

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



**Contribution à la valorisation de l'efficience
d'utilisation de l'eau des cultures irriguées wilaya de
Blida**

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Faculté: Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département: agronomie

Spécialité: hydraulique agricole

Soutenu le : 01/06/2016

Par

Nom : DOUHA

Prénom : Othmane

Nom : BENSaid

Prénom : Abd eldjilil

Devant le

Jury

Président : M^{me} BOUAICHI. I

MAA

UDBKM

Promoteur: M^r KADIR. M

MAA

UDBKM

Examineur

M^r IMESSOUDENE. Y

MAB

UDBKM

Année universitaire : 2015/2016

Remerciements

le Prophète (que la prière d'Allah et son salut soient sur lui) a dit: « Le fait de mentionner oralement le bienfait d'Allah est un remerciement, et délaisser cela est une mécréance (). Celui qui ne remercie pas pour la petite chose ne remercie pas pour la grande chose. Et celui qui ne remercie pas les gens ne remercie pas Allah. Le groupe est une bénédiction et la division est un châtiment ».*

Au terme de ce travail nous tenant à remercier tout d'abord notre promoteur

Mr KADIR Mokrane , pour son encadrement, sa précieuse aide, son appui et ses conseils.

Comme nous remercions également :

MM .I. BOUAICHI , pour avoir accepté de juger ce travail et de présider le jury.

Mr IMESSAOUDANE Yacine , qui nous a aidé à cette mémoire.

Nous tenant également à exprimer nos remerciements :

A tous les enseignants de l'université de Khemis Miliana, particulièrement aux enseignants de département d'agronomie.

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.

Puisse Allah vous récompenser le meilleur

DEDICACE

Avant tous je remercie ALLAH qui m'a donnée la volonté de continuer

mes études et faire ce modeste travail, je le dédie à :

A ma chère mère que je l'aime beaucoup et pour son amour, ses

sacrifices et ses encouragements durant toute ma vie.

A mon très chère père qui ma aidé et qui m'a encouragé durant mes

études.

A ma grande mère que dieu me la garde .

A mes frères : sidali et mohamed

A mes soeurs : imane, kawter, firdaws

A tout ma famille

A tout mes amis Je les souhaite la réussite dans leurs vies.

A mon binôme othmane

A toute la section hydraulique agricole 2016

A tous les enseignants

A tous les gens qui m'ont donnés l'aide de près ou de loin.

ABD EL DJALIL

Dédicace

Je dédie ce travail en signe de reconnaissances et de gratitude à mes très chers parents DOUHA ABD ELKADER et SAID CHERIFA pour leur soutien immense qu'ils n'ont cessé de m'apporter ainsi que les conseils qu'ils m'ont prodigué sans lesquels j'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui.

-A mes chers amis : Hakim, Moussa, Abd eldjilil.

-A tous mes amies sans exception en particulier : Hakim, Abderrahmane, Mohammed, Ali.

A tous et à toutes, je dédie ce travail

Au terme de cette étude qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui m'ont apporté leur aide.

Je tien à remercier chaleureusement, Mon promoteur **M^{er}: KADIR. M** qui 'a bien voulu m'encadrer durant ce mémoire de fin d'études, et qui a assuré la direction et l'orientation scientifique de ce travail. Je lui exprime mes vifs remerciements et ma sincère gratitude,

-Madame **I. BOUAICHI** qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

- Monsieur **Y. IMMESOUDENNE** de m'avoir enseigné et honorer le jury.

Enfin, mes derniers remerciements mais non les moindres s'adressent à tous le corps enseignant et le personnel de la faculté de SNT et département de l'agronomie, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ma formation.

ملخص

النقص الكبير في الموارد المائية أدى إلى البحث عن تقنيات وحلول جديدة وفعالة كوسائل للاستعمال العقلاني للماء في الجزائر وخاصة في مجال الفلاحة والري الزراعي، ومن بين أبرز ما تم تطبيقه في هذا المجال استعمال تقنيات جديدة في الري كالري بالتنقيط والري المبرمج الخ، إضافة إلى دراسات في هذا المجال كدراسة ومحاولة تقييم وتطوير كفاءة وإنتاجية المياه المستعملة في الري. وفي هذا الصدد نقدم هذه الأطروحة التي نقوم من خلالها بدراسة لولاية البليدة التي تضم مساحة كبيرة من ما يعرف بسهل متيجة، والتي لها مكانة كبيرة في المجال الزراعي، هذه الدراسة كانت من حيث الشروط المناخية ونوعية التربة في المنطقة ومختلف أنواع المحاصيل الزراعية المسقية.

الهدف الأساسي من وراء هذه الأطروحة، هو دراسة حالة المحاصيل المسقية في الولاية المذكورة من ناحية المساحة الإجمالية والمردود الوحدوي والإجمالي إضافة إلى دراسة الاحتياجات المائية باستعمال برنامج CROPWAT 8.0 وفي الأخير تقييم كفاءة وإنتاجية المياه المستعملة على مستوى الولاية وتحليلها من الجانب الاقتصادي ومن ثم مقارنتها مع المعايير المحددة من طرف المنظمة العالمية للتغذية والزراعة الفاو، وفي الأخير نحاول إعطاء بعض الملاحظات والتعليق من خلال النتائج المحصل عليها.

الكلمات المفتاحية: الري الزراعي، كفاءة وإنتاجية المياه، المحاصيل المسقية، CROPWAT 8.0

Résumé :

Le grand manque d'eau amené à la recherche des techniques et des nouvelles solutions efficaces comme moyens d'utilisation rationnelle de l'eau en Algérie surtout pour le domaine de l'agronomie et l'hydraulique agricole, parmi ce que il est pratiqué dans ce domaine de nouvelles technique d'irrigation comme le goutte à goutte, l'irrigation intelligente...etc, en plus des études comme l'étude et l'essai de valorisation de l'EUE (Efficiencie d'Utilisation de l'Eau) et de la productivité de l'eau utilisée en irrigation. pour cela on présente ce mémoire qui montre l'étude de la wilaya de Blida qui représente une grande partie du plaine de Mitidja qui a une grande importance dans le domaine de l'agriculture en Algérie, cet étude fait du côté des conditions climatiques, types de sol de la zone, des différents cultures irriguées.

Le but de ce mémoire est l'étude de la situation des cultures irriguées de la wilaya du côté de la superficie totale de 23420,2 ha le rendement unitaire et total, les besoins en eau unitaire et total estimés à 134 million de m³ des cultures.

Enfin, l'estimation de l'EUE et de la productivité de l'eau utilisée en irrigation de la wilaya et l'analysés du côté économique, puis faire une comparaison avec les normes de la

FAO et finalement en a essayé de donner quelques remarques et commentaires à partir des résultats obtenus.

Les mots clés : hydraulique agricole, EUEt de la productivité de l'eau, cultures irriguées, CROPWAT8.0

Abstract :

The bigdeficiency in the aquatic resources led to the searching about technicalities and new and effective advents as methods for the intellectual usage for the water in Algeria and especially in domain of the agriculture and the agricultural irrigation, and whobetweenproducedwhat application in thisdomainwascompletehis usage technicalities of new in the irrigation as the irrigation by dropping and the programmed irrigation etc, in addition to studies in thisdomain as study and attempt of evaluation and development of efficiency and productivity of the used waters in the irrigation. And in this regard thisthesispresentwhichstraightenfromduringher in study for state stupidwhichbig area includesfromwhatintroduces in easymtyjt, make alliance with me for herbig standing in the agricultural domain, thisstudywaswith respect to the climatic and specificsoil conditions in the area and differentkinds of the agricultural watered outputs.

The essential goal frombehindthisthesis, hestudy case of the watered outputs in the mentioned state from aspect the total area the abilityin 23420 hectares and the wHdwy and total repelled in addition to study the aquaticneeds and whichestimatedwith about 134 million cubicmeter and that in usage of program CROPWAT 8.0wfy most charitable evaluation of efficiency and the productive waters used on level the state and heranalysisfrom the economic aspect thenhercomparisonwith the definitivecriteriafromedge of the worldwideorganization for the nutrition and the agriculture Al-Faw, faithfulmost charitable giving of some observations trywaalte'aalyqthrough the collectedresults on her.

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux et des interfaces	
Introduction générale	

Table de matière :

PREMIERE PARTIE : PARTIE BIBLIOGRAPHIE

Chapitre 1 : irrigation

1.1. Définition de L'irrigation.....	3
1.2. L'état de l'irrigation.....	3
1.2.1. Dans le monde.....	3
1.2.2. En Algérie.....	4
1.3. Difficultés du secteur hydro-agricole.....	4
1.4. Les techniques d'irrigation.....	6
1.4.1. L'irrigation gravitaire.....	6
1.4.1.1. Irrigation par bassins.....	7
1.4.1.2. Irrigation par sillons/a la raie.....	8
1.4.1.3. Irrigation par planches.....	9
1.4.1.4. L'irrigation par ruissellement.....	10
1.4.1.5. L'irrigation par submersion.....	10
1.4.1.6. L'irrigation par infiltration.....	10

1.4.2.L'irrigation sous pression.....	11
1.4.2.1. L'irrigation goutte à goutte.....	11
1.4.2.2. L'irrigation par aspersion.....	11
1.4.2.3.Irrigation souterraine.....	12

Chapitre 2 : ressource en eau

2.1. Introduction.....	13
2.2. Ressource en eau dans le monde.....	13
2.3. L'eau en Algérie.....	14
2.3.1. Situation générale des ressources.....	15
2.3.1.1. Les ressources superficielles.....	15
2.3.1.2. Les ressources souterraines.....	16
2.3.2. Utilisation de l'eau.....	18

Chapitre 3 : Besoin en Eau des Cultures

3.1. Introduction.....	19
3.2. Les besoins en eau des cultures	19
3.3.1. Besoin net en eau d'irrigation	19
3.4. L'évapotranspiration.....	20
3.4.1.Méthodesd'évaluation de l'évapotranspiration.....	20
3.4.1.1. Les méthodes directes.....	20
3.4.1.2. Les méthodes indirectes	20
3.4.2. Evapotranspiration de référence... ..	21

3.4.3. Evapotranspiration potentielle (ETP ou ET0).....	21
3.4.4. Evapotranspiration maximale (ETM).....	22
3.5. Pilotage de l'irrigation.....	22

Chapitre 4 : définition de l'efficience :

4.1 Terminologie et définitions.....	24
4.1.1 Pour les hydrologues et les ingénieurs de l'irrigation	24
4.1.2 Du point de vue agronomique.....	24
4.1.3 Pour les crop-physiologistes	25
4.1.4 Pour les agroéconomistes	25
4.2 Indicateurs de l'efficience de l'eau agricole.....	25
4.2.1 Typologie des efficacités de l'eau agricole.....	25
4.2.1.1 L'efficience hydrologique.....	25
4.2.1.2 L'efficience hydraulique.....	26
4.2.1.3 L'efficience agronomique.....	26
4.2.1.3.1 Indicateurs d'efficience agronomique.....	26
4.2.1.3.1.1 Les indicateurs classiques de l'efficience d'application de l'eau d'irrigation.....	27
4.2.1.3.1.2 Les indicateurs de l'efficience «réelle » d'application de l'eau d'irrigation.....	28
4.2.1.3.1.3 Efficience d'utilisation de l'eau d'irrigation par rapport au rendement agronomique.....	29
4.2.1.4 L'efficience économique.....	30

Chapitre 5 : les Agrumes

5.1 Données générales sur les agrumes.....	32
5.2 Présentation générale de l'origine des agrumes.....	32

5.3 Descriptif de la plante.....	34
5.4 Développement phénologique.....	35
5.5 Notion de porte-greffe.....	36
5.6 Agrumiculture en Algérie.....	36

DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODE

Chapitre 1 : présentation de la zone étude

1.1 Situation géographique.....	37
1.1.1 La plaine de la Mitidja.....	37
1.2 Les ressources hydriques.....	38
1.2.1 Les ressources souterraines.....	38
1.2.2. Les ressources superficielles.....	38
1.2.3. Les besoins en eau.....	39
1.3 Potentialités agricoles.....	40
1.4 Etude climatique.....	41
1.4.1 Les précipitations.....	41
1.4.2 La température.....	42
1.4.3 Les vents.....	43
1.4.3.1 Le sirocco.....	43
1.4.4 L'humidité relative de l'air.....	43
1.4.5 Durée d'insolation.....	43
1.5. L'évapotranspiration.....	44
1.6. Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	44

Chapitre 2 :Logiciel CROPWAT

2.1 Description du logiciel.....	46
2.2 Méthodologie de travail avec le logiciel CROPWAT.....	46
2.3 Méthode de détermination des besoins en eau des cultures et données de base pour l'utilisation du logiciel CROPWAT.....	47
2.3.1 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	47
2.3.2 Calcul de la pluie utile ou efficace (Pu).....	47
2.3.3 Données relative à la culture.....	47
2.3.4 Données relatives au sol.....	48
2.3.5 Calcul des besoins en eau d'irrigation.....	48
2.3.6 Détermination du calendrier d'irrigation.....	48
2.3.7 Occupation du sol.....	48
2.3.8 Interface périmètre irrigué.....	49
2.3.9 Formule de Penman-Monteith.....	49
2.3.10 Détermination du coefficient cultural Kc.....	50
2.4 Méthode de détermination des BEC.....	53
2.5 Méthode de calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau (EUE).....	54

TROISIEME PARTIERESULTAT ET DISCUSSIONS

Les cultures à étudiées.....	56
------------------------------	----

CHAPITRE 1 : Calcule des besoins en eau d'une monoculture cas d'agrumes

1.1	Données de l'ET0 et de la pluie efficace Pu	57
1.2	Données sur la culture (agrumes ou citrus).....	59
1.3	Données sur le sol de la wilaya de Blida	59
1.4	Besoins en eau d'une culture (agrumes)	60
1.5	Calendrier d'irrigation des agrumes	61
1.6	Plan d'occupation du sol et assolement d'une monoculture (des agrumes).....	63
1.7	Pilotage d'irrigation d'une culture d'agrumes	64
1.8	Conclusion	65

Chapitre 2 :détermination des BE de toutes les cultures irriguées

2.1	ET0 de la zone d'étude	66
2.2	Pluie efficace de la zone d'étude	67
2.3	Le sol de la zone	67
2.4	Besoin en eau de toutes les cultures de la zone	68
2.4.1	ETM.....	68
2.4.2	Besoin en eau d'irrigation	68
2.4.3	Le débit fictif continu.....	69
2.4.4	Besoin en eau globaux de la wilaya.....	70
2.5	Conclusion.....	72

Chapitre 3 : Détermination de l'efficience d'utilisation de l'eau des cultures irriguées de la wilaya

3.1 Détermination des rendements des cultures irriguées de la wilaya.....	73
3.2 Détermination des besoins en eau des cultures irriguées de la wilaya.....	74
3.3 Détermination des besoins en eau brutes des cultures irriguées de la wilaya.....	75
3.4 Calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau.....	76
3.4.1 Calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau d'une monoculture les Citrus.....	77
3.4.2 Calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau des cultures irriguées de la wilaya.....	78
3.5 Etude comparée de l'efficience d'utilisation de l'eau de Blida et de la FAO.....	79
3.6 Les aspects économiques de l'efficience d'utilisation de l'eau.....	80
3.7 Conclusion	82
Conclusion générale	83
Références bibliographiques	
Annexe	

Liste des abréviations :

AEP : Alimentation En eau Potable

AGID : agence nationale d'irrigation et drainage

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

BE : Besoin en Eau

BEI : Besoin en Eau d'Irrigation

Beib : besoins brutes en eau d'irrigation

Bein : besoins nettes en eau d'irrigation

Bn : besoins nettes

Dpb : Dose pratique brute

Dpn : Dose pratique nette

DSA : Direction Services Agricoles

Ea : Efficience d'application de l'eau

EI : l'efficience d'Irrigation

Er : Efficience du réseau

ETM : évapotranspiration maximale

ETP : évapotranspiration potentiel

ETR : évapotranspiration réelle

EUE : Efficience d'Utilisation de l'Eau

FAO : l'organisation mondiale de l'agriculture et nourriture (Food and agriculture organisation)

FNDRA : fond national de développement rural et agricole

GPI : grands périmètres irrigués

INRA : l'institut national de la recherche agronomique

Kc end : coefficient cultural de la phase maturation ou finale

Kc ini : coefficient cultural de la phase initiale

Kc mid : coefficient cultural de la phase développement

Kc : coefficient cultural

LR : demande en eau de lessivage

MADR : ministère de l'agriculture et de développement rural

ONID : l'office national d'irrigation et drainage

ONM : Office National de la Météorologie

Pe : pluie efficace

PMH : petite et moyenne hydraulique

Qfc : Débit fictif continu

RFU : réserve facilement utilisable

Rn : rayonnement net

RU : réserve utile

SAT : Superficie Agricole Totale

SAU : surface agricole utile

SI : Surface Irriguée

Tmax : température maximale

Tmin : température minimale

Tmoy : température moyenne

USA : les états unis américaines

Liste des figures

Figure I.1 : technique d'irrigation sur les superficies équipées totale.....	6
Figure I.2 : Irrigation par bassins à flanc de coteau	7
Figure I.3 : Irrigation par bassins pour les arbres fruitiers.....	8
Figure I.4 : Alimentation des sillons par siphons.....	9
Figure.I.5 : Alimentation des planches par siphons.....	10
Figure I.5 : Schéma d'un système de micro-irrigation par goutteurs.....	11
Figure I.7 :Images d'un reseau d'irrigation par aspersion	12
Figure I.8 : prélèvements d'eau par source (totale 8 425 millions m ³ en 2012).....	18
Figure I.9 : prélèvements d'eau par secteur (totale 8 425 millions m ³ en 2012).....	18
Figure I .10 : Origine des formes cultivées d'agrumes (adaptée de Ollitrault ,2012).....	33
Figure I.11 : Aire de répartition d'origine des agrumes (adaptée de Garcia-Lor et al, 2013)....	34
Figure II.1 : Situation géographique et réseau hydrographique de la wilaya de Blida.....	37
Figure II.2 : Climogramme ombrothermique de Gausсен.....	45
Figure II.3 : Evolution générale de Kc durant la période de croissance.....	51

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Volume d'eau dans la terre par apport selon sa distribution dans la nature	13
Tableau I.2 : distribution d'eau douce sur la terre.....	14
Tableau I.3: Répartition spatiale des eaux de surface.....	16
Tableau I.4: Répartition des ressources souterraines (millions de m ³).....	17
Tableau I.5. : Efficience de l'irrigation de différents systèmes d'irrigation.....	26
Tableau II.1 : Les Ressources en eau (Hm ³).....	39
Tableau II.2 : Besoin en eau et mobilisation (Hm ³).....	39
Tableau II.3 : Répartition générale des terres (En ha).....	40
Tableau II.4 : Superficies et productions réalisées des principales spéculations.....	41
Tableau II.5 : Pluviométrie moyenne mensuelle.....	42
Tableau II.6 : moyennes mensuelles Facteurs climatiques (période de 20 ans).....	43
Tableau II.7 : Fréquence du sirocco.....	44
Tableau III.1 : Dates de plantation ou de verdissement des cultures.....	57
Tableau III.2 : ET0 mensuelle de la zone d'étude.....	66
Tableau III.3 : Pluie efficace mensuelle de la zone d'étude (Méthode américaine USDA).....	67
Tableau III.4 : Caractéristiques des sols de la zone d'étude.....	67
Tableau III.5 : Besoins en eau d'irrigation des différentes cultures de la zone d'étude	69
Tableau III.6: Synthèse des besoins en eau des cultures et des débits fictifs continus	70
Tableau III.7 : Besoins en eau globaux annuels par culture ou groupe de cultures...	71
Tableau III.8 : Surfaces en rapport et rendement des cultures irriguées.....	74
Tableau III.9 : Besoins en eau d'irrigation des cultures irriguées.....	75
Tableau III.10 : Influence de l'efficience du réseau sur les besoins bruts d'irrigation	76
Tableau III.11 : Efficience d'utilisation des Citrus de la wilaya Blida.....	77

Le tableau III.12 : Synthèse de l'effcience d'utilisation de l'eau des cultures irriguées.....	79
Tableau III.13 : Etude comparée de l'effcience d'utilisation de l'eau de Blida et de la FAO.....	80
Tableau III.14 : Les aspects économiques de l'effcience d'utilisation de l'eau...	81

Listes des interfaces :

L'interface III.1 : Données climatiques et évapotranspiration de référence.....	58
L'interface III.2 : Données pluviométriques.....	58
L'interface III.3 : données sur les caractéristiques des agrumes.....	59
L'interface III.4 : données sur les caractéristiques du sol.....	60
L'interface III.5 : Besoins en eau d'irrigation des agrumes.....	61
L'interface III.6 : Calendrier d'irrigation des agrumes.....	62
L'interface III.7 : Plan d'occupation du sol et assolement d'une monoculture (des agrumes).....	63
L'interface III.8 : Pilotage d'irrigation d'une culture d'agrumes.....	64

Introduction générale :

L'eau est une ressource plus importante pour la vie, elle est irremplaçable, c'est la base pour le développement économique et social, elle couvre près de trois quarts de la superficie du globe, elle est le plus précieux parmi les éléments de la nature, Cet élément constitue en lui-même une richesse, Et en particulier dans les zones arides où la chaleur et la sécheresse le plus domine Pendant la majeure partie de l'année.

La question de l'eau en Méditerranée devient de plus en plus importante étant donné l'accroissement des besoins qui ont entraîné en cette fin de siècle une pression accrue sur les ressources en eau et ont modifié irrémédiablement l'utilisation qui est faite de la ressource.

L'eau est ainsi devenue pour la plupart des pays méditerranéens, dont l'Algérie, un facteur limitant de leur développement et, par conséquent, un enjeu majeur au plan économique, social et politique.

Les besoins en eau pour la population, l'industrie, l'agriculture deviennent de plus en plus importants alors que l'eau se fait rare. Ce qui nécessite la mise en place d'une politique d'utilisation rationnelle de l'eau en générale, et plus particulièrement en irrigation où l'eau et le sol diminuent avec le temps, L'objectif est de valoriser à la fois le mètre cube (m³) d'eau et l'hectare.

L'agriculture, et notamment l'agriculture irriguée est considérée comme un secteur fort consommateur d'eau.

Cependant, si tout le monde s'accorde sur le fait que l'eau est une ressource rare qui doit être bien gérée, la manière de mettre en place une telle méthode de gestion reste à déterminer.

Pour cela il y a plusieurs formes et techniques qui aident et serrent à la gestion et l'économie de l'eau, parmi eux la valorisation de l'efficience d'utilisation de l'eau des cultures irrigués.

Pour ce but on a réalisé ce travail d'études qui explique d'une manière simple et détaille l'une de ces techniques c'est la valorisation de l'EUE.

Notre travail comporte de 3 parties :

Partie I : la synthèse bibliographique ; qui résume quelques travail aux est résultats précédents qui ont rapport avec notre travail.

Dans cette partie nous commençons notre travail par la description de l'état de l'irrigation et des ressources en eau puis on parle de la notion de l'efficience d'utilisation de l'eau et la productivité.

Partie II : c'est la partie matériels et méthodes ;qui représente la description de la zone de notre études c'est la wilaya de Blida, puis on parle de la description du logiciel à utiliser c'est le CROPWAT après les méthodes d'estimation de l'efficience d'utilisation de l'eau.

Partie III : dans cette partie nous calculerons d'un part les besoins, et d'autre part l'efficience d'utilisation de l'eau pour les cultures irriguées de la wilaya, et de l'autre la productivité c'est le revenu en DA par m³ d'eau d'irrigation.

PREMIER PARTIE :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Définition de L'irrigation

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

L'apport d'eau réalisé sur un terrain cultivé ou une prairie en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et/ou des réserves hydriques du sol et, ainsi, de permettre le plein développement des plantes (larousse).

L'irrigation est définie comme l'apport d'eau au sol dans le but d'assurer l'humidité nécessairea la croissance des plantes, c'est l'application d'eau au sol pour des but comme l'assurance de l'humidité nécessaire et les conditions favorables à la croissance des plantes (*israelsen et al,1962*)

1.2. L'état de l'irrigation

L'irrigation est une opération agricole trèsimportante réalisée pour but d'augmenter la quantité et la qualité du rendement de l'agriculture qui assure la sécurité alimentaire de la population mondiale.

D'après les statistiques en a remarques que la situation de l'irrigation varie dans les différentes régions et pays du monde, cette variation revient a plusieurs facteurs :

- disponibilité des terrains agricoles et des ressources hydriques
- la situation économiques et forces des pays
- les modes de gestion de l'agriculture

1.2.1. Dans le monde

Dans le monde, 277 millions d'hectares sont irrigués (année 2002, source FAO) sur 1,4 milliard d'hectares de terres arables au total. Ils fournissent environ 1/3 de la production alimentaire mondiale. La nécessité de préserver les ressources en eau conduit à une réglementation et à la taxation des prélèvements.

Trois pays (Inde, Chine, États-Unis) représentent 50 % des surfaces irriguées totales. 80 % de la nourriture produite au Pakistan provient de terres irriguées, 70 % pour la Chine, mais moins de 2 % pour le Ghana, le Mozambique ou le Malawi(Bounab,2009).

1.2.2.EnAlgérie

L'Algérie est classée parmi les pays les plus déficitaires en eau, considéré comme une contrainte majeure du développement et source de tensions sociales, le stress hydrique est une sorte d'indicateur pour le manque d'eau ainsi que l'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec le changement climatique (Mebarki, 2010).

1.3. Difficultés du secteur hydro-agricole

Les difficultés, d'ordres technique, financier et organisationnel ont rendu le secteur hydro-agricole en Algérie, en particulier sur les grands périmètres irrigués en difficultés, (Benblidia et Thivet, 2010).

Toutes ces contraintes (sécheresse, déperditions des superficies irriguées) ne sont que le reflet d'un pays qui est limité par les ressources en eau, cependant elle est accentuée par d'autres facteurs externes d'ordre technique notamment :

- Le défaut dans la planification des ouvrages ;
- Les conflits avec les autres usages ;
- L'absence d'outils pour gérer cette situation.

A ces facteurs externes, il faut également ajouter d'autres facteurs internes au système, qui pénalisent aussi l'efficacité de l'irrigation. La dégradation alarmante des infrastructures par manque d'entretien, les importantes pertes dans les réseaux ; les gaspillages facilités par le prix bas de l'eau à usage agricole (Mouhouche et Guemraoui, 2004).

Il en résulte une anomalie de la gestion de l'eau, d'autant plus importante que l'ONID, chargé d'administrer les GPI, ne parvient pas à récupérer la totalité de la redevance du service et plusieurs GPI sont en situation de faillite financière. (PNE, 2010).

Le secteur de la PMH est très dynamique et contribue pour une large part à l'approvisionnement en fruits et légumes. Il bénéficie de subventions d'investissement

importantes (jusqu'à 80%) octroyées par le Fonds national de développement rural et agricole (FNDRA)(FAO, 2005).

Les périmètres d'irrigation en Algérie sont classés en deux grandes catégories :

- les grands périmètres irrigués classés, dépassant en général 500 ha d'un seul tenant, alimentés en eau à partir de barrages ou de batteries de forages profonds avec d'importants investissements collectifs totalement réalisés par l'Etat ;
- les périmètres de " petite et moyenne hydraulique " dont les surfaces éparses sont en Majorité inférieures 500 ha. Une partie ou la totalité des investissements est réalisée par les agriculteurs, les ressources en eau ont des origines diverses : puits, petits forages, retenues collinaires, épandages de crue, chotts des régions sahariennes. (B. Mouhouche, M. Guemraoui. 2004).

La superficie totale de l'Algérie est de 238 millions d'hectares dont 191 millions sont occupés par le Sahara. La superficie agricole représente 3% de ce total, la surface agricole utile (SAU) est de 7,14 millions d'hectares, dont près de la moitié est laissée en jachère(MADR,2007).

Chaque campagne agricole. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares. La céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi arides.

Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares, soit 50% des terres labourées (MADR, 2007).

En 2002, sur les 40 millions d'hectares cultivables, les terres cultivées ne représentaient que 8.27 millions d'ha essentiellement concentrés dans la région du nord. Près de 0.5 million d'ha de terres en zone steppique sont en voie de désertification totale et plus de 7 millions d'ha sont menacés (FAO, 2005).

Le potentiel d'irrigation algérien varie selon les sources et les méthodes d'estimation. La seule utilisation des eaux renouvelables ne permettrait qu'un potentiel d'irrigation de 510 300 ha à partir des bassins méditerranéens et du Sahara (FAO, 1997).

Depuis les années 2000, la mise en œuvre du Plan d'action de l'économie de l'eau et les investissements engagés par l'état ont permis une forte augmentation non seulement des superficies équipées mais également des superficies réellement irriguées qui passent de

350 000 en 2000 à 816 898 ha en 2008 (dont 53 000 ha équipés pour l'irrigation par épandage de crue en PMH; IFAD et al. 2009) et 1 228 111 ha en 2014. Sur ces 1 229 907 ha équipés en maîtrise totale en 2012 (1 176 907 ha – 53 000 ha épandage de crue), 58 pour cent est irrigué par irrigation de surface, 23 pour cent par aspersion et 19 pour cent par irrigation localisée (figure I.6). (FAO, 2015).

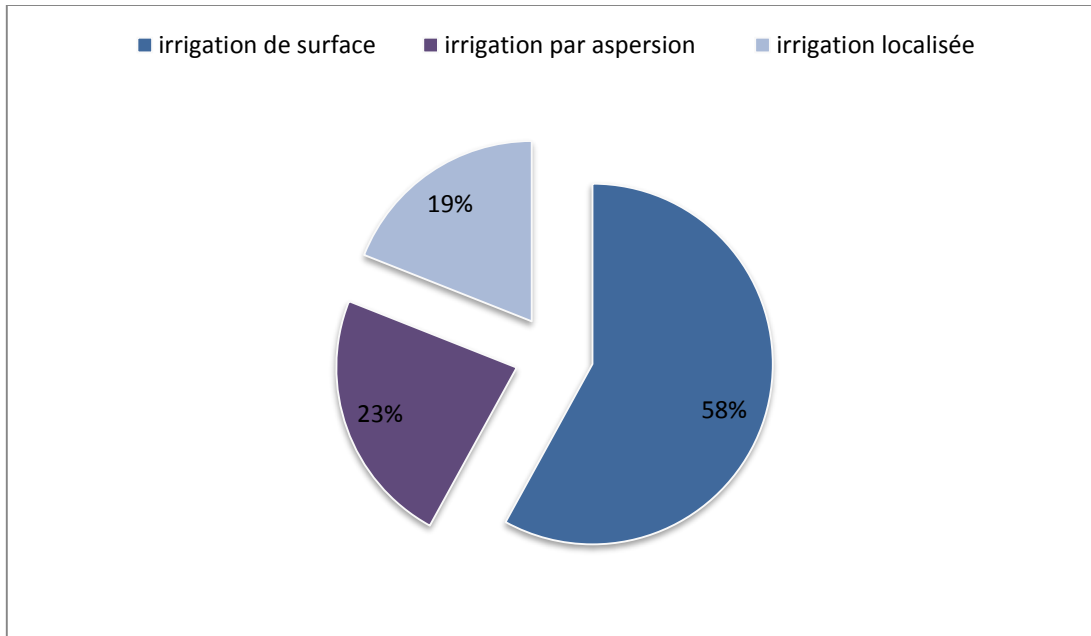


Figure I.1 : technique d'irrigation sur les superficies équipées totale (1 176 907 ha en 2012)

1.4. Les techniques d'irrigation

1.4.1. L'irrigation gravitaire

L'irrigation de surface ou irrigation gravitaire est le mode d'irrigation le plus ancien et le plus répandu dans Le monde (Rieul, 1997). Elle concerne les techniques d'irrigation pour lesquelles la répartition de l'eau à la parcelle se fait à l'air libre et par simple écoulement à la surface du sol (Compaoré, 2006). Les techniques d'irrigation de surface comprennent l'irrigation par planche, l'irrigation par submersion, l'irrigation à la raie et l'irrigation des surfaces mixtes. Elles se distinguent par la méthode d'application de l'eau, qui peut être par ruissellement ou par submersion.

Les techniques d'irrigation de surface entraîneraient un apport excessif d'eau, L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion

(irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches).

Cette technique nécessite un gros volume d'eau par unité de surface, le procédé consiste la distribution de l'eau on utilisant la pente topographique. Elle est subdivisée:

1.4.1.1. Irrigation par bassin

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (ex 12-24 heures).



Figure I.2 : Irrigation par bassins à flanc de coteau

(Source : wikipédia,2015)



Figure I.3 : Irrigation par bassins pour les arbres fruitiers

(Source : wikipédia,2015)

1.4.1.2. Irrigation par sillons/à la raie

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltre dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons (voir figure 3). Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée (ex 12-24 heures). Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée .



Figure I.4 : Alimentation des sillons par siphons

1.4.1.3. Irrigation par planches

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calants ou planches d'arrosage. L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons: soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci (voir figure I.7).



Figure I.5 : Alimentation des planches par siphons(Source : wikipédia,2015)

1.4.1.4. L'irrigation par ruissellement

Cette méthode consiste à faire couler l'eau sur la surface du sol qui s'y infiltre verticalement. On laisse l'eau s'écouler le temps qu'il faut pour le sol puisse s'humecter jusqu'à la profondeur de la couche active. (ABER MOHAMED 2003).

1.4.1.5. L'irrigation par submersion

Elle se pratique en recouvrant le sol avec une couche d'eau épaisse qui séjournera le temps nécessaire par là qu'elle s'infiltre à la profondeur utile. Cette profondeur est fonction des besoins nécessaires pour la croissance des plantes. Cette méthode reste valable dans le cas des terrains perméables et de pente inférieure à 2%. (ABER MOHAMED 2003).

1.4.1.6. L'irrigation par infiltration

L'eau coule dans les fossés, rigoles ou raies et s'infiltre latéralement dans le sol jusqu'aux racines des plantes. (ABER MOHAMED 2003).

1.4.2. L'irrigation sous pression

1.4.2.1. L'irrigation goutte à goutte

Les premières recherches dans la création du système d'irrigation goutte à goutte ont été réalisées aux USA en 1918 à l'université du COLORADO ils n'ont pu être utilisés seulement en 1950 en ANGLETERE l'irrigation au goutte à goutte a été appliquée (dans les serres).

Actuellement l'irrigation goutte à goutte trouve une très large diffusion dans beaucoup de pays du monde. (MESSAHEL MEKKI, 1988).

L'irrigation au goutte à goutte est l'une des techniques de l'irrigation localisée (micro irrigation) qui consiste à apporter à chaque plante ou arbre, individuellement la quantité d'eau dont elle a exactement besoin, en fonction des types de sol, des spécificités du climat et de son développement, sans ruissellement appréciable. (DANIEL.V et PIERRE .V, 1980).

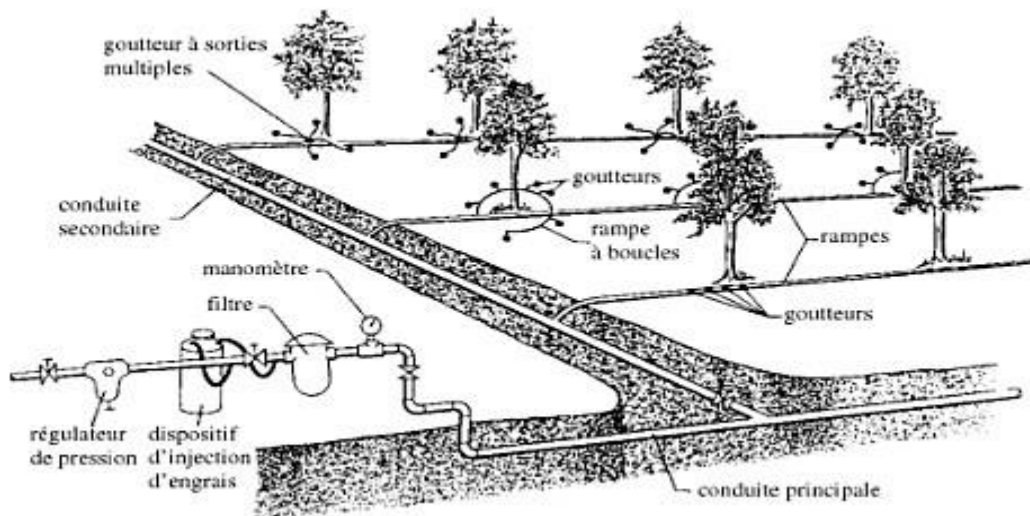


Figure I.6 : Schéma d'un système de micro-irrigation par goutteurs.

(Source : SOUTTER 2007)

1.4.2.2. L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie artificielle sur le sol, grâce à l'utilisation d'appareil (dit asperseurs)

alimentés en eau sous pression, Ce mode d'irrigation permet un dosage précis des apports d'eau, donc une économie d'eau.(AMMAR HACHEMI. 2005).



Figure I.7:Images d'un reseau d'irrigation par aspersion

(source : DSA DE Ain defla,2015)

1.4.2.3. Irrigation souterraine

Elle fonctionne inversement que le drainage, l'eau est envoyée sous légère pression dans des drains enterrés et remonte alors par capillarité. Le mode de distribution peut être varié. Tuyaux très poreux continuellement en charge et laissant diffuser l'eau nécessaire dans le sol.

Dans le cas des arbres, les drains sont enterrés à une cinquantaine de centimètre (Khelifaissa).

2.1. Introduction

L'eau est une ressource naturel renouvelable, on peut la trouvé sous plusieurs états liquide, glace et gaz en même temps plusieurs qualité de déférent pourcentage.

2.2. Ressource en eau dans le monde

La Terre est La planète d'eau qui couvre plus de 70 % de sa surface. L'ensemble de la quantité d'eau sur la terre est constant .Et on estime que le volume total d'eau dans la terre est de 1384 millions km³ (A. Kettab .1992).

Tableau I.1 : Volume d'eau dans la terre par apport selon sa distribution dans la nature

Lieu	Volume (km ³)	Pourcentage %	
Les océans et les mers	1.348.000.000	97,3904 %	
L'eau douce	Glace et neige	27.820.000	2,0099 %
	Les eaux souterraines et humidité de sol	8.062.000	0,5824 %
	Les lacs et rivières	225.000	0,0162 %
	L'eau dans atmosphère	13.000	0,0009 %
L'ensemble	1.384.120.000	100 %	
L'eau douce	36.120.000	2,609 %	

(A. Kettab .1992)

A partir des chiffres et des pourcentages indiqués dans le (tableauI.1) que les océans et les mers constituent la grande partie et l'essentiel de l'eau principale sur le globe, car il contient 97,39% du l'ensemble d'eau de la Planèteterre,D'autre part l'eau douce qui concerne l'homme c'est 2 ,609 %par apport de l'ensemble d'eau qui se trouve sur le globe terrestre.

Tableau I.2 : Distribution d'eau douce sur la terre

Lieu		Pourcentage par apport de l'ensemble d'eau douce%
L'eau douce facile à exploiter	L'eau souterraines de profondeur <800 m	09,86%
	l'eau des lacs douce	00 ,35%
	L'eau des rivières	00,003%
	Humidité de sol	00,17%
L'eau douce difficile à exploiter	Glace et neige	77,23%
	L'eau souterraines de profondeur >800m	12,35%
	Autre	00,44%
L'ensemble		100%

(A. Kettab .1992)

A partir du pourcentage indiqué du (tableau I.2) Que le pourcentage de 10,383 % par rapport au (36.120.000 km³) de l'eau douce est concerner à l'utilisation de l'homme dans différents domaine (agricole, industrie et ménage) et cela par des simple moyens à exploiter, et le reste de l'eau potable (89,617%) est difficile à exploiter et demande des frais coûte. (farahrachid ,2010).

2.3. L'eau en Algérie

Algérie parmi les pays où la pénurie d'eau douce utilisable et de répartition inégale des ressources d'eau en raison de position de l'Algérie dans une région aride et semi-aride et de la pollution des couches d'eau superficiels et souterraines.

2.3.1. Situation générale des ressources

- Région tellienne représente 4% de la superficie total avec un climat méditerranéen, représente 90% des eaux de surface
- Région steppique des hauts plateaux représente 9% de la superficie total avec un climat semi-aride.
- Région saharienne représente 87% de la superficie total avec un climat aride (Morgan et Alexis, 2013)

2.3.1.1. Les ressources superficielles

Les ressources en eau dépendent évidemment du climat, à la fois dans leur répartition spatiale et dans l'évaluation de leur bilan saisonnier ou annuel. Les eaux superficielles sont, pour leur plus grande part, entraînées par ruissellement et par écoulement torrentiels, vers la mer ou les dépressions fermées; les débits sont irréguliers dans l'année avec des étiages nuls et des crues de courtes périodes mais violentes, causant une érosion à l'amont et des inondations à l'aval. L'irrégularité interannuelle est aussi marquée. Les besoins en eau ont tendance à être à forte composante saisonnière : l'irrigation, la population, ainsi que la part du tourisme concourent à déterminer une forte saisonnalité des utilisations de l'eau. A l'inverse de la variabilité saisonnière des ressources : les demandes en eau sont maximales quand les ressources sont minimales. Dans les études menées dans le cadre du PNE et qui intègrent des années de sécheresse (jusqu'à 1993), ce potentiel est revu à la baisse puisque les ressources en eau de surface ont été, cette fois c'évaluées à 12.350 milliards de m³ répartis par bassin hydrographique (tableau I.3)(Ouradi, 2014).

Tableau I.3: Répartition spatiale des eaux de surface.

Régions	Superficielle km ²	Apports moyens (Hm ³)	Apports contrôlés (Hm ³)	Taux de mobilisation %	Apports résiduair es (Hm ³)
Oranie Chott Chergui	77 169	988	461	47	527
Chélif Zahrez	56 227	1 605	1 145	71	460
AlgéroisHod na Soummam	47 431	4 587	2 383	52	2 204
Constantino is Seybouse	44 348	4 527	2 542	56	1 985
Sud	2 018 054	600	170	28.26	430
Totaux		12 307	6 700	54.44	5 606

À partir de tableau, les ressources en eau sont concentrées dans les bassins côtiers, qui reçoivent 11.1 milliards de m³ (90.2%) de l'écoulement total, celles des hautes plaines ne sont estimées qu'à 0.7 milliards de m³ (5.7%) et enfin les bassins sahariens entrent pour 0.5 milliards de m³ (4.1%) (Ouradi, 2014). Ces eaux superficielles sont deux fois plus importantes à l'Est qu'à l'Ouest où la précipitation est importante. Ces chiffres sont en fait la capacité théorique des barrages qui sont soumis à des réductions importantes en raison de l'envasement, des fuites et de la forte évaporation notamment en cas de sécheresse prolongée.

2.3.1.2. Les ressources souterraines

Au regard des ressources mobilisables existantes, les prélèvements exercés sur les ressources hydriques apparaissent comme importants. Ils ont été estimés à près de

4,2 milliards de m³ dont 78 % issus des nappes souterraines (Ferrah et Yahiaoui, 2004). Les potentialités en eaux souterraines directement exploitables sont évaluées, par le service technique de l'ANRH, à 1,8 milliards de m³ dans la région Nord. Ces ressources sont relativement faciles à mobiliser et sont aujourd'hui exploitées à plus de 90% à l'inverse les ressources en eaux souterraines situées dans le Sud, les réservoirs du Nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total 126 nappes principales. Les ressources en eaux souterraines du Nord du pays connaissent un niveau de surexploitation avancé. Dans le Sud, les ressources en eau souterraines sont beaucoup plus importantes et sont contenues principalement dans des aquifères, qui s'étendent, pour certains, au-delà même des frontières Algériennes : il s'agit des nappes du continental intercalaire ou nappe albienne, et du complexe terminal. Les réserves théoriques des deux aquifères sont estimées à près de 60 000 Km³. Les volumes emmagasinés dans ces deux aquifères sont énormes, mais ils ne sont que très peu renouvelables pour ne pas dire qu'ils sont fossiles. Les nappes du Sahara septentrional sont exploitées à hauteur de 5 milliards de m³ par an, ce qui porte le total des ressources en eau exploitables (souterraine et superficielle) à 6,8 milliards de m³ (Ouradi, 2014). La répartition par région hydrographique des eaux souterraines se présente comme suit :

Tableau I.4: Répartition des ressources souterraines (millions de m³)

Bassin Hydrographique	Oranie Chott Chergui	Cheliff Zahrez	Algérois Hodna Soumma m	Cons Mallegue Seybouse	Sud	Total
Superficielle km ²	77 169	56 227	47 431	44 348	2.018.054	2.243.227
Ressources disponibles	375	231	745	543	5000	6894
Ressources exploitées	284	333	720	276	1400	3013
Taux de mobilisation	75%	144%	97%	80%	28%	43.70%

Source : (Ouradi, 2014)

2.3.2. Utilisation de l'eau

Les ressources en eau prélevées en 2012 sont estimées à 8 425 millions m³, dont 4 800 millions m³ provenant d'eau superficielle, 3 000 millions m³ d'eau souterraine, soit bien au-delà du volume renouvelable annuel, 615 millions m³ d'eau dessalée (Eurostat, 2015) et 10 millions m³ d'eaux usées traitées directement utilisées (figure I.8).

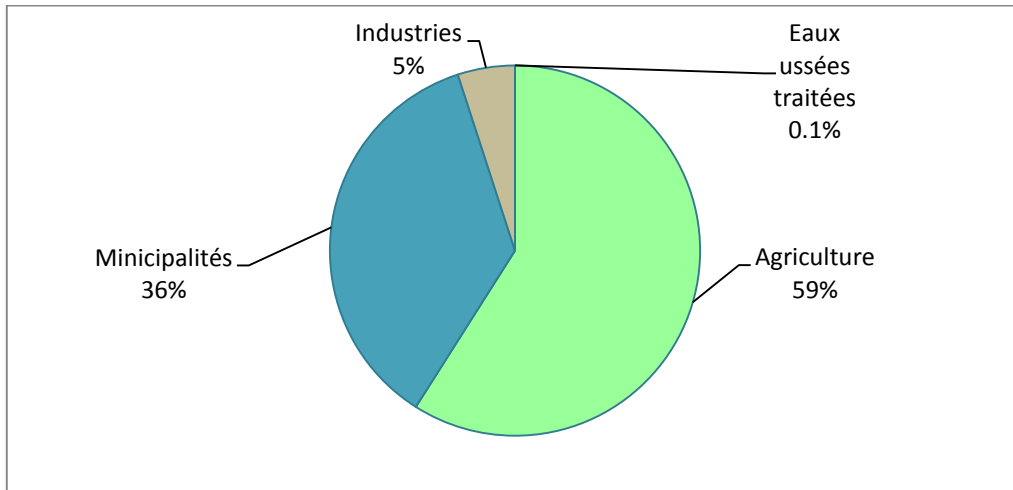


Figure I.8 : prélèvements d'eau par source (totale 8 425 millions m³ en 2012)

Source (fao-aquastat 2015-Algérie)

Les prélèvements attribués à chacun des secteurs n'est pas entièrement connu: la part de l'agriculture semble correspondre à 59 pour cent soit 4 990 millions m³ et la part des industries à 5 pour cent, soit 415 millions m³. Le prélèvement des municipalités est donc estimé à 36 pour cent, soit 3 020 millions m³ (figure I.9).(fao-aquastat 2015-Algérie)

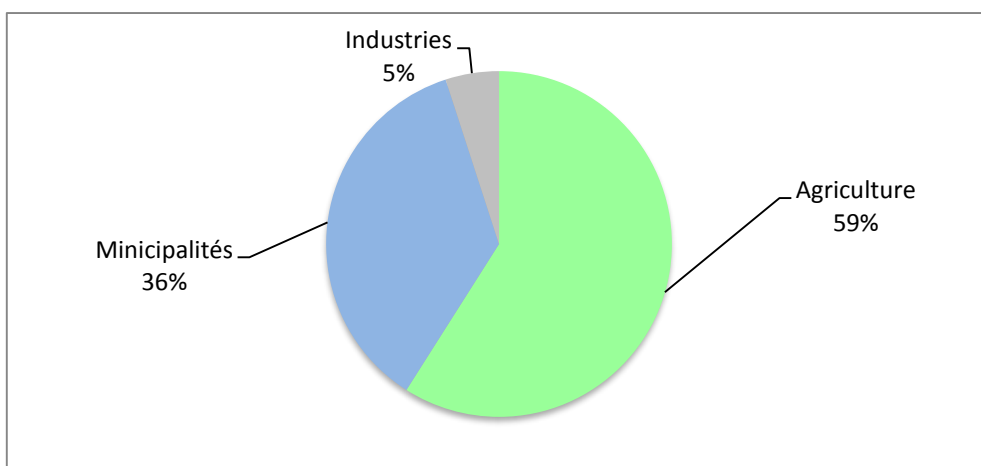


Figure I.9 : prélèvements d'eau par secteur (totale 8 425 millions m³ en 2012)

Source (fao-aquastat 2015-Algérie)

3.1. Introduction :

Le calcul des besoins en eau d'irrigation permet de prévoir la quantité d'eau à distribuer aux usagers et permet aussi de planifier l'utilisation des ressources hydriques. Les quantités d'eau nécessaire à l'irrigation doivent satisfaire divers types de besoins au niveau des champs.

3.2. Les besoins en eau des cultures :

Les besoins en eau d'une culture est équivalent au niveau d'évapotranspiration nécessaire à sa croissance optimale. Le besoin en eau des cultures se définit comme le volume d'eau requis pour l'évapotranspiration depuis la date de plantation jusqu'à la récolte.

Les besoins en eau est défini comme le niveau d'évapotranspiration d'une culture indemne de maladie et poussant dans une parcelle d'une surface supérieure à un hectare dans des conditions optimales de sol. Ces dernières consistent en une fertilité et une humidité suffisantes pour atteindre le potentiel de production de la culture dans le milieu considéré.(Bulletin N°29 FAO).

3.3. Besoin en eau d'irrigation :

Les besoins en eau d'irrigation c'est le volume d'eau requis pour les cultures qui n'est pas fourni par les précipitations, la surexploitation de l'eau du sol, ou par l'écoulement de l'eau vers la zone racinaire à partir d'une zone saturée. (CIID, 1985)

3.3.1. Besoin net en eau d'irrigation :

Quantité qui doit être effectivement consommée par la plante :

$$B_n = ETM - P_e - R$$

ETM : c'est la quantité d'eau perdue par une végétation jouissant d'une alimentation hydrique optimale. Par rapport à la notion d'ETP, on ajoute l'action climatique, l'influence du type de culture et du stage végétatif. Ces informations sont contenues dans les coefficients culturaux (K_c) par lequel on multiplie l'ETP pour obtenir l'ETM.

$$ETM = K_c * ETP$$

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

R : ruissellement de l'eau de la pluie zone racinaire à partir d'une zone saturée.

3.4. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, en m³/ha/jour, en m³/ha/mois ou en m³/ha/an. Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en mm/jours par mois ou par an. (Michel Ducrocq).

3.4.1. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration

On distingue généralement deux méthodes :

3.4.1.1. Les méthodes directes:

L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique l'appareil sert à mesurer ET en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal. L'évapotranspiromètre piche: il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard; la tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lit directement sur les graduations du tube.

Le bac évaporant: cet appareil très simple, permet de mesurer directement l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre. Sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP.

3.4.1.2. Les méthodes indirectes:

Ces méthodes permettent de calculer l'ETP à partir des formules ne comportant que des données climatiques, Parmi ces formules, on peut citer formule de turc, blaney-criddle, penman.

Les formules les plus utilisées en Algérie sont celles de:

Blaney-criddle (U.S.A 1945); turc (France 1960) et Penman (Angleterre 1948), pour notre étude on va utiliser celle de Penman.

3.4.2. Evapotranspiration de référence

Elle a été introduite par Wright et Jensen (1972), elle est définie comme l'évapotranspiration d'un gazon de 10 cm de hauteur, alimenté exactement selon ses besoins. Plusieurs formules permettent de donner une approximation correcte selon le site, la plus classique et la plus précise étant celle de Penman (1948).

3.4.3. Evapotranspiration potentielle (ETP ou ET0) :

C'est en principe la valeur maximale possible de l'évapotranspiration dans des conditions climatiques données l'évapotranspiration potentielle représente la quantité d'eau évaporée, et transpirée par une végétation qui recouvrirait totalement le sol en eau n'est pas limité. Nous employons couramment le terme « ETP » pour désigner la valeur approchée de l'évapotranspiration potentielle obtenue par calcul à partir d'une formule d'estimation fondé sur des données climatiques .l'ETPainsi définie est considérée comme une donnée climatique, c'est-à-dire que les facteurs culturaux n'interviennent pas dans son estimation.(Moussaoui Abbes, 2005).

L'évapotranspiration réelle représente la quantité d'eau effectivement évaporée, à un moment donné, par le sol et la végétation.(Chali Hamid 2003)

Allen Et Al (1994) cité in traité d'irrigation (1998) ont définit l'ET0 comme «l'évapotranspiration d'un couvert végétal "hypothétique" de référence ayant une hauteur de 12 cm, une résistance du couvert de 70 s/m et un albédo de 23%. Un couvert de gazon se développe activement sur une grande étendue régulièrement tendu, bien alimenté en eau et indemne de maladies ».

L'évapotranspiration de référence (ET0) est définie comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration d'une surface de gazon de hauteur uniforme, en pleine période de croissance, recouvrant complètement le sol et abondamment pourvue en eau (Allen & al, 1998). La détermination de l'ET0peut être faite : soit directement à l'aide de lysimètre ; soit indirectement à l'aide de formules empiriques et théoriques qui combinent des variables climatiques en se servant de logiciel spécifique tel que l' ET0(Raes, 2000).

3.4.4. Evapotranspiration maximale (ETM) :

L'ETM. C'est la quantité d'eau maximale évapotranspirée par un couvert végétal donné en pleine croissance. L'eau n'est pas limitant, l'évapotranspiration dépend donc de l'énergie disponible et de la nature du couvert.

L'évapotranspiration maximale correspond donc aux besoins agronomiques en eau de la culture dans des conditions climatiques données, dans des conditions de production et de rendement optimaux (sans facteur limitant : maladies, disponibilité en eau, etc.). A partir de l'évaluation des besoins maximaux théoriques, il s'agit de savoir s'ils peuvent être satisfaits par la pluie (Julie Fabre, 2010)

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 (ETM) 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 :

$$ETM = K_c \times ET_0$$

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

K_c: coefficient cultural,

ET₀ : évapotranspiration de référence (mm). (in Anhar et Bammoun Riad, 2006)

3.5. Pilotage de l'irrigation :

Le pilotage de l'irrigation, appelée encore conduite ou programmation des arrosages (irrigation scheduling en anglais), consiste à répondre à 3 questions essentielles : quand irriguer, quelle dose prévoir, comment l'apporter ? Auxquelles il faut pouvoir répondre avec une précision maximale pour garantir un potentiel de production quantitatif et qualitatif à moindre coût en évitant tout apport d'eau inutile et parfois nuisible (Chol, Tron, 1999) cité par Filali (2003).

Le pilotage de l'irrigation aura donc pour but, d'éviter le stress hydrique sur l'ensemble du cycle de la culture afin d'avoir une production maximale sans contrainte d'alimentation en eau, et l'optimisation de l'utilisation de l'eau quand les ressources sont limitées.

L'opération de pilotage est délicate, nécessite la combinaison de plusieurs facteurs sont : climat, sol, plante, et moyens techniques ; Permet l'établissement d'un calendrier d'irrigation où est définie pour chaque irrigation la date et la dose jugée optimales.

Les décisions à prendre pour conduire les irrigations sont :

- . Choix de la date d'irrigation : Ce qui répond à la question « quand irriguer? » qui nécessite la connaissance de la réserve en eau du sol (RFU), et le suivi de l'état hydrique de la plante, pour déclencher l'irrigation.
- . Choix de la dose et de la fréquence d'irrigation : Il s'agit de savoir combien doit-on apporter à la culture et à quelle fréquence, on connaissant au préalable ses besoins en eau et le rendement qu'on espère obtenir.

Dans la pratique, on a 3 possibilités de choix :

- dose fixe et intervalle entre irrigation variable,
- dose variable et intervalle fixe,
- dose variable et intervalle variable.

Choix de mode d'irrigation : Pour satisfaire les besoins en eau de la culture, le choix de mode d'irrigation doit prendre en considération les contraintes techniques (eau, coût de matériel, culture, énergie, main d'œuvre) et l'efficacité de système.

L'objet principal d'un outil de pilotage d'irrigation est de permettre à l'agriculteur d'apporter la dose adéquate au moment opportun pour les différentes cultures irriguées et de maintenir ainsi la production agricole et optimiser le rendement.

Certaines méthodes constituent des outils d'aide à la décision pour programmer l'irrigation « quand doit-on irriguer ? », et d'autres vont jusqu'à calculer le volume d'eau nécessaire par apport comme le logiciel de FAO « CROPWAT ».

4.1 Terminologie et définitions

Les définitions du terme "efficacité" utilisé par la communauté intéressée par l'irrigation diffèrent selon les disciplines scientifiques concernées :

4.1.1 Ainsi, pour les hydrologues et les ingénieurs de l'irrigation

Qui s'intéressent aux volumes et aux débits d'eau, l'efficacité mesure un rendement et des pertes entre deux points (entrée et sortie) le long du système d'irrigation.

On définit ainsi par exemple :

- L'efficacité de stockage au niveau d'une retenue de barrage.
- L'efficacité du transport des canaux à partir du lieu de mobilisation de l'eau jusqu'à la prise de l'exploitation.
- L'efficacité de la distribution d'eau au niveau de l'exploitation depuis la prise de l'exploitation jusqu'à la parcelle.
- L'efficacité d'application de l'eau à la parcelle ou efficacité de l'irrigation.
- L'efficacité globale qui combine ces différentes efficacités du système d'irrigation.

L'efficacité représente le rapport des quantités d'eau utiles qui sont récupérées au niveau du point de sortie par celles injectées au niveau du point d'entrée.

Pour l'efficacité de l'irrigation (E.I.), le résultat au point de sortie est représenté par l'eau utile pour la production de la culture, Cette quantité d'eau utile est divisée par la quantité d'eau injectée en tête de parcelle. L'E.I. traduit essentiellement l'efficacité de la technique d'irrigation adoptée.

4.1.2 Du point de vue agronomique

L'efficacité d'utilisation de l'eau par la culture, EUE, est définie comme étant le rapport entre le rendement récoltable (grain, biomasse totale, sucre, pivot de betterave, etc.) et l'eau utilisée pour aboutir à cette production par unité de surface. Il y a donc une transformation ou une conversion de l'eau par les végétaux cultivés en biomasse par le biais de la photosynthèse, qui implique une perte d'eau par évapotranspiration à l'échelle du couvert végétal. Il faut donc diviser le rendement par l'évapotranspiration réelle de la culture. Mais certains auteurs, pour simplifier, divisent aussi par les pluies reçues au cours du cycle de la culture ou par la somme des pluies et de la dose totale d'irrigation.

4.1.3 Pour les crop-physiologistes (physiologie végétales)

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) est définie comme étant le rapport du gain de carbone à la perte d'eau (Gregory, 1988). Pour ces auteurs, les deux termes du rapport peuvent être définis à différentes échelles. Ainsi le gain de carbone peut être le CO₂ assimilé à l'échelle de la feuille ou du couvert végétal. La perte en eau, peut être la transpiration, à l'échelle de la feuille ou du couvert végétal.

4.1.4 Pour les agroéconomistes :

L'efficacité est définie par le rapport entre la marge brute ou la marge nette de la production d'une unité de surface et le coût de l'eau d'irrigation nécessaire à la réalisation de cette production. On parle alors de valorisation de l'eau d'irrigation. La question qu'ils posent est la suivante:

Combien de dirhams rapporte un Dinar d'eau (ou l'équivalent en mètres cubes d'eau) investi dans l'irrigation de telle ou telle culture?

(1 US dollar est équivalent à environ 80 Dinar A), en d'autres termes, quelle marge (en Dinars) peut-on obtenir en consommant un mètre cube d'eau?

Etant intéressé par l'irrigation à l'échelle d'un périmètre irrigué, d'une exploitation agricole et de la parcelle cultivée, nous allons donc nous limiter aux aspects qui intéressent les hydrologues, les ingénieurs du génie rural, les agronomes et les agroéconomistes. (Bouaziz, K. Belabbes, 2002).

4.2- Indicateurs de l'efficacité de l'eau agricole :

4.2.1 Typologie des efficacités de l'eau agricole :

4.2.1.1 L'efficacité hydrologique :

Fondée sur une analyse du cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants l'évaluation de l'efficacité hydrologique se fonde sur l'idée que les « pertes » à l'échelle des réseaux d'irrigation contribuent aussi souvent à répondre à une demande d'utilisateurs. Cette demande s'est matérialisée du fait de l'existence même de la « perte » qui contribue à la satisfaire.

Dans l'évaluation, il s'agit alors d'inclure la « perte » à la fois comme un coût mais aussi comme un gain. Comme l'usage agricole est quantitativement le plus important, ce rôle positif peut être significatif.

Pour la collectivité (territoire, bassin versant), il s'agit de comparer la valorisation de ces « pertes » aux coûts et aux avantages de l'eau économisée.

4.2.1.2 L'efficacité hydraulique :

A l'échelle des réseaux d'irrigation, Elle revient à mesurer le rendement des réseaux de transport, de distribution, d'application à la parcelle. Ces rendements comparent des volumes d'eau entre deux points (entrée et sortie) le long du système d'irrigation.

Tableau I.5. : Efficacité de l'irrigation de différents systèmes d'irrigation

Système d'irrigation	Efficacité de l'irrigation	Coûts d'installation
Champs inondés (p. ex. riz)	20–50%	bas
Autres irrigations de surface (rigoles, etc.)	50–60% et plus	bas
Irrigation par aspersion	50–70%	moyen-élevé
Goutte à goutte	80–90%	élevé

(Source : Studer, 2009)

Généralement, l'irrigation gravitaire présente une certaine rigidité liée aux contraintes techniques de distribution d'eau, et à la façon dont les droits d'eau sont définis. Ceci peut se traduire par des tendances à la sur-irrigation, si les cultures ont des systèmes racinaires superficiels et/ou si les sols ont une faible capacité de rétention d'eau. L'irrigation localisée peut permettre une meilleure conduite de l'irrigation dans le temps avec un contrôle accru de l'eau appliquée (durée, fréquence et quantité), permettant, potentiellement, une augmentation de la productivité hydrique et des rendements (Pereira 1999).

4.2.1.3 L'efficacité agronomique :

A l'échelle de la plante cultivée, Elle revient à mesurer l'efficacité d'utilisation de l'eau (eau bleue et eau verte ou uniquement eau bleue) par une plante cultivée. Cette efficacité est souvent définie comme un rapport entre rendement potentiel et eau utilisée pour la production de biomasse, par unité de surface. Pour de tels indicateurs, la connaissance des « besoins » agronomiques en eau des cultures, fondée sur des bilans hydriques, constitue alors l'élément essentiel de toute stratégie de rationalisation de l'utilisation des facteurs de production. (Sara Fernandez, Audrey Mouliérac,2010).

4.2.1.3.1-Indicateurs d'efficacité agronomique :

Les principaux indicateurs disponibles sont :

4.2.1.3.1.1. Les indicateurs classiques de l'efficacité d'application de l'eau d'irrigation (Équation 1, Équation 6) :

Équation 1 : Efficacité classique d'application d'eau d'irrigation à la parcelle (1)

$$E_a (1) = \frac{\text{Eau bleue transpirée}}{(1 - LR) \times V_{\text{appliqué à la parcelle}}}$$

Avec :

$E_a (1)$: efficacité classique d'application de l'eau d'irrigation (1),

LR : demande en eau de lessivage,

V appliqué à la parcelle = Volume d'eau appliqué à la parcelle.

L'enjeu réside dans la capacité à approcher l'eau d'irrigation (eau bleue) transpirée.

L'eau transpirée est l'eau consommée qui contribue à la production de biomasse par la plante cultivée. Dans la pratique, il est difficile de distinguer l'eau évaporée de l'eau transpirée. L'eau évaporée et l'eau transpirée sont généralement évaluées ensemble et constituent l'évapotranspiration.

L'eau évapotranspirée par une plante cultivée irriguée est issue à la fois (i) de l'eau d'irrigation (eau bleue) et (ii) de l'eau de pluie, ou plus précisément de la pluie « efficace » (eau verte), c'est-à-dire la fraction des précipitations qui contribue à reconstituer la réserve du sol en eau utilisable par la plante cultivée

$$ETR = \text{pluie efficace} + \text{eau d'irrigation évapotranspirée}$$

Équation 2 : Efficacité classique d'application d'eau d'irrigation à la parcelle (2) L'indicateur devient alors :

$$E_a (2) = \frac{ETR - (\text{pluie efficace})}{(1 - LR) \times V_{\text{appliqué à la parcelle}}}$$

Avec : $E_a (2)$: efficacité classique d'application de l'eau d'irrigation (2)

ETR = évapotranspiration réelle (fonction de la culture, du climat, des pratiques et des caractéristiques du substrat) pour une culture c.

LR : demande en eau de lessivage.

V appliqué à la parcelle = Volume d'eau appliqué à la parcelle.

ETR est cependant difficile à appréhender à grande échelle. Elle n'est, le plus souvent, estimée que sur des parcelles expérimentales.

De façon pratique, plusieurs auteurs ont défini des approximations fondées sur des coefficients qui sont des produits de l'expérimentation et qui sont aussi calculés à partir d'hypothèses de conditions idéales non contraintes. Ces approximations sont utiles pour la conduite de l'irrigation. En revanche, elles ne permettent pas d'estimer les efficacités réelles de l'application de l'eau d'irrigation.

L'évapotranspiration maximale (ETM) est ainsi définie pour une culture donnée poussant dans des conditions agronomiques (hydriques) optimales (Équation 3) :

Équation 3 : Évapotranspiration maximale

$$ETM = K_c \times ET_0 \text{ Avec :}$$

K_c = coefficient cultural qui varie avec le stade de développement de la culture,

ET_0 = évapotranspiration potentielle (Il s'agit de l'évapotranspiration maximale d'un gazon, pour lequel l'eau n'est pas limitant), coefficient climatique.

La FAO a développé deux méthodes de calcul, à un ou deux coefficients. Avec deux coefficients, K_c s'exprime comme la somme de ces deux coefficients dont l'un est associé au processus d'évaporation par le sol, l'autre à la transpiration par les plantes cultivées (Allen & al. 1998).

La différence entre eau appliquée et eau effectivement consommée dépend de la technique d'irrigation, des conditions environnementales, et des caractéristiques du sol.

4.2.1.3.1.2. Les indicateurs de l'efficacité «réelle » d'application de l'eau d'irrigation (Équation 4) :

Il s'agit de proposer une évaluation de l'efficacité qui tienne compte de la réutilisation possible de l'eau « perdue » à l'échelle d'une parcelle donnée (Wichelns 2002).

Équation 4 : Efficacité effective d'application d'eau d'irrigation à la parcelle

$$E_{a \text{ effective}} = \frac{ETM - (\text{pluie efficace})}{F} \text{ Avec :}$$

$E_{a \text{ effective}}$: efficacité effective d'application de l'eau d'irrigation,

F = l'usage effectif de l'eau d'irrigation.

F correspond aux flux entrants « effectifs » moins les flux sortants « effectifs ».

On déduit des flux sortants ceux qui sont réutilisés par ailleurs. Ces flux ne représentent alors une perte, diminuant l'efficacité effective d'utilisation de l'eau d'irrigation, que s'ils ne sont pas réutilisés à l'aval ou si leur qualité est tellement dégradée qu'ils ne peuvent être réutilisés à l'aval. Ainsi, dans le cas de la vallée du Nil en Égypte, les indicateurs E_a (1) ou E_a (2) donnent une efficacité de l'ordre de 40 ou 50 % alors que l'indicateur $E_{a \text{ effective}}$, est lui, au contraire, très élevé, avec des valeurs de l'ordre de 80 %, du fait d'un important recyclage de l'eau (Wichelns 2002).

L'indicateur E_a effective permet d'introduire dans l'évaluation de la performance d'utilisation de l'eau d'irrigation la réutilisation de l'eau infiltrée ou ruisselée à l'échelle de la parcelle, ainsi que les impacts de l'irrigation sur la qualité de l'eau, puisque la réutilisation potentielle est conditionnée par l'état qualitatif dans lequel l'eau retourne au milieu.

Cet indicateur permet une analyse de l'efficacité hydrologique, à l'échelle des bassins versants, et donc des coûts et des avantages associés à la réallocation de l'eau entre usages.

Ainsi, si un bassin est « fermé », il n'y a pas de potentiels de gain d'efficacité d'un point de vue hydraulique. Il y a seulement des potentiels de gain d'efficacité agronomique et économique, entre usages ou au sein d'un même usage, en fonction de leur valorisation de l'eau.

Ces gains réels d'efficacité relèvent d'une amélioration de la productivité hydrique des cultures, d'une réduction des pollutions diffuses agricoles, de modifications d'assolements, de mécanismes de réallocation de l'eau vers des usages qui la valorisent le plus.

4.2.1.3.1.3. Efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation par rapport au rendement agronomique (Équation 5, Équation 6) :

Il s'agit d'évaluer le gain de rendement apporté par l'irrigation, en comparant les performances agronomiques d'une culture donnée selon qu'elle est irriguée ou non (Howell 2001), (Crepin & al 2001).

On peut distinguer deux types d'indicateurs : ceux qui prennent en compte l'eau d'irrigation appliquée (Équation 5), et ceux qui prennent en compte l'eau d'irrigation effectivement consommée (Équation 6) :

Équation 5 : Efficacité de l'eau d'irrigation consommée dans la formation du rendement agronomique

$$ET_{WUE} = \frac{(Y_i - Y_d)}{ET_i - ET_d}$$

Équation 6 : Efficacité de l'eau d'irrigation appliquée dans la formation du rendement agronomique

$$I_{WUE} = \frac{(Y_i - Y_d)}{I_i} \text{ Avec :}$$

Y_i = rendement pour un niveau d'irrigation i ,

ET_i = évapotranspiration pour un niveau d'irrigation i ,

Y_d = rendement pour une parcelle équivalente mais non irriguée (eau verte seule ou agriculture pluviale),

ET_d = évapotranspiration pour une parcelle équivalente mais non irriguée (eau verte seule ou agriculture pluviale),

I_i = quantité d'eau d'irrigation appliquée au niveau d'irrigation i ,

$ETWUE$ traduit la productivité hydrique de la culture d'un point de vue agronomique.

$IWUE$ donne des informations sur l'efficacité des techniques d'irrigation.

Les deux indicateurs sont généralement optimisés pour un léger déficit en eau, lorsque ce déficit permet de réduire l'évaporation de l'eau sans réduire la transpiration de l'eau par la plante cultivée. En d'autres termes, on cherche à maximiser le gain de carbone (CO_2 assimilé par le couvert végétal) en minimisant les pertes d'eau.

Pour un même Y_i et Y_d , la comparaison entre $ETWUE$ et $IWUE$ permet d'évaluer l'efficacité de la technique d'irrigation à la parcelle.

Pour une culture donnée, ces indicateurs permettent de mener une réflexion sur l'efficacité de l'irrigation par rapport à une conduite pluviale, en fonction non seulement de la technique d'irrigation mais aussi des caractéristiques agronomiques de la culture, des relations eau-sol-plante. En d'autres termes, elle permet de comparer l'efficacité de l'utilisation de l'eau bleue pour la production agricole par rapport à la seule eau verte.

Du point de vue du gestionnaire, ces indicateurs peuvent permettre de mieux connaître la demande en eau d'irrigation et donc de mieux adapter la gestion tactique de l'offre en eau.

Du point de vue du gestionnaire ou de l'irrigant, ils peuvent aussi permettre de mieux raisonner les investissements hydro agricoles, structurants et coûteux. (Sara Fernandez, Audrey Mouliérac ,2010)

4.2.1.4 L'efficacité économique :

Elle reflète la valorisation économique de l'eau, souvent définie par un rapport entre (i) la valeur du produit agricole et (ii) les coûts d'opportunité de l'eau utilisée pour la production agricole. Les efficacités hydrauliques et agronomiques (calculées à partir de rendements) ne sont que des éléments intermédiaires de l'efficacité économique, dont la finalité est l'allocation optimale des ressources rares selon des critères de valeur monétarisée.

Les gains d'efficacité hydrauliques ou agronomiques cherchent à augmenter la part d'eau effectivement utilisée par rapport à l'eau mobilisée. D'un point de vue économique,

l'amélioration des efficacités agronomiques ou hydrauliques a d'autant plus de sens que l'eau économisée crée de la valeur. Ainsi un gain marginal d'efficience hydraulique ou agronomique n'est efficace d'un point de vue économique que s'il est supérieur au coût marginal de la mesure. L'optimisation économique ne revient donc pas nécessairement à maximiser les indicateurs qui comptent d'un point de vue strictement hydraulique ou agronomique. . (Sara Fernandez, Audrey Mouliérac ,2010).

5.1. Données générales sur les agrumes :

Le nom Agrume est donnée aux arbres appartenant à la famille des Rutacées et au genre botanique Citrus. Cette appellation d'origine italienne, désigne les fruits comestibles et par extension les arbres qui les portent. A cette catégorie d'arbre appartiennent les orangers, les mandariniers, lescitronniers, les cédratiers et les pamplemoussiers (LOUSSERT, 1989)

5.2. Présentation générale de l'origine des agrumes :

LOUSSERT (1989) signale que les agrumes sont originaires des pays du sud-est asiatique ou leur culture se confond avec l'histoire des civilisations anciennes de la Chine, qui les cultivèrent d'abord pour leur parfums, puis pour leurs fruits. Ce même auteur signale aussi que c'est avec le rayonnement des civilisations Chinoises et Hindoues que leur culture commença à ce propagé, au cours de premier millénaire avant notre ère, à l'ensemble des pays du sud-est asiatique (sud du Japon et archipel de Malaisie).

Initialement, le genre Citrus s'est structuré autour de 4 taxons originaires d'Asie de l'est : le cédratier (*Citrus médical*), le pamplemoussier (*Citrus maxima* (Burm. f.) Merr.), le mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) et *Citrus micrantha* Wester, un proche parent de la lime *Citrus aurantifolia* Swingle (cf. Figure I.10).

La découverte de la variété *Citrus micrantha*, originaire des Philippines, est très récente. Il y a encore quelques années, nous nous basions sur 3 taxons de base dans l'évolution des agrumes, sans connaître précisément l'origine de la lime. (Fig I.10)

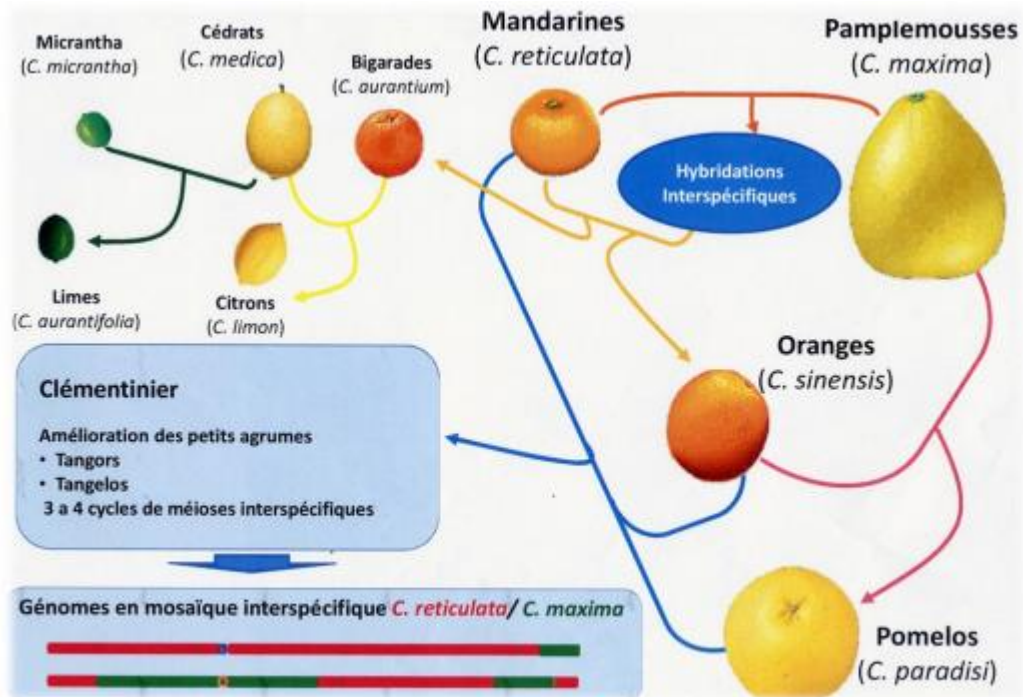


Figure I.10 : Origine des formes cultivées d'agrumes(adaptée de Ollitrault et al,2012)

Au fur à mesure de l'histoire et des mouvements humains, ces 4 groupes de base auraient donné lieu à des recombinaisons génétiques par hybridation, créant ainsi les autres types d'agrumes que l'on peut rencontrer aujourd'hui : orangers, bigaradiers, citronniers, pomelos.

Ces 4 groupes sont originaires de zones d'Asie climatiquement différentes (cf. Figure 4). Ainsi, le cédrat et la mandarine sont adaptés à un climat avec alternance de saison sèche et de saison froide (nord de l'Inde, est de la Chine) alors que le pamplemousse et *Citrus micrantha* proviennent tous deux d'un climat plutôt équatorial (Indonésie, Philippines). (FIG I.11)

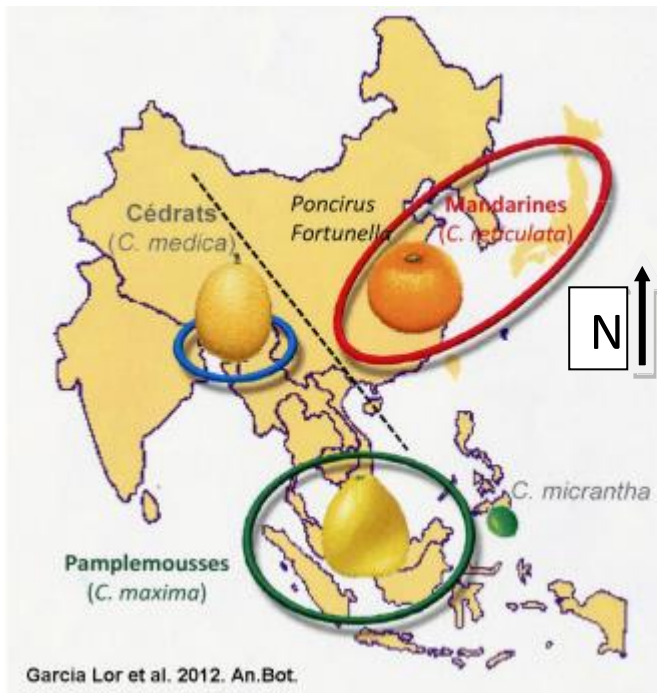


Figure I.11: Aire de répartition d'origine des agrumes sud-est asiatique (adaptée de Garcia-Lor et al, 2013)

5.3. Descriptif de la plante :

La classification des agrumes est selon (Adjdir et Bensnoussi 2009) comme suite :

Règne : *Végétale*

Embranchement : *Angiospermes*

Classe : *Eudicotes*

Sous classe : *Archichlomydeae*

Ordre : *Geniales (Rutales)*

Famille : *Rutaceae*

Sous famille : *Aurantoideae*

Tribu : *Citreae*

Sous tribu : *Citrineae*

Genre : *Citrus*

5.4. Développement phénologique :

Les agrumes se présentent sous la forme de petits arbres d'environ 4 à 12 m de hauteur avec un feuillage dense et persistant (CIRAD-GRET, 2009)

Il s'agit d'une plante pérenne qui possède une phase juvénile relativement longue, entre 5 à 8 ans, pour être capable d'émettre des fleurs et produire des fruits après son semis (Iglesias Et Al, 2007)

La rythmicité phénologique des agrumes est fonction non seulement des inductions climatiques mais elle est également propre à chaque type d'agrumes et à chaque variété. (Goldschmidt, 1997).

Les agrumes, selon les espèces et les variétés, vont également exprimer des comportements variés dans leurs floraisons et leurs réponses aux conditions d'induction (Iglesias Et Al, 2007). Par exemple, dans un climat de type méditerranéen, avec alternance de saison froide et de saison chaude, les orangers, mandariniers, pomélos fleurissent une fois par an

On peut généralement observer un chevauchement des cycles de production entre les variétés précoces, de saison ou tardives.

Pour ce qui est des limettiers, citronniers et cédratiers, leur physiologie leur permet d'induire plusieurs floraisons par an, dites « remontantes », que ce soit en climat méditerranéen ou tropical (Nir et al, 1972)

Tableaux I.6 : Schéma du cycle de développement des agrumes non remontants (oranges, mandarines, pamplemousses et pomelos) en climat méditerranéen. Exemple du comportement de 2 variétés d'oranges.

Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin
Saison froide			Saison chaude					Saison froide									
		Floraison		Chute physiol. **	Croissance active du fruit				Récolte précoce		Récolte de saison			Récolte tardive			
Période de récolte selon variété																	
O. Hamlin (n-1)									Orange Hamlin								
O. Valencia (cycle n-1)												Orange Valencia late					

5.5. Notion de porte-greffe :

Chez les agrumes, les caractères juvéniles lorsque l'arbre est planté par semis sont très contraignants et persistent un long moment : branches épineuses, arbre très vigoureux avec un port dressé, (Cameron et al., 1968).

Plusieurs espèces et variétés d'agrumes n'ont également aucun pouvoir de résistance au froid ou à certaines maladies du sol, pas de tolérance à la salinité ou à des niveaux d'eau élevés, qui constituent pourtant des qualités intrinsèques souhaitables pour leur survie (Bitters, 1986).

L'idée d'associer des variétés d'agrumes possédant ces qualités avec d'autres variétés plus sensibles est née au XIIème siècle en Espagne. A l'époque, l'objectif était essentiellement de se prémunir contre les attaques de *Phytophthora* spp. (*Phytophthora citrophthora* et *Phytophthora parasitica*) une maladie de dégénérescence causée par un champignon du sol (Duportal et al, 2013). Cette association a connu un succès et aujourd'hui la grande majorité des agrumes sont cultivés de manière bi-composite dans les systèmes de production: une variété possédant des qualités relatives à la partie aérienne (appelée « greffon ») est greffée sur une autre variété reconnue pour ses qualités souterraines (le « porte-greffe »). Le greffage permet ainsi de réunir deux plantes génétiquement différentes, en valorisant leurs caractères respectifs.

5.6. Agrumiculture en Algérie :

BOUDI (2005) signale que les agrumes sont les fruits les plus produits dans le monde. Ce même auteur souligne que l'Algérie qui été traditionnellement exportatrice d'agrumes, éprouve à l'heure actuelle des difficultés à satisfaire les besoins de consommation qui ne cessent de croître sous l'effet de la consommation en fruits frais. Ce même auteur souligne aussi que l'Algérie par sa situation géographique, son climat et la qualité de sa production peut à juste titre prétendre occuper sur les places européennes une position de choix pour l'ensemble de sa production agrumicole.

En 2002, l'agrumiculture en Algérie occupe une superficie de 52 710 ha et présente une production de 5 194 590 qx, donc un rendement de 122,9 qx/ha (MOUHAMMEDI-BOUBEKKA, 2007).

DEUXIEME PARTIE :
MATERIELS ET METHODES

1. Situation géographique

Située à 45 km au Sud du capital, la wilaya de Blida s'étend sur une superficie de 1482,8 Km², dont 53% de plaines, 22,5% de piémonts et 23,9% de montagnes. Elle se situe dans la partie Nord du pays, dans la zone géographique du Tell central. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Tipaza et la wilaya d'Alger, à l'ouest par la wilaya de Ain Defla, au sud par la wilaya de Médéa et à l'est par les wilayas de Boumerdes et de Bouira.

Le relief de la wilaya se compose principalement d'une importante plaine (la Mitidja) ainsi que d'une chaîne de montagne au sud de la wilaya (zone de l'Atals Blidéen et Piémont) (carte II.1).

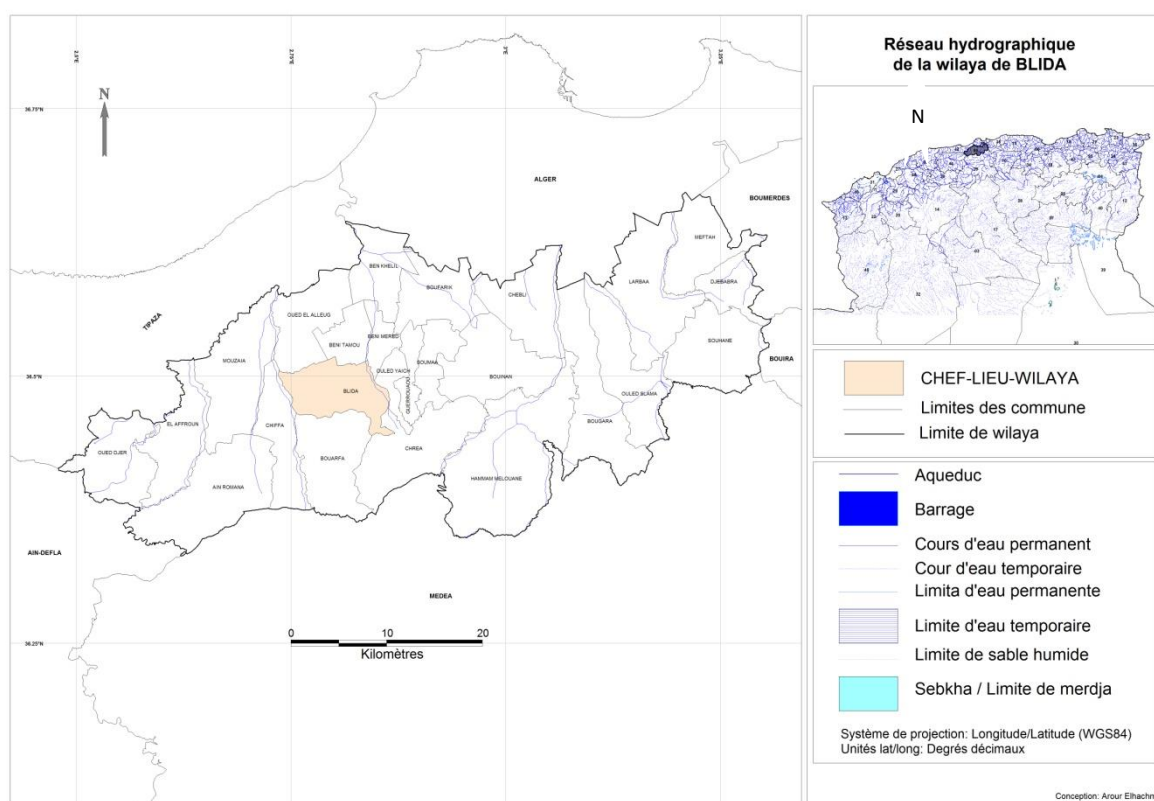


Figure II.1 : Situation géographique et réseau hydrographique de la wilaya de Blida.

1.1. La plaine de la Mitidja :

Un ensemble de terres très fertiles et à faible pente. La partie occidentale de la plaine à une altitude qui va en décroissant du sud vers le Nord (150 mètres à 50 mètres), les pentes sont faibles, parfois nulles. La Mitidja offre les meilleurs sols de la wilaya, les sols limoneux mêlés de cailloux sur le piémont de la Mitidja, les sols limoneux rouges,

profonds, faciles à travailler se concentrent dans la région de Mouzaia, et les sols sablo-argileux plus lourds dans la basse plaine.

La diversité des sols présente des aptitudes très variées en matière de cultures, les agrumes sont principalement cultivés dans le centre de la plaine, la vigne cultivée un peu partout, ainsi que le blé associée à des cultures fourragères et maraîchères, on y trouve également des cultures industrielles.

1.2. Les ressources hydriques :

1.2.1 Les ressources souterraines :

Celles-ci se situent essentiellement au niveau de la nappe phréatique du quaternaire, nappe importante évaluée à 200 Hm³ et dont les potentialités réelles sont de 180 Hm³. Cette nappe est trop sollicitée en raison de la faiblesse des eaux de surface et du caractère facile et bien estimé d'une ressource devant répondre à des besoins immédiats et rapidement satisfaits.

1.2.2. Les ressources superficielles :

Alors que les potentialités mobilisables reconnues sont estimées à 500 Hm³, les ressources en eau de surface sont très peu mobilisées en raison de la faiblesse des équipements de mobilisation de ces eaux, dans la wilaya. Les seuls équipements fonctionnels sont le barrage «El Moustakbel » de Bouroumi d'une capacité de mobilisation de 188 Hm³, mis en service en 1985, et 2 retenues collinaires d'une capacité totale ne dépassant pas les 1,25 Hm³/An.

Ce constat nous amène à dire qu'il importe à l'avenir d'axer les efforts pour une mobilisation meilleure des eaux de surface, malgré leurs faibles apports, en vue d'atténuer le recours intensif à la nappe phréatique mais pour permettre aussi d'améliorer la satisfaction des besoins en eaux, amélioration qui ne peut plus venir de la nappe phréatique, celle-ci étant totalement exploitée.

Tableau II.1 : Les Ressources en eau (Hm³)

Ressources souterraines		Ressources superficielles	
Potentialités mobilisables	Potentialités réelles	Potentialités mobilisables	Potentialités réelles
200	180	500	549

Source (A.N.R.H 2002)

1.2.3. Les besoins en eau :

En matière d'eau potable, l'importance des centres urbains, la forte croissance démographique ainsi que la densité de la population très élevée impliquent une forte mobilisation et consommation en eau.

Concernant l'eau agricole, la caractéristique majeure de la wilaya est la disponibilité en terres irrigables. Alors qu'au niveau industriel, les unités implantées dans la wilaya ont été satisfaites en eau, dans certaines zones, au détriment des autres secteurs.

Ce qui atteste de l'ampleur des besoins annuels exprimés dans la wilaya par ces trois secteurs, besoins, dont la satisfaction se fait, comme il a été développé plus haut, essentiellement à partir de la nappe.

Tableau II.2 : Besoin en eau et mobilisation (Hm³)

Affections	Besoins en eau		Volume mobilisé		Déficit	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000
Adduction d'eau potable (AEP)	42,75	54,44	39	39	3,75	15,44
Eau d'irrigation	280	219	102	82	178	137
Eau industrielle	09	14	09	14	00	00
Total	331,75	287,44	150	135	186,75	152,44

Source (DSA. 2004)

Les besoins en eau, exprimés en 2000 (tous secteurs confondus), sont estimés à 287,44 Hm³ dont 47,3 % (135 Hm³) uniquement ont été satisfaits. Ce taux était de 45,2 % en 1999.

Par secteur, nous notons que les besoins du secteur industriel sont satisfaits dans leur totalité, malheureusement, il en est autrement du secteur agricole avec un taux de satisfaction avoisinant les 37,4 %. Quant aux besoins de l'AEP, ils sont satisfaits à 71,6 %.

1.3. Potentialités agricoles :

La répartition des terres et les superficies et productions réalisées des principales spéculations sont montrées respectivement dans le tableau II.3 suivant :

Tableau II.3 : Répartition générale des terres (En ha)

Terres Labourables	Cultures Herbacées	17428
	Jachère	8522
Cultures Permanentes	Arboriculture	23648
	Vignoble	1405
TOTAL	SAU	51003
Dont S A U Irriguée		30169
Pacages et Parcours		9345
Terre Improductives	Des Exploitations	2133
TOTAL TERRES AGRICOLES		62481

Source (MADR 2012)

La superficie agricole totale (S.A.T) de la wilaya, s'élève à 62481 ha, la superficie agricole utile (S.A.U) totalise 51003 ha soit 82% de la S.A.T.

Les cultures herbacées occupent une superficie de 17428 ha 34% de la (S.A.U) alors que les cultures permanentes occupent une superficie de 25053 ha 49% de la S.A.U le reste de la S.A.U, représente les terres au repos, la superficie agricole utile irriguée atteint les 30169 ha, ce qui représente un taux de 59% par rapport à la S.A.U.

Tableau II.4 : Superficies et productions réalisées des principales spéculations

Spéculation		Superficies (Ha)	Production (q)
Céréales	total	8409	215412
	dont blé dur	5879	154748
Légumes secs		20	166
maraîchage	total	4676	1296993
	dont P.de terre	902	371250
Cultures industrielles		35	21420
Arboricultures	total	29772	3383395
	dont agrumes	15999	3251746
Viticultures	Total	947	59363
	dont V. de table	900	61149

Source (MADR 2012)

1.4. Etude climatique :

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

1.4.1. Les précipitations :

La pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre 670 mm par an, elle est plus importante dans l'Atlas que dans la plaine. Les précipitations atteignent leur apogée durant les mois de décembre à février, mois qui donnent environ 30% à 40% des précipitations annuelles. Inversement, les mois d'été (juin à août) sont presque toujours secs, la répartition saisonnière est comme suite :

- Saison pluvieuse de novembre à mars.
- Saison sèche de Juin à septembre.
- Saison à pluviométrie moyenne avril, mai et septembre, octobre.

La pluviométrie moyenne mensuelle enregistrée sur une période de 20 ans est synthétisée dans le tableau II.5.

Tableau II.5 : Pluviométrie moyenne mensuelle

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Pluie (mm)	76	85	55	65	54	9	6	10	22	87	110	95	674
P.effic (mm)	67	73	50	58	49	9	6	10	21	75	91	81	590

Source (ONM Dar El Beida, 2010)

1.4.2. La température :

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 20 ans. Les minimas enregistrés varient 5,4 à 20,2, C°, respectivement aux mois de février et août, alors que les maximas varient de 17,1 à 32,7 C° respectivement pour le mois de janvier et août, avec une moyenne des minimas de 12,1 et des maximas de 24 C° (tableau II.6)

Tableau II.6 : moyennes mensuelles Facteurs climatiques (période de 20 ans).

Facteurs	Temp. min	Temp. max	Humidité	Vent	Ensoleillement	Radiation	ETo
Mois	°C	°C	%	km/j	Heure	MJ/m ² /j	mm/j
J	5,8	17,1	79	199	5,6	9,3	1,45
F	5,4	17,5	80	199	6,6	12,5	1,8
M	7,3	19,7	76	216	7	15,9	2,61
A	8,8	21,4	73	242	8	19,9	3,48
M	12,9	24,8	74	225	8,3	21,9	4,12
J	16,4	28,8	68	251	10,3	25,2	5,45
J	19,1	31,3	67	233	10,9	25,7	5,89
A	20,2	32,7	66	225	10,1	23,3	5,72
S	17,8	29,7	70	216	8,3	18,3	4,35
O	14,4	26,2	73	190	7,1	13,8	3,01
N	9,7	21	76	199	6	10,1	1,96
D	7,1	17,9	78	216	5,1	8,2	1,49
Moyenne	12,1	24	73	217	7,8	17	3,44

Source (ONM Dar El Beida, 2010)

1.4.3. Les vents :

Les vents dominants soufflent de l'est à l'ouest, leur maximum est enregistré en été au mois de juin avec 251 km/j et leur minimum se situe en automne au mois d'octobre avec 190 km/j (tableau I.7).

1.4.3.1 Le sirocco:

On enregistre environ 12 à 14 jours de sirocco par an, il s'agit d'un vent du sud pouvant causer aux cultures des dégâts très importants par l'élévation brutale des températures et la diminution de l'hygrométrie de l'air qu'il entraîne (tableau II.7).

Tableau II.7 : Fréquence du sirocco.

Mois	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov	Déc.
Jour	0,0	0,1	0,1	0,3	0,8	1,0	3,6	1,8	1,9	1,1	0,6	0,1

Source (A.N.R.H, 1999)

1.4.4. L'humidité relative 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. L'état hygrométrique de l'air est mesuré 3 fois par jour (7 h, 13 h, 17 h), elle varie de 66 à 80%, respectivement aux mois d'août et février, avec une moyenne annuelle de 73 % (tableau II.6).

1.4.5. Durée d'insolation :

Le tableau I.7 montre une durée d'insolation de 10,9 h/j au mois de juillet et 5,1 h/j au mois de décembre avec une moyenne annuelle de 7,8 h/j (tableau II.6).

1.5. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration de référence ET₀ déterminée à l'aide du logiciel CROPWAT varie de 1,45 mm au mois de janvier à 5,9 au mois de juillet (tableau II.6).

1.6. Diagramme ombrothermique de Gaussen :

C'est une représentation graphique de variation des précipitations et des températures en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période où l'irrigation est indispensable (période sèche).

Gaussen (1972) a proposé de considérer comme mois secs celui où le chiffre des précipitations moyennes (P) exprimées en millimètres était inférieur à celui des températures moyennes (t) multiplié par deux. « $P < 2*t$ ».

Lorsque la courbe des températures dépasse celle des précipitations, il y'a sécheresse totale, cette période s'étale, d'après le graphe de la fin avril jusqu'au début octobre. Durant cette période, l'irrigation est indispensable (figure II.2).

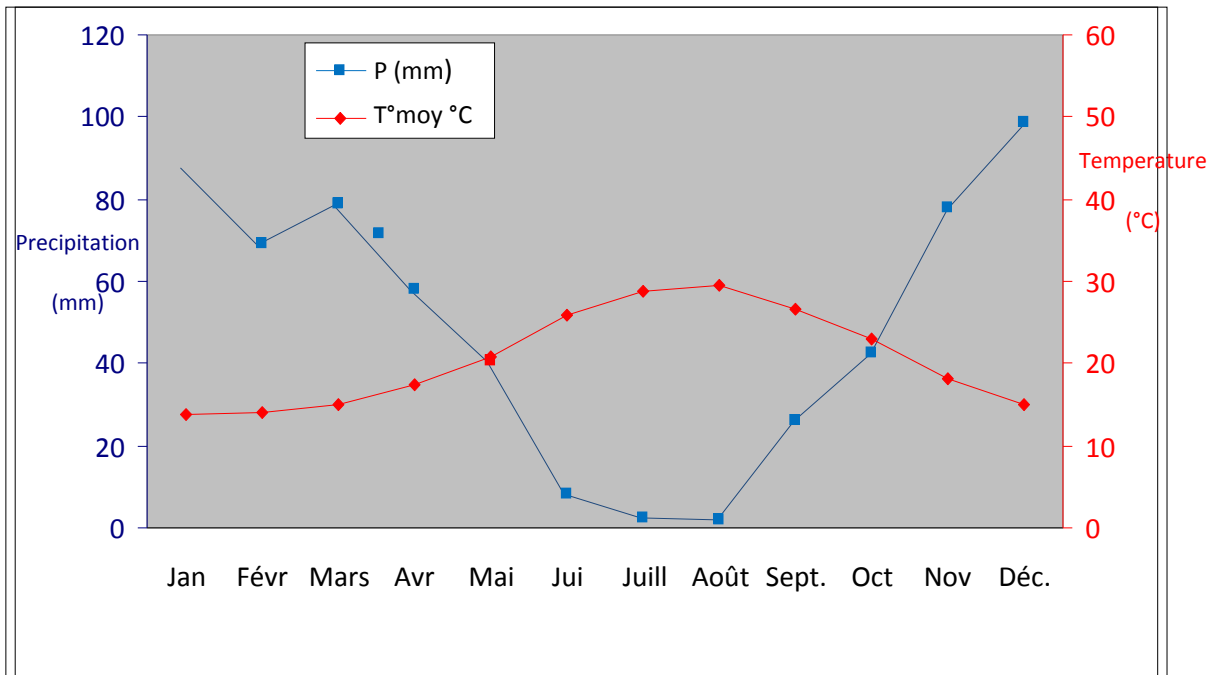


Figure II.2 : Climogramme ombrothermique de Gausse

D'après une étude climatique sur cette région on remarque qu'elle est caractérisée par une période sèche entre les mois de Mai et Octobre.

2.1. Description du logiciel :

Le CROPWAT 8.0 est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation, il a été mis au point par la FAO en 1992, basé sur la formule de Penman - Monteith modifiée. Il permet le calcul des besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation ; basés sur les Bulletins d'irrigation et de drainage FAO-24 et 33. 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'efficacité de différentes pratiques d'irrigation.

Le logiciel CROPWAT est disponible gratuitement sur le site de la FAO, plusieurs versions existent (sous MS-DOS ; Windows). Actuellement il est à sa version Cropwat sous Windows 7.0.

CROPWAT accepte d'entrer jusqu'à 30 cultures au même temps, existants dans une même parcelle d'un hectare pour donner les besoins en eau d'un hectare moyen (All crop) et le graphe cropping pattern de l'ensemble des cultures entrées. Mais si l'assolement des cultures entrées est complexe, le cropping pattern obtenue sera faux.

Dans cette partie, nous nous intéresserons aux différents concepts et définitions intervenant dans l'utilisation du logiciel CROPWAT, qui est une méthode informatique pour la détermination, mais surtout pour le pilotage d'irrigation d'une monoculture ou une polyculture d'un périmètre irrigué ou d'une exploitation.

Signalons que pour le calcul des besoins en eau d'une polyculture, il suffit d'appliquer la procédure de calcul d'une monoculture à chacune des cultures de la polyculture.

Comme la méthode du logiciel CROPWAT se base sur l'une des méthodes indirectes appelées « méthode de Penman-Monteith » sous forme informatisée, ce logiciel nécessite l'utilisation d'une succession d'interfaces qui débute par le calcul de la demande climatique ETP.

Ces informations relatives au calcul des besoins en eau et au pilotage d'irrigation peuvent facilement être déterminées à l'aide du logiciel CROPWAT (Martin, 1992).

2.2. Méthodologie de travail avec le logiciel CROPWAT :

Collecte, analyse des données utilisées par le logiciel et leur homogénéisation.

Modification et création de fichiers crops dans le CROPWAT.

Entrée des données (les 5 données climatiques).

Calcul automatique par le CROPWAT de :

- ET₀.
- pluie efficace.

Entrée des données relatives à chaque culture : date de semis; % de superficie pour le
Calcul des besoins en eau et calendrier d'irrigation.

Transfert des résultats sortis (tableaux des besoins en eau et de calendrier d'irrigation)
par le CROPWAT vers Logiciel : Excel, pour le calcul du bilan.

Activer les séparateurs (tabulation et espace), et l'identificateur de texte (cliquer sur
aucun), puis cliquer sur suivant.

Cliquer sur terminé, les données apparaissent sur le tableur Excel avec quelques
décalages qu'il faut corriger.

2.3. Méthode de détermination des besoins en eau des cultures et données de base pour l'utilisation du logiciel CROPWAT :

2.3.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Le calcul de l'ETP nécessite l'introduction des données climatiques moyennes
mensuelles interannuelles suivantes :

- La température minimale,
- La température maximale,
- L'humidité relative de l'air,
- La vitesse du vent,
- La durée d'insolation.

2.3.2. Calcule de la pluie utile ou efficace (Pu) :

Nécessite l'introduction des pluies moyennes mensuelles pour le calcul de la pluie utile (Pu).

2.3.3. Données relative à la culture :

Le choix de la culture à irriguer permet d'afficher les informations suivantes stockées en mémoire.

- Les coefficients culturaux,
- La durée des phases phénologiques
- La profondeur racinaire,
- Le tarissement critique du sol
- La réponse des rendements à l'eau,
- La hauteur de la plante ou la frondaison

2.3.4. Données relatives au sol :

L'interface IV permet de fixer les informations relatives au type de sol, particulièrement :

- La réserve utile (RU),
- Le taux de tarissement initial du sol.

2.3.5. Calcul des besoins en eau d'irrigation :

Permet de déterminer les besoins en eau d'irrigation sur la base de l'ETP et des valeurs des coefficients culturaux des différentes phases de développement de la culture, L'évapotranspiration maximale est définie selon la relation suivante :

$$\mathbf{ETM = Kc * ETP}$$

La connaissance des valeurs de la pluie utile (Pu) et l'ETM permet la détermination des besoins en eau d'irrigation nette (Bein) selon la relation suivante :

$$\mathbf{Bein = ETM - Pu}$$

Sur la base de l'efficience du réseau (E_i) et du Be_{in} , on peut définir le besoin en eau d'irrigation brute (Be_{ib}) selon la relation suivante :

$$Be_{ib} = Be_{in}/E_i$$

Sachant que E_i varie de 0,95 pour un réseau d'irrigation localisée neuf et bien entretenu à 0,6 et même moins pour un réseau d'irrigation gravitaire peu maîtrisé.

2.3.6. Détermination du calendrier d'irrigation :

Les paramètres pédologiques et le type de culture, particulièrement la profondeur racinaire permettront d'estimer la réserve utile (RU) et la réserve facilement utilisable (RFU) qui représente la dose pratique d'arrosage théorique.

Sur la base de la dose d'arrosage et de la demande climatique, le logiciel élabore le calendrier d'irrigation de chaque culture.

2.3.7. Occupation du sol :

Indique l'occupation du sol par les différentes cultures du périmètre exprimée en % par rapport à la surface totale irriguée.

L'occupation réelle du sol permet de faire la pondération pour le calcul des besoins en eau de tout le périmètre en fonction de la surface réelle de chaque culture et de son débit fictif continu mois.

2.3.8. Interface périmètre irrigué :

Présente la synthèse des besoins en eau de toutes les cultures irriguées simultanément sur la base d'un programme de pilotage d'irrigation du périmètre.

A l'aide de différentes informations citées ci-dessus, il sera relativement aisé de déterminer par la suite les quantités d'eau d'irrigation à mobiliser pour couvrir les besoins en eau nécessaires au bon développement des cultures, ainsi que le pilotage d'irrigation.

2.3.9. Formule de Penman-Monteith :

La formule de Penman-Monteith exprime ET_0 (mm/jour) en fonction de la température, de l'humidité, de la vitesse du vent et du rayonnement solaire. Elle s'écrit :

$$ET_0 = \{0,408 \Delta (R_n - G) + [900 \gamma / (T + 273) \times U_2 \times (e_0 - e)]\} / [\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)]$$

L'humidité de l'air est exprimée par le déficit de tension de vapeur ($e_0 - e$) qui représente la différence entre la tension de vapeur d'eau saturante moyenne à T_{air} et la tension de vapeur d'eau réelle moyenne à la même température (m_b).

Avec :

- R_n : est le rayonnement net, obtenu par différence entre le rayonnement intercepté et le rayonnement émis. (R_n est exprimé en MJ/m²/jour) ;

- $f(u)$: est une fonction liée au vent. Elle est exprimée en km par jour, ou en m/s :

- $f(u) = 0,27 (1 + U/100)$;

- U_2 : vitesse du vent en km/jour à une hauteur de 2 m ;

- T : température moyenne, par définition : $T_{moy} = (T_{max} + T_{min})/2$, avec :

- T_{max} : somme des T_{max} journalières de la période considérée/nombre de jours ;

- T_{min} : somme des T_{min} journalières de la période considérée/nombre de jours ;

- G : densité de flux de chaleur en MJ.m⁻².jour⁻¹.

Signalons que la simplification de l'utilisation de la formule citée ci-dessus de Penman Monteith est le résultat logique de la méthode informatique représentée par le logiciel CROPWAT que nous classons dans la 3ème méthode de calcul des besoins en eau des cultures.

2.3.10. Détermination du coefficient cultural K_c :

Le coefficient cultural (K_c) est un paramètre qui permet de quantifier le développement du couvert végétal le long du cycle, il est donné par culture en fonction de la date de plantation ou de semis pour une zone déterminée.

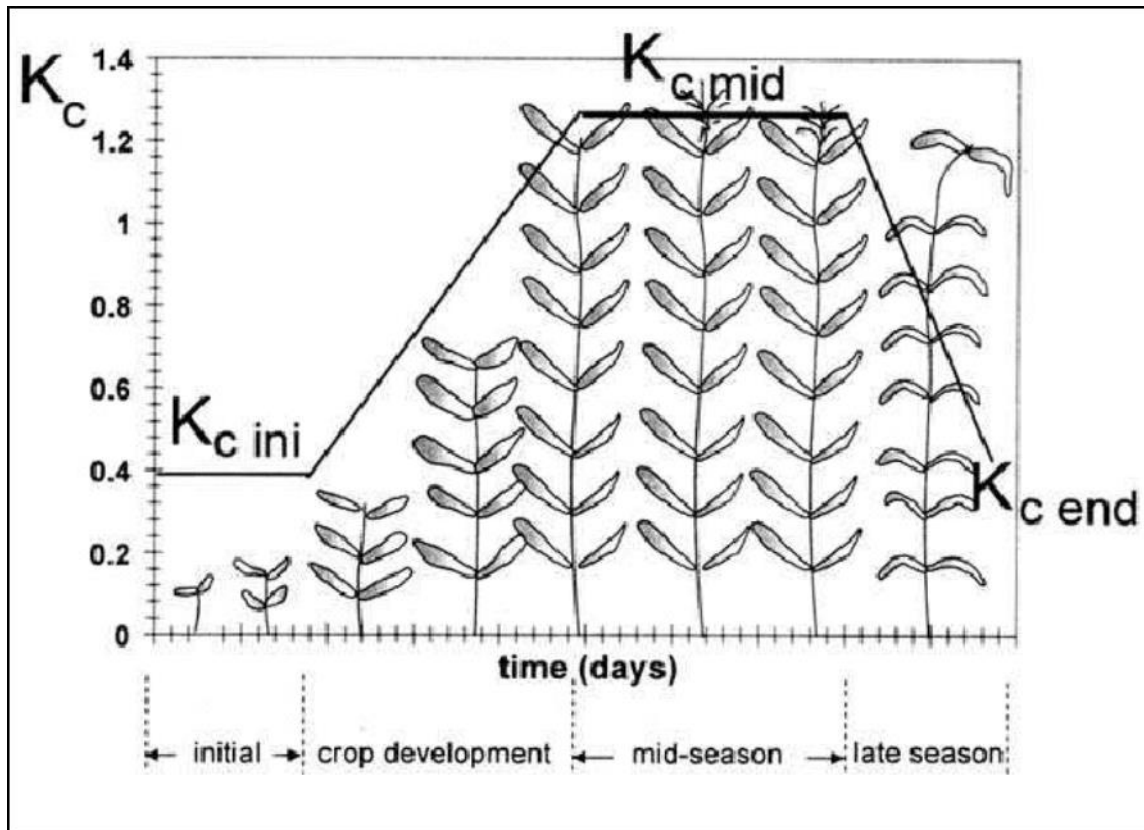


Figure II.3 : Evolution générale de K_c durant la période de croissance

L'évolution du K_c au cours du cycle d'une culture présente la forme d'une cloche. Similaire à celle de l'indice foliaire ou du taux de couverture du sol. Ce coefficient est inférieur à 1 dans les premiers stades de la culture, mais il peut devenir supérieur lorsque celle-ci atteint son plein développement (SOLTNER, 2003).

Nous nous baserons sur l'approche proposée par Doorenbos et Pruitt (1975), ces auteurs effectuent une synthèse de nombreux travaux antérieurs pour fournir pour de très nombreuses cultures les valeurs clés pour le calcul empirique des coefficients culturaux rapportés à une ETP calculée selon la méthode de Penman .

- Phase initiale :

Au cours de la mise en place de la culture, l'utilisation de l'eau se fait principalement par l'évaporation du sol, liée à la fréquence des humidifications de surface. Des abaques sont donnés pour l'estimation du coefficient cultural pour des périodes de l'ordre de la décade ou du mois, en fonction de la fréquence des pluies, des arrosages et de l'ETP (Figure II.3).

- Phase de développement :

La seconde phase caractérisée par la croissance végétative, présente une croissance presque linéaire du coefficient cultural, qu'on peut décrire simplement par la valeur maximale atteinte et le nombre de jours après le semis où celle-ci est atteinte.

- Phase de mi-saison :

Elle suit un palier qui correspond à une valeur de l'indice foliaire à partir de là quelle la surface foliaire s'accroît sans entraîner d'augmentation de la transpiration (à partir d'un indice foliaire de 2 à 4 selon Ritchie (1983)).

- Phase de maturation :

A la fin de ce palier s'amorce une chute de valeur du coefficient cultural, liée à la sénescence des tissus, décrite elle aussi de façon linéaire.

2.4. Méthode de détermination des BEC :

Pour le calcul des besoins en eau des cultures, nous avons utilisé le logiciel CROPWAT qui permet non seulement de déterminer les besoins en eau des cultures, mais il permet au même temps de déterminer tous les paramètres relatifs au pilotage de l'irrigation pour une monoculture et/ou pour une polyculture d'un périmètre irrigué ou d'une exploitation.

Ainsi, à l'aide du logiciel CROPWAT nous définirons :

- L'évapotranspiration potentielle (ET₀) de toutes les cultures ou groupe de cultures de la zone d'étude, en l'occurrence la wilaya de Blida sur la base des données climatiques de la station de dar El Beida, la plus proche de la zone d'étude.
- Détermination de la pluie utile (Pu) ou pluie efficace de la wilaya en fonction des quatre méthodes programmées par le logiciel.
- Détermination de l'évapotranspiration maximale (ETM) sur la base ,
- De l'évapotranspiration potentielle,
- Des coefficients culturaux des cultures programmés dans le logiciel,

$$ETM = k_c * ET_0$$

- Détermination des besoins en eau d'irrigation nette (Bein) de chaque culture sur la base de l'ETM et de la pluie utile (Pu),
- Détermination de la réserve facilement utilisable d'un sol de texture moyenne à fine (sol de la Mitidja) équivalent à 50 mm/m pour les cultures herbacées annuelles et environ 100 mm pour l'arboriculture fruitières avec une profondeur racinaire moyenne de 2 m.

$$RFU = \alpha RU$$

Avec : $\alpha = 0,5$ (sol lourd)

- Détermination du calendrier des irrigations pour chaque culture sur la base des besoins en eau de chaque culture et de la RFU correspondante.
- Détermination du débit fictif continu par culture et le débit fictif moyen par mois pour toutes les cultures irriguées simultanément.

- Enfin, le logiciel calcul les besoins en eau d'irrigation brute (Beib) sur la base des besoins en d'irrigation nette (Bein) et de l'efficience du réseau (Ei) de toutes les cultures de la wilaya irriguées simultanément mois par mois et par culture ou groupe de cultures, ce qui permet la détermination des quantités d'eau à mobiliser sur la base de l'efficience des réseaux d'irrigation (Ei) considérée par défaut et égale à 70%, soit $Ei \rightarrow 0,7$. $Beib = Bein/Ei$.

Signalons que le calcul de l'EUE se fait sur la base des besoins brutes (Beib) apportés à chaque culture, auxquels il faudra ajouter la pluie utile consommée par la culture durant tout son cycle végétatif. En d'autres termes, il faudra prendre en considération toutes les pertes qui se produisent entre la borne ou le compteur et la parcelle de culture comprise.

2.5. Méthode de calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) :

Nous avons déjà défini l'EUE comme étant le rapport du rendement en kg/ha et l'eau consommée par la culture (ETM) en m³/ha.

L'EUE s'exprime en kg/m³ et exceptionnellement en kg/mm/ha en sachant qu'un mm/ha est égal à 10 m³/ha.

On peut donc écrire :

$$EUE = \text{Rendement} / \text{la consommation de } 1\text{m}^3 \text{ d'eau.}$$

Où :

Rdt : est le rendement de la culture, en matière sèche totale ou simplement la partie récoltable en kg/ha .

Donc, la méthode de calcul de l'efficience d'utilisation de l'eau se base essentiellement sur deux variables, à savoir :

- Les besoins en eau de la culture durant tout son cycle représentés par l'évapotranspiration maximale de la culture corrigée par le facteur de l'efficience du réseau d'irrigation (Ei) pour la fraction de l'eau apportée par irrigation sous forme de complément.

Cette partie relative au calcul des besoins en eau des cultures a été traitée dans le chapitre ci-dessus.

- Le rendement de la culture en question (kg/ha) qui est obtenue,
- Soit par mesure directe du rendement au niveau de la parcelle à étudier,
- Soit dans les archives ou les statistiques de production ou de rendement.

Pour cela, en ce qui nous concerne, nous avons utilisé les valeurs des rendements consignés dans les Bulletins statistiques série B. du M ADR relatifs à la wilaya de Blida.

Pour plus de compréhension et dans un souci de mettre en relief l'importance de la maîtrise de l'irrigation pour l'amélioration de l'EUE, en général et pour les cultures irriguées, en particulier, nous avons calculé l'EUE pour trois niveaux d'efficacité du réseau d'irrigation .

$E_i = 1$ pour une efficacité théorique parfaite,

$E_i = 0,95$ pour un réseau d'irrigation localisée ou goutte à goutte,

$E_i = 0,70$ pour un réseau classique (gravitaire) qui est souvent pris par défaut par le logiciel CROPWAT.

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS
ET INTERPRETATION

Notre étude comporte deux grandes parties différentes mais interdépendantes. En effet, le calcul des besoins en eau des cultures est une donnée de base pour le calcul de l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE). Il est clair que sans la connaissance des besoins en eau et de son rendement, l'EUE ne pourra jamais être définie.

Pour cela, la partie résultats et interprétation comportera :

- une première partie dans laquelle nous traiterons tous les aspects relatifs au besoin en eau de chaque culture sur la base du logiciel CROPWAT.
- Dans la deuxième partie, nous calculerons l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) de chacune des cultures irriguées de la wilaya de Blida sur la base des rendements et de la consommation totale d'eau qui englobe la partie provenant des pluies et celle représentée par l'eau apportée par irrigation en tant qu'irrigation de complément.
- Nous terminerons notre étude par l'estimation des besoins en eau des cultures au niveau de toute la wilaya. Ces quantités d'eau seront subdivisées d'une part en besoins totaux ETM et d'autre part en besoins en eau d'irrigation.

Le calcul de ces besoins globaux se fera sur la base des surfaces occupées par chaque culture et qui sont consignés dans le Bulletin statistiques de DSA Blida.

Les cultures étudiées

Durant la saison pluvieuse, les précipitations ont un rôle à la satisfaction des BEC, mais durant la saison sèche l'eau doit provenir de l'irrigation intégrale.

La quantité d'eau provenant des précipitations ou à partir de l'irrigation doivent prendre en considération le type des cultures, qui utilisent différemment l'eau selon le cycle végétatif durant l'année.

Le choix des cultures est en fonction de

- la superficie qu'elles s'occupent ;
- les cultures sont conduites en irrigué ou en sec.

Certaines cultures occupant une faible surface ont été regroupées avec d'autres cultures de même groupe pour faciliter le travail.

Tableau III.1 : Dates de plantation ou de verdissement des cultures.

Cultures	Date de plantation ou de verdissement	Cultures	Date de plantation ou de verdissement
Cultures Maraîchères		Pomme de T saison	01-janv
Pomme de T primeur	15-oct	Agrume	28-fev
Abricot	11-fev	Nèfle	01-oct
Tomate	15-avr	Pêche	10-fev
Piment	15-avr	Pomme	15-fev
Poire	20-févr	Fève verte	01-mars
Prune	20-févr	Oignon	01-mars
Choux verts	15-janv	Haricot	15-avr
Chou-fleur	15-janv	Melon	01-mai

Source (Laumonnier, Sources, 1978)

Chapitre 1 : Calcul des besoins en eau d'une monoculture cas d'agrumes

Nous prenons comme exemple la culture d'agrumes ou citrus afin de faciliter la compréhension de la méthode de calcul des BEC de toutes les cultures de la wilaya .

1.1. Données de l'ET0 et de la pluie efficace Pu

La détermination des BEC(ET0) se fait sur la base des paramètres climatiques (interface III.1).

L'interface III.1 donne les moyennes des données climatiques

- T moy min
- T moy max
- L'humidité moyenne
- Durée d'insolation moyenne
- Radiation solaire moyen
- ET moyen

L'interface III.1 : Données climatiques et évapotranspiration de référence.

ETo Penman-Monteith par mois - C:\Users\othmane douha\Desktop\mem...

Pays Station

Altitude m. Latitude °N Longitude °E

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ETo mm/jour
Janvier	3.0	19.0	83	120	5.6	9.3	1.25
Février	2.5	19.5	83	96	6.6	12.5	1.61
Mars	6.0	25.0	87	72	7.0	15.9	2.42
Avril	9.0	26.0	92	72	8.0	19.9	3.13
Mai	13.5	38.5	91	72	8.3	21.8	4.63
Juin	19.5	41.5	90	72	10.3	25.2	5.90
Juillet	23.0	39.5	90	72	10.9	25.7	6.05
Août	22.5	35.0	93	48	10.1	23.2	5.07
Septembre	17.5	35.0	89	96	8.3	18.3	3.96
Octobre	14.0	32.0	82	72	7.1	13.8	2.82
Novembre	8.0	22.0	86	96	6.0	10.1	1.59
Décembre	2.5	17.0	59	96	5.1	8.2	1.33
Moyenne	11.8	29.2	85	82	7.8	17.0	3.31

L'interface III.1 représente la pluie totale annuelle et la pluie efficace équivalente (mm) (méthode USDA).

L'interface III.2 : Données pluviométriques

Précipitations par mois - C:\Users\othmane douha\Desktop\memo...

Station Méthode Précipitations eff.

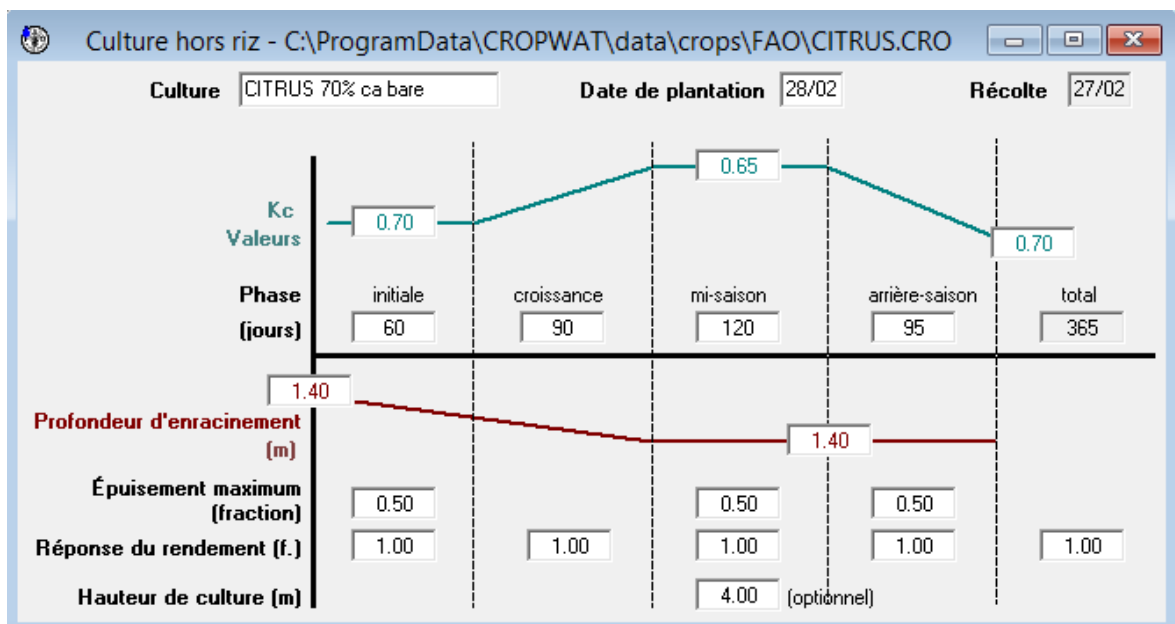
	Pluie mm	Pluie eff. mm
Janvier	67.2	60.0
Février	92.1	78.5
Mars	122.8	98.7
Avril	53.3	48.8
Mai	30.8	29.3
Juin	20.9	20.2
Juillet	0.0	0.0
Août	35.8	33.7
Septembre	86.2	74.3
Octobre	8.9	8.8
Novembre	100.0	84.0
Décembre	130.8	103.4
Total	748.8	639.7

Ça représente une pluie annuelle totale de 748,8 mm, avec une pluie efficace équivalente de 639,7 mm.

1.2. Données sur la culture (agrumes ou citrus)

Les caractéristiques culturales sont différentes d'une culture à une autre, ces caractéristiques comme le nombre des jours de chaque stade de développement est son coefficient cultural sont synthétisées dans l'interface III.3.

L'interface III.3 : données sur les caractéristiques des agrumes



Selon l'interface III.3, les caractéristiques culturales des agrumes sont :

- La durée du cycle végétatif est de 365 jours puisque sont des cultures pérennes.
- Le Kc des agrumes varie de 0,7 à l'état initial de la culture (phase de verdissement), à 0,65 à l'état de croissance et rechute à 0,7 à l'état de maturation.
- La profondeur d'enracinement est de 3m.

1.3. Données sur le sol de la wilaya de Blida

Puisque les types de sol de la wilaya de Blida sont diverse et différents et que la plupart sont de type alluvionnaires à lourds, dans notre étude en va prendre les caractéristiques comme sol moyen présentées dans l'interface III.4 :

- Reserve utile de 140 mm /m
- Une perméabilité de 40 mm/j
- Humidité initiale de 70 mm/m
- Pour la profondeur d'enracinement nous avons opté une profondeur de 3 m c à d 300 cm

L'interface III.4 : données sur les caractéristiques du sol

General soil data		
Total available soil moisture (FC - WP)	140.0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	40	mm/day
Maximum rooting depth	300	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	50	%
Initial available soil moisture	70.0	mm/meter

1.4. Besoins en eau d'une culture (agrume)

La différence entre la disponibilité en eau et la demande de la culture est présentée dans l'interface III.5.

Les besoins annuelles moyen d'irrigation des agrumes égale à 416,1mm pour un besoin total ETM de 800mm

Les besoins varient de 0mm durant la période (novembre – mars) à 39,8mm à la troisième décade de juillet pour un tour d'eau de 10 jours (ETM=39,8mm, pluie utile = 0,1mm) ce qui nous donne un moyen de 3,98mm/j.

L'interface III.5 : Besoins en eau d'irrigation des agrumes.

Besoins en eau des cultures							
Station ETo : soumaa			Culture : CITRUS 70% ca bare				
Station Pluie : soumaa			Date de plantation : 28/02				
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Fév	3	Init	0.71	1.33	1.3	3.5	0.0
Mar	1	Init	0.70	1.50	15.0	32.9	0.0
Mar	2	Init	0.70	1.69	16.9	36.2	0.0
Mar	3	Init	0.70	1.86	20.4	29.5	0.0
Avr	1	Init	0.70	2.02	20.2	20.9	0.0
Avr	2	Init	0.70	2.19	21.9	14.9	7.1
Avr	3	Crois	0.70	2.54	25.4	13.2	12.3
Mai	1	Crois	0.69	2.87	28.7	11.6	17.0
Mai	2	Crois	0.69	3.18	31.8	9.3	22.5
Mai	3	Crois	0.68	3.42	37.6	8.5	29.2
Jui	1	Crois	0.67	3.71	37.1	8.1	29.0
Jui	2	Crois	0.66	3.96	39.6	7.2	32.4
Jui	3	Crois	0.65	3.92	39.2	4.8	34.4
Jui	1	Crois	0.64	3.90	39.0	0.1	39.0
Jui	2	Crois	0.63	3.90	39.0	0.0	39.0
Jui	3	Mi-sais	0.63	3.63	39.9	0.1	39.8
Aoû	1	Mi-sais	0.63	3.38	33.8	7.3	26.5
Aoû	2	Mi-sais	0.63	3.17	31.7	10.9	20.8
Aoû	3	Mi-sais	0.63	2.94	32.4	15.6	16.8
Sep	1	Mi-sais	0.63	2.71	27.1	23.6	3.5
Sep	2	Mi-sais	0.63	2.48	24.8	29.8	0.0
Sep	3	Mi-sais	0.63	2.24	22.4	20.8	1.6
Oct	1	Mi-sais	0.63	2.00	20.0	4.2	15.8
Oct	2	Mi-sais	0.63	1.77	17.7	0.0	17.7
Oct	3	Mi-sais	0.63	1.51	16.6	4.7	11.9
Nov	1	Mi-sais	0.63	1.21	12.1	21.4	0.0
Nov	2	Mi-sais	0.63	0.93	9.3	30.6	0.0
Nov	3	Arr-sais	0.67	0.97	9.7	31.9	0.0
Déc	1	Arr-sais	0.71	1.00	10.0	34.3	0.0
Déc	2	Arr-sais	0.71	0.94	9.4	37.4	0.0
Déc	3	Arr-sais	0.71	0.92	10.1	31.6	0.0
Jan	1	Arr-sais	0.71	0.90	9.0	22.9	0.0
Jan	2	Arr-sais	0.71	0.89	8.9	17.1	0.0
Jan	3	Arr-sais	0.71	0.97	10.7	20.1	0.0
Fév	1	Arr-sais	0.71	1.05	10.5	24.1	0.0
Fév	2	Arr-sais	0.71	1.14	11.4	26.1	0.0
Fév	3	Arr-sais	0.71	1.33	9.3	24.8	0.0
					800.0	639.9	416.1

1.5. Calendrier d'irrigation des agrumes

Le calendrier d'irrigation pour notre culture d'agrumes est proposé par le logiciel(CROPWAT), suivant la détermination des BEC.

Ce calendrier prend en considération les critères définis. Et qu'ils sont :

- Type de sol
- Taux d'humidité (50% pour un sol lourd ou moyen).
- L'irrigation ce fait lorsque la RFU est 100% épuisée.
- Donner la dose pratique à chaque irrigation c à d : remettre 100% de la RFU.
- Dans notre cas le sol contient 50% de RU(70mm), donc on n'irrigue pas (attendre la prochaine irrigation)

Une fois ces critères induits ; nous obtenons l'interface III.6, qui détaille le calendrier d'arrosage.

L'interface III.6: Calendrier d'irrigation des agrumes.

Date	Jour	Phase	Pluie	Ks	Etr	Épuis.	Irr. Net.	Déficit	Perte	Irr. Brut.	Débit
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
28 Fév	1	Init	0.0	1.00	100	51	99.3	0.0	0.0	141.9	16.42
2 Jui	95	Croiss.	0.0	1.00	100	51	100.6	0.0	0.0	143.7	0.18
2 Jui	125	Croiss.	0.0	1.00	100	51	99.6	0.0	0.0	142.3	0.55
28 Jui	151	Mi-sais.	0.0	1.00	100	51	99.2	0.0	0.0	141.7	0.63
24 Oct	239	Mi-sais.	0.0	1.00	100	50	98.1	0.0	0.0	140.1	0.18
27 Fév	Fin	Fin	0.0	1.00	0	0					

Totaux					
Irrigation brute totale	709.8	mm	Précipitations totales	749.2	mm
Irrigation nette totale	496.9	mm	Précipitations efficaces	399.8	mm
Pertes totales d'irrigation	0.0	mm	Pertes totales de précipitations	349.4	mm
Utilisation réelle d'eau par culture	798.7	mm	Déficit d'eau à la récolte	0.0	mm
Utilisation potentielle d'eau par culture	798.7	mm	Besoins en eau réels	398.9	mm
Efficiency calendrier d'irrigation	100.0	%	Efficiency des précipitations	53.4	%
Inefficacité calendrier d'irrigation	0.0	%			

Le calendrier d'irrigation montre qu'il faudra apporter en moyen par an, 5 irrigations d'environ 100 mm pour 2 m de profondeur (profondeur d'enracinement des agrumes).

La RFU (dose pratique nette Dpn) est environ 100mm.

L'efficacité du réseau (70%) ; donc la dose pratique brute est sous forme suivant :

$$D_{pb} = D_{pn}/E_r = 100/0,7 = (140 \text{ à } 143 \text{ mm})$$

1.6. Plan d'occupation du sol et assolement d'une monoculture (des agrumes)

Cette interface est utilisée en réalité pour la gestion d'une polyculture, parce qu'elle synthétise l'ensemble des cultures des périmètres, mais pour la compréhension nous réalisons cette interface pour une monoculture d'agrumes puisqu'elle représente plus de la moitié des surfaces irriguées de la wilaya (57% des SI).

L'interface III.7 : Plan d'occupation du sol et assolement d'une monoculture (des agrumes)

Nom de l'assolement		BLIDA				
No.	Fichier Culture	Culture	Plantation date	Récolte date	Surface %	
1.	...a\CROPWAT\data\crops\FAO\CITRUS.CRO	CITRUS 70% ca bare	28/02	27/02	57	
2.			21/05			
3.			21/05			
4.			21/05			
5.			21/05			
6.			21/05			
7.			21/05			
8.			21/05			
9.			21/05			
10.			21/05			
11.			21/05			
12.			21/05			

Les informations données dans cette interface sont :

- Noms des cultures du périmètre
- Date de plantation des cultures herbacées
- Date de verdissement des cultures pérennes
- Fin de la période de récolte

- Pourcentage occupé par la culture par rapport à la surface effectivement irriguée du périmètre, ce qui permet de quantifier les BE de chaque culture en fonction de sa surface occupée.

Cette interface III.8, donne le détail du pilotage de l'irrigation de toutes les cultures du périmètre.

1.7. Pilotage d'irrigation d'une culture d'agrumes

Pour une meilleure compréhension de la suite de la suite de nos calculs on a utilisé cette interface pour une monoculture d'agrumes (elle est normalement utilisée pour une polyculture).

L'interface III.8 : Pilotage d'irrigation d'une culture d'agrumes

Approvisionnement du périmètre												
Station ETo	soumaa											
Station Pluie	soumaa											
	Assolement BLIDA											
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
Déficit Précipitations												
1. CITRUS 70% ca bare	0.0	0.0	0.0	19.3	68.7	95.7	117.8	64.0	5.1	45.4	0.0	0.0
Bes. Irr. Net. du périmètre												
en mm/jour	0.0	0.0	0.0	0.4	1.3	1.8	2.2	1.2	0.1	0.8	0.0	0.0
en mm/mois	0.0	0.0	0.0	11.0	39.2	54.6	67.2	36.5	2.9	25.9	0.0	0.0
en l/s/ha	0.00	0.00	0.00	0.04	0.15	0.21	0.25	0.14	0.01	0.10	0.00	0.00
Surface irriguée												
(% de la surface totale)	0.0	0.0	0.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	0.0	0.0
Bes. en Irr. pour surf. réel.												
(l/s/ha)	0.00	0.00	0.00	0.07	0.26	0.37	0.44	0.24	0.02	0.17	0.00	0.00

L'interface III.8 donne le détail suivant :

- Liste des cultures irriguées au niveau du périmètre
- Les besoins en eau mensuel d'irrigation de chaque culture (mm /mois)
- Les besoins en eau mensuel pondérés pour toutes les cultures en fonction de leur surface : (mm/j, mm/mois, mm/s/ha : c'est le débit fictif continu Qfc)

La surface irriguée pondérée pour toutes les cultures/mois (% par rapport à la surface totale irriguée du périmètre.

1.8. Conclusion

Nous avons présentés la méthode de calcul des BE et du pilotage d'irrigation d'une monoculture (agrumes) par le logiciel CROPWAT

Nous avons présentés la méthode de calcul des BE de la culture qui occupe une grande surface de la wilaya (représentées dans le logiciel comme étant le groupe des citrus)

On a détaillé cette méthode afin de faciliter la compréhension de la méthode de calcul des BE et du pilotage d'irrigation d'une polyculture par CROPWAT

On va appliquer cette méthode pour une monoculture à toutes les cultures du périmètre

La compilation des résultats de calcul de toutes les cultures réalisées donne les BE de toutes les cultures par mois avec les informations suivantes :

- BE pondérés (mm/j ou mm/mois ou l/s/ha) ;
- Surface pondérée effectivement irriguée en % par rapport à la surface totale ;
- Le débit fictif continu (Q_{fc}) pondéré moyen en (l/s/ha) par mois de tout le périmètre.

Chapitre 2 : détermination des BE de toutes les cultures irriguées

Dans ce chapitre on va présenter la deuxième partie étude, c'est le calcul des BE et du pilotage d'irrigation de toutes les cultures irriguées du périmètre ou de la zone d'étude (polyculture), ce qui nous conduit en fin à la détermination de l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) sur la base du besoin en eau et du rendement par hectare pour chaque culture.

Nous considérons que la méthode de calcul est bien assimilée donc, dans ce chapitre nous allons donner l'essentiel des résultats de calcul pour les cultures ou les groupes de cultures.

Un groupe de cultures est l'ensemble des cultures ayant des cycles végétatifs similaires (même valeur de K_c ou légèrement différentes).

Le CROPWAT n'accepte pas les cultures qui occupent moins de 1% de la surface total irriguée c'est-à-dire regrouper les surfaces avec les surfaces occupées par des cultures plus proches biologiquement.

Le calcul des BE et du pilotage nécessite la connaissance des données de base pour le CROPWAT.

2.1. ET₀ de la zone d'étude

Pour le cas de polyculture le calcul des BE et du pilotage d'irrigation nécessite des données relatives au climat pour la détermination d'ET₀ de la zone d'étude.

Tableau III.2 : ET₀ mensuelle de la zone d'étude

	Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MOY
R	a d ur MJ/m ² /jo	9,3	12,5	15,9	19,9	21,8	25,2	25,7	23,2	18,3	13,8	10,2	8,2	17,0
E														
T	mm/jour	1,25	1,61	2,42	3,13	4,63	5,90	6,05	5,07	3,96	2,82	1,59	1,33	3,31
0														

Le tableau III.2 montre que l'ET0 mensuelle moyen est de 3,31 mm/j (varie de 1,25 mm/j en mois de décembre à 6,05 mm/j en mois de juillet).

2.2. Pluie efficace de la zone d'étude

La détermination de pluie efficace ainsi que l'ETM permet de déterminer les BEI.

Tableau III.3 : Pluie efficace mensuelle de la zone d'étude (Méthode américaineUSDA)

	Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
P	Mm	67,2	92,1	122,8	53,3	30,8	20,9	0,0	35,8	86,2	8,9	100,0	130,8	784,8
Pu	Mm	60,0	78,5	98,7	48,8	29,3	20,2	0,0	33,7	74,3	8,3	84,0	103,4	639,7

Le tableau III. 3, montre que le total de pluie efficace égale à 639,7 mm pour une pluviométrie totale de 748,8 mm, varie de 0 mm au mois de juillet à 103,4 mm au mois de décembre.

2.3. Le sol de la zone

Les sols de la région de Blida sont de types moyens à lourdes avec les caractéristiques données par CROPWAT (sol de type « RED SANDY LOAM »).

Tableau III.4 : Caractéristiques des sols de la zone d'étude.

RED SANDY LOAM		
Caractéristiques	Valeurs	Unités
Réserve utile (RU)	140	Mm/m
Taux d'infiltration	40	Mm/jour
Profondeur maximale des racines	300	centimètres
Taux de tarissement initial de l'humidité du sol	50	%
Humidité initiale disponible	70	Mm/m

2.4. Besoin en eau de toutes les cultures de la zone

2.4.1. ETM

L'ETM donne les besoins totaux en eau d'une culture, ces besoins sont couverts par les pluies efficaces et les irrigations de compléments.

L'ETM est corrigé par le K_c de chaque une des périodes du cycle végétatif, Il est donné selon la relation suivante : $ETM = ET_0 * K_c$

Le tableau III.5 montre que l'ETM moyen est de 5464,78 m³/ha varie de 3976 m³/ha pour la pomme de terre; qui a un cycle hivernale court à 7987 m³/ha; pour les agrumes (cultures pérennes).

Cette différence dépend des caractéristiques de la culture (cycle végétatif).

2.4.2. Besoin en eau d'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation nettes sont élevées quand il y a moins de précipitation (à l'image de l'ETM).

$$Bein = ETM - Pu$$

Les besoins en eau d'irrigation doivent toujours être corrigés par l'efficacité du réseau d'irrigation (jamais atteint une efficacité de 100%).

Pour un réseau localisé $E_i \geq 95\%$

Pour un réseau gravitaire $E_i = 70\%$

Le tableau III.5 donne les $Bein$ pour un réseau localisé et gravitaire.

Les $Bein$ moyen sont estimés à 4035,64 m³/ha, ils sont de 2009 m³/ha pour la Néflieret de 6403 m³/ha pour la tomate.

Selon le tableau II.5 En remarque que pour une $E_i = 70\%$ les $Bein$ augmentent de 30%, mais pour $E_i = 95\%$ (réseau localisé) augmentent par 5%, ce qui nous montre l'importance du choix du système d'irrigation pour une meilleure efficacité.

Tableau III.5 : Besoins en eau d'irrigation des différentes cultures de la zone d'étude

Besoins	Bein	Pu	ETM	Beib	Beib
Cultures	m3/ha	m3/ha	m3/ha	Ei=0,95	Ei=0,7
Abricotiers	3012	1568	4429	3170,526	4302,857
Piments & poivrons	5427	864	5731	5712,632	7752,857
Poirier	4038	1509	5349	4250,526	5768,571
Agrumes	4969	3998	7987	5230,526	7098,571
Néflier	2009	3326	5237	2114,737	2870
Oignon	4793	1574	6329	5045,263	6847,143
Pêche	4008	1446	5410	4218,947	5725,714
Choux & choux F.	3304	2141	5248	3477,895	4720
Haricot vert	3352	996	3914	3528,421	4788,571
Pommiers	4065	1466	5443	4278,947	5807,143
Pomme de terre	2323	1791	3976	2445,263	3318,571
Pruniers	3981	1377	5107	4190,526	5687,143
Melon & pastèques	4815	867	5378	5068,421	6878,571
Tomates	6403	1162	6969	6740	9147,143
Moyen	4035,64286	1720,35	5464,78	4248,045	7237,619

2.4.3. Le débit fictif continu

Le débit fictif continu est le débit à apporter par unité de temps à une culture afin de satisfaire son déficit hydrique.

Letableau III.6 donne les Q_{fc} mensuels pondérés pour toutes les cultures sur la base des besoins en eau mensuels et la surface de chaque culture.

Le Qfc varie de 0,01 l/s/ha au mois de septembre à 0,42 l/s/ha pour moi de juillet c'est le mois de pointe.

Tableau III.6 : Synthèse des besoins en eau des cultures et des débits fictifs continus

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Déficit de Précipitation												
Agrumes	0	0	0	19.3	68.7	95.7	117.8	64.0	5.1	45.4	0	0
Haricots verts	0	0	0	7.0	76.9	166.3	79.4	0	0	0	0	0
Choux et chou fleurs	0	0	0	18.0	71.7	126.1	185.7	130.2	41.8	0	0	0
Piment & poivron	0	0	0	12.5	66.9	156.7	199	69.1	0	0	0	0
Melons et pastiques	0	0	0	7	62.6	160.7	195.4	47	0	0	0	0
Oignons	0	0	0	52.2	123	162	143.6	0	0	0	0	0
Pêchers	0	0,8	0	16,6	95,6	138,5	129,7	0	0	0	0	0
Tomates	0	0	0	12.5	67.5	164.8	217.2	0	0	0	0	0
Abricotiers	0	0	0	35.1	104.1	124.5	19.9	0	0	0	0	0
Pomme de terre	0	0	0	17,7	103,3	148,1	118	0	0	0	0	0
Pruniers	0	0,9	00	11	83.8	139.6	131.4	0	0	0	0	0
Pommier	0	0	0	17.7	103.3	148.1	118.0	0	0	0	0	0
Poiriers	0	1	0	36.2	111	143.8	92.2	0	0	0	0	0
Néfliers	0	0	0	38.8	91.1	43.6	0	0	0	43.2	0	0
Bes.irri.net. du périmètre												
mm/jour	0	0	0	0,7	2,5	3,6	3,6	1,3	0,1	0,9	0	0
in mm/mois	0	0,2	0.2	21.9	77.4	108.1	111	41.6	3.8	26.7	0	0
in l/s/ha	0	0	0	0,08	0,29	0,42	0.41	0.16	0,01	0,10	0	0
Surface irriguée%	0	18	4	100	100	96	94	62	60	59	0	0

2.4.4. Besoin en eau globaux de la wilaya

Les besoins globaux d'irrigation de toutes les cultures de la wilaya de Blida représentent les quantités d'eau totales mensuel et annuel doivent transporter pour couvrir le besoin en eau d'irrigation de toutes les cultures durant toute l'année.

Ces besoins sont calculés sur la base de :

- Besoins en eau annuels de chaque culture
- La surface occupée par chaque culture durant le cycle végétatif.

Le tableau III.7 synthétise les besoins globaux par cultures et par mois.

Tableau III.7 Besoins en eau globaux annuels par culture ou groupe de cultures

Déficit précipitation	fer	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	BEI	SUR	BEI ANNEL
CULTURE									m3/ha	ha	m3x1000
Agrumes	0	19,3	68,7	95,7	117,8	64,0	5,1	45,4	4160	13259	55157,44
Haricots verts	0	7,0	76,9	166,3	79,4	0	0	0	3296	292,58	96 4,3436
Choux et-chou- fleurs	0	18,0	71,7	126,1	185,7	130,2	41,8	0	5735	550	3154,25
Piment& poivron	0	12,5	66,9	156,7	199	69,1	0	0	5042	130,8	659,4936
Melonset.pastiq	0	7	62,6	160,7	195,4	47	0	0	4727	308	1455,916
Oignons	0	52,2	123	162	143,6	0	0	0	4808	305	1466,44
Pêchers	0,8	16,6	95,6	138,5	129,7	0	0	0	3812	2682	10223,78
Tomates	0	12,5	67,5	164,8	217,2	0	0	0	4620	187,04	864,1248
Abricotiers	0	35,1	104,1	124,5	19,9	0	0	0	2836	860,8	2441,228
Pomme de TR	0	17,7	103,3	148,1	118	0	0	0	3871	959	3712,289
Pruniers	0,9	11	83,8	139,6	131,4	0	0	0	3667	430	1576,81
Pommier	0	17,7	103,3	148,1	118,0	0	0	0	3871	1866	7223,286
Poiriers	1	36,2	111	143,8	92,2	0	0	0	3842	1168	4487,456
Néfliers	0	38,8	91,1	43,6	0	0	0	43,2	2167	422	914,474
moy									4032,4		3181,62
totale										23420,2	
Totale m3*1000	37	4780	18929	26805	27204	9437	906	6201			94301

Les besoins globaux nettes annuels par culture ou par groupe de culture varient de m³ à pour mois de pointe.

Les besoins annuels pour toutes les cultures sont estimés **94,301** million m³ pour **23420,2** ha (besoin unitaire moyen=**4032,4**m³/ha).

Ces besoins sont en fonction du système d'irrigation (Ei). Donc pour un Ei=70% ; les besoins annuels globaux sont **134.715** million de m³.

2.5. Conclusion

Les cultures irriguées de la wilaya de Blida nécessitent annuellement un besoin total de **134.715** million de m³ avec **27,204** million m³ en mois de juillet qui est le moi de pointe.

La gestion de l'irrigation est rendue facile avec une simple programmation du taux des besoins ETR et ETM.

Les besoins en eau sont déterminer sur la base de la pluviométrie et du type de sol afin d'élaborer le calendrier d'irrigation pour toutes les cultures irrigués.

Le logiciel CROPWAT est un moyen efficace qui sert à la gestion des irrigations.

Chapitre 3 : Détermination de l'efficacité d'utilisation de l'eau des cultures irriguées de la wilaya

Comme on a cité avant, l'efficacité d'utilisation de l'eau est représentée par le rapport du rendement par hectare de la culture (Kg/ha) et la consommation en eau durant le cycle végétatif de la culture (m³/ha).

Donc ce rapport ne peut se faire que sur la base de la connaissance du rendement et de l'ETM de toutes les cultures irriguées de la wilaya, donc on va déterminer :

- Les rendements des cultures irriguées de la wilaya ;
- Les besoins en eau des cultures irriguées de la wilaya ;
- L'efficacité d'utilisation de l'eau.

En deux cas :

- Cas de citrus (exemple pour la compréhension) ;
- De toutes les cultures de la wilaya.

3.1. Détermination des rendements des cultures irriguées de la wilaya

Pour la détermination du rendement des cultures nous allons utiliser les bulletins statistiques de la DSA de Blida (série B 2009).

Les résultats sont représentés dans le tableau III.8.

A partir de ce tableau en remarque l'importance des surfaces occupées par les agrumes 13259ha, 56,4% de la surface total des cultures irriguées.

Les rendements varient de 54,29q/ha pour Haricot et fèves à 831,35q/ha pour le melon et pastèque.

Ca explique la mauvaise stratégie en point de vue de production.

Tableau III.8 : Surfaces en rapport et rendement des cultures irriguées.

Cultures	Surfaces complantées	Surfaces en rapport	Surface	Rdt
	Ha	Ha	%	q/ha
Agrumes	16583	13259	56,4	200,65
Abricots	1149	860,8	3,6	76,61
Nèfles	430	422	1,7	156,81
Pêche	3237	2682	11,4	130,23
Poires	1285	1168	4,9	169,99
Pommes	2284	1866	7,9	204,78
Prunes	631	430	1,8	96,37
P. de terre	959	959	4	353,08
Tomates	187,04	187,04	0,7	414,64
Oignons	305	305	1,2	173,13
Melons – pastèques	308	308	1,3	831,35
Piments – poivrons	130,8	130,8	0,5	413,89
Choux et C. fleurs	550	550	2,3	129,73
Haricot et fèves	292,58	292,58	1,24	54,29
Moyenne		1672,87		243,25
Total		23499,22	98,94	

3.2. Détermination des besoins en eau des cultures irriguées de la wilaya

Les besoins en eau de cultures varient d'une culture à une autre (tableau III.9), ils peuvent être :

- ETM (besoins maximaux).
- Bein (dépend de l'ETM et de Pu).
- Beib (dépend de Bein et Ei).
- Beic (complément de Bein par rapport l'ETM).

Les Bein définies par le CROPWAT, ils sont représentés dans le tableau III.9.

Tableau III.9 : Besoins en eau d'irrigation des cultures irriguées.

Besoins	Besoins nets en eau d'irrigation (Bein)	Pluie utile (Pu)	ETM
Cultures	m3/ha	m3/ha	m3/ha
Abricotiers	3012	1568	4429
Piments & poivrons	5427	864	5731
Poirier	4038	1509	5349
Agrumes	4969	3998	7987
Néfliers	2009	3326	5237
Oignon	4793	1574	6329
Pêche	4008	1446	5410
Choux & choux F.	3304	2141	5248
Haricot vert	3352	996	3914
Pommiers	4065	1466	5443
Pomme de terre	2323	1791	3976
Pruniers	3981	1377	5107
Melon & pastèques	4815	867	5378
Tomates	6403	1162	6969
Moyen	4035,64286	1720,35714	5464,78571

Ce tableau montre que les besoins d'ETM varient de 3914m3/ha pour le haricot vert à 7987 m3/ha pour les agrumes.

3.3. Détermination des besoins en eau brutes des cultures irriguées de la wilaya

Les besoins unitaires brutes sont de **5464,78** m3/ha pour un ETM moyen des cultures irriguées de la wilaya de Blida.

La différence des apports est assurée par la Pu qui est plus ou moins selon la saison de la culture.

En pratique les besoins en eau d'irrigation à mobiliser sont en fonction d'efficience du réseau d'irrigation (Ei selon le système d'irrigation) : **Beib= Bein/Ei**

Tableau III.10 : Influence de l'efficacité du réseau sur les besoins bruts d'irrigation.

Besoins	Bein	Pu	ETM	Beib	
				Ei=0,95	Ei=0,7
Cultures	m3/ha	m3/ha	m3/ha		
Abricotiers	3012	1568	4429	3170,526	4302,857
Piments & poivrons	5427	864	5731	5712,632	7752,857
Poirier	4038	1509	5349	4250,526	5768,571
Agrumes	4969	3998	7987	5230,526	7098,571
Neflier	2009	3326	5237	2114,737	2870
Oignon	4793	1574	6329	5045,263	6847,143
Pêche	4008	1446	5410	4218,947	5725,714
Chou & choux F.	3304	2141	5248	3477,895	4720
Haricot vert	3352	996	3914	3528,421	4788,571
Pommiers	4065	1466	5443	4278,947	5807,143
Pomme de terre	2323	1791	3976	2445,263	3318,571
Pruniers	3981	1377	5107	4190,526	5687,143
Melon & pastèques	4815	867	5378	5068,421	6878,571
Tomates	6403	1162	6969	6740	9147,143
Moyen	4035,642	1720,35	5464,78	4248,045	7237,619

Le tableau III.10 montre l'importance du Pu et de l'Ei sur la quantité d'eau à mobiliser.

3.4. Calcul de l'efficacité d'utilisation de l'eau

Le calcul d'EUE des cultures irriguées nécessite la connaissance d'ETM des cultures et du rendement de chaque culture.

On va présenter 2 cas d'estimation d'EUE pour la meilleure compréhension : Explication détaillée pour une monoculture (citrus).

L'application de la méthode d'une monoculture à toutes les cultures.

3.4.1. Calcul de l'efficacité d'utilisation de l'eau d'une monoculture les Citrus

Nous allons maintenant montrer le détail de calcul de l'EUE du genre citrus (agrumes) qui occupent plus de 56% des STI.

Les informations relatives au citrus et leur EUE calculés sur la base des rendements de chaque culture (ETM identique).

Ces informations sont synthétisées dans le tableau III.11, ce qui nous montre l'importance du rendement sur l'EUE.

Tableau III.11 : Efficacité d'utilisation des Citrus de la wilaya Blida.

Facteurs d'étude	Rdt	ETM	EUE = 1	EUE = 0,7	Consommation en eau
Cultures	q/ha	m ³ /ha	kg/m ³	kg/m ³	litres/kg
Orangers	233,87	7987	2,92	2,04	490,19
Clémentinier	125,17	7987	1,56	1,09	917,43
Mandariniers	123,09	7987	1,54	1,07	934,57
Citronniers	250,73	7987	3,13	2,19	456,62
Pomelos	135,56	7987	1,69	1,18	847,45
Citrus	173,68	7987	2,17	1,52	657,89

Ce tableau montre que l'EUE varie de 1,54 à 3,13 kg/m³ d'eau effectivement consommé (c à d pour $E_i=0,70$ l'EUE varie de 1,07 à 2,19 kg/m³= de 934,57 à 456,62 litres/kg pour mandarine et citron.

Donc l'eau est mieux valorisée lorsque l'irrigation est mieux maîtrisée (c à d E_i est plus élevée), C'est le cas des techniques d'irrigation modernes l'irrigation localisée ou goutte à goutte.

3.4.2. Calcul de EUE des cultures irriguées de la wilaya :

C'est le même principe que pour le calcul d'une monoculture (citrus), la différence est en :

- Le rendement varie selon les espèces.
- L'ETM dépend du type de culture.
- L'irrigation de complément.

Le tableau III.12 synthétise les informations pour les quatorze cultures irriguées de wilaya de Blida.

Le tableau III.12 : Synthèse de l'efficiace d'utilisation de l'eau des cultures irriguées.

Facteurs d'étude	Production	Rdt	ETM	EUE (kg/m ³)			Consommation Litres d'eau/kg
	q x 1000	q/ha	m ³ /ha	Ei = 1	Ei = 0,95	Ei = 0,7	
Cultures							
Agrumes	2660,519	200,65	7987	2,51	2,38	1,75	571,42
Abricots	65,947	76,61	4429	1,72	1,64	1,21	826,44
Nèfles	66,175	156,81	5237	2,99	2,84	2,09	478,46
Pêche	349,277	130,23	5410	2,40	2,28	1,68	595,23
Poires	198,553	169,99	5349	3,17	3,01	2,22	450,45
Pommes	382,137	204,78	5443	3,76	3,57	2,63	380,28
Prunes	41,44	96,37	5107	1,88	1,79	1,32	757,57
Potato	338,61	353,08	3976	8,88	8,43	6,21	161,03
Tomates	75,897	414,64	6969	5,94	5,65	4,16	240,38
Oignons	52,8	173,13	6329	2,73	2,59	1,91	523,56
Melons - pastèques	256,58	831,35	5378	15,45	14,68	10,82	92,42
Piments – poivrons	54,138	413,89	5731	7,22	6,86	5,05	198,01
Choux et Chou fleurs	71,352	129,73	5248	2,47	2,34	1,73	578,03
Haricot et fèves	15,885	54,29	3914	1,32	1,31	0,97	1030,92
Moyenne		243,25	5464,78	4,46	4,24	3,12	491,50
Total x 1000	4629,355						

Le calcul d'EUE des cultures irriguées de la wilaya de Blida montre que :

Pour un rendement moyen de 243,25q/ha, toutes les espèces et une ETM moyen de **5464,78 m³/ha** qui doit être corrigée par l'Ei de 0,7, l'EUE=3,12 kg/m³ d'eau mobilisée ce qui nous donne **491,50** litres/kg.

L'EUE moyen ne montre rien, puisque elle varie de 0,97 à 10,82 kg/m³ (1030,92 kg d'eau/kg de récolte pour le haricot et fève et 92,42 kg d'eau/kg de récolte pour le melon et pastèque).

Du point de vue économique ces résultats montrent la mauvaise stratégie et gestion.

Le tableau III.12 montre que :

Pour l'amélioration du niveau d'EUE on peut agir sur des facteurs faciles d'application basent sur deux variables :

- L'augmentation du rendement.
- La diminution de la consommation en eau.

Ces facteurs sont les suivant :

- Type de cultures : certains cultures sont exigeantes en eau avec une production moyenne à élever, en plus ont un cycle végétatif hivernal(c à d bénéficie au maximum des précipitations), comme le chou et chou-fleur.
- Le cycle végétatif de la culture par rapport à la période pluvieuse.
- Les dates de semis ou de transplantation par rapport à la période estivale.
- La gestion rationnelle des précipitations (choix de date de semis)
- Le respect des bases fondamentales de l'irrigation.

3.5. Etude comparée de l'efficience d'utilisation de l'eau de Blida et de la FAO

Nos résultats de calculs d'EUE des cultures irriguées de wilaya Blida montrent une mauvaise gestion de l'eau.

Pour la confirmation de cette interprétation nous allons faire une comparaison les valeurs obtenues par la FAO dans les conditions agropédoclimatiques pour la plaine de Mitidja.

Tableau III.13 : Etude comparée de l'efficience d'utilisation de l'eau de Blida et de la FAO

Facteurs d'étude	EUE (kg/m3)			Rapport (%)
	Blida	Mitidja	FAO	Blida/FAO
Cultures				
Agrumes	1,75		5	35
Abricots	1,21	*	*	*
Nèfles	2,09	*	*	*
Pêche	1,68	*	*	*
Poires	2,22	*	*	*
Pommes	2,63	*	*	*
Prunes	1,32	*	*	*
Pomme de terre	6,21	5	7	88,71
Tomates	4,16	8,6	12	34
Oignons	1,91	*	*	*
Melons – pastèques	10,82	7	8	135
Piments – poivrons	5,05	*	*	*
Choux et Chou fleurs	1,73	8,3	20	8
Haricot et fèves	0,97	*	5	19
Moyenne	3,12			
Total				

* : manque de données

Cette comparaison confirme la faiblesse d'EUE des cultures irriguées de la wilaya à l'exception la culture de melon pastèque de 135% (tableau III.13).

Pour les autres cultures le rapport de l'EUE de Blida par rapport à la FAO varie de 8% pour le chou et chou-fleur à 88,7% pour la pomme de terre.

3.6. Les aspects économiques de l'efficience d'utilisation de l'eau

L'eau est un facteur très important en agriculture soit irriguées ou pluviale, pour cela on va étudier les aspects économiques et financières de l'EUE de la wilaya de Blida (l'année 2009).

Tableau III.14 : Les aspects économiques de l'efficacité d'utilisation de l'eau.

Facteurs d'étude	Production	Rdt	EUE kg/m ³	Prix			
	q x 1000	q/ha	Ei =0,7	DA/kg	DA/m ³	DA/ha	DA/wilaya
Cultures							
Agrumes	2660,519	200,65	1,75	60	105	1203900	159,62*10 ⁸
Abricots	65,947	76,61	1,21	50	60,5	383050	3,297*10 ⁸
Nèfles	66,175	156,81	2,09	70	146,3	1097670	4,632*10 ⁸
Pêches	349,277	130,23	1,68	40	67,2	520920	13,971*10 ⁸
Poires	198,553	169,99	2,22	80	177,6	1359920	15,883*10 ⁸
Pommes	382,137	204,78	2,63	80	210,4	1638240	30,569*10 ⁸
Prunes	41,44	96,37	1,32	60	79,2	578220	2,486*10 ⁸
Pomme de terre	338,61	353,08	6,21	20	124,2	706160	6,772*10 ⁸
Tomates	75,897	414,64	4,16	50	208	2073200	3,877*10 ⁸
Oignons	52,8	173,13	1,91	10	19,1	173130	0,528*10 ⁸
Melons – pastèques	256,58	831,35	10,82	20	216,4	1662700	5,121*10 ⁸
Piments – poivrons	54,138	413,89	5,05	50	252,5	2069450	2,706*10 ⁸
Choux et Chou fleurs	71,352	129,73	1,73	20	86,5	259460	1,427*10 ⁸
Haricot et fèves	15,885	54,29	0,97	100	97	542900	1,588*10 ⁸
Moyenne		243,25	3,30	51	128,428	1019208, 57	
Total	5 722						252,48*10 ⁸

Comme on a fait et selon les résultats synthétisés dans le tableau III.12, nous avons exprimés les aspects physiques de l'EUE en Kg/m³ de récolte, nous transformons cette efficacité en efficacité économique c à d en dinar algérien par mètre cube DA/m³, d'autre termes nous exprimons la productivité financière du m³ d'eau consommé par la culture (tableau III.14).

Pour cela on est besoin de :

- Le rendement (q/ha).
- L'ETM.
- Le prix du Kg de récolte de chaque culture.

Le prix varie de 20 DA/Kg pour la pomme de terre à 100 DA/Kg pour le haricot vert et fève.

Sur la base de prix et de l'EUE nous avons calculés la productivité financière de m³ d'eau.

Nôtres calculs montrent une variation importante de la productivité de l'eau pour l'agriculture de la wilaya de Blida, elle varie de 19,1 DA/m³ pour la culture de l'ognon à 252,5 et 216,4 DA/m³ pour le piment-poivron et le melon-pastèque.

Ces chiffres montrent des marges bénéficiaires importantes (facturation du m³ d'eau d'irrigation de 2 à 2,5 DA/m³).

Ce qui représente 9,5 à 11,8 % du prix de vente du Kg de pomme de terre à 0,5 % pour le Kg de tomate.

3.7. Conclusion

D'après cette étude on conclue que l'EUE et la productivité financière de l'eau en agriculture sont variés d'une culture à une autre dans la wilaya de Blida.

Les valeurs financières de l'EUE incite les utilisateurs de l'eau en agriculture (agriculteurs.. ext) à bien valoriser économiquement les quantités d'eau utiliser.

Conclusion générale

Notre étude a été initiée sur la base d'enquête qui a été réalisée au niveau des exploitations (terres exploitées) dans la wilaya de Blida, synthétisés sous formes des données qui nous montres une mauvaise gestion surtout au point que l'effcience du réseau d'irrigation atteint même pas 70%.

Cette situation influe négativement sur la valorisation et la productivité de l'eau en agriculture, la productivité mesurer grâce à l'EUE.

L'EUE quantifie la productivité de l'eau consommé par chaque culture durant son cycle végétatif, exprimé en Kg/m³ ou Kg/mm/ha.

Pour le calcul des BEC irrigués de la wilaya, on a eu recours aux valeurs des rendements (bulletin statistique série B DSA Blida 2009).

Pour ce calcul on a utilisé le logiciel CROPWAT qui nous donne les besoins en eau de culture ETM, programme de pilotage d'irrigation sur la base pluie efficace, du type de culture et du type de sol.

L'utilisation du CROPWAT pour la gestion des irrigations est un moyen très efficace et rapide pour le calcul des BEC et pour le pilotage des irrigations, qui définit les besoins en eau (ET₀) à partir des données climatiques (T min et max, l'humidité relative à l'air, la vitesse du vent, la durée d'insolation).

Un calendrier est tracé à partir des besoins en eau, pluviométrie, caractéristiques du sol, et type de culture.

Les résultats obtenus ont permis de définir les BE et le pilotage des irrigations des 14 cultures irriguées de la wilaya qui représentent une surface de 23420,2 ha pour une consommation nette totale d'eau de 94,301million de m³/an (134.715 million de m³ c'est la consommation nette total corrigé par l'E_i= 0,7), ces besoins donnent une consommation unitaire moyenne nette de 4032,4m³/ha, à l'échelle des mois de l'année la consommation varie de 37000 m³ au mois de février à 27,204 million m³ au mois de juillet c'est le mois de pointe, le Q_{fc} varie de 0,01 l/s/ha au mois de septembre à 0,42 l/s/ha au mois de juin .

Sur la base des BEC(ETM), nous avons calculés la productivité de l'eau consommée par les quatorze cultures qui s'exprime avec l'EUE (Kg/m³).

Pour le cas des citrus :

La consommation moyenne est de 7987m³/ha, et le rendement moyen est de 173,68 q/ha ; l'EUE varie de 1,07 à 2,19 Kg/m³ pour la mandarine et le citron pour un $E_i = 0,7$, avec un moyen de consommation de 657,89 l/Kg pour les citrus.

Ces valeurs montrent l'importance des niveaux de rendement sur le niveau de l'EUE, pour l'ensemble des cultures de la wilaya et pour un rendement de 243,25q/ha et ETM moyen de 5464,78 m³/ha corrigé par $E_i = 0,7$, l'EUE moyen est de 3,12 Kg/m³ et une consommation moyenne de 491,50 l/Kg de récolte.

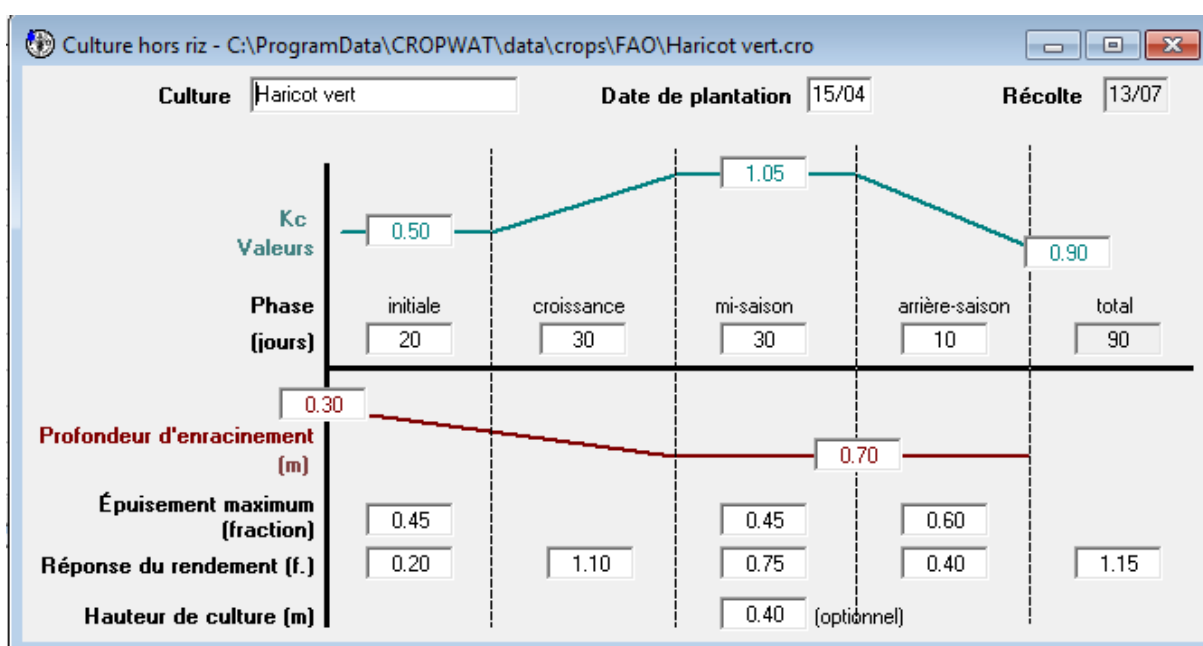
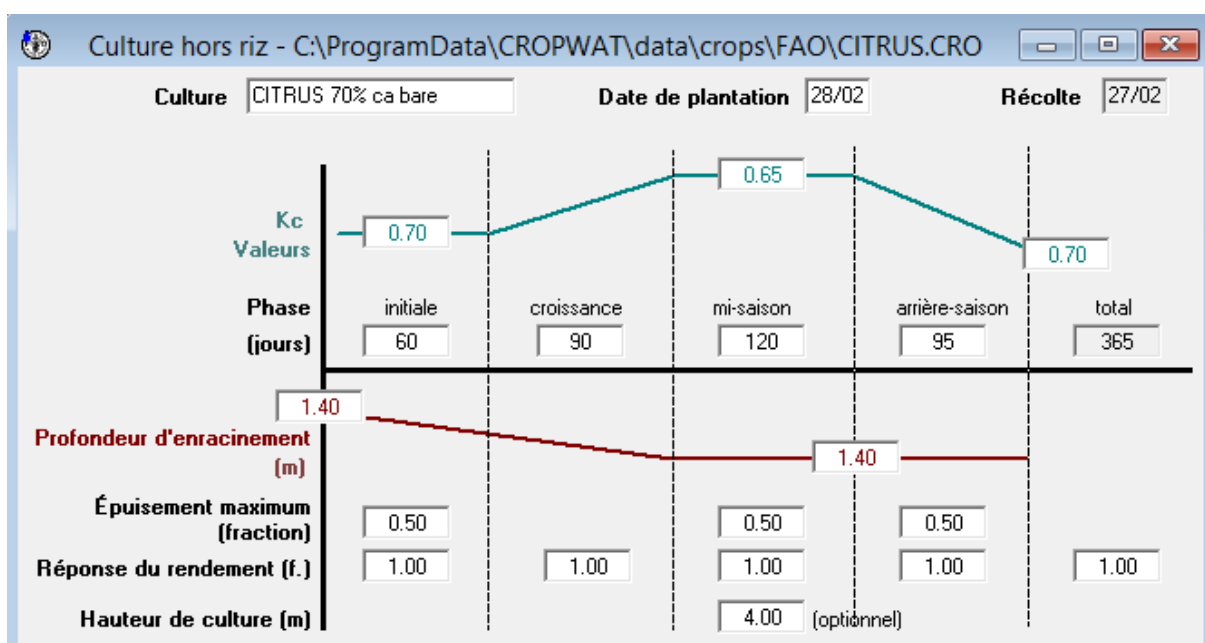
Les valeurs moyennes de l'EUE cachent des disparités, parfois très importantes, en effet l'EUE dans la wilaya varie de 0,97 Kg/m³ pour la culture de haricot et fève à 10,82 Kg/m³ pour le melon et pastèque, aussi pour la consommation varie de 92,42 l/Kg à 1030,92 pour les mêmes cultures.

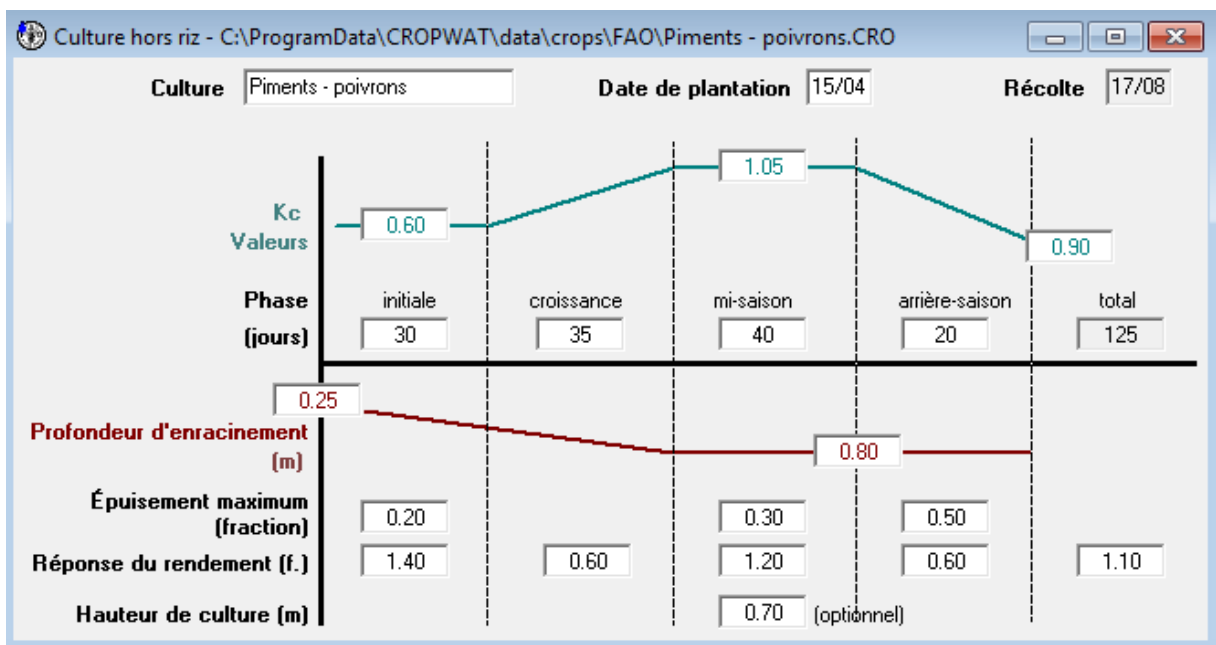
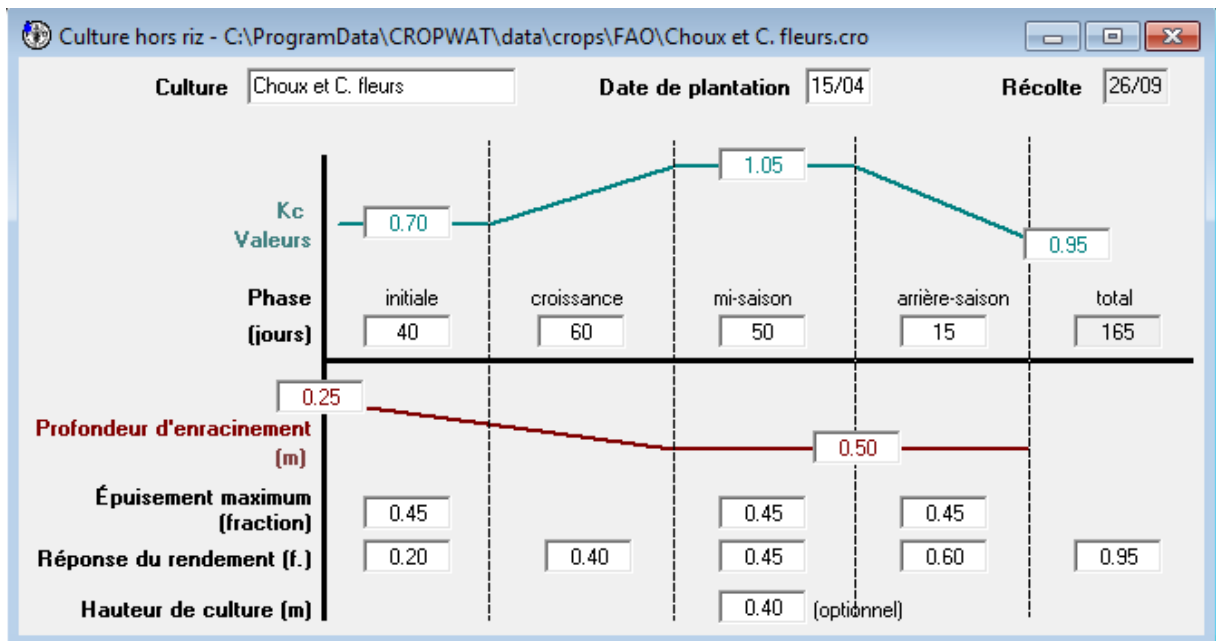
Ainsi, il est très important de prendre en considération les aspects économiques des différentes cultures irriguées surtout en situation de manque d'eau en Algérie, les décideurs et planificateurs doivent faire balances entre l'agriculture qui valorise l'eau sans importance stratégique et qui ne valorise pas l'eau mais a une importance stratégique.

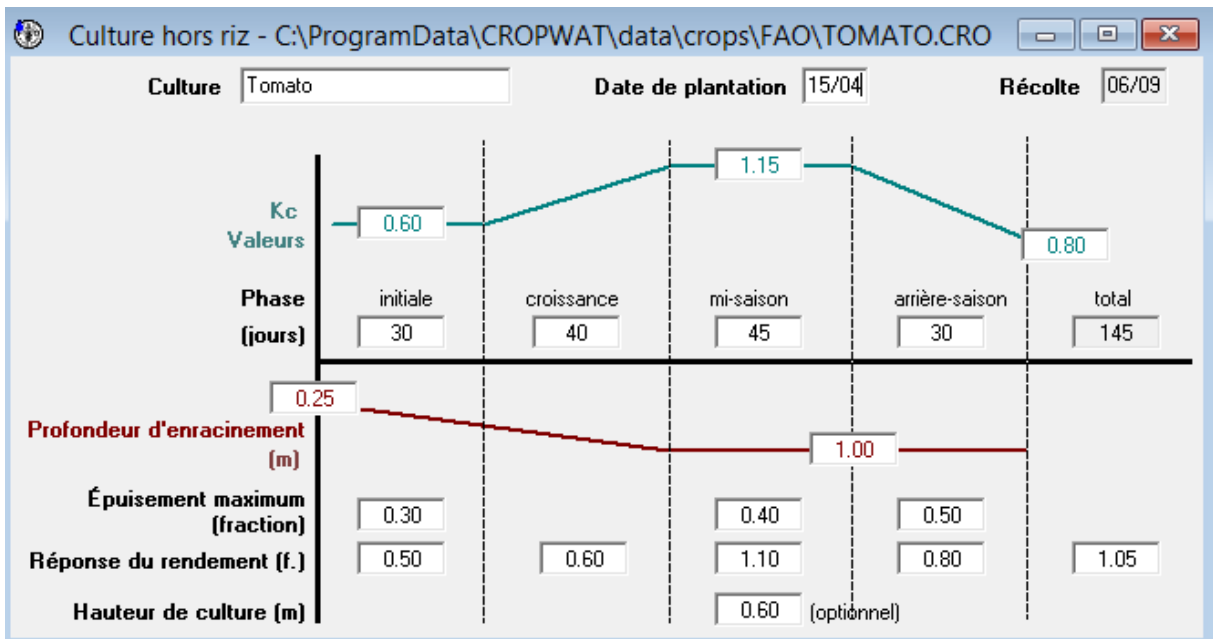
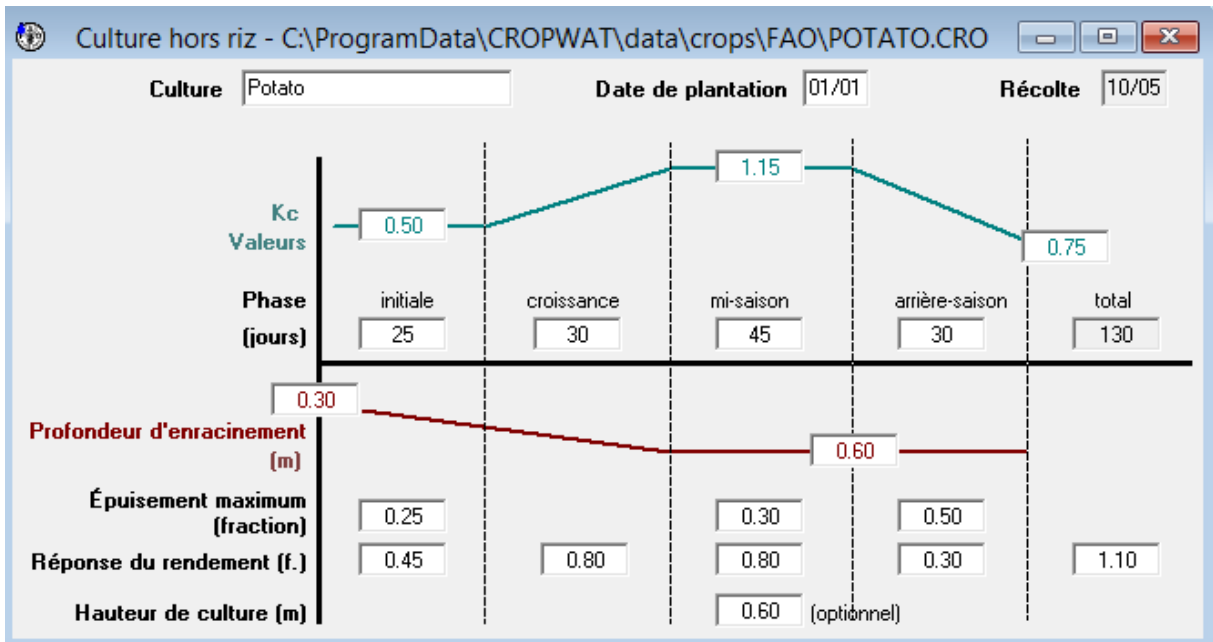
Enfin, l'eau est un facteur de production important surtout pour le secteur de l'agriculture, il faut le valoriser et considérer comme un vrai facteur de production que les autres facteurs.

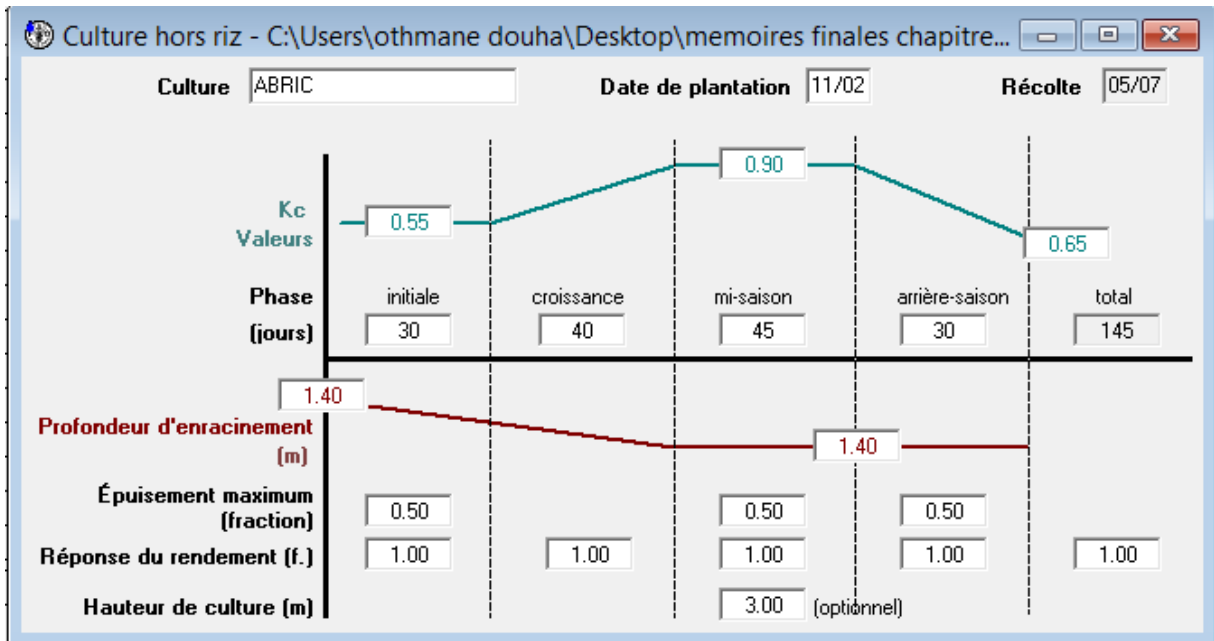
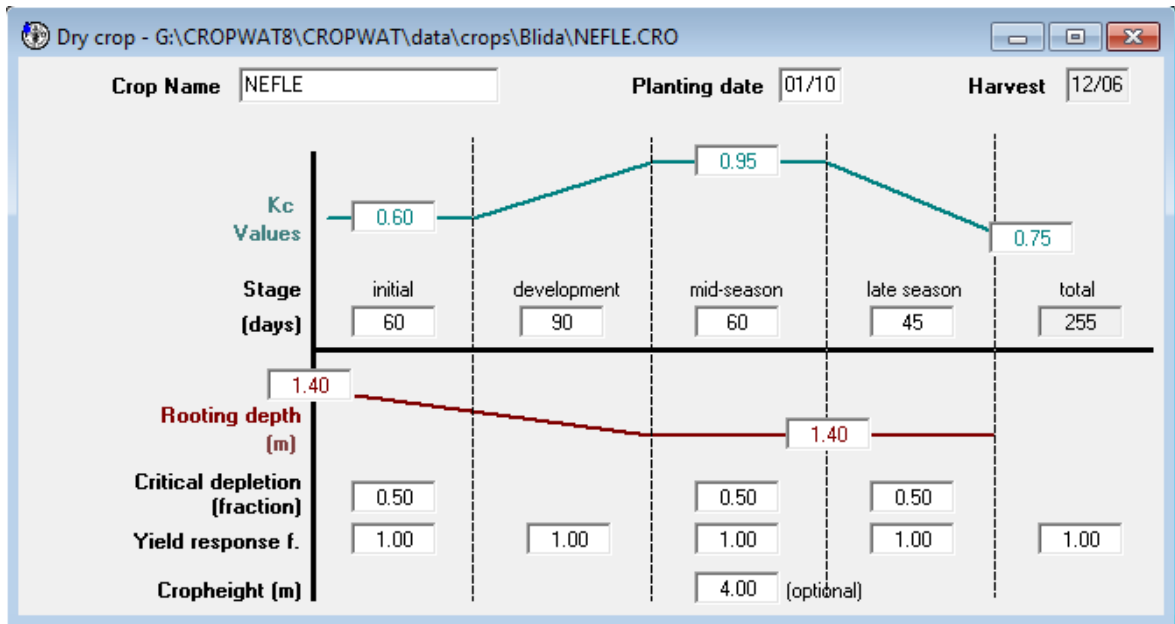
ANNEXES

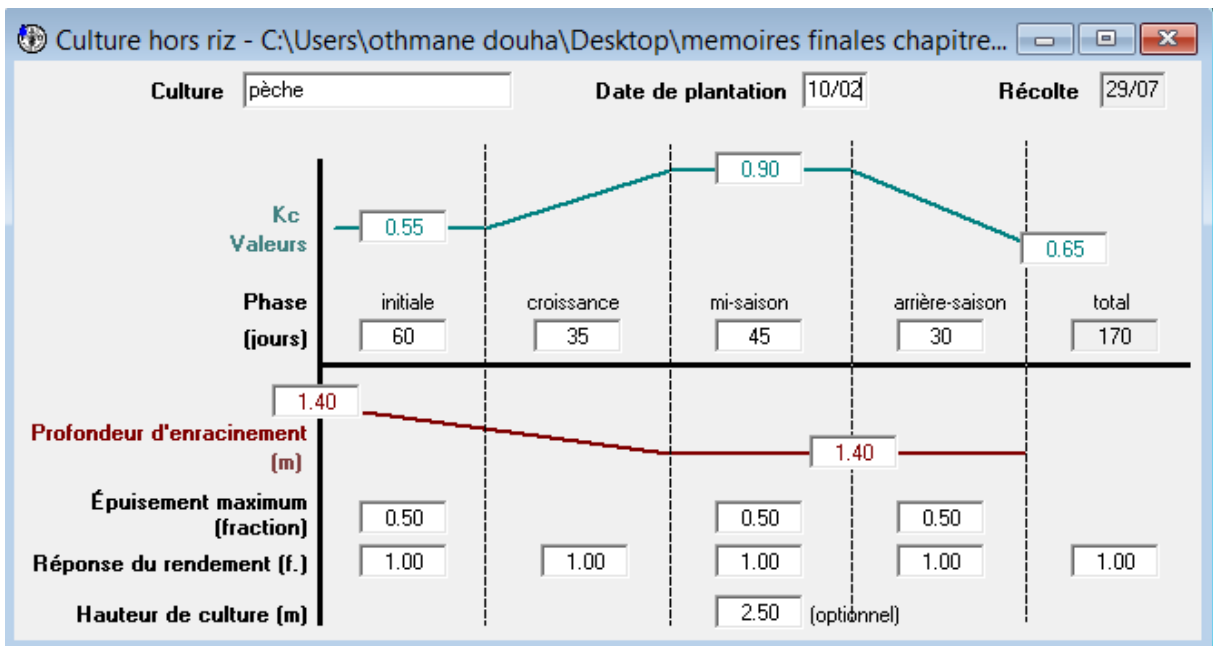
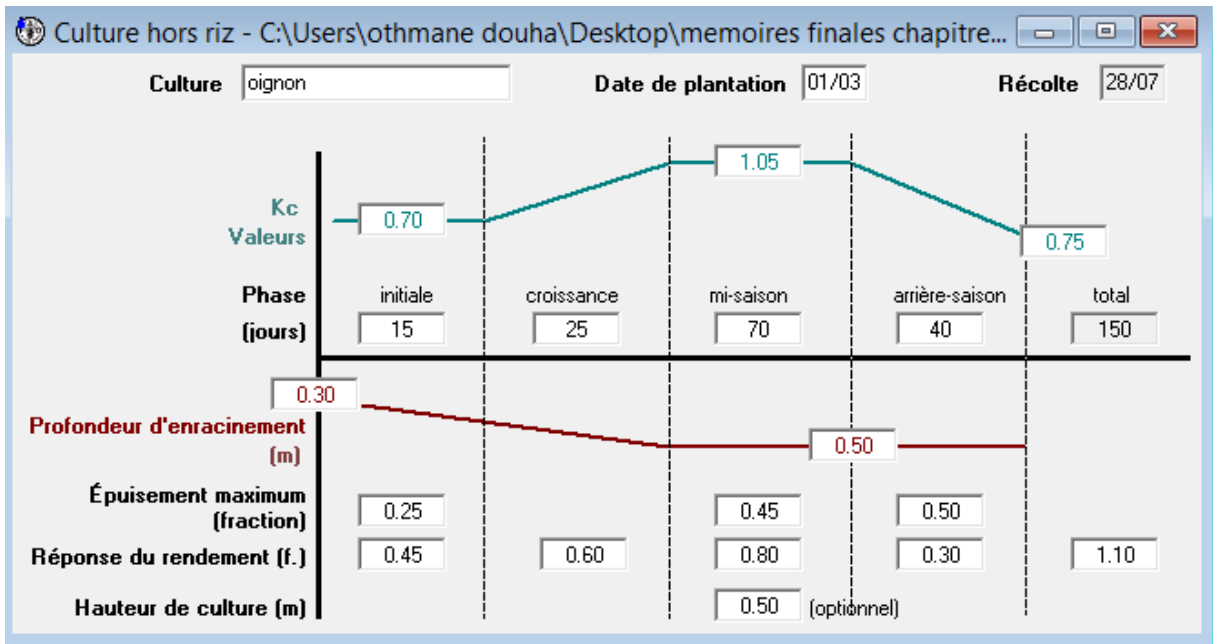
Annexe 1 : données cultures

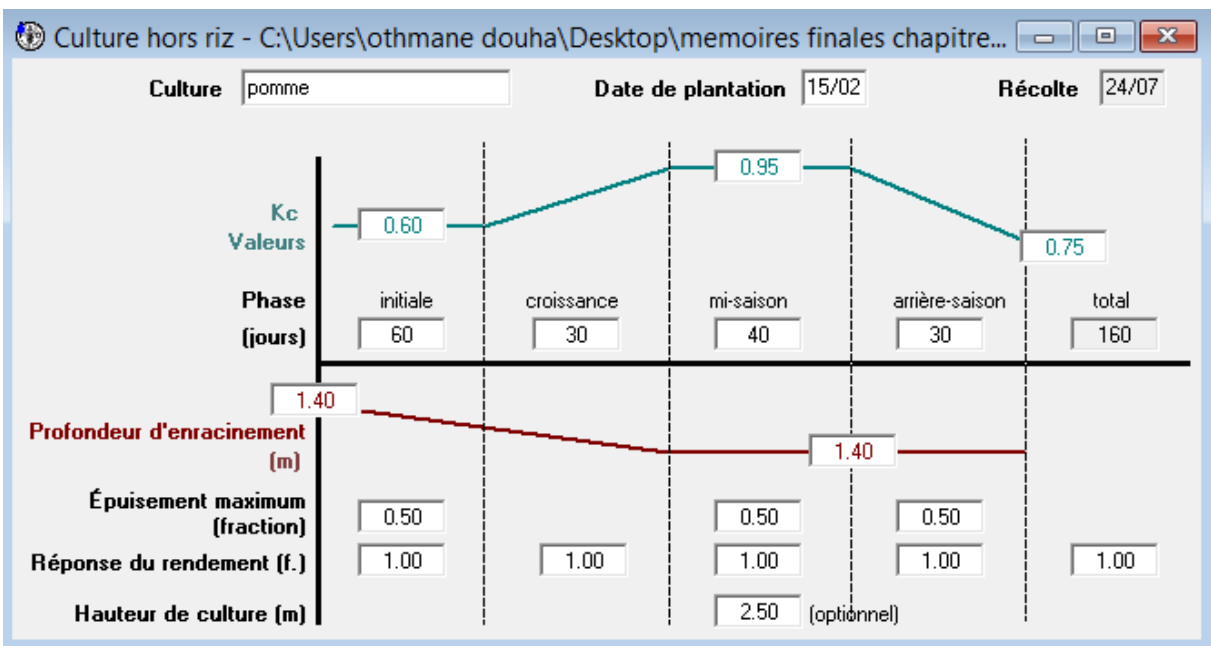
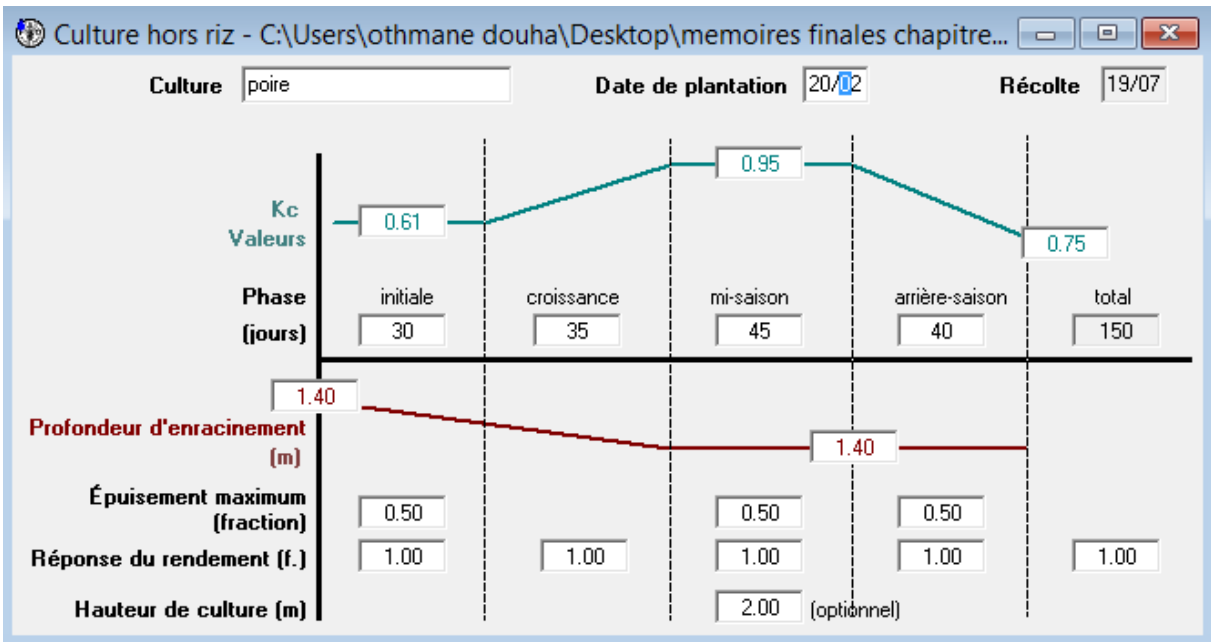




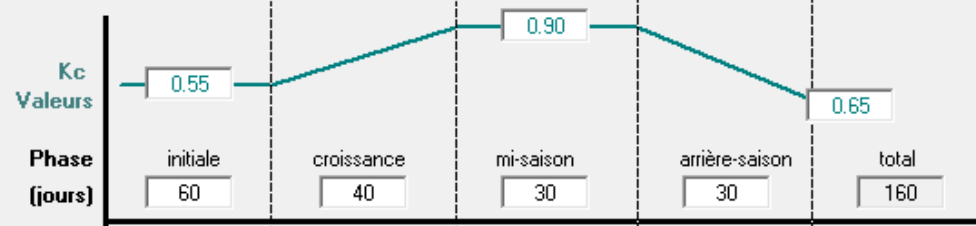








Culture Date de plantation Récolte



Profondeur d'enracinement (m)	1.40		1.40		
Épuisement maximum (fraction)	0.50	0.50	0.50	0.50	
Réponse du rendement (f.)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Hauteur de culture (m)			3.00 (optionnel)		

Annexe 2 : besoins en eau des cultures

Besoins en eau des cultures							
Station ETo		soumaa		Culture		CITRUS 70% ca bare	
Station Pluie		soumaa		Date de plantation		28/02	
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Fév	3	Init	0.71	1.33	1.3	3.5	0.0
Mar	1	Init	0.70	1.50	15.0	32.9	0.0
Mar	2	Init	0.70	1.69	16.9	36.2	0.0
Mar	3	Init	0.70	1.86	20.4	29.5	0.0
Avr	1	Init	0.70	2.02	20.2	20.9	0.0
Avr	2	Init	0.70	2.19	21.9	14.9	7.1
Avr	3	Crois	0.70	2.54	25.4	13.2	12.3
Mai	1	Crois	0.69	2.87	28.7	11.6	17.0
Mai	2	Crois	0.69	3.18	31.8	9.3	22.5
Mai	3	Crois	0.68	3.42	37.6	8.5	29.2
Jui	1	Crois	0.67	3.71	37.1	8.1	29.0
Jui	2	Crois	0.66	3.96	39.6	7.2	32.4
Jui	3	Crois	0.65	3.92	39.2	4.8	34.4
Jui	1	Crois	0.64	3.90	39.0	0.1	39.0
Jui	2	Crois	0.63	3.90	39.0	0.0	39.0
Jui	3	Mi-sais	0.63	3.63	39.9	0.1	39.8
Aoû	1	Mi-sais	0.63	3.38	33.8	7.3	26.5
Aoû	2	Mi-sais	0.63	3.17	31.7	10.9	20.8
Aoû	3	Mi-sais	0.63	2.94	32.4	15.6	16.8
Sep	1	Mi-sais	0.63	2.71	27.1	23.6	3.5
Sep	2	Mi-sais	0.63	2.48	24.8	29.8	0.0
Sep	3	Mi-sais	0.63	2.24	22.4	20.8	1.6
Oct	1	Mi-sais	0.63	2.00	20.0	4.2	15.8
Oct	2	Mi-sais	0.63	1.77	17.7	0.0	17.7
Oct	3	Mi-sais	0.63	1.51	16.6	4.7	11.9
Nov	1	Mi-sais	0.63	1.21	12.1	21.4	0.0
Nov	2	Mi-sais	0.63	0.93	9.3	30.6	0.0
Nov	3	Arr-sais	0.67	0.97	9.7	31.9	0.0
Déc	1	Arr-sais	0.71	1.00	10.0	34.3	0.0
Déc	2	Arr-sais	0.71	0.94	9.4	37.4	0.0
Déc	3	Arr-sais	0.71	0.92	10.1	31.6	0.0
Jan	1	Arr-sais	0.71	0.90	9.0	22.9	0.0
Jan	2	Arr-sais	0.71	0.89	8.9	17.1	0.0
Jan	3	Arr-sais	0.71	0.97	10.7	20.1	0.0
Fév	1	Arr-sais	0.71	1.05	10.5	24.1	0.0
Fév	2	Arr-sais	0.71	1.14	11.4	26.1	0.0
Fév	3	Arr-sais	0.71	1.33	9.3	24.8	0.0
					800.0	639.9	416.1

Besoins en eau des cultures

Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Avr	2	Init	0.50	1.56	9.4	8.9	2.0
Avr	3	Init	0.50	1.82	18.2	13.2	5.0
Mai	1	Crois	0.54	2.23	22.3	11.6	10.7
Mai	2	Crois	0.71	3.31	33.1	9.3	23.8
Mai	3	Crois	0.91	4.60	50.6	8.5	42.1
Jui	1	Mi-sais	1.05	5.84	58.4	8.1	50.3
Jui	2	Mi-sais	1.06	6.35	63.5	7.2	56.3
Jui	3	Mi-sais	1.06	6.37	63.7	4.8	58.9
Jui	1	Arr-sais	1.01	6.13	61.3	0.1	61.3
Jui	2	Arr-sais	0.90	5.56	16.7	0.0	16.7
					397.1	71.6	327.0

Besoins en eau des cultures

Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jan	2	Init	0.70	0.88	5.3	10.3	0.0
Jan	3	Init	0.70	0.96	10.5	20.1	0.0
Fév	1	Init	0.70	1.04	10.4	24.1	0.0
Fév	2	Init	0.70	1.12	11.2	26.1	0.0
Fév	3	Crois	0.71	1.33	10.7	28.4	0.0
Mar	1	Crois	0.76	1.64	16.4	32.9	0.0
Mar	2	Crois	0.83	2.00	20.0	36.2	0.0
Mar	3	Crois	0.89	2.36	26.0	29.5	0.0
Avr	1	Crois	0.95	2.76	27.6	20.9	6.7
Avr	2	Crois	1.01	3.18	31.8	14.9	16.9
Avr	3	Mi-sais	1.06	3.86	38.6	13.2	25.4
Mai	1	Mi-sais	1.07	4.41	44.1	11.6	32.5
Mai	2	Mi-sais	1.07	4.94	49.4	9.3	40.1
Mai	3	Mi-sais	1.07	5.40	59.4	8.5	50.9
Jui	1	Mi-sais	1.07	5.92	59.2	8.1	51.1
Jui	2	Arr-sais	1.05	6.29	62.9	7.2	55.6
Jui	3	Arr-sais	0.99	5.93	47.5	3.9	42.6
					530.8	305.0	321.9

Besoins en eau des cultures

Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Avr	2	Init	0.60	1.88	11.3	8.9	3.8
Avr	3	Init	0.60	2.18	21.8	13.2	8.6
Mai	1	Init	0.60	2.48	24.8	11.6	13.2
Mai	2	Crois	0.63	2.90	29.0	9.3	19.7
Mai	3	Crois	0.75	3.80	41.8	8.5	33.4
Jui	1	Crois	0.89	4.91	49.1	8.1	41.0
Jui	2	Mi-sais	1.01	6.05	60.5	7.2	53.3
Jui	3	Mi-sais	1.04	6.28	62.8	4.8	58.0
Jui	1	Mi-sais	1.04	6.33	63.3	0.1	63.2
Jui	2	Mi-sais	1.04	6.42	64.2	0.0	64.2
Jui	3	Arr-sais	1.04	6.01	66.1	0.1	66.0
Aoû	1	Arr-sais	0.96	5.21	52.1	7.3	44.8
Aoû	2	Arr-sais	0.89	4.50	31.5	7.7	20.5
					578.3	86.7	489.8

Besoins en eau des cultures

Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jan	1	Init	0.50	0.64	6.4	22.9	0.0
Jan	2	Init	0.50	0.63	6.3	17.1	0.0
Jan	3	Crois	0.54	0.74	8.2	20.1	0.0
Fév	1	Crois	0.75	1.12	11.2	24.1	0.0
Fév	2	Crois	0.97	1.56	15.6	26.1	0.0
Fév	3	Mi-sais	1.14	2.14	17.1	28.4	0.0
Mar	1	Mi-sais	1.16	2.48	24.8	32.9	0.0
Mar	2	Mi-sais	1.16	2.80	28.0	36.2	0.0
Mar	3	Mi-sais	1.16	3.07	33.8	29.5	4.2
Avr	1	Mi-sais	1.16	3.35	33.5	20.9	12.6
Avr	2	Arr-sais	1.08	3.39	33.9	14.9	19.1
Avr	3	Arr-sais	0.95	3.45	34.5	13.2	21.4
Mai	1	Arr-sais	0.82	3.38	33.8	11.6	22.1
					287.0	297.8	79.4

Besoins en eau des cultures

Station ETo : Culture :
 Station Pluie : Date de plantation :

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mai	1	Init	0.50	2.07	20.7	11.6	9.0
Mai	2	Init	0.50	2.32	23.2	9.3	13.9
Mai	3	Crois	0.53	2.68	29.4	8.5	21.0
Jui	1	Crois	0.68	3.74	37.4	8.1	29.4
Jui	2	Crois	0.83	4.97	49.7	7.2	42.4
Jui	3	Mi-sais	0.98	5.89	58.9	4.8	54.0
Jui	1	Mi-sais	1.03	6.26	62.6	0.1	62.6
Jui	2	Mi-sais	1.03	6.35	63.5	0.0	63.5
Jui	3	Mi-sais	1.03	5.98	65.8	0.1	65.7
Aoû	1	Arr-sais	1.03	5.55	55.5	7.3	48.2
Aoû	2	Arr-sais	0.91	4.63	46.3	10.9	35.3
Aoû	3	Arr-sais	0.77	3.61	28.9	11.3	13.3
					541.8	79.2	458.3

Besoins en eau des cultures

Station ETo : Culture :
 Station Pluie : Date de plantation :

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Avr	2	Init	0.60	1.88	11.3	8.9	3.8
Avr	3	Init	0.60	2.18	21.8	13.2	8.6
Mai	1	Init	0.60	2.48	24.8	11.6	13.2
Mai	2	Crois	0.63	2.91	29.1	9.3	19.8
Mai	3	Crois	0.76	3.85	42.3	8.5	33.9
Jui	1	Crois	0.90	5.00	50.0	8.1	41.9
Jui	2	Crois	1.03	6.21	62.1	7.2	54.9
Jui	3	Mi-sais	1.13	6.81	68.1	4.8	63.3
Jui	1	Mi-sais	1.14	6.89	68.9	0.1	68.8
Jui	2	Mi-sais	1.14	6.98	69.8	0.0	69.8
Jui	3	Mi-sais	1.14	6.57	72.3	0.1	72.2
Aoû	1	Arr-sais	1.13	6.09	60.9	7.3	53.6
Aoû	2	Arr-sais	1.03	5.23	52.3	10.9	41.3
Aoû	3	Arr-sais	0.90	4.24	46.6	15.6	31.0
Sep	1	Arr-sais	0.80	3.45	20.7	14.2	8.9
					700.9	119.7	585.0

Besoins en eau des cultures								
Station ETo			soumaa		Culture			ABRIC
Station Pluie			soumaa		Date de plantation			11/02
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.	
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec	
Fév	2	Init	0.55	0.88	8.8	26.1	0.0	
Fév	3	Init	0.55	1.03	8.3	28.4	0.0	
Mar	1	Init	0.55	1.18	11.8	32.9	0.0	
Mar	2	Crois	0.58	1.41	14.1	36.2	0.0	
Mar	3	Crois	0.68	1.81	20.0	29.5	0.0	
Avr	1	Crois	0.78	2.27	22.7	20.9	1.8	
Avr	2	Crois	0.88	2.75	27.5	14.9	12.6	
Avr	3	Mi-sais	0.93	3.38	33.8	13.2	20.6	
Mai	1	Mi-sais	0.93	3.85	38.5	11.6	26.8	
Mai	2	Mi-sais	0.93	4.31	43.1	9.3	33.8	
Mai	3	Mi-sais	0.93	4.71	51.8	8.5	43.3	
Jui	1	Arr-sais	0.92	5.09	50.9	8.1	42.8	
Jui	2	Arr-sais	0.84	5.02	50.2	7.2	43.0	
Jui	3	Arr-sais	0.75	4.50	45.0	4.8	40.2	
Jui	1	Arr-sais	0.68	4.13	20.6	0.0	20.6	
					447.0	251.5	285.6	

Besoins en eau des cultures									
Station ETo			soumaa		Culture			nelfe	
Station Pluie			soumaa		Date de plantation			01/10	
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.		
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec		
Oct	1	Init	0.60	1.92	19.2	4.2	15.0		
Oct	2	Init	0.60	1.69	16.9	0.0	16.9		
Oct	3	Init	0.60	1.45	15.9	4.7	11.2		
Nov	1	Init	0.60	1.16	11.6	21.4	0.0		
Nov	2	Init	0.60	0.89	8.9	30.6	0.0		
Nov	3	Crois	0.60	0.86	8.6	31.9	0.0		
Déc	1	Crois	0.63	0.89	8.9	34.3	0.0		
Déc	2	Crois	0.67	0.88	8.8	37.4	0.0		
Déc	3	Crois	0.71	0.92	10.1	31.6	0.0		
Jan	1	Crois	0.75	0.96	9.6	22.9	0.0		
Jan	2	Crois	0.79	0.99	9.9	17.1	0.0		
Jan	3	Crois	0.83	1.14	12.5	20.1	0.0		
Fév	1	Crois	0.87	1.30	13.0	24.1	0.0		
Fév	2	Crois	0.91	1.46	14.6	26.1	0.0		
Fév	3	Mi-sais	0.95	1.78	14.2	28.4	0.0		
Mar	1	Mi-sais	0.96	2.06	20.6	32.9	0.0		
Mar	2	Mi-sais	0.96	2.31	23.1	36.2	0.0		
Mar	3	Mi-sais	0.96	2.54	28.0	29.5	0.0		
Avr	1	Mi-sais	0.96	2.77	27.7	20.9	6.8		
Avr	2	Mi-sais	0.96	2.99	29.9	14.9	15.1		
Avr	3	Arr-sais	0.96	3.47	34.7	13.2	21.6		
Mai	1	Arr-sais	0.93	3.84	38.4	11.6	26.8		
Mai	2	Arr-sais	0.89	4.13	41.3	9.3	32.0		
Mai	3	Arr-sais	0.85	4.31	47.4	8.5	38.9		
Jui	1	Arr-sais	0.81	4.50	45.0	8.1	37.0		
Jui	2	Arr-sais	0.79	4.74	9.5	1.4	9.5		
					528.5	521.2	230.7		

Besoins en eau des cultures

Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	1	Init	0.70	1.50	15.0	32.9	0.0
Mar	2	Crois	0.72	1.75	17.5	36.2	0.0
Mar	3	Crois	0.86	2.28	25.1	29.5	0.0
Avr	1	Mi-sais	1.01	2.92	29.2	20.9	8.4
Avr	2	Mi-sais	1.06	3.33	33.3	14.9	18.4
Avr	3	Mi-sais	1.06	3.86	38.6	13.2	25.5
Mai	1	Mi-sais	1.06	4.39	43.9	11.6	32.3
Mai	2	Mi-sais	1.06	4.93	49.3	9.3	40.0
Mai	3	Mi-sais	1.06	5.38	59.2	8.5	50.7
Jui	1	Mi-sais	1.06	5.90	59.0	8.1	50.9
Jui	2	Arr-sais	1.06	6.37	63.7	7.2	56.5
Jui	3	Arr-sais	1.00	6.04	60.4	4.8	55.6
Jui	1	Arr-sais	0.92	5.60	56.0	0.1	56.0
Jui	2	Arr-sais	0.84	5.19	51.9	0.0	51.9
Jui	3	Arr-sais	0.77	4.47	35.8	0.1	35.7
					637.8	197.1	481.7

Besoins en eau des cultures

Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Fév	1	Init	0.55	0.82	0.8	2.4	0.8
Fév	2	Init	0.55	0.88	8.8	26.1	0.0
Fév	3	Init	0.55	1.03	8.3	28.4	0.0
Mar	1	Init	0.55	1.18	11.8	32.9	0.0
Mar	2	Init	0.55	1.33	13.3	36.2	0.0
Mar	3	Init	0.55	1.46	16.1	29.5	0.0
Avr	1	Init	0.55	1.59	15.9	20.9	0.0
Avr	2	Crois	0.61	1.91	19.1	14.9	4.2
Avr	3	Crois	0.72	2.60	26.0	13.2	12.9
Mai	1	Crois	0.82	3.41	34.1	11.6	22.4
Mai	2	Mi-sais	0.92	4.24	42.4	9.3	33.1
Mai	3	Mi-sais	0.93	4.68	51.5	8.5	43.1
Jui	1	Mi-sais	0.93	5.14	51.4	8.1	43.3
Jui	2	Mi-sais	0.93	5.56	55.6	7.2	48.4
Jui	3	Arr-sais	0.93	5.57	55.7	4.8	50.9
Jui	1	Arr-sais	0.86	5.23	52.3	0.1	52.2
Jui	2	Arr-sais	0.76	4.69	46.9	0.0	46.9
Jui	3	Arr-sais	0.67	3.87	34.9	0.1	34.8
					544.8	254.0	393.0

Besoins en eau des cultures

Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Fév	2	Init	0.61	0.98	1.0	2.6	1.0
Fév	3	Init	0.61	1.14	9.2	28.4	0.0
Mar	1	Init	0.61	1.31	13.1	32.9	0.0
Mar	2	Init	0.61	1.48	14.8	36.2	0.0
Mar	3	Crois	0.66	1.76	19.4	29.5	0.0
Avr	1	Crois	0.77	2.24	22.4	20.9	1.5
Avr	2	Crois	0.88	2.75	27.5	14.9	12.6
Avr	3	Mi-sais	0.97	3.52	35.2	13.2	22.0
Mai	1	Mi-sais	0.98	4.05	40.5	11.6	28.8
Mai	2	Mi-sais	0.98	4.54	45.4	9.3	36.1
Mai	3	Mi-sais	0.98	4.95	54.5	8.5	46.0
Jui	1	Arr-sais	0.98	5.43	54.3	8.1	46.2
Jui	2	Arr-sais	0.94	5.65	56.5	7.2	49.3
Jui	3	Arr-sais	0.88	5.32	53.2	4.8	48.4
Jui	1	Arr-sais	0.83	5.02	50.2	0.1	50.1
Jui	2	Arr-sais	0.77	4.75	42.7	0.0	42.7
					539.6	228.0	384.8

Besoins en eau des cultures

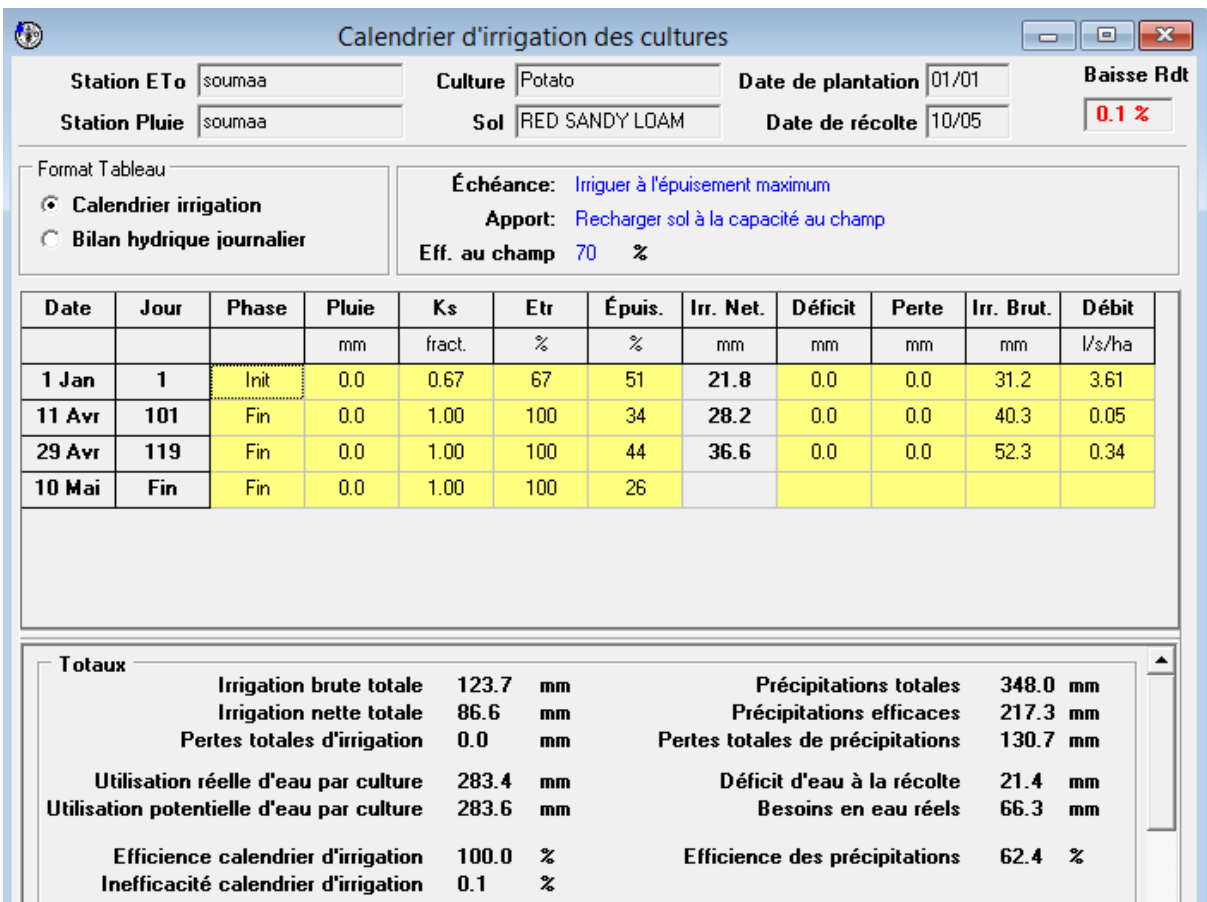
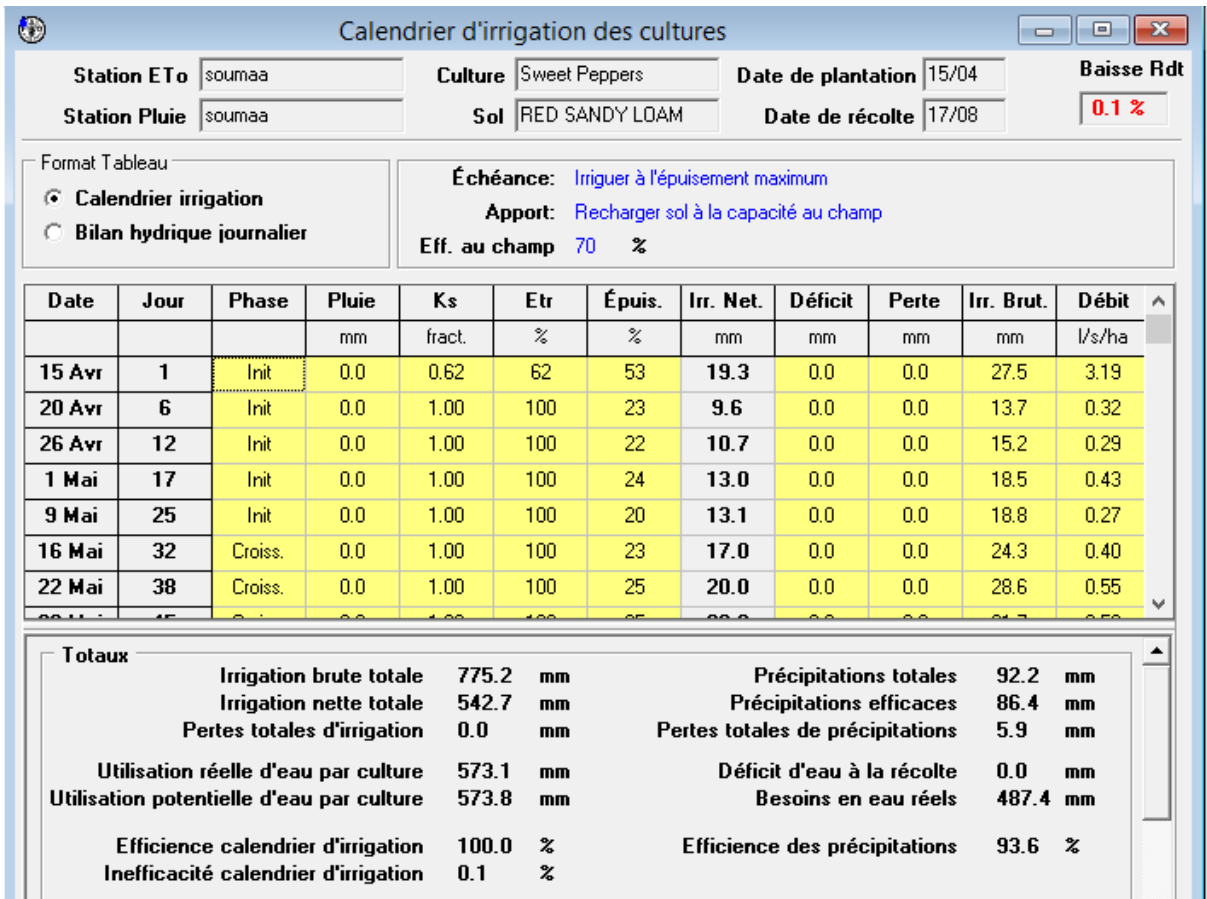
Station ETo Culture
 Station Pluie Date de plantation

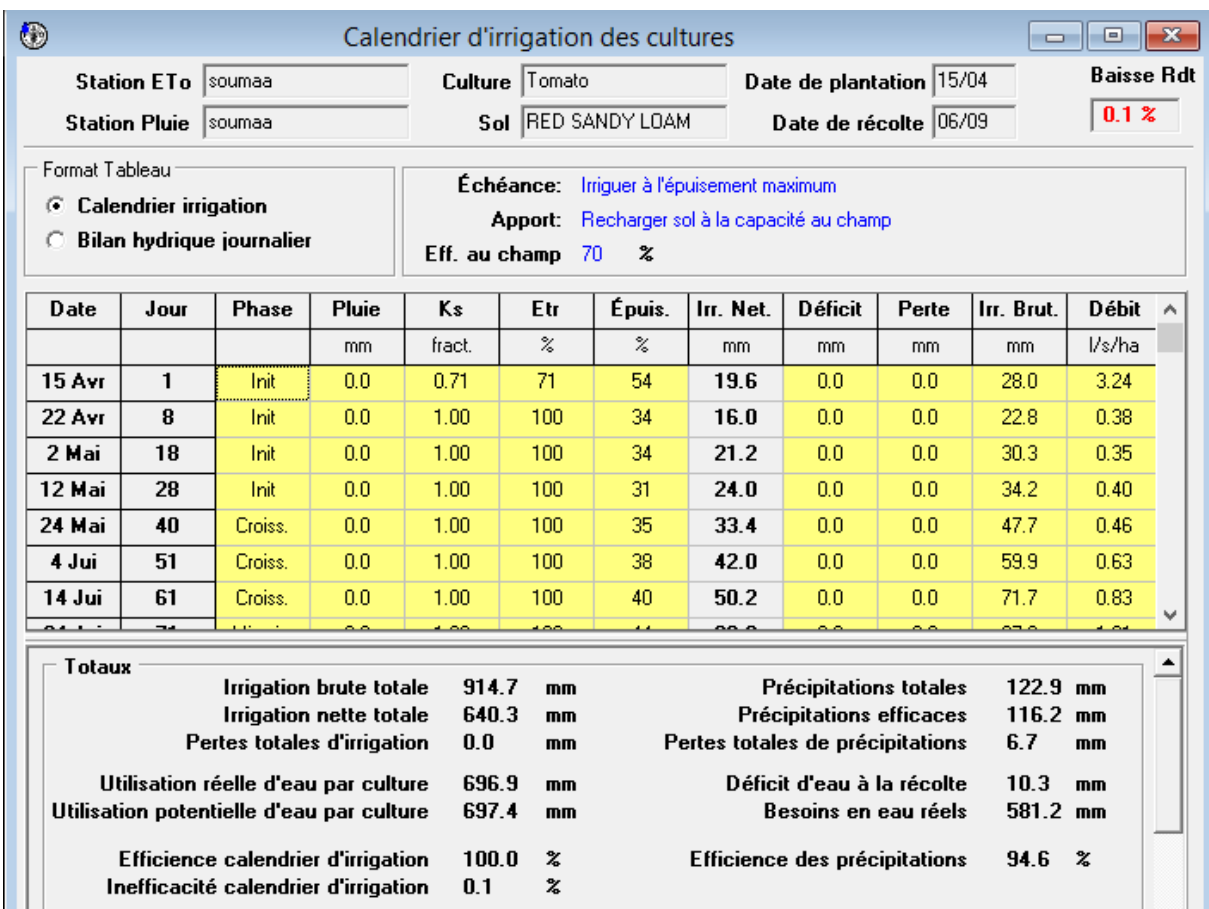
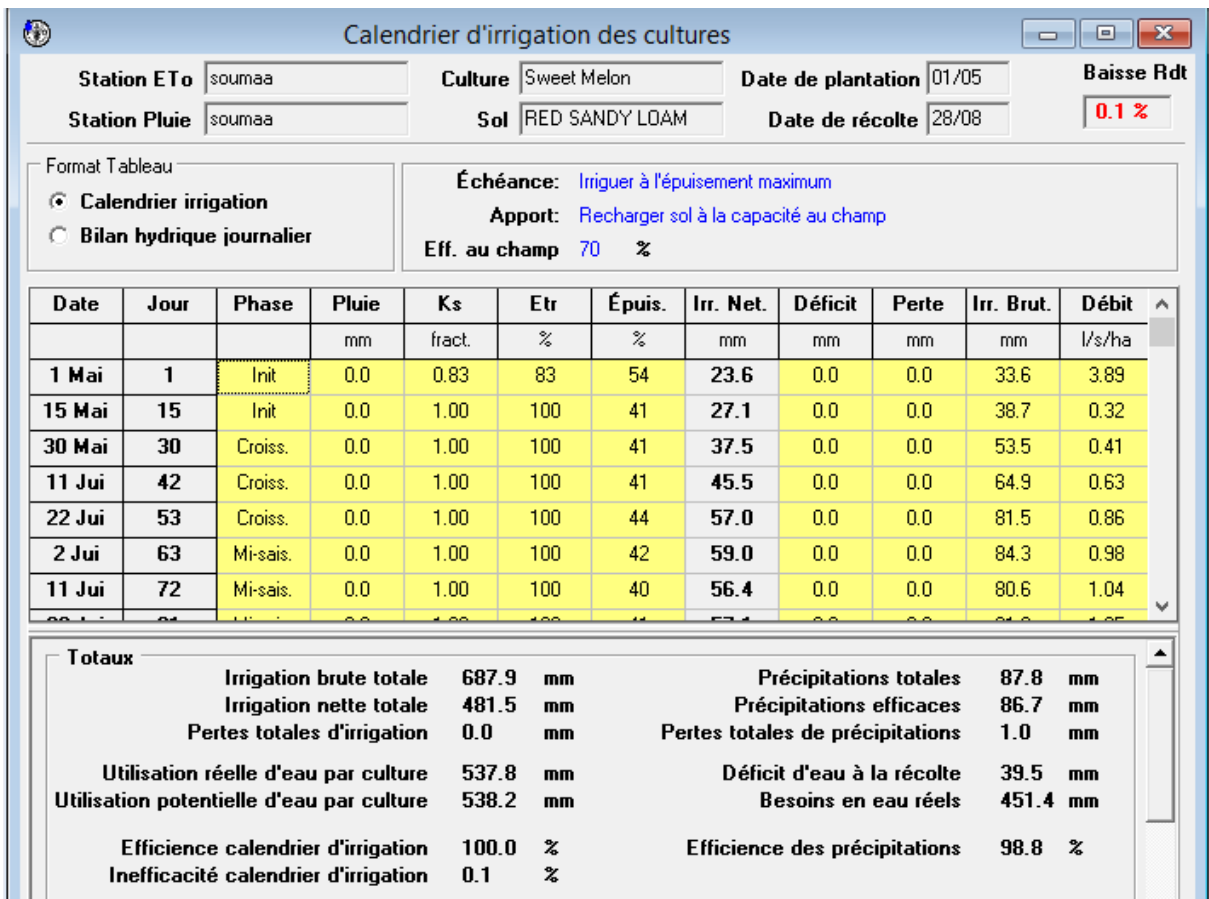
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Fév	2	Init	0.60	0.96	5.8	15.7	0.0
Fév	3	Init	0.60	1.13	9.0	28.4	0.0
Mar	1	Init	0.60	1.29	12.9	32.9	0.0
Mar	2	Init	0.60	1.45	14.5	36.2	0.0
Mar	3	Init	0.60	1.59	17.5	29.5	0.0
Avr	1	Init	0.60	1.74	17.4	20.9	0.0
Avr	2	Crois	0.62	1.94	19.4	14.9	4.5
Avr	3	Crois	0.73	2.66	26.6	13.2	13.4
Mai	1	Crois	0.86	3.54	35.4	11.6	23.8
Mai	2	Mi-sais	0.96	4.47	44.7	9.3	35.4
Mai	3	Mi-sais	0.98	4.94	54.4	8.5	45.9
Jui	1	Mi-sais	0.98	5.42	54.2	8.1	46.1
Jui	2	Mi-sais	0.98	5.87	58.7	7.2	51.4
Jui	3	Arr-sais	0.96	5.78	57.8	4.8	53.0
Jui	1	Arr-sais	0.88	5.37	53.7	0.1	53.6
Jui	2	Arr-sais	0.80	4.95	49.5	0.0	49.5
Jui	3	Arr-sais	0.75	4.33	17.3	0.0	17.3
					548.7	241.1	394.0

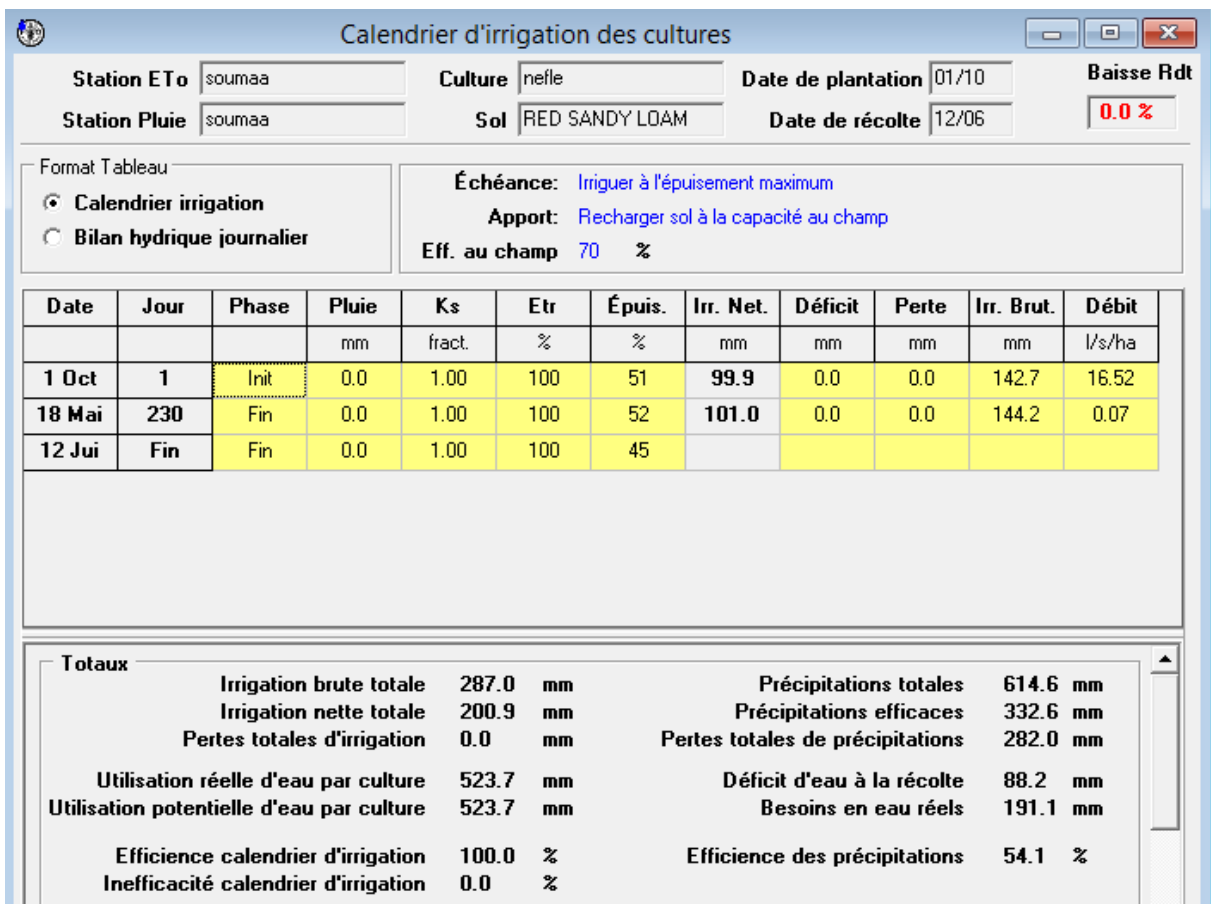
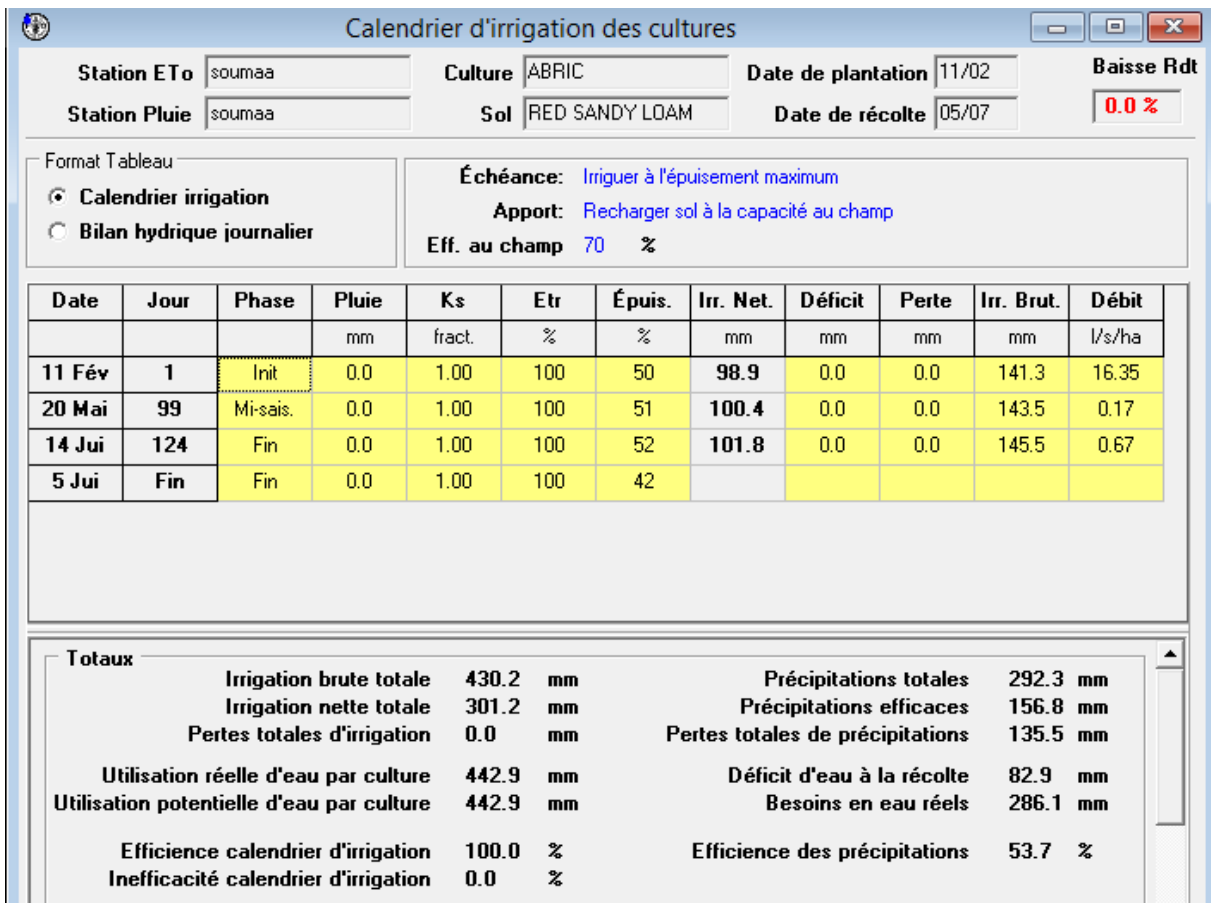
Besoins en eau des cultures							
Station ETo		soumaa		Culture		prune	
Station Pluie		soumaa		Date de plantation		20/02	
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Fév	2	Init	0.55	0.88	0.9	2.6	0.9
Fév	3	Init	0.55	1.03	8.3	28.4	0.0
Mar	1	Init	0.55	1.18	11.8	32.9	0.0
Mar	2	Init	0.55	1.33	13.3	36.2	0.0
Mar	3	Init	0.55	1.46	16.1	29.5	0.0
Avr	1	Init	0.55	1.59	15.9	20.9	0.0
Avr	2	Init	0.55	1.72	17.2	14.9	2.4
Avr	3	Crois	0.60	2.18	21.8	13.2	8.7
Mai	1	Crois	0.69	2.87	28.7	11.6	17.0
Mai	2	Crois	0.79	3.64	36.4	9.3	27.1
Mai	3	Mi-sais	0.88	4.46	49.1	8.5	40.6
Jui	1	Mi-sais	0.92	5.11	51.1	8.1	43.0
Jui	2	Mi-sais	0.92	5.53	55.3	7.2	48.0
Jui	3	Arr-sais	0.92	5.53	55.3	4.8	50.5
Jui	1	Arr-sais	0.86	5.20	52.0	0.1	52.0
Jui	2	Arr-sais	0.76	4.67	46.7	0.0	46.7
Jui	3	Arr-sais	0.67	3.86	34.8	0.1	34.7
					514.6	228.1	371.6

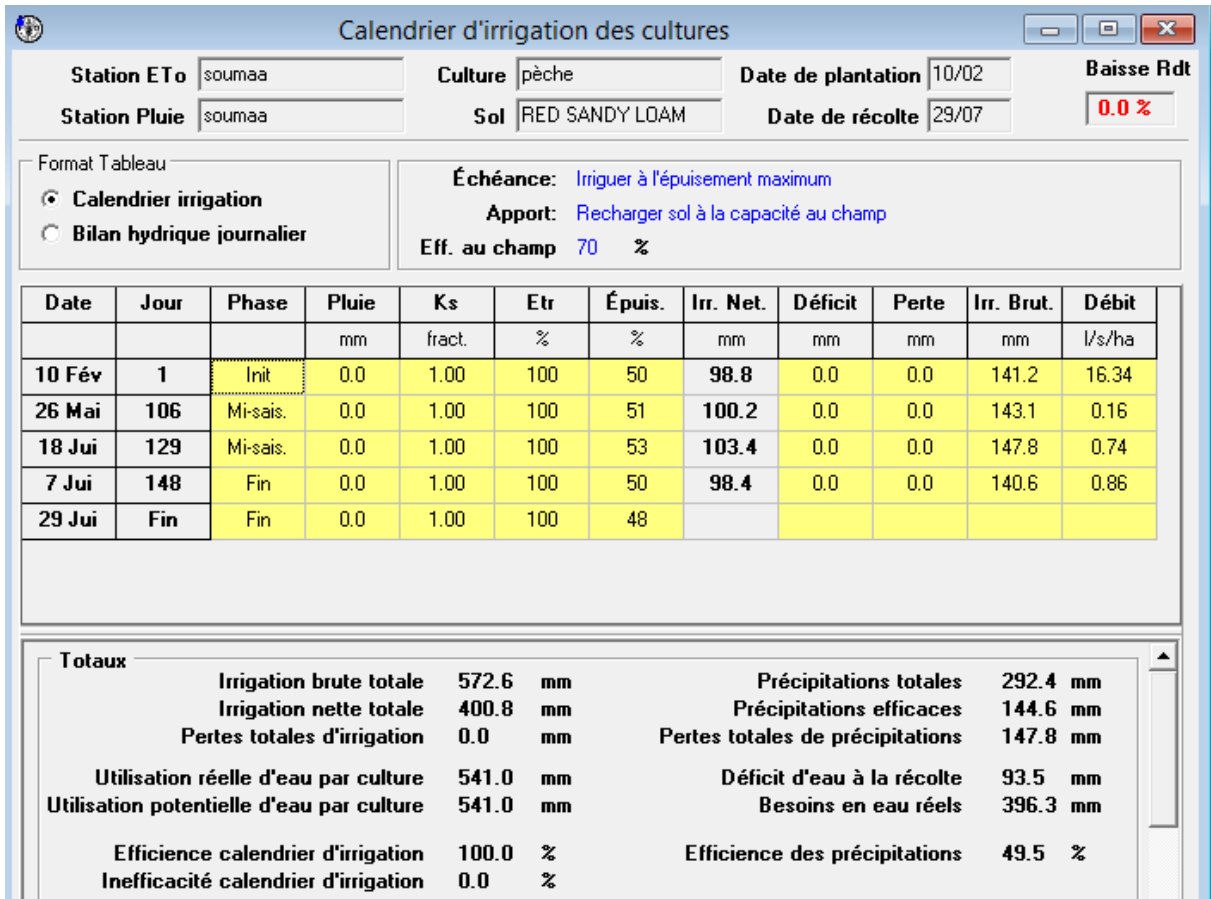
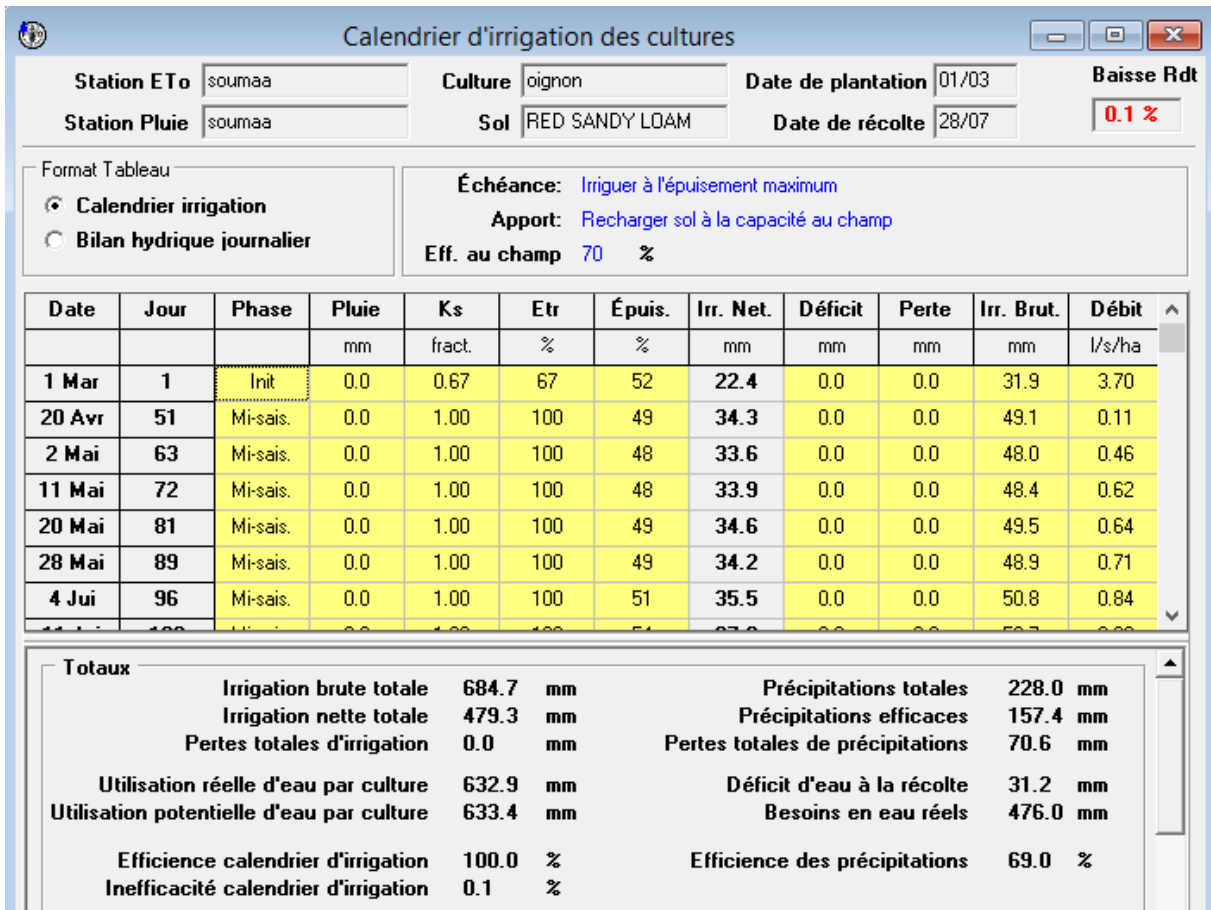
Annexe 3 : Calendriers des irrigations

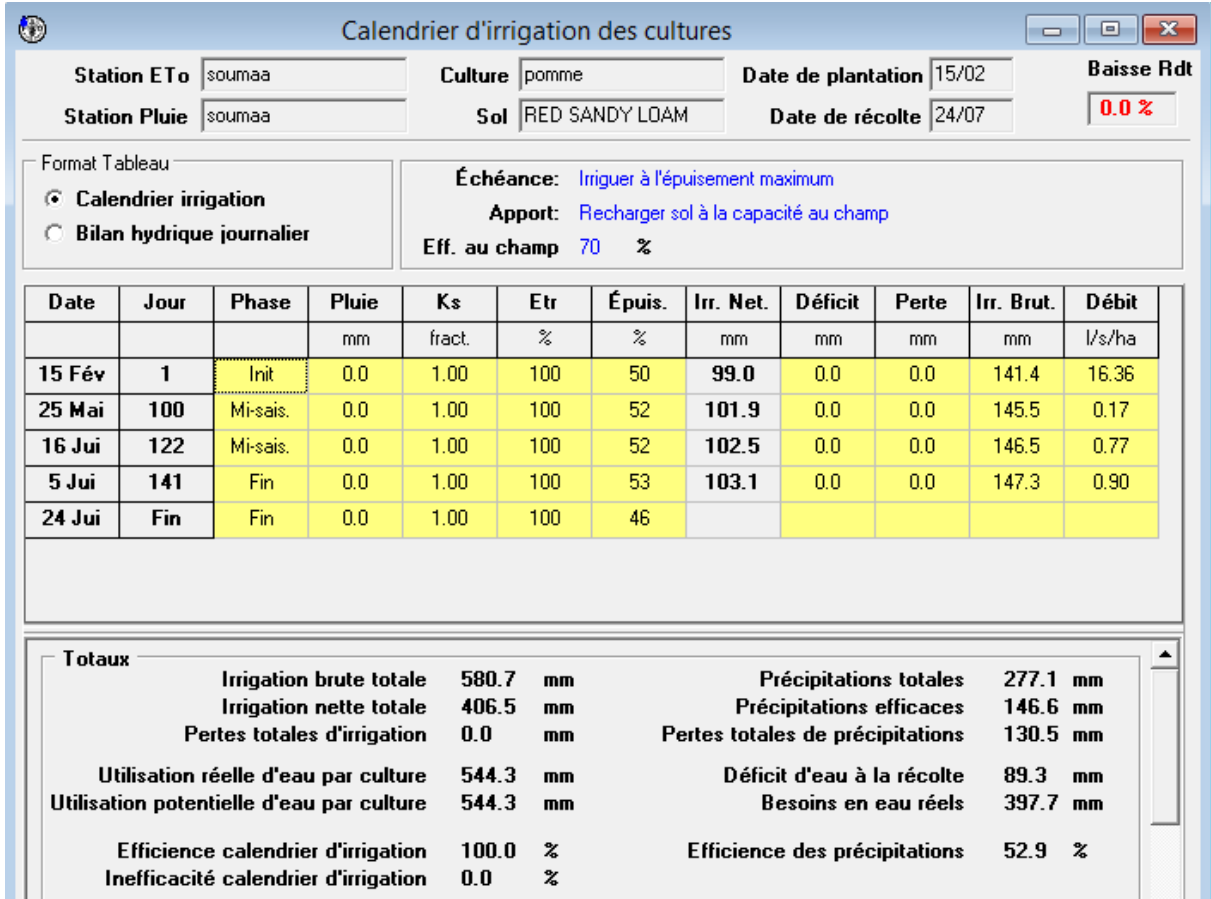
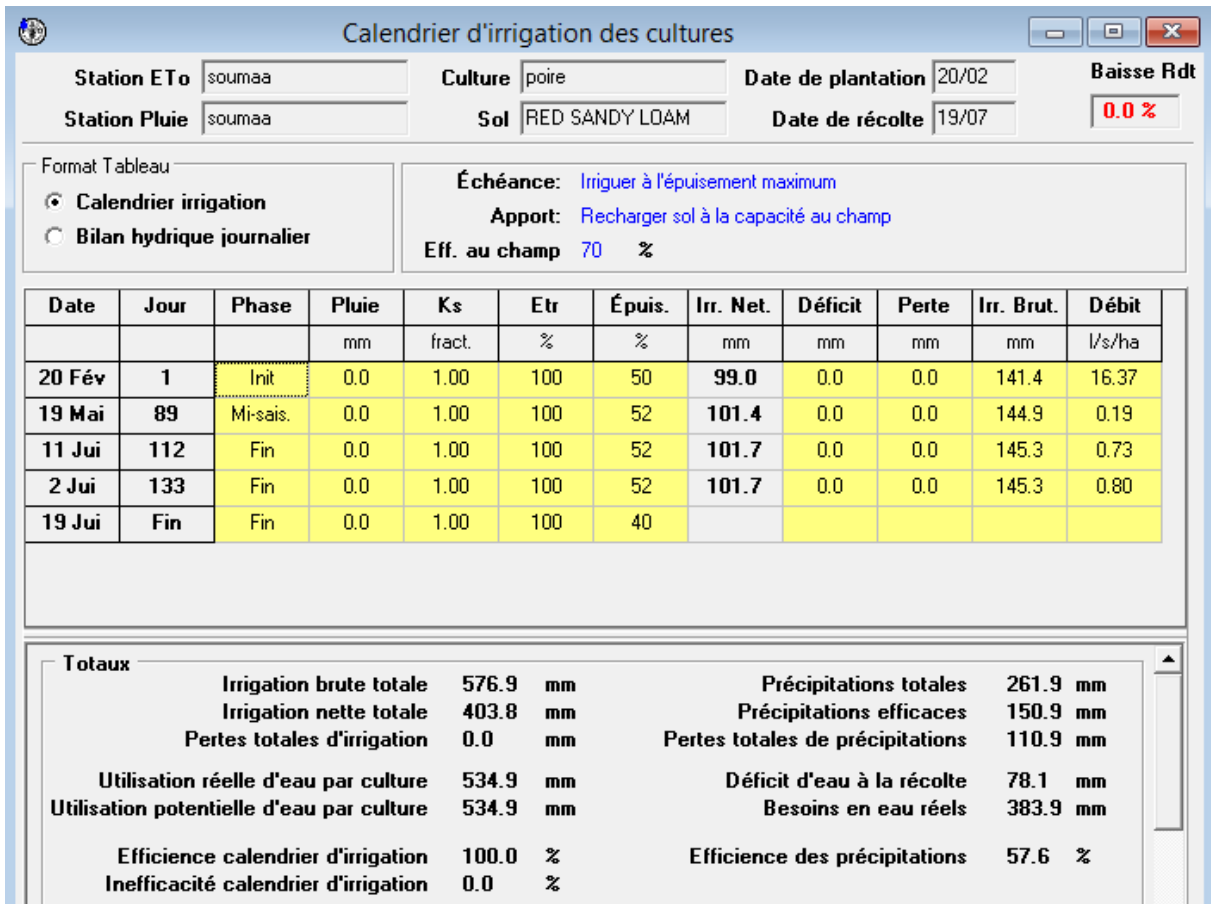
Calendrier d'irrigation des cultures											
Station E To	soumaa		Culture	CITRUS 70% ca bare		Date de plantation	28/02		Baisse Rdt		
Station Pluie	soumaa		Sol	RED SANDY LOAM		Date de récolte	27/02		0.0 %		
Format Tableau			Échéance: Irriguer à l'épuisement maximum Apport: Recharger sol à la capacité au champ Eff. au champ 70 %								
<input checked="" type="radio"/> Calendrier irrigation <input type="radio"/> Bilan hydrique journalier											
Date	Jour	Phase	Pluie	Ks	Etr	Épuis.	Irr. Net.	Déficit	Perte	Irr. Brut.	Débit
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
28 Fév	1	Init	0.0	1.00	100	51	99.3	0.0	0.0	141.9	16.42
2 Jui	95	Croiss.	0.0	1.00	100	51	100.6	0.0	0.0	143.7	0.18
2 Jui	125	Croiss.	0.0	1.00	100	51	99.6	0.0	0.0	142.3	0.55
28 Jui	151	Mi-sais.	0.0	1.00	100	51	99.2	0.0	0.0	141.7	0.63
24 Oct	239	Mi-sais.	0.0	1.00	100	50	98.1	0.0	0.0	140.1	0.18
27 Fév	Fin	Fin	0.0	1.00	0	0					
Totaux											
Irrigation brute totale			709.8	mm	Précipitations totales			749.2	mm		
Irrigation nette totale			496.9	mm	Précipitations efficaces			399.8	mm		
Pertes totales d'irrigation			0.0	mm	Pertes totales de précipitations			349.4	mm		
Utilisation réelle d'eau par culture			798.7	mm	Déficit d'eau à la récolte			0.0	mm		
Utilisation potentielle d'eau par culture			798.7	mm	Besoins en eau réels			398.9	mm		
Efficience calendrier d'irrigation			100.0	%	Efficience des précipitations			53.4	%		
Inefficience calendrier d'irrigation			0.0	%							

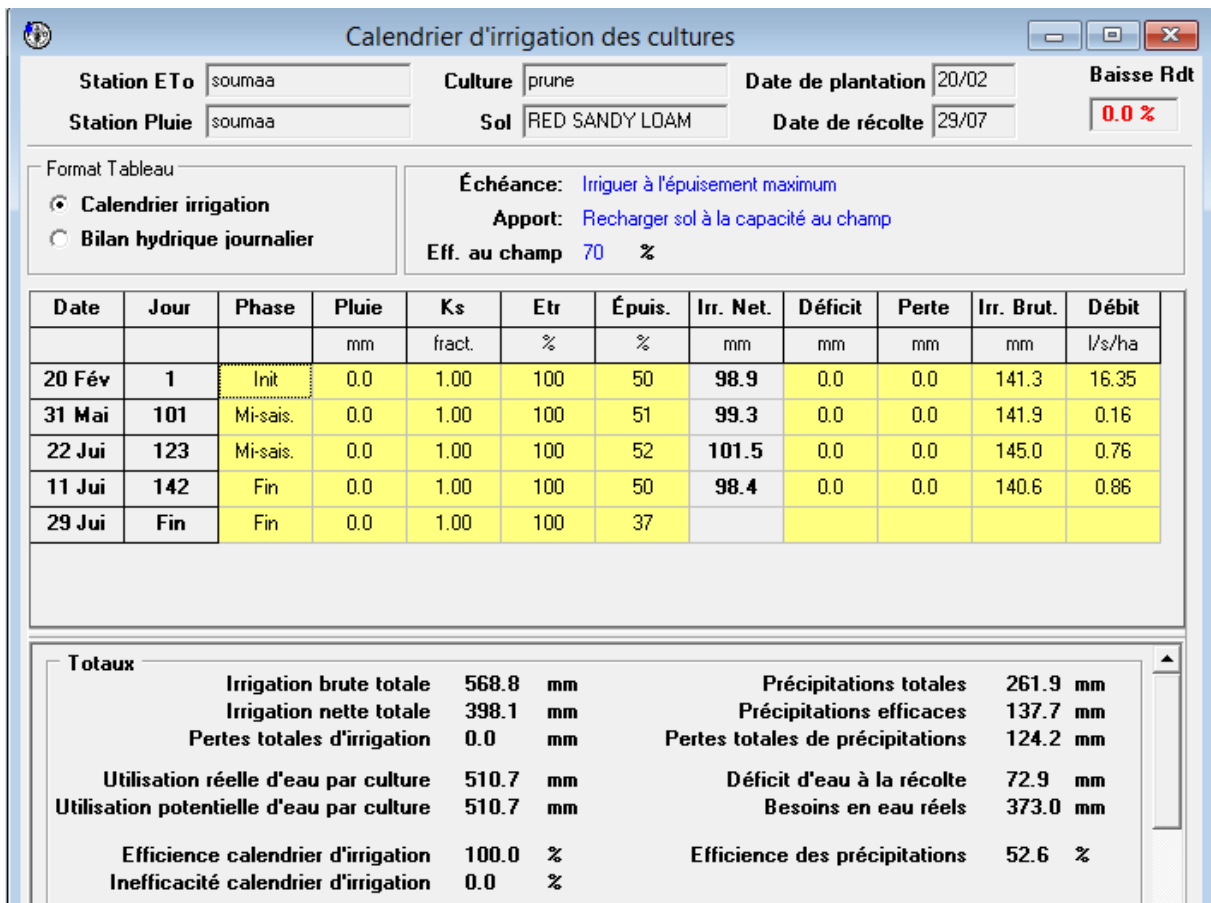












Annexe 4 : l'assolement

Nom de l'assolement

No.	Fichier Culture	Culture	Plantation date	Récolte date	Surface %
1.	...a\CROPWAT\data\crops\FAO\CITRUS.CRO	CITRUS 70% ca bare	28/02	27/02	57
2.			21/05		
3.			21/05		
4.			21/05		
5.			21/05		
6.			21/05		
7.			21/05		
8.			21/05		
9.			21/05		
10.			21/05		
11.			21/05		
12.			21/05		

