GTA dur kebir ,Ofanto , Orjaune, Oum Rabi ,Poggio, Polonicom, Sebaou, Siméto, Tassili ,vitron et waha.

Partie03 : modélisation

I. présentation des deux logiciel Aquacrop et cropwat

1. Modèles de culture

La modélisation est devenue un outil très utilisé dans différents domaines scientifiques et techniques.

Depuis plus de 25 ans, l'utilisation des modèles en agronomie ne cesse de s'accroître permettant ainsi d'étudier les différents aspects liés à la croissance et au développement des plantes.

Les premiers modèles développés concernent la valorisation des travaux sur la photosynthèse, la respiration et la mise en relation de la biomasse accumulée et les processus instantanés (Wit et al., 1970). Par la suite, on assiste à l'appropriation de concepts existants (Monteith, 1972) et à l'émergence de nouveaux concepts (Spaeth et Sinclair, 1985) qui vont constituer un référentiel pour l'ensemble des modèles de culture. En 1984, le premier modèle générique EPIC a été développé pour répondre à des Préoccupations agro-environnementales. Il a ensuite donné naissance au modèle CROPSYST.

Au début des années 1990, des modèles à vocation uniquement environnementale Apparaissent tels que DAISY et PASTIS. En 1996 le nouveau modèle agronomique STICS a vu le jour (Brisson et al. 1998, 2003, 2009), qui a été développé à l'INRA d'Avignon en France.

L'école hollandaise (van Ittersum et al., 2002) a produit des modèles, dérivés de SUCROS, s'attachant à décrire précisément l'écophysiologie des cultures à des fins souvent didactiques. Les américains ont par suite, développé les modèles GOSSYM/GLICYM et CERES sur lesquels repose la famille du modèle CROPGRO développé par des chercheurs en Australie. Ces derniers ont commencé à introduire les pratiques agricoles pour se rapprocher davantage des objectifs agronomiques. La tendance actuelle consiste en la mise au point de modèles génériques et agro, environnementaux qui prennent en compte l'effet des pratiques agricoles. C'est le cas du modèle AQUACROP, développé au sein de la FAO (Organisation pour l'alimentation et l'Agriculture des Nations Unies), et qui est destiné à la prédiction de la production des cultures sous des conditions de stress hydrique. Il a pour but aussi de développer des capacités de mise au point de stratégies de gestion des exploitations agricoles, de rationalisation de l'utilisation des ressources en pour améliorer la productivité.

2. le modèle Aquacrop

AquaCrop est un modèle de productivité des cultures et de l'eau, développé par la Division des Terre et des Eaux de la FAO depuis 1998. Ce modèle a subi plusieurs Modifications avant que ses développeurs ne le mettent sous sa dernière version (version 3.1) publiée en Mars 2011.

Le modèle AquaCrop simule le comportement du système sol-plante durant une ou Plusieurs saisons agricoles. Ce système est, d'une part, limité supérieurement par L'atmosphère, caractérisée par les variables climatiques standards (température maximale et Minimale de l'air, rayonnement net, pluie, vitesse du vent et évapotranspiration de référence) et d'autre part, il est limité inférieurement par l'interface sol/sous-sol. La culture est caractérisée principalement par ses biomasses souterraines et aériennes (dont celles des organes récoltés) ainsi que par sa fraction de couvert défini comme étant la surface totale des feuilles par unité de surface du sol et mesurée en m^2/m^2 (Watson, 1947). La croissance des plantes est basée sur la fertilisation du sol.

La température (degré-jours) et la photopériode contrôlent la phénologie de la culture. Le module de la culture est utilisé pour simuler la dynamique de fraction de couvert ainsi que le rendement.

Le sol est considéré comme une succession de couches horizontales, caractérisées par la teneur en eau, les points de flétrissement et les capacités au champ. Les racines, qui assurent l'interaction plante sol, sont définies par leur distribution en longueur dans le profil du sol.

En le comparant avec les autres modèles, on pourra dire qu'AquaCrop est un outil Simple, convivial et facile à utiliser. Il nécessite un nombre significativement plus réduit, Garantissant la précision et la robustesse des résultats.

Les principaux processus simulés sont l'évapotranspiration réelle puis la croissance du Couvert. Seuls quelques paramètres de certaines fonctions, décrivant principalement L'élaboration du rendement, requièrent une adaptation spécifique.

La teneur en eau dans la zone racinaire est simulée à travers la quantification des flux D'eau en entrée et en sortie du système, en considérant le sol comme étant un réservoir d'eau constitué de plusieurs couchers En autre, AquaCrop utilise le pourcentage de couverture du sol au lieu de l'indice foliaire. La réponse de la culture au stress hydrique est modulée par le développement de la couverture foliaire, la conductance stomatique, la sénescence et l'indice de récolte. La simulation de la transpiration détermine l'accumulation journalière de la biomasse, au moyen de la productivité de l'eau de la culture. Ce dernier

paramètre est normalisé pour l'évapotranspiration de référence et pour le CO₂, permettant ainsi de faire des simulations en zones, selon des périodes différentes, et pour des scénarios climatiques futurs.

Les options du module « Crop » du modèle AquaCrop sont utilisées pour estimer la Fraction du couvert initial (CC₀), le taux de semis, le poids des graines, le nombre de Graines et le taux de germination. Les taux d'expansions du couvert Sont automatiquement estimés par le modèle après avoir introduit des dates Phénologiques, telles que la date de l'émergence, du CC maximum, de la sénescence et de la maturité. La date et la durée de floraison, l'indice de récolte de référence HIO et sa période de construction sont aussi spécifiés pour calculer le rendement en grain.

Ce modèle a une structure modulaire évolutive. Il est organisé sous forme de Plusieurs modules représentant chacun, un ou plusieurs processus liés au système sol- plante atmosphère. Chaque module fait appel à un certain nombre de sous-programmes (ou sous modules) traitant des mécanismes spécifiques. Le premier ensemble, intitulé « Environnement », est composé de quatre modules, et a pour but le traitement du climat, de la culture, de la gestion et du composant sol. Le second ensemble est composé de deux Modules qui décrivent la période de simulation et les conditions initiales. En fin, le troisième ensemble, dit « projet », constitue l'étape finale du traitement des données. Pour plus schématiquement la figure 3 reflète l'interface du modèle AquaCrop

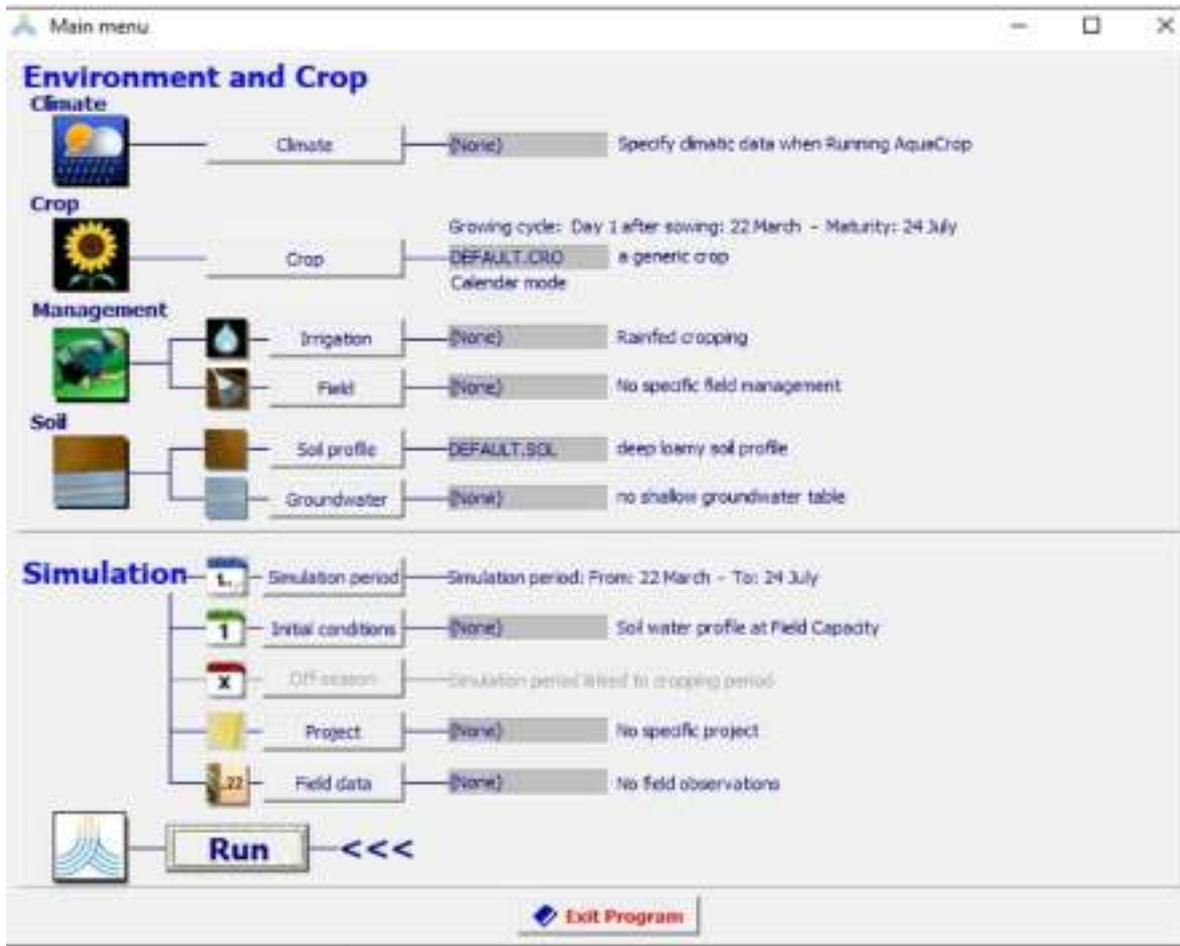


Figure 05 : interface graphique de le modèle Aquacrop

3. le modèle cropwat

CROPWAT 8.0 est un programme informatique d'aide à la décision basé sur un certain nombre d'équations, élaboré par la FAO pour calculer l'évapotranspiration de référence (ET₀), les besoins en eau des cultures (CWR), la planification de l'irrigation et les besoins en eau d'irrigation (IR), en utilisant les précipitations, le sol, les cultures et le climat. Le programme comprend des données générales sur les diverses caractéristiques des cultures, le climat local et les propriétés du sol et les propriétés du sol et les produits de base.



Figure06 : interface graphique du modèle de cropwat

2.1 Les données d'entrée des modèles AquaCrop et CropWat

Tableau 03. Les données d'entrée des modèles AquaCrop et CropWat

	AquaCrop	CropWat
Climat	<ul style="list-style-type: none"> - Pluie (mm) - Température minimale et maximale (C°) - Humidité relative (%) - Vitesse du vent (m/s) - Insolation (heures) 	
Culture	<ul style="list-style-type: none"> -Date de plantation et de récolte - Stades phénologiques - Profondeur d'enracinement - Coefficient cultural (kc) - Hauteur de la culture - Cycle de la culture 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Zéro de végétation - Durée de stade de floraison - Densité des plants - Type de la culture C3 ou C4 - Moment de l'émergence - Couverture maximale de la canopée - Indice de récolte - Type de méthode de plantation 	

Sol	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre d'horizon - Densité apparente - Perméabilité - les teneurs en eau du sol à saturation (Θ_{sat}), à la capacité de champ (Θ_{FC}) et au point de flétrissement permanent (Θ_{PF}). 	
Conditions initiales	<ul style="list-style-type: none"> - Teneur en eau initiale - Pratiques culturales (fertilisation, salinité) 	- L'eau disponible initiale

2.2 Les données de sorties des modèles AquaCrop et CropWat

Tableau 04 : Les données de sorties des modèles AquaCrop et CropWat

AquaCrop	CropWat
<ul style="list-style-type: none"> - Evapotranspiration potentielle - Pluie efficace - Besoin en eau d'irrigation - Besoin en eau des cultures - Calendrier d'irrigation 	
<ul style="list-style-type: none"> - Estimation du rendement - Estimation de la biomasse - Quantifier séparément l'Ev et la Tr - Estimation de la productivité de l'eau - Estimation de LAI 	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigation brute totale - Irrigation nette totale - Déficit d'eau à la récolte - Efficience des précipitations - Perte d'irrigation - CropKc (valeurs moyennes du coefficient de culture pour chaque pas de temps)

Introduction

La wilaya de tiaret située dans la zone de l'Atlas tellien qui caractérisé par plusieurs type des cultures et permet ces culture en a choisi la culture de blé, cette dernier classer en premier position a l'échelle nationale selon la superficie et la production et leur rendement, parce que il aura plusieurs facteur qui favorise la fertilisation (type de sol, climat, ressource en eau ...etc.). On choisi les deux cultures pour amélioré les techniques d'irrigation, donc augmenté le rendement agricole ET diminué leur gaspillage de l'eau.

I.présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique de la zone d'étude

Située à 340 km de la capitale Alger au nord-ouest du pays, la wilaya de Tiaret se présente comme une zone de contact entre le Nord et le Sud. Le territoire de la wilaya est constitué de zones montagneuses au Nord, de hautes plaines au centre et des espaces semi-arides au Sud. Elle s'étend sur un espace délimité entre 0.34° à 2.5° de longitude Est et 34.05° à 35.30° de latitude Nord.

Tiaret occupe une superficie de 20.086,62 km², elle couvre une partie de l'Atlas tellien au Nord et les hauts plateaux au centre et au Sud. Elle est délimitée au Nord par les wilayas de Relizane, Chlef et Tissemsilt, à l'Ouest par les wilayas de Mascara et Saida, à l'Est par la wilaya de Djelfa, au Sud et Sud-est par Laghouat et El Bayad.

.

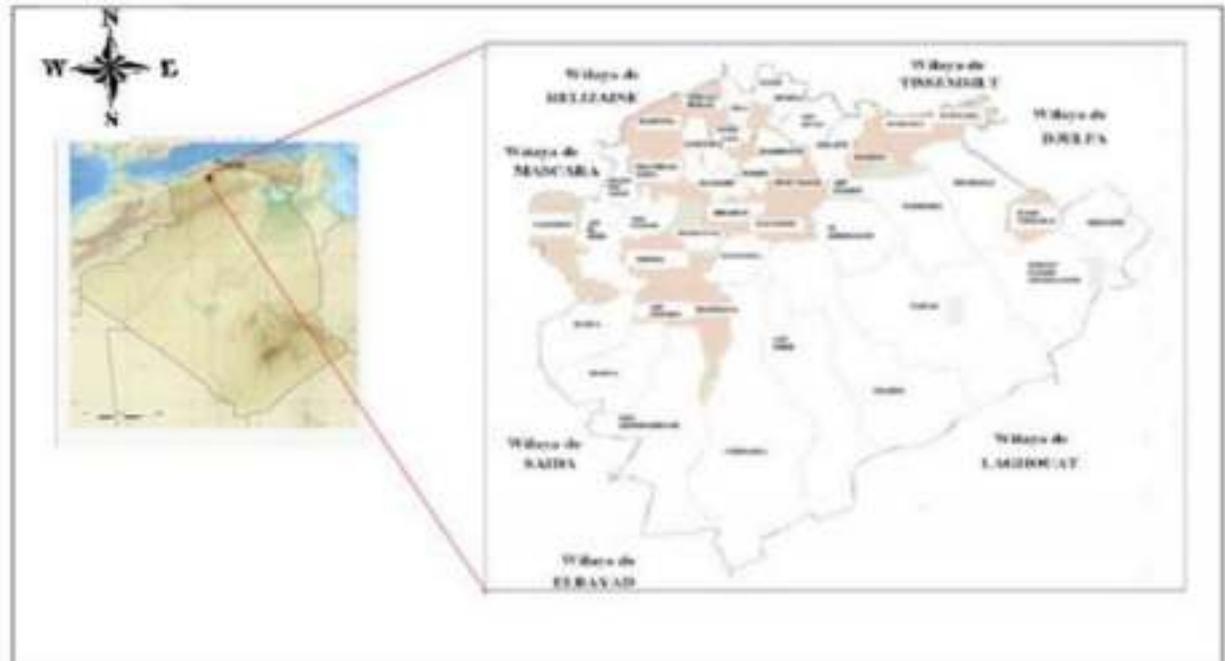


Figure 07 : Situation géographique de la wilaya de Tiaret. (Site officiel de la wilaya www.wilaya-Tiaret.dz, 2014)

2. caractéristique physique

2.1 Relief

L'analyse des photographies aériennes (1/100.000), permet d'identifier quatre unités géomorphologiques distinctes et plus ou moins homogènes. (Duvignaud, 1992). Il s'agit de : l'unité des bas piémonts l'Oursins, l'unité des collines de Tiaret, l'unité du plateau du Sers ou et les parcours steppiques.

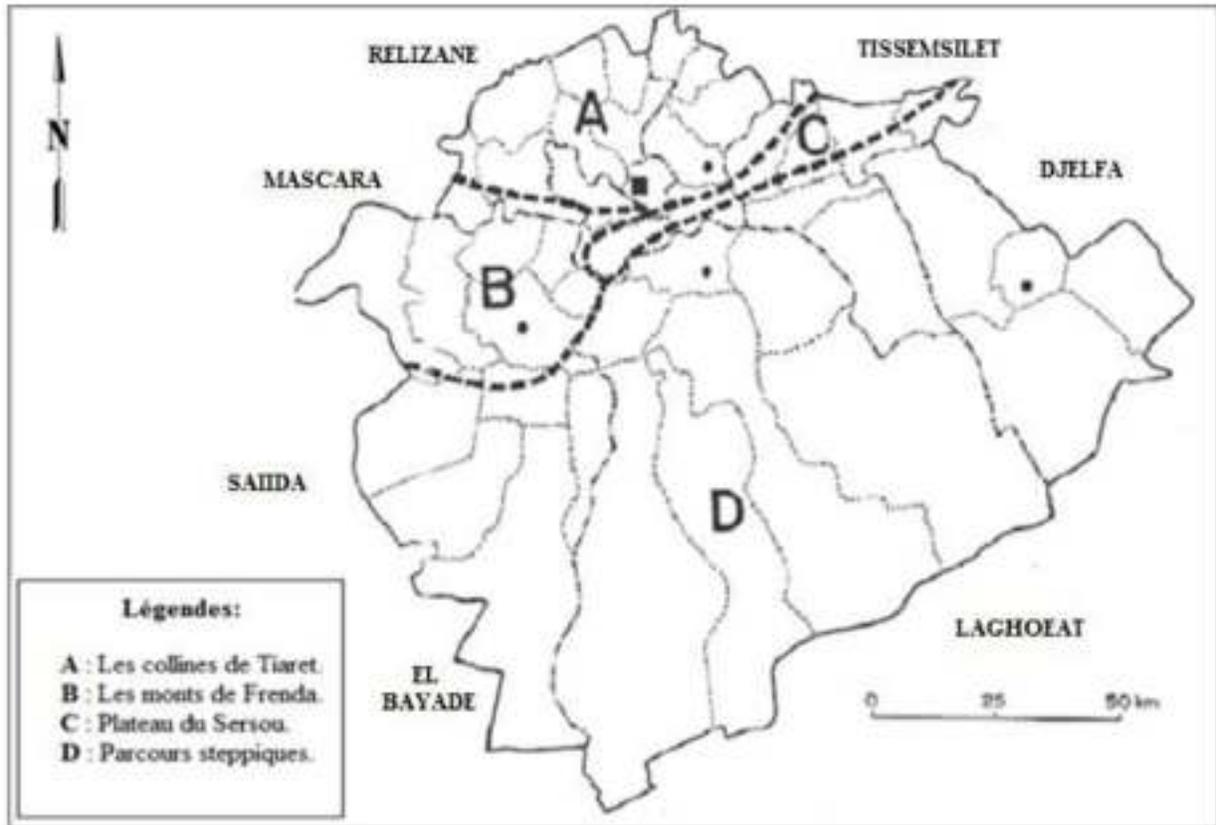


Figure08 : les régions naturelles de la wilaya de Tiaret

D'une manière globale le relief est caractérisée par le versant méridional du chaînon de l'Atlas tellien (Ouarsenis) qui constitue sa limite septentrionale, au Sud-ouest par les monts de Frenda.

La caractérisation des différentes zones a été synthétisée à partir d'une étude récente portant rapport sur les ressources naturelles et évaluation des terres établie en 1995 par l'Institut Technique des Grandes Cultures, Algérie (ITGC) et l'Institut Agronomique per l'Oltremare, Italie (IAO).

2.2 Géologie

Du point de vue géologique le territoire de la wilaya est subdivisé en deux domaines : le domaine tellien et le domaine pré- atlasique (P.A.W.T, 1988).

Contrairement au domaine pré-Atlasique qui couvre particulièrement les zones steppiques, notre zone d'étude appartient au domaine Tellien, ce dernier caractérisé par les formations qui correspondent aux placages Plio –Quaternaire abritant la zone du Sersou; le Miocène supérieur et moyen relatif à l'ensemble de Méchera Sfa Tagdempt et Djebel Guérault; le Miocène inférieur

S'étend de Tiaret à Dahmouni; l'Oligo - Miocène correspond aux Tiaret et enfin, l'Eocène calcaire se trouve au Nord-Ouest de la wilaya s'étalant de Rahouia à Djillali Ben Amar (P.A.W.T, 1988).

3.2 Hydrogéologie

3.2.1 Les eaux superficielles

La wilaya de Tiaret est alimentée par deux grands bassins versants, (les bassins du Chlef et des hauts plateaux oranais), à l'intérieur de ces deux bassins versants, on recense quatre sous bassins versants drainés par 889 km d'oueds pérennes et de 1049 km de cours d'eau intermittents. Il s'agit des oueds : Abd, Mechti, Mina, Rhiou, Souslem, Taht, Tiguiguest et Touil. La capacité d'eau que dispose la wilaya est estimée à 100 hm³, à l'origine des 1525 hm³ que draine le Chlef. Les 100 hm³ sont alimentés à partir des barrages Bekhada, Dahmouni, Bougara avec les capacités respectives de 45, 42 et 13 hm³

3.2.2 Les eaux souterraines

Près de 80 du volume global des ressources hydriques souterraines de la wilaya sont localisés dans la zone steppique ; elle renferme trois principales nappes à savoir :

- Le Sersou, renferment des horizons aquifères dans les dépôts calcaires marneux du plio-quaternaires.
- Oued Touil, qui présente des horizons aquifères dans les dépôts de sable, limon, poudingue su Quaternaire, argilo sableux du Pilo Quaternaire, grés granulaire du Miocène et du Barenno alpien, dolomie de calaire du Kimméridgien.
- Chott Chergui, présente des horizons aquifères dans les niveaux grossiers de base du Tertiaire continental, calcaire sénonien, calcaire et dolomie de l'Aeleno-Bajo- Batonien. Avec un total de 44.60 hm³ /an, les principales ressources en eau souterraines sont réparties

2.4 Types de sol

Le sol reste l'élément principal de l'environnement, qui règle la répartition des espèces végétales.

La mise en place du climat, de la végétation et des sols méditerranéens est très ancienne et très complexe. Elle commença au début du quaternaire et s'affirme à partir de l'holocène. Il s'agit dans ce contexte de sols anciens selon le concept de (Duchaufour, 1983) c'est-à-dire des sols ayant évolué pendant plus de dix milles ans, avec des phase d'accélération et de

ralentissement, mais dont le processus fondamental est resté pratiquement le même pendant toute la durée de l'évolution.

- Les sols les plus répandus sur les monts de Tiaret sont (**Figure 09**) (CFT, 2014)
- Les sols marneux
- Les sols calcaires et dolomites dures
- Les sols calcaires friables.
- Conglomérat, alluvions et sables.
- Conglomérat.

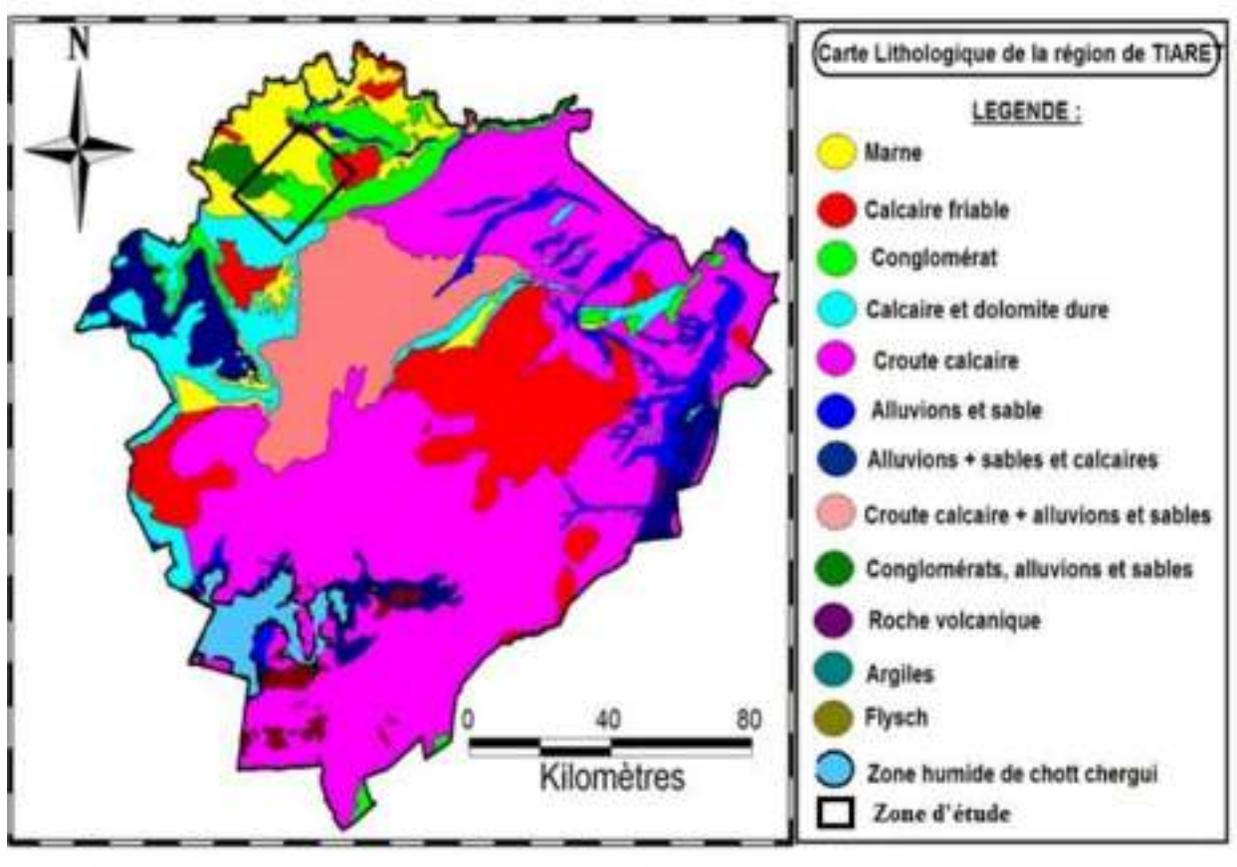


Figure 09 : carte lithologique de la wilaya de Tiaret(CFT, 2014)

2.4.1 Occupation du sol

La région de Tiaret est une zone agricole ou plutôt a vocation agropastorale si nous prenons en compte toute l'étendue de la wilaya .la plus grande superficie de la SAU et occupée par la céréaliculture essentiellement l'orge ,le blé dur, le blé tendre et l'avoine dsa 2008

2.5 Climatologie

La région de Tiaret se situe entre les isohyètes 350mm au sud et 470mm au nord. Elle se caractérise principalement par un climat continental a hiver froid et humide et a été chaud et sec. Cette continentalité est traduite par la grand amplitude thermique, qui montre l'importance de la chaleur estivale.

La région d'étude est une zone caractérisée par des précipitations très irrégulières d'une année al 'autre et au cours des saisons.les maximal de la moyenne mensuelle sont enregistrés au mois de novembre soit 50mm moyenne de seltzer,les minimale sont enregistrée au mois d'Aout, soit 5mm .

2.5.1 La pluviométrie

Recevant 300a 400 mm de pluie par an , la wilaya de Tiaret fait partie intégrante de la zone Steppique qui en reçoit entre 100 a 400 mm

-La figure dessous indique la moyenne mensuelle des précipitations en mm

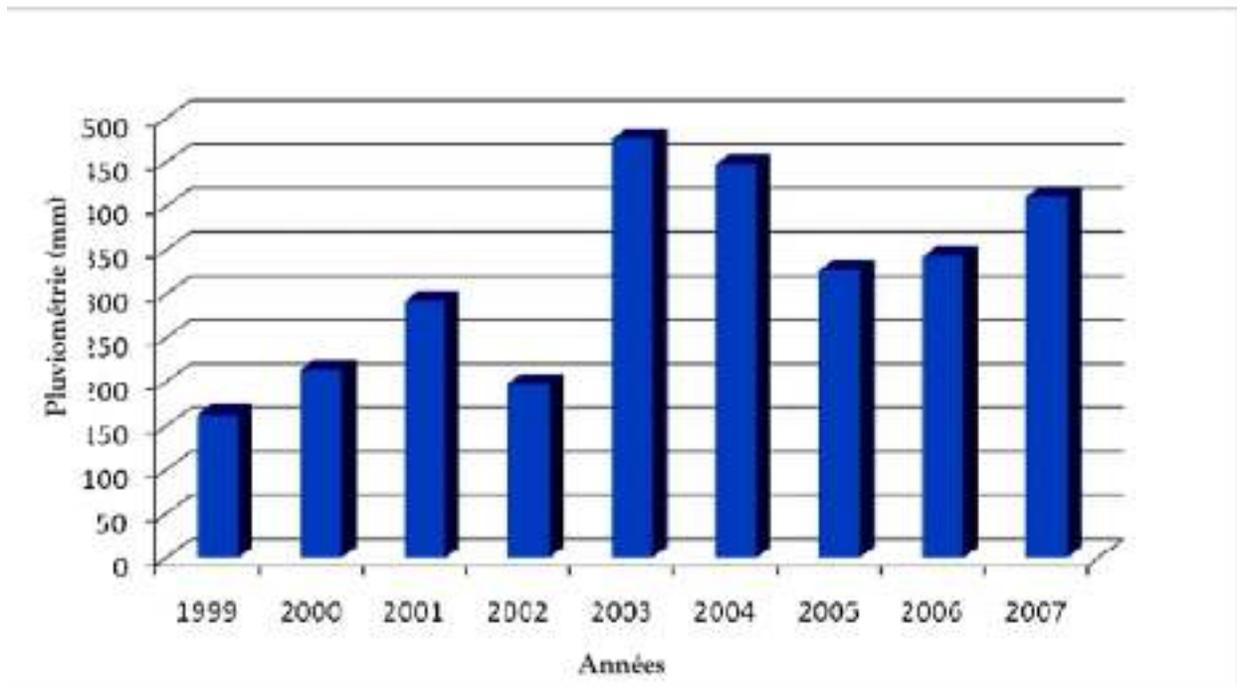


Figure10 : précipitations annuelles sur 9 ans 1999-2007

De fortes irrégularités sont observées pendant ces dix dernières années,les écarts interannuelles Sont très importants, l'année 2003 a vu s'enregistre une pluviométrie de 476mm, tandis qu'une Autre année comme 1999 n'a vus'enregistre que 162mm.

2.5.2 Les températures

Intervenant directement dans les processus biologique et chimique de la biosphère ainsi que dans l'activité humaine ; la température représente l'un des facteurs essentiels du climat.

En effet une élévation importante de la température engendre une évaporation des oueds, des rivières, desmers, limitant ainsi les biodégradations, c'est un facteur caractérisant le type de climat et déterminant du régime d'humidité.

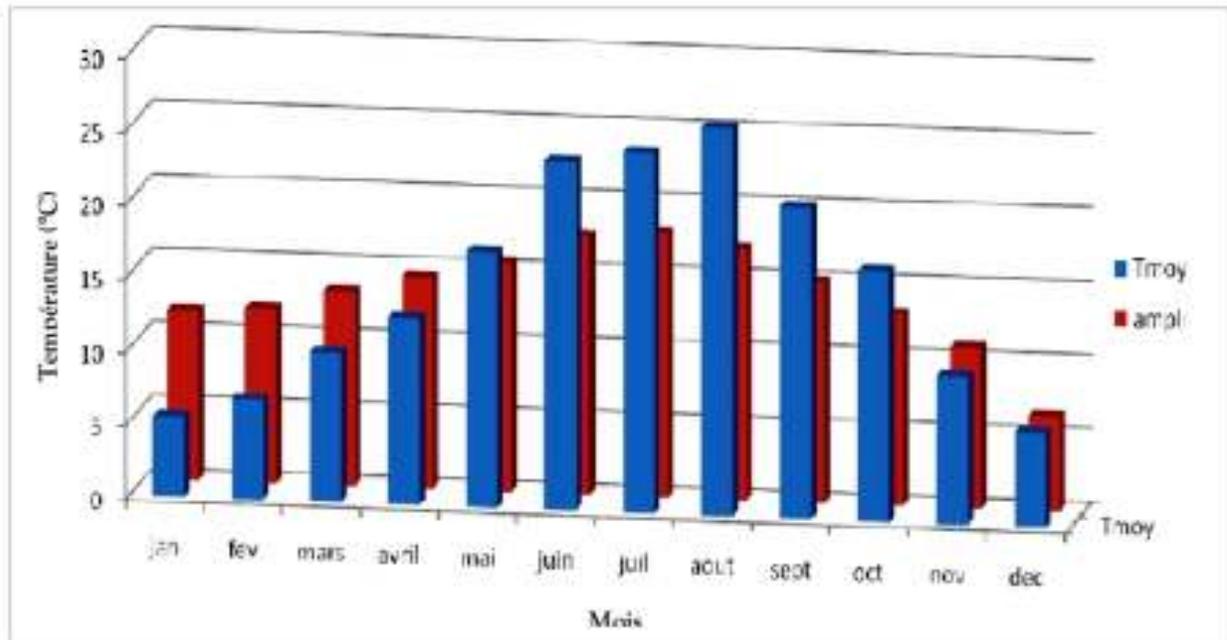


Figure11 : température moyenne mensuelle et amplitude thermique pour 9 ans 1999- 2007

L'analyse de figure montre que les plus chauds de l'année sont juillet ,Aout avec des température moyennes de l'ordre de 24 a26 C , les plus faibles températures sont observées aux mois de décembre janvier variant entre 5 et 6 C . les amplitudes thermiques observés montrent bien l'étage semi aride.

Les deux paramètres température et amplitude thermique croient simultanément de janvier a juillet et amorcent leur décroissance d'aoute a décembre.

L'amplitude thermique est plus prononce pendant les mois chaud son maximum est observé Pendant le mois de juillet 17C, tandis la plus faible et enregistrée au mois de décembre soit 6C

3. Potentialités hydrauliques

D'après le site officiel de la Direction de l'Hydraulique (www.wilayatiaret.dz/dhw.html, 2014), les nappes aquifères reconnues à travers le territoire de la Wilaya recèlent d'importantes ressources hydriques dont 53% sont utilisées au profit de l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et l'alimentation des unités industrielles. Ces nappes sont mal délimitées et mal quantifiées. Elles nécessitent un bilan hydrogéologique et un suivi rigoureux.

Notre zone d'étude est appartenante au bassin versant de l'Oued Mina. Le bassin versant de l'Oued Mina est le plus important, et le plus intéressant des sous bassins versants de cette Wilaya. Il contribue à l'alimentation de la prise de Sidi Ouadhah et du barrage Baghdâd. Ce bassin versant dont la superficie est de 2056 Km², repose sur des roches calcaire le plus souvent occupe la partie occidentale du bassin du Chleff ; la Haute Mina ne représentant qu'un tiers de ce grand cours d'eau (Bouchentouf, 1994). L'Oued Mina occupe un domaine assez particulier de par son aspect structural et tectonique.

En effet, on peut situer d'une façon très grossière l'Oued Mina entre la plaine de Relzaine au Nord -Ouest et le parallèle de Tiaret à l'Est.

Cet Oued recoupe en fait la partie des paiements occidentaux du massif de l'Ouarsenis et la partie septentrionale des hauts plateaux Oranais. Sur le plan hydrographique, Oued Mina et Oued Tillâtes sont les principales cours d'eau permanentes qui traversent les monts de Tiaret. La région est aussi contenue d'autres cours d'eau sont temporaires. (Figure 12).

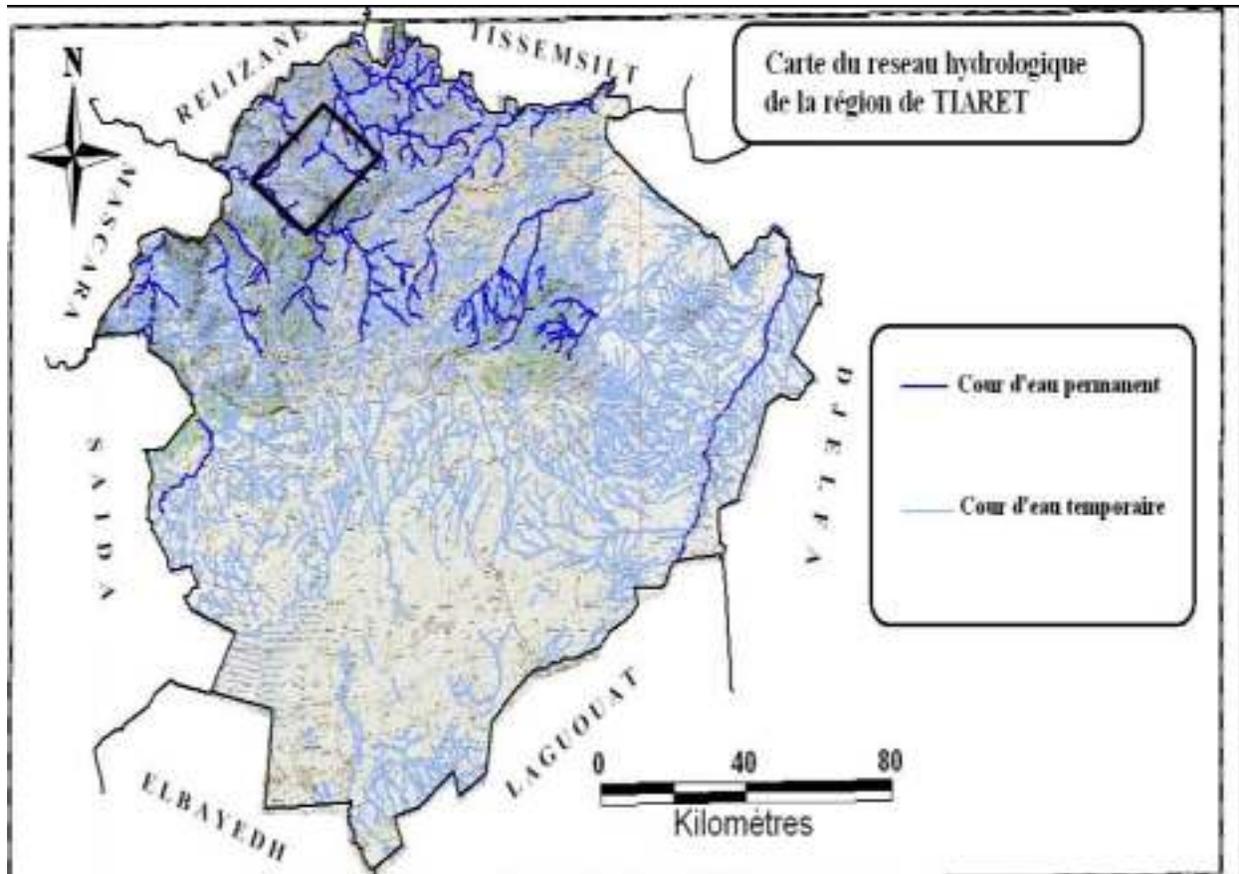


Figure 12: Réseau hydrologique de la région de Tiaret (CFT, 2014).

II. Evaluation de l'empreinte de l'eau par les modèles AquaCROP et CropWat

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 des outils simples et efficaces, facile d'utilisation et rapide pour le calcul des besoins en eau des cultures, notamment les modèles AquaCrop et CropWat

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.

1. Les données climatiques

Les données climatiques requises par les modèles AquaCrop et CropWat sont les températures minimales, maximales (°C), les précipitations (mm), la vitesse du vent (m/s) à 2 m au-dessus du sol, la radiation solaire (W /m²) et l'humidité relative (%). Ces données ont été récoltées à travers des bulletins de l'ONM et des sites météorologiques s'étalent sur une période de 28 ans (1990-2018). Les mesures prises, à un pas de temps mensuel.

2. Les données liées à la culture

Les données liée à la culture se différent d'un modele a un autre Car AquaCrop a ses propres paramètres et CropWat également et c'est ça l'avantage d'utiliser les deux modèles.

2.1. AquaCrop

AquaCrop utilise un nombre relativement réduit de paramètres explicites et de variables d'entrée qui sont facilement disponibles ou qui nécessitent des méthodes simples pour leur détermination. Le tableau 10 montre les paramètres d'entrés liés à la culture.

Tableau05. Les paramètre d'entrie exiger par le modèle Aquacrop

Paramètres	Valeurs
Température de base (°C)	0
Température supérieure seuil (°C)	26
Nombre de plantes par hectare	45000000
Méthode de plantation/semis (semis direct ou transplantation)	Semis direct
Le temps du semis à l'émergence (jours)	13
Moment de floraison	142jours
Durée du stade de floraison (jours)	16 jours
Moment du début de sénescence de la canopée (jours)	158jours
Moment où la maturité est atteinte (c'est à dire la durée du cycle de Blé dur) (jours)	197jours
Densité des plantes	200 plants / m2
Moment de l'émergence	10 jours
Indice de récolte (%)	48 %
Productivité de l'eau g/m2	15g/ m2
Profondeur maximale d'enracinement(m)	1.5m

2.2. CropWat

Pour pouvoir déterminer les besoins en eau d'une plante, Cropwat a besoin de connaître différents paramètres propres à cette dernière. Pour cela, nous entrons les caractéristiques de chaque phase de développement de la plante. Ces caractéristiques étant la durée de chaque phase, paramètre variant suivant le lieu de culture et la période de l'année. Le logiciel divise la vie de la plante en 4 étapes (initiale, développement, mi-saison, et enfin arrière-saison). Le coefficient cultural K_c , qui est le rapport de l'évapotranspiration maximale d'une culture pendant une période déterminée de son cycle végétatif c'est-à-dire dans des conditions optimales, sur l'évapotranspiration potentielle. Le facteur de réponse du rendement, K_y , qui permet d'estimer les réductions de rendement dues au stress hydrique (Langlois, 2006).

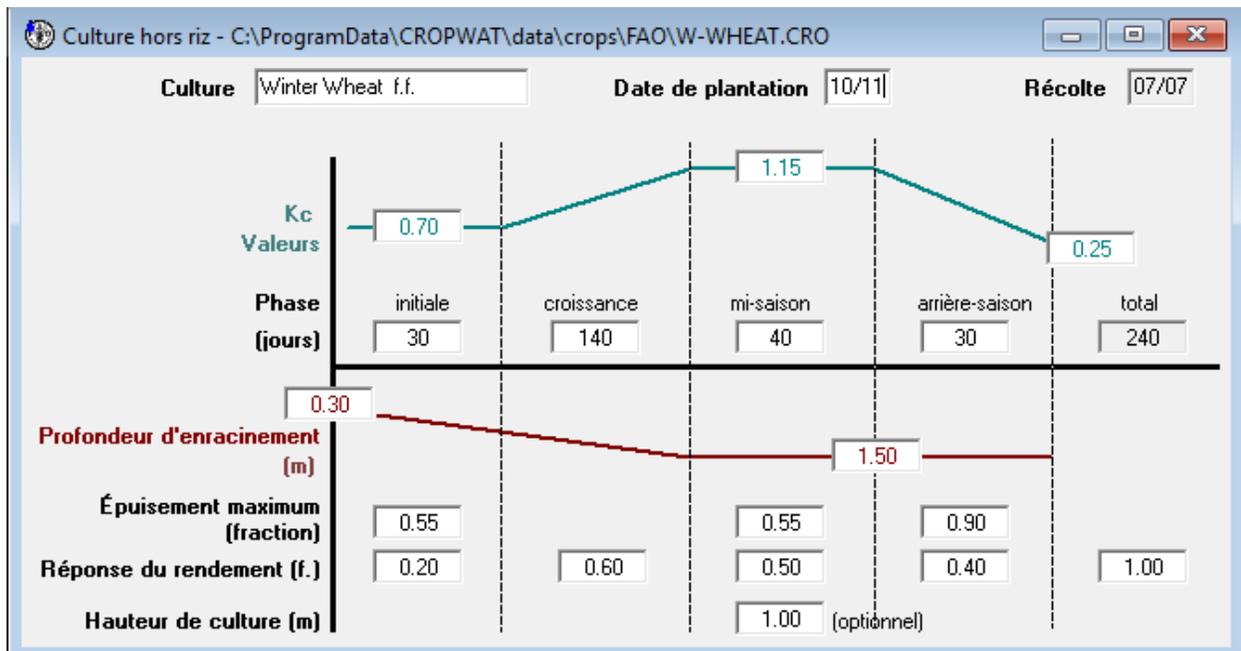


Figure13: Données liées à la culture

3.2 les données liées au sol de cropwat

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

- La texture

D'après la FAO (1987), les valeurs de RU selon les différentes textures de sol considérées généralement sont comme suit:

- Sol grossier: 60 mm/m;
- Sol sableux: 100 mm/m;
- Sol limoneux: 140 mm/m;
- Sol argileux: 180 mm/m.

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

The screenshot shows a window titled 'Sol - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\MEDIUM.SOI'. The 'Nom du sol' field contains 'Medium (loam)'. Below this, under the heading 'Données générales sur le sol', there are five rows of data entry fields:

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

Figure 14. Données d'entrées liées au sol

4. Calcule pluies efficace

La pluie efficace est définie comme la partie de la pluie qui est effectivement utilisée par la culture après que les pertes de pluie dues au ruissellement de surface et à la percolation profonde ont été prises en compte.

La pluie effective est la pluie utilisée en fin de compte pour déterminer les besoins d'irrigation des cultures.

Elle est calculée selon la méthode de l'USDA (United States Department of Agriculture) basée sur l'équation suivante:

$$P_{eff} = P_{mois} \times (125 - 0.2 \times P_{mois}) \quad 125 \text{ pour } P_{mois} \leq 250 \text{ mm}$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 \times P_{mois} \text{ pour } P_{mois} > 250 \text{ mm (2)}$$

Où: P_{eff} = Pluie efficace, P_{mois} = Pluie mensuelle

5. Calcul l'évapotranspiration

Le calcul l'évapotranspiration se fait à partir des données climatiques qui entrent dans logiciel cropwat, qui va utiliser la loi de Panmane et Monteith.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + g \frac{900}{T + 273} U^2 (e_s - e_a)}{\Delta + g(1 + 0,34U^2)}$$

ET_0 : évapotranspiration de référence journalière (mm/j)

ET_0 : évapotranspiration de référence journalière (mm/j)

R_n : rayonnement net à la surface de culture (MJ/m²/j)

G : flux de chaleur échangé avec le sol (MJ/m²/j)

T : température moyenne journalière (°C)

U_2 : vitesse moyenne journalière du vent mesuré à 2 mètres (m/s)

(e_s et e_a) : respectivement la pression de vapeur saturante et la pression réelle de l'air à la même hauteur (kPa)

Δ : Pente de courbe de pression de vapeur saturante à la température T (KPa/°C)

0,34: coefficient de vent pour la culture de référence (kg K/KJ) résultant du rapport r_s/r_a

0,408: inverse de $\gamma = 2,45$ MJ/kg.

6. Calcul des besoins en eau d'irrigation

-Le calcul se fait ainsi en utilisant les résultats des constatations précédentes .Deux sorties principales du Cropwat servent dans le calcul des besoins en eau :

- La pluie efficace (PE) qui constitue, en réalité les besoins en « eau verte » de la culture
- Le calendrier d'irrigations qui aide dans la détermination du besoin total en eau d'irrigation (BEI) ou « eau bleu ».

7. calcul les besoins en eau de la culture

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales et on base l'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ET_m) qui est une valeur ponctuelle liée à l'ET₀ qui est relative à une région par un coefficient cultural, donnée par la formule de base de l'approche climatique :

$ET_m = k_c \times ET_0$ ET_m: évapotranspiration maximale d'une culture (mm),

K_c: coefficient cultural,

ET₀: évapotranspiration de référence (mm).

8. calcul de l'eau virtuelle

- Le facteur temps et espace ou le lieu et la période de production;
- L'endroit où la mesure a été effectuée ;
- Le monde ET l'efficacité de la production et il faut confirmer s'il ya un gaspillage d'eau dans le processus ou non;
- La prise en compte de l'eau utilisée dans l'ensemble du processus de production à celui pour lequel on effectue le calcul (Hoekstra, 2003)

Partie 03

1. Analyse des paramètres climatiques

1.1. Pluie

La figure 17 illustre la variation mensuelle de la pluie sur une période de 28 ans (1990-2018). Il est constaté que le mois le plus pluvieux sur cette période est le mois de janvier (51.91 mm) par contre le mois le plus sec est le mois de juillet avec une valeur de 6.51 mm.

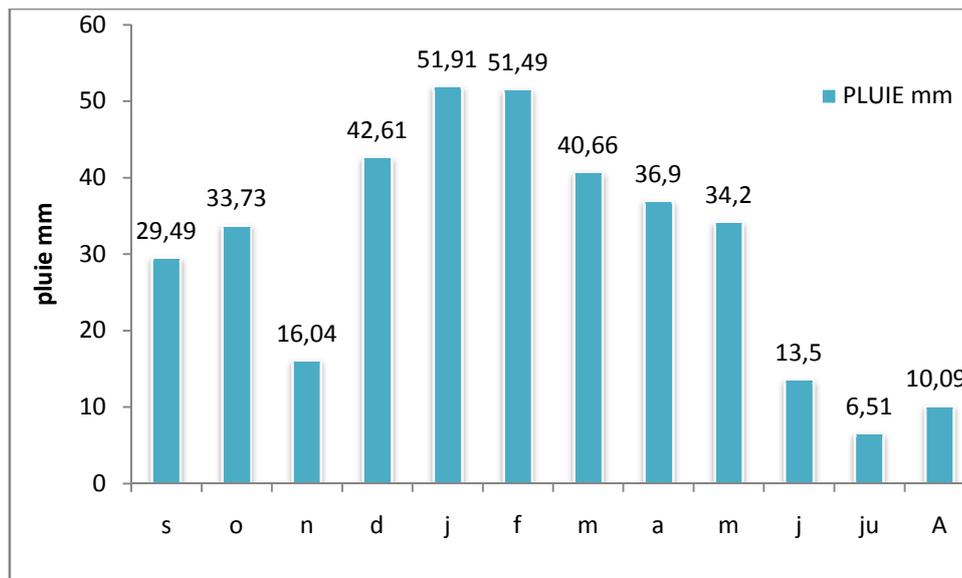


Figure 15. La précipitation moyenne mensuelle de la wilaya du Tiaret pour la période (1990-2018)

1.2. Température

Les relevés moyens mensuels des températures enregistrées sur la période d'étude (1990-2018) sont présentés dans la figure 18. D'après cette figure, il est constaté que la moyenne mensuelle du mois le plus froid est de 8.39 °C et celle du mois le plus chaud est de 34,28°C, elle correspond, respectivement, pour le mois de janvier et juillet.

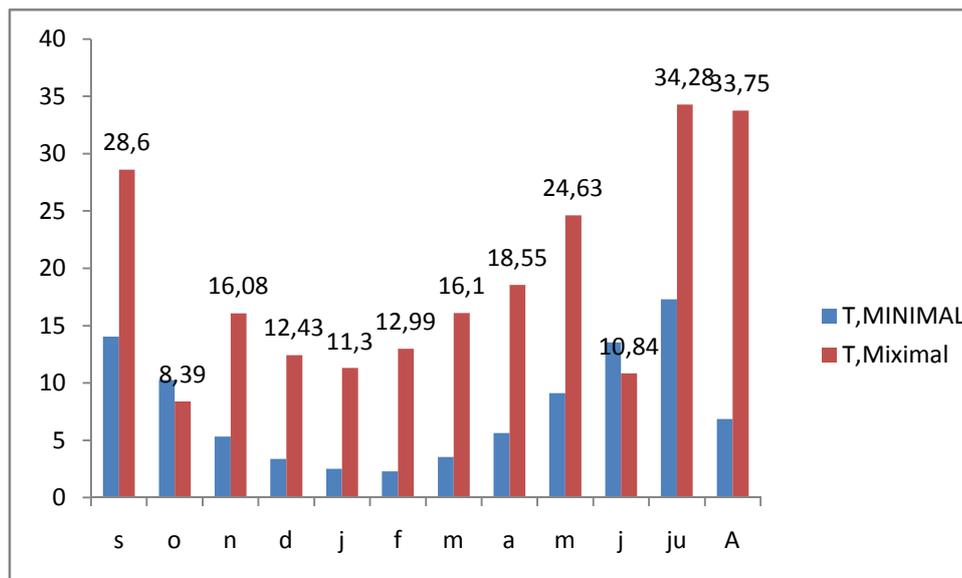


Figure 15. Températures moyennes mensuelles (1990-2018)

1.3. Humidité relative

- L'humidité Relative est le rapport entre la quantité effective de la vapeur d'eau dans un volume d'air et la quantité maximum possible dans le même volume et la même température.

L'humidité relative de l'air est un élément du cycle hydrologique qui contrôle l'évaporation du sol et le couvert végétal. L'humidité moyenne mensuelle pour la période d'étude (1990-2018) est illustrée par la figure 19.

Il est constaté que le mois plus humide le mois décembre avec 76,06%, par contre le mois le moins humide coïncide avec le mois juillet (38,01 %).

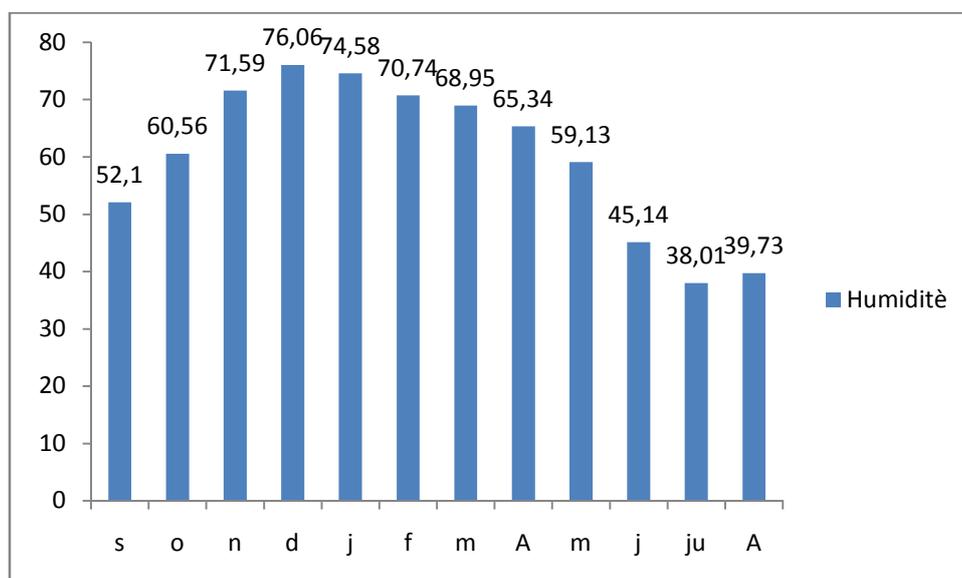


Figure 16. Humidités relatives moyennes mensuelles de la région de Tiaret

1.4. Insolation

La figure 20 illustre la variation de la durée d'ensoleillement durant la période d'étude, il est constaté que l'ensoleillement maximum est en mois de juin (11,57 h) et juillet (11,54 h) et la durée minimum est en mois de janvier (1h82).

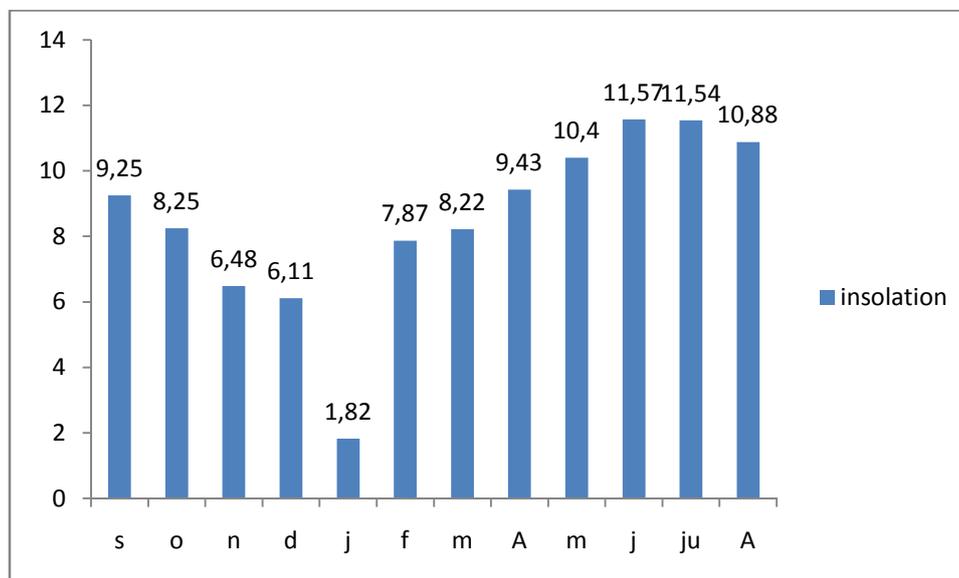


Figure 17. L'insolation moyenne mensuelle de la région du Tiaret (1990-2018)

1.5. Vitesse du vent

Il s'agit d'un facteur important aussi bien sur un plan agronomique que du point de vue de l'aménagiste puisque il reste un élément déterminant dans le choix de type d'irrigation (aspersion ou gravitaire) ainsi que dans l'élaboration du système de protection des périmètres (réseau de brise-vent).

La figure 21 montre les tendances de la vitesse du vent, elle représente la vitesse moyenne maximale du vent en novembre (19,44 km/h), et la vitesse minimale, vitesse observée en mars (15,75 km/h).

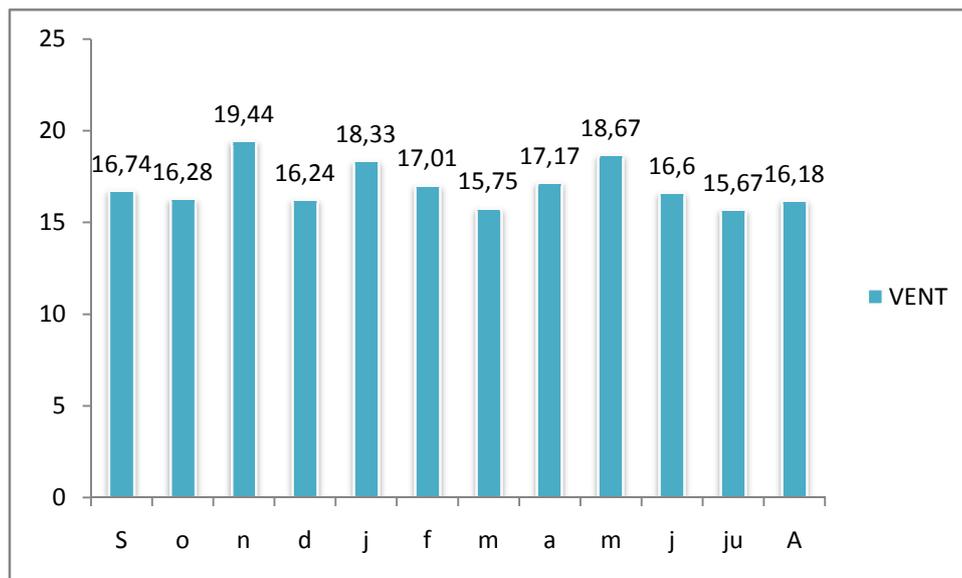


Figure 18. Moyenne mensuelle de la Vitesse du vent pour la période d'étude (1990-2018)

2. Calcul de l'évapotranspiration de référence

2.1. A l'échelle annuelle

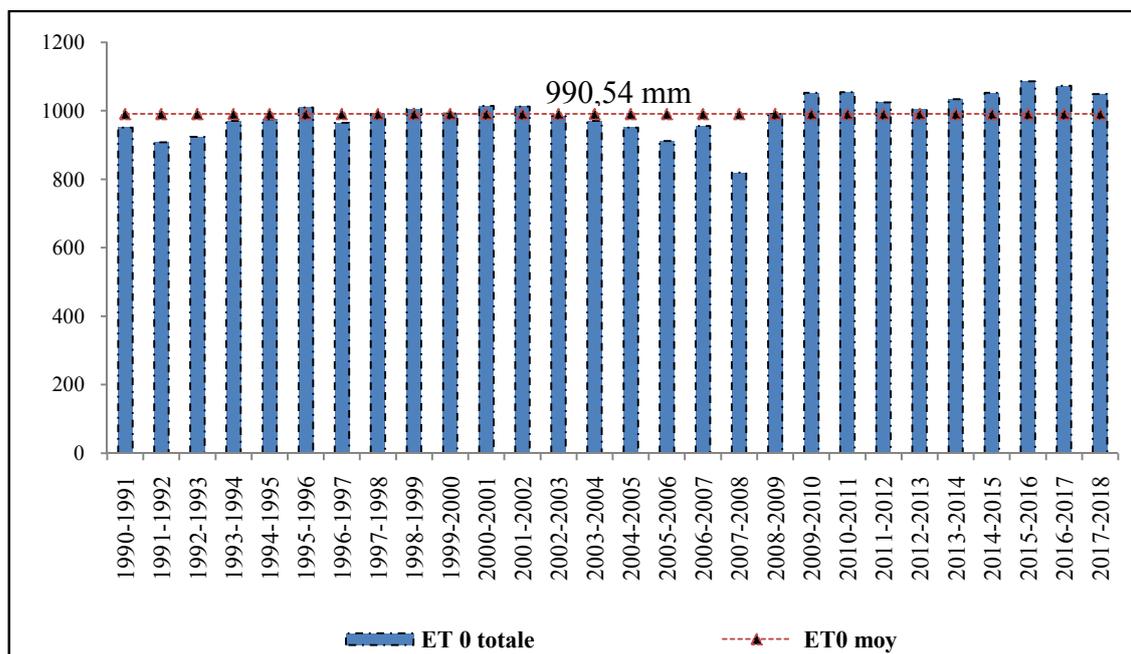


Figure19. Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence, période (1990-2018)

La figure 22 illustre la variation interannuelle de l'évapotranspiration durant la période d'étude (1990-2018), nous constatons que la moyenne interannuelle de l'Et0 sur cette

Partie 03

période est de m'ordre de 990,54 mm, fluctue entre un minimum de 819,9 (2007-2008) et un maximum de (2015-2016).

2.2. A l'échelle saisonnière

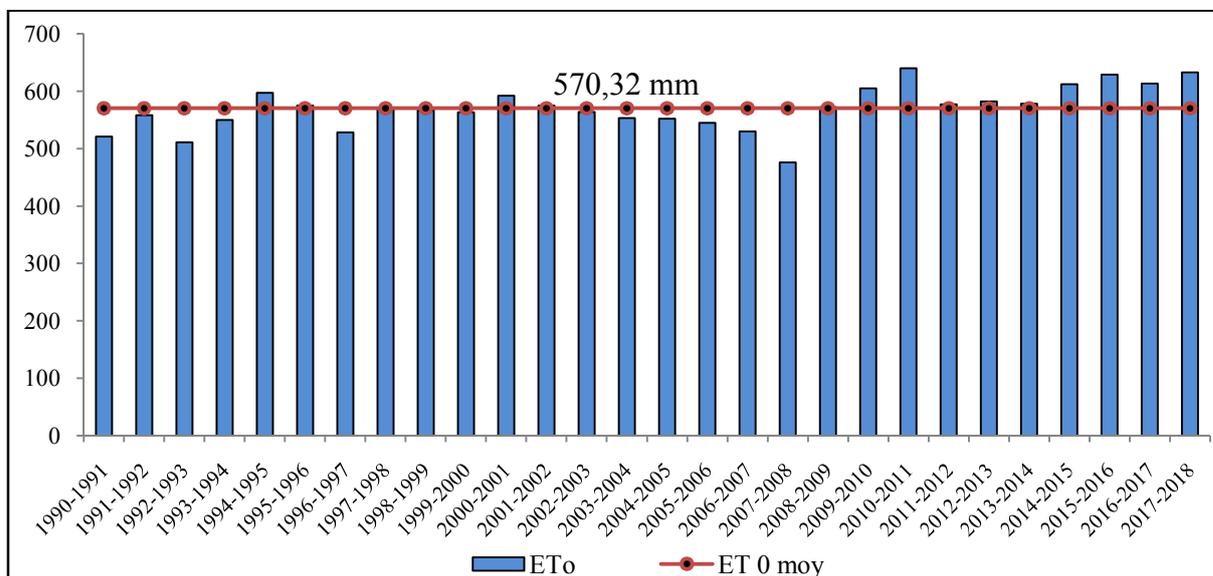


Figure 20. Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence à l'échelle De la saison de culture, période (1990-2018)

La figure 23 illustre la variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence à l'échelle de la saison de culture (octobre – juillet) durant la période d'étude (1990-2018), nous constatons que la moyenne interannuelle de l'Et0 sur cette période est de m'ordre de 570,32 mm, fluctue entre un minimum de 476 (2007-2008) et un maximum de (2010-2011).

3. Calcul de la pluie efficace

3.1. A l'échelle annuelle

La figure 24 montre la variation interannuelle de la pluie efficace totale durant la période d'étude 1990-2018. Il constaté que la moyenne de cette pluie sur la période d'étude est de l'ordre de 332.94 mm, fluctue entre un minimum de 119.8 mm (1994-1995) et un maximum de 610.66 mm (2006-2007).

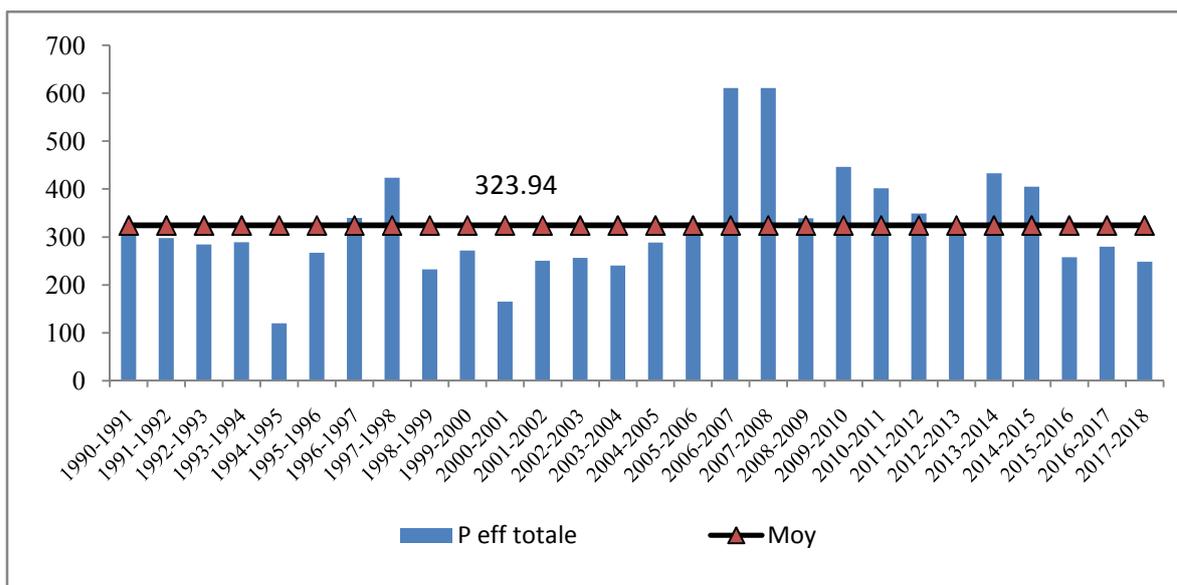


Figure 21. Variation interannuelle de la pluie efficace totale, période (1990-2018)

4. Calcul du besoin en eau de la culture

Les besoins en eau de la culture de blé dur (Etc.), estimés par le modèle CropWat et AquaCrop sont illustrés par la figure 25. D'après cette figure, on constate que les valeurs moyennes de l'Etc. de la culture de blé dur estimées par les deux modèles CropWat et AquaCrop sont respectivement de 523 mm et 457.57 mm. Ces valeurs se situent dans la fourchette signalée par FAO qui varie entre 450 mm et 650 mm.

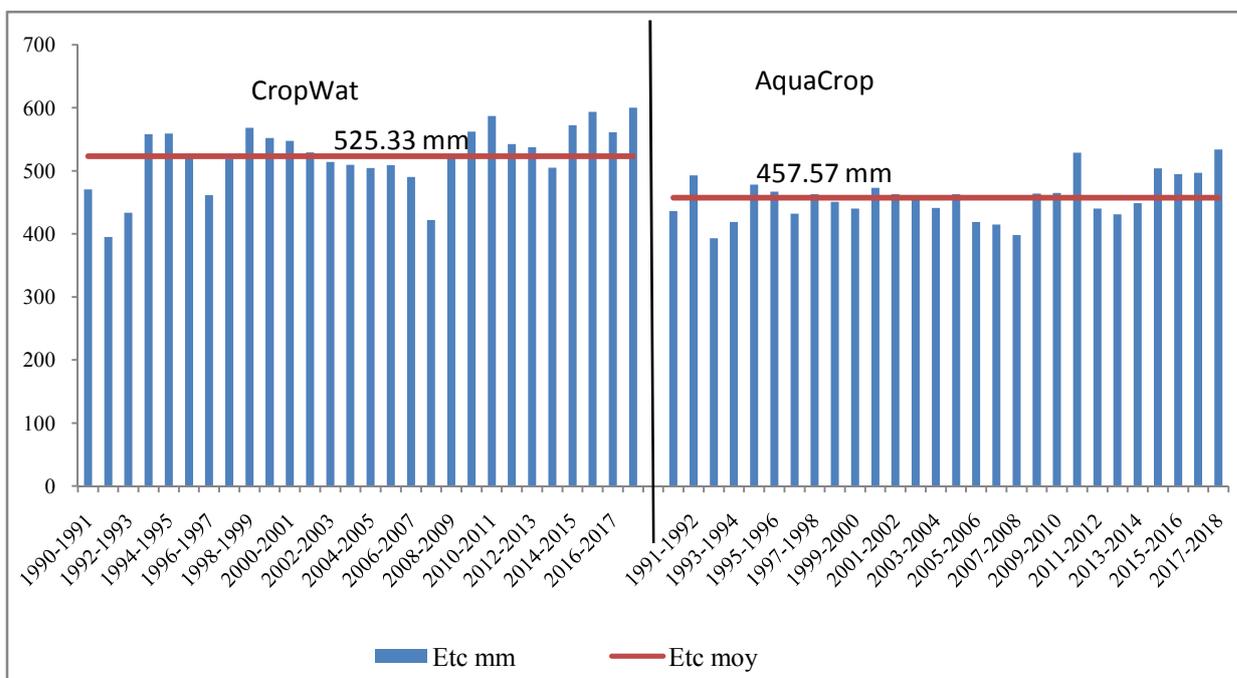


Figure 22. Variation interannuelle du besoin en eau de la culture par le Modèle CropWat et AquaCrop

5. Calcul du besoin en eau d'irrigation

Les besoin en eau d'irrigation de la culture blé dur (BEI), estimés par le modèle CropWat et Aquacrop sont illustrés par la figure 26. D'après cette figure, non constatons que les valeurs moyennes de BEI de la culture de blé dur estimes par les deux modèle CropWat et AquaCrop sont respectivement de 330.29mm et 274.18 mm.

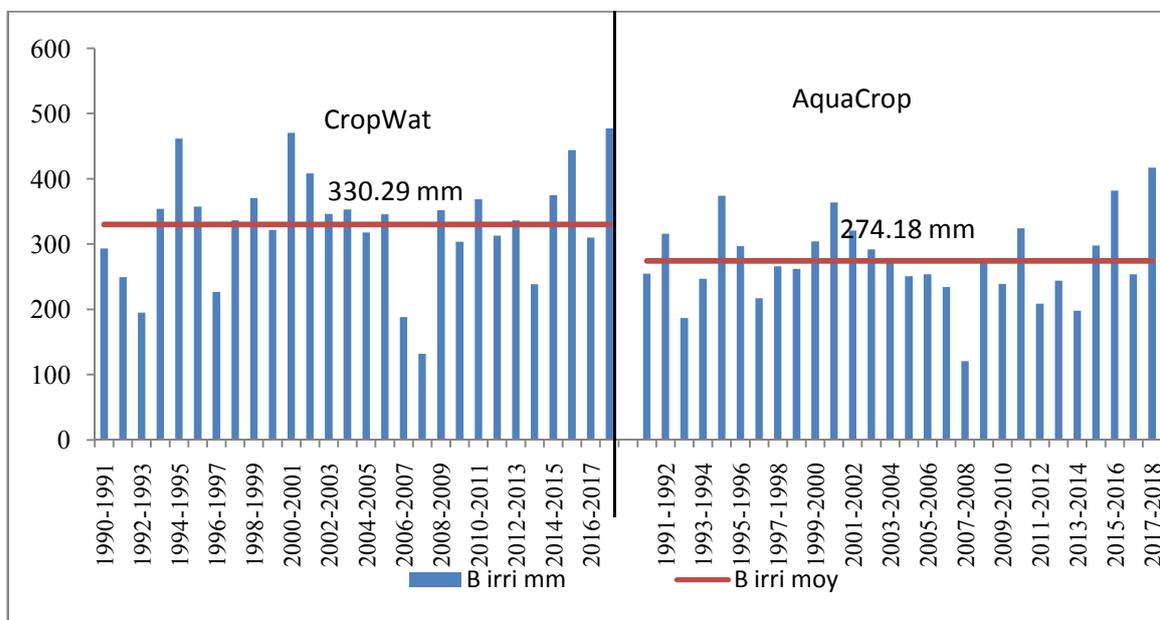


Figure23. Variation interannuelle du besoin en eau d'irrigation par le modèle

6. Calcul de l'eau virtuelle

6.1. L'eau verte

- l'empreinte eau verte : c'est la consommation des eaux de pluie, notamment par évaporation dans les cultures agricoles.

L'eau verte il s'agit de la pluie efficace, la figure 27 montre les variations interannuelle de la pluie efficace a l'échelle de la saison de culture de blé dur. Nous constatons que la moyenne annuelle de la pluie efficace sur la période est de 250.01 mm, fluctue entre n minimum de 103.2 mm (1994-1995) et un maximum de 437.1 mm (2006-2007).

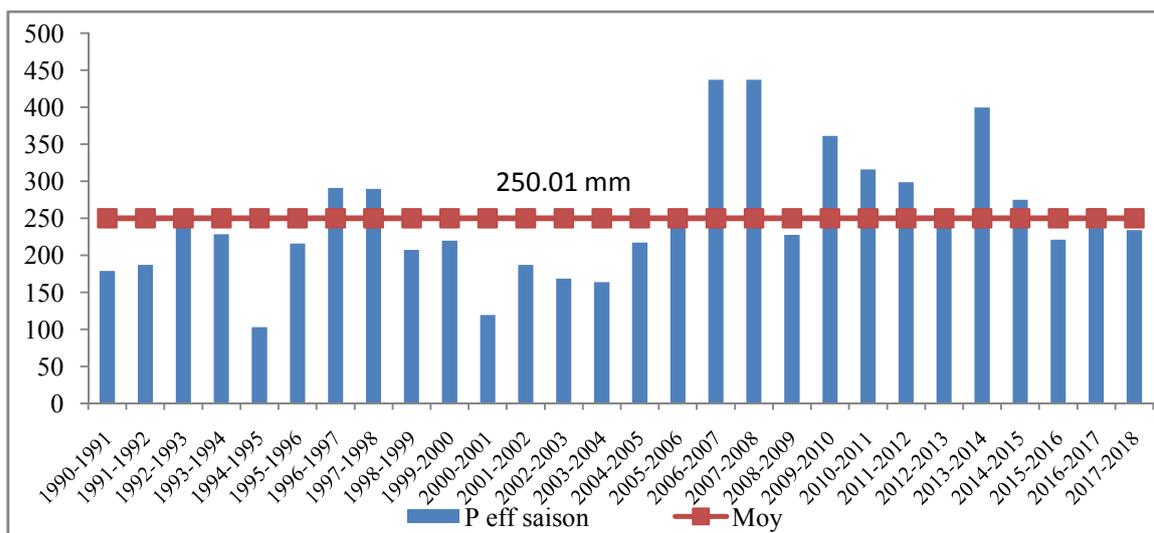


Figure 24. Variation interannuelle de l’eau virtuelle par les modèle Aquacrop et Cropwat

6.2. L’eau bleue

- l’empreinte eau bleue : c’est la consommation des eaux de surface et des eaux souterraines

L’eau bleue = Etc. – pluie efficace

L’eau bleue = 250.01 mm - 457.57 mm

L’eau bleue = 207.56 mm

L’eau bleue estimée par le modèle CropWat et Aquacrop est illustre par la figure 28.

Nous constatons que la valeur moyenne interannuelle de cette eau estimés par les deux modèles est respectivement de 275.74 mm (CropWat) et 211.92 mm (AquaCrop).

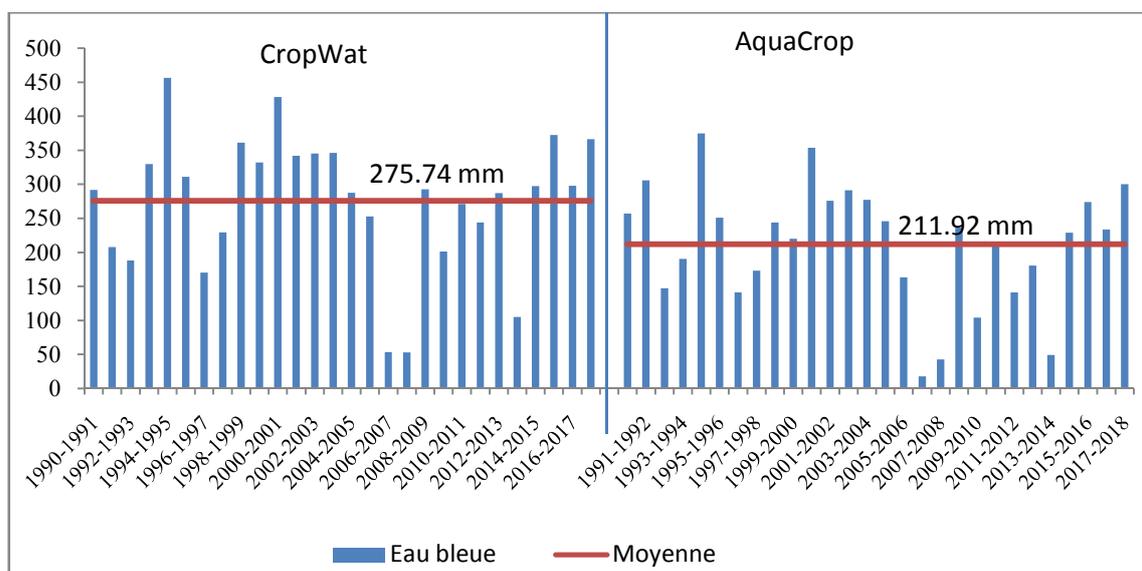


Figure 25. Variation interannuelle L’eau bleue par les modèle Aquacrop et cropwat

7. Calcul de l’empreinte eau

L’empreinte eau estimée par le modèle CropWat et Aquacrop est illustré par la figure 29. Nous constatons que la valeur moyenne interannuelle de cette eau estimés par les deux modèles sont respectivement de 4475.51 m³/ton (CropWat) et 3878.31 mm (AquaCrop)

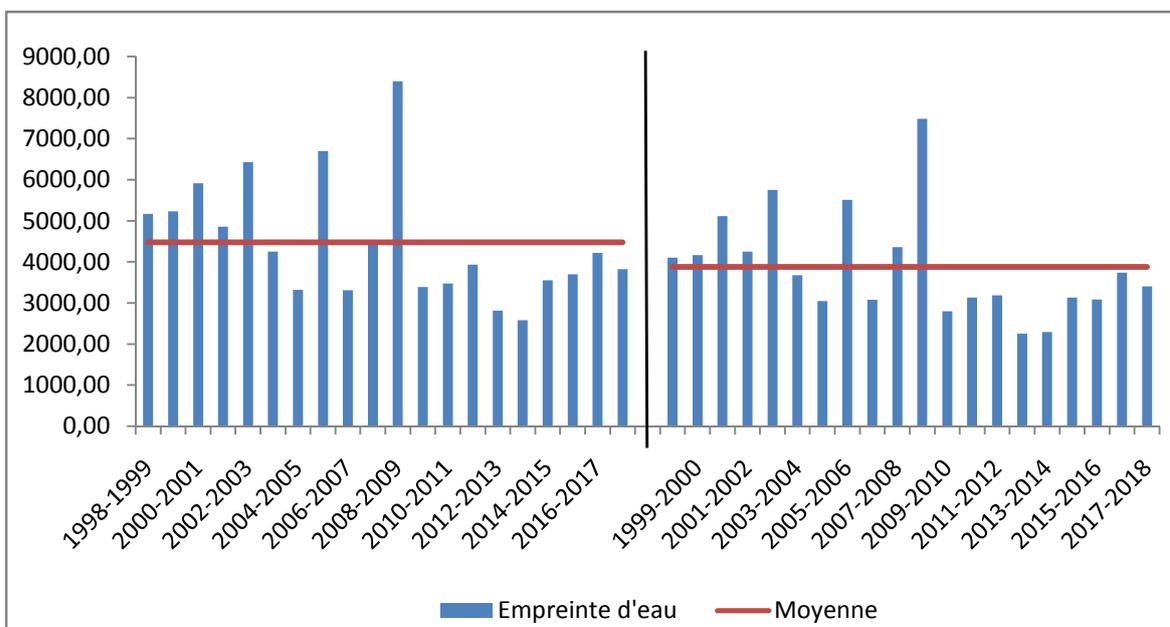


Figure26. Variation interannuelle de l’empreint d’eau de blé dur

CONCLUSION GENERALE

conclusion

les modèles CropWat et AquaCrop de la FAO calcul L'évapotranspiration moyenne annuelle de référence (ET_o) pour la région de Tiaret qui été estimée à 990.54 mm. Celles correspondantes à la saison de culture pour le blé dur

Les besoins en eau d'irrigation (BEI) ont atteint, a l'ordre de, 330.29mm et 274,18 mm. Par contre les besoins en eau de ces cultures (Etc.), sont a l'ordre de, 525.23mm et 457.5mm. Les valeurs moyennes de ces paramètres, Etc. et BEI, sont tout au long du cycle de développement en fonction des conditions climatiques et des sols.

Les modèles AquaCrop et CropWat donnent des estimations valable du Etc. et BEI, pour plus des résultats correcte ; elles doivent être validées par rapport a la zone d'étude.

Enfin, a cause de la rareté des ressources en eau les agriculteurs doivent 'assurer une distribution crédible de la ressource en fonction des besoins des cultures, pour assurer une agriculture durable.

Références bibliographique

- Allan J.A., 1998. Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits. *Ground Water* 36(4): 545–546.
- Falkenmark M. and J. Roockstrom, 2006. The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management, *Journal of Water Resources Management*, 132(2), pp. 129-132.
- Hoekstra A.Y. and P.Q. Hung, 2005. Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop. *Global Environmental Change*, 15: 45– 56.
- Kumar, M., and O. Singh, 2005. Virtual water in global food and water policy making: Is there a need for rethinking? *Water Resources Management*, 19(6):759-789.
- Ma, J., A.Y. Hoekstra, H. Wang, A.K. Chapagain, and D. Wang, 2006. Virtual versus real water transfers within China. *Philosophical Transactions of the Royal Society .B.* 361: 835-842.
- Verma S, 2007. Can H-O work for H₂O? Inter-state virtual water trade as an alternative to inter basin water transfers in India. M.Sc. Thesis, UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Delft, the Netherlands.
- Verma S., D. A. Kampman, P. van der Zaag, and A. Y. Hoekstra, 2007. Going against the flow: A critical analysis of virtual water trade in the context of India's National River Linking Program, *Physics and Chemistry of the Earth*, doi:10.1016/j.pce.2008.05.002
- Jiang W., and R. Marggraf, 2015. Bilateral virtual water trade in agricultural products: a case study of Germany and China, *Water International*. 40(3): 483-498.
- Brown S., Schreier and L.M. Lavkulich, 2009. Incorporating Virtual Water into Water Management: A British Columbia Example. *Water Resources Management* 23(13): 2681-2696.
- Abbassenne, F., Bouzerzour, H., Hachemi, L. (1997), phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.). INRA ?EL Harrach, 18 :24-36
- Anonyme, 2006. La culture du blé dur (*Triticum durum*). ITGC. 5p.
- Bahlouli F., Bouzerzour H. and Benmahammed A. (2008). Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de

Partie 03

culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12 (1): 31- 39.

Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR)., 2012. Atelier national d'évaluation de la campagne céréalière 2011-2012, septembre 2012.

DUVIGNAUD P., 1992- Aménagement et gestion du territoire. Application en Algérie (région de Tiaret et Alger). Univ de Nice-Sophia Antipolis. Pp 43-46.

DUCHAUFOR PH., 1977 - Pédologie. Tome I. Pédogénèse et classification. Edi Masson. Paris. 477 p.

79. DUCHAUFOR PH., 1983 - Pédologie. 2ème éd. XVI. Tome I : pédogénèse et classification. Ed Masson. I.S.B.N. Paris .419 p.

BOUCHENTOUF K., 1994 - Les bilans d'eau vus à travers les paramètres physicochimiques et hydrodynamiques : cas du bassin versant de la haute Mina (Tiaret, Algérie). Thèse de Magister, Institut d'hydraulique, Université de Chlef p.192 + Annexes.

77. DSA., 2014- (Direction des Services Agricoles, Wilaya de TIARET)- service des statistiques.

Steduto P., Hsiao T.C., Raes D. and Fereres E. (2009). AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426-437