

RUPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifiques

Université Saad Dahleb Blida

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département de biotechnologie



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtenir du diplôme de Master

Filière : Science de la nature et de la vie

Domaine : Sciences Agronomique

Spécialité : Eau et Environnement

Thème

Pilotage d'irrigation par le modèle CROPWAT

(Culture des Tomates et Agrumes dans la wilaya d'Alger)

Présenté par :

Issaad Mounir

Jury

Présidente : Yahia. N. Maître de conférences (USDB)

Promoteur : Amirouche M. Doctorant (ENSA)

Examineur : Hadj Miloud. S Maître de conférences (USDB)

Examineur : Boutahraoui. Maître de conférences (USDB)

Année Universitaire 2017/2018

Dédicace

Je dédie ce travail :

À ceux qui m'ont comblé d'affection et d'amour, À ceux qui n'ont jamais cessé de se sacrifier pour mon avenir,

À ceux que je dois mon bonheur et mes joies,

À mes très chers parents.

À mes très chers grand mère.

À mes chers frères: Khireddine, Mohamed pour leurs aides, leurs encouragements et leur présence à côté de moi pendant

Toute la vie universitaire ;

À toute la famille ISSAAD et ANNEMICHE et Yekralef ;

À mes chers amis : Zaki, Abdelmonaïme, Abderahmane, Alae, Dado, Abdellah, Abdelhak, Mahi, Mounir, Ismaïle ;

À tous mes collègues de L'université Saad Dahleb -Blida et

Spécialement à ma promotion de spécialité Eau et

Environnement (2016-2018)

À ceux que j'ai oublié de citer.

ISSAAD MOUNIR

Remerciements

Au terme de ce travail, fruit de mes années de labeur, je tiens à remercier sincèrement Dieu, de m'avoir octroyé les moyens et les personnes qui m'ont aidé dans son élaboration

*Je tiens à remercier chaleureusement, Mon promoteur **M. AMIROUCHE M.** Doctorant à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique qui m'a témoigné son soutien et sa confiance et qui m'a prodigué un enseignement toujours judicieux durant toutes les phases du mémoire, qu'il trouve ici l'expression de ma sincère gratitude. Et surtout Mme. **Samadhi. D.** chercheur à l'INRA-Alger, pour avoir dirigé et guidé ce travail ; pour son soutien au cours de ma formation.*

Je remercie Mr. **Zella. L.** Professeur à l'Université de Blida. Chef d'option eau et environnement.

Mes vifs remerciement vont aussi a Mme **Yahya N.** Maitre de conférences à l'université de Blida qui ma fait l'honneur de présider le jury.

Je remercie Mr. **Hadj Miloud S.** Maitre de conférences à l'Université de Blida, d'avoir accepté d'examiner le document et faire partie du jury de soutenance.

Je remercie Mr. **Boutahraoui,** Maître de Conférences à l'Université de Blida pour avoir bien voulu juger ce travail.

Je tiens à exprimer du fond de mon cœur les reconnaissances à ma famille qui m'ont offert toujours un appui par leur soutien et leur encouragement.

Enfin je remercie toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, que ce soit par son amitié, ses conseils ou son soutien moral.

Merci à tous.

Résumé

Dans un souci d'une gestion rationnelle de l'eau d'irrigation où la connaissance des besoins en eau est indispensable pour approcher la demande et mieux l'intégrée avec l'offre dans la wilaya d'Alger. L'objectif de notre étude est de déterminer les besoins en eau de quelques cultures de la wilaya d'Alger (tomate et agrumes) et de montrer l'importance et l'utilité du logiciel Cropwat avec lequel nous avons travaillé.

Le logiciel Cropwat 8.0 est facile d'utilisation et à la portée de tous. Après introduction des données de base relatives aux données climatiques, Nous avons déterminé l'évapotranspiration, puis les besoins en eau d'irrigation pour les cultures pratiquées dans la zone en question.

Les résultats de calcul obtenus montrent que pour couvrir les besoins en eau de cultures en question (tomate et agrumes) au niveau de la wilaya d'Alger, un volume de 92949663.6 m³, soit 92.94 hm³ doit être sollicité.

Le diagnostic de la conduite des irrigations (le pilotage des irrigations) est nécessaire pour mieux maîtriser l'irrigation et pouvoir apporter des conseils pratiques.

Mots clés :

Evapotranspiration, besoins en eau, Cropwat, wilaya d'Alger, gestion rationnelle de l'eau. EUE

Summary

In a preoccupation with a rational management of the water of irrigation where the knowledge of the requirements out of water is essential to approach the request and better integrated with the offer in the wilaya of Algiers The objective of our study is to determine the requirements out of water for some cultures for wilaya de Algiers and to show the importance and the utility of the Cropwat software with which we worked.

The Cropwat software is easy to use and with the range of all. After introduction of the source data relating to the climatic data, we determined the evapotranspiration, then the requirements out of water for irrigation for the cultures practiced in the zone in question.

The computation results obtained show that to meet the requirements out of water for cultures in question on the level for the wilaya for Algiers, a volume of 92949663.6 m³, that is to say 92.94 hm³ is solicited. The diagnosis of the control of the irrigations (the piloting of the irrigations) is necessary to better control the irrigation and to be able to bring advice practical.

Keywords:

Evapotranspiration, water needs, Cropwat, Algeriers , irrigated, rational water management, WUE.

ملخص

موضوع هذا البحث هو دراسة الاحتياج المائي لسقي أهم المزروعات و طريقة قيادة سقيها في ولاية الجزائر باستعمال برنامج Cropwat 8.0، من اجل ذلك قمنا بتحديد قيمة النتح و التبخر، قصد تحديد الاحتياج المائي لسقي المزروعات (الطماطم والحمضيات) بواسطة دراسة التساقط. الهدف من هذا العمل هو التسيير العقلاني لمياه السقي وإظهار أهمية وفوائد هذا البرنامج الذي هو سهل الاستخدام وفي متناول الجميع. الفحص التشخيصي لسلوك الري أصبح ضروري من أجل تحسين إدارة الري وتقديم النصائح العملية. الكلمات المفتاحية : النتح و التبخر، الاحتياج المائي، Cropwat ، ولاية الجزائر ، المحيط المسقي، التسيير العقلاني.

Liste des tableaux

Tableau 01. La classification systématique de lycopersicum esculentum (Benton , 2008).....	3
Tableau 02. Description des différentes parties d'un plant de tomate.....	4
Tableau 3. Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate.....	6
Tableau 4. Production et rendement de la tomate en plein champ et sous serre.....	10
Tableau 5. Classification botanique des agrumes.....	11
Tableau 6. Calendrier cultural des agrumes (Benediste et Baches, 2002).....	14
Tableau 7. Les différentes méthodes d'estimations de l'ET0.....	21
Tableau 8. Paramètres de sortie de cropwat.....	30
Tableau 9. La culture des tomates et agrumes dans la wilaya d'Alger (superficies ha, production qx et le rendement qx/ha) MADR, 2016.....	34
Tableau 10. Répartition générale des terres agricoles (Campagne agricole 2004/2005).....	34
Tableau 11. Les barrages de la région d'Alger et le volume en m ³	36
Tableau 13. Synthèses des données liées aux cultures(FAO).....	42
Tableau 14. Les données liées au sol argileux-limoneux.....	43
Tableau 15. Les besoins en eau des cultures en question.....	54
Tableau 16. Résultats de calcul les besoins en eau des cultures en question.....	57
Tableau 17. Résultats du cropwat (année déficitaire 2001-2002).....	58
Tableau 18. bilan hydrique annuel des cultures tomate et agrumes (année excédentaire, 2013-2014).....	59

Tableau 19. Les besoins en eau totaux des cultures (tomates et agrumes) dans la wilaya d'Alger (2001/2002).....	61
Tableau 20. Les besoins en eau totaux des cultures (tomates et agrumes) dans la wilaya d'Alger (2013/2014).....	62
Le tableau 21. Résultats de calcul l'efficience théorique.....	63

Liste des figures

Figure 01. La variation de la production mondiale de tomate en 2016 (FAO ,2016).....	8
Figure 02. Courbe d'évolution la production et le rendement de tomate en Algérie (2000-2014), MADR ,2015.....	9
Figure 03. Courbe d'évolution de la production et rendement des agrumes en Algérie (2000-2014), MADR, 2015.....	16
Figure 04. Courbe de coefficients culturaux et définition des phases (Doorenbos et Pruit, 1975).....	20
Figure 05. Effet de la texture du sol sur la teneur en eau du sol et le potentiel hydrique	22
Figure 06. Flux hydrique et paramètre prise en compte par le programme CROPWAT	29
Figure 07. Situation géographique de la wilaya d'Alger (Lammari et al, 2010).....	32
Figure 08. Carte géographie de la wilaya d'Alger (source : Google Earth).....	33
Figure 09. La précipitation moyenne mensuelle de la wilaya d'Alger en (mm).....	37
Figure 10. Les températures moyennes mensuelles de la wilaya d'Alger en (C°).....	37
Figure 11. Vitesse moyenne mensuelle du vent de la région d'Alger.....	38
Figure 12. L'humidité moyenne mensuelle de la région d'Alger.....	38
Figure 13. L'insolation moyenne mensuelle de la région d'Alger.....	39
Figure 14. Données climatiques chargées dans le logiciel Cropwat.....	41
Figure 15. Données de précipitations chargées dans le logiciel Cropwat 8.0.....	41
Figure 16. Données culturales chargées dans le logiciel Cropwat 8.0.....	42
Figure 17. Données de sol chargées dans le logiciel Cropwat 8.0.....	44
Figure 18 : Répartition des précipitations moyennes annuelles spatiale, période (1995-2017).....	47
Figure 19 : Répartition des précipitations moyennes annuelles dans la wilaya d'Alger, période (1995 -2017).....	48

Figure 20 : Répartition des précipitations moyennes mensuelle dans la wilaya d'Alger, période (1995 -2017).....	49
Figure 21. Variation de l'évapotranspiration de référence moyenne annuelle, période (1995-2017).....	50
Figure 22. Répartition de l'évapotranspiration mensuelle de la wilaya d'Alger (1995-2017).....	51
Figure 23. Evolution de l'évapotranspiration et la température moyenne, période (1995-2017).....	51
Figure 24. L'évolution la pluie efficace et la pluie moyenne mensuelle (1995-2017)....	52
Figure 25. Variation de la pluie efficace par rapport à la pluie brute.....	53
Figure 26. Bilan hydrique de la wilaya d'Alger pour l'année déficitaire (2001/2002), et l'année excédentaire (2013/2014).....	60

Liste des abréviations

ANRH	Agence nationale des ressources hydriques
BEE	Besoins en eau.
Croiss:	Croissance.
ET_C :	Evapotranspiration de la culture
ETM :	Evapotranspiration maximale
ET0:	Evapotranspiration de référence
H% :	Taux d'humidité du sol.
K_C :	Coefficient cultural.
Ks :	Coefficient de stress hydrique.
EUE :	Efficienc e d'utilisation d'eau
FAO:	Food and agriculture organisation.
FAOSTAT :	Food and agriculture organisation statistic.
Fig :	Figure
Irr brut:	Irrigation brute
Irr net :	Irrigation nette
INRAA :	Institut national de recherche agronomique.
arri-sais. :	Arrière saison,
BI :	Besoin d'irrigation,
Dec :	Décade.
dév. :	Développement,
DSA :	Direction des services agricoles,
Ha :	Hectare

Hm³ :	Heptamètre cube
HR :	Humidité relative
Init. :	Initial,
Ins. :	Insolation,
Irr. :	Irrigation,
ITCMI :	Institut technique des cultures maraîchères et industrielles,
MADR :	Ministère de l'agriculture et du développement rural
mi-sais :	mi-saison
mm :	Millimètre
Moy. :	Moyenne
ONID :	Organisme national d'irrigation et de drainage,
P :	Pluviométrie
PA :	Pluie annuelle.
Peff :	Pluie efficace.
RFU :	Réserve facilement utilisable.
RU :	Réserve utile
SAT :	Surface agricole totale
SAU :	Surface agricole utile
Sup. :	Superficie
T :	Température,
t :	Tonne.
V :	Vitesse de vent

SOMMAIRE

Introduction générale	1
-----------------------------	---

PARTIE I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la culture de Tomate et Agrume.

1. Données générales sur la culture de tomate.....	3
1.1. Origine et historique.....	3
1.2. Classification et description botanique.....	3
1.4. Cycle de développement.....	4
1.5. Exigences culturales.....	6
1.5.1. Exigences pédoclimatiques.....	6
1.5.1.1. Température et Lumière.....	6
1.5.1.2. Eau et humidité.....	6
1.5.1.3. Sol.....	5
1.5.2. Exigences pédoclimatiques.....	7
1.6. Situation et importance économique.....	7
1.6.1. Dans le monde.....	7
1.6.2. En Algérie.....	8
1.6.2.1. Zones de production de la culture	8
1.6.2.2. Production, superficie et rendement.....	9
1.7. Problèmes phytosanitaires.....	10
2. Données générales sur la culture des agrumes.....	10
2.1. Origine et historique.....	10

2.2. Classification et description botanique	10
2.3. Exigences culturelles.....	11
2.3.1. Exigences pédoclimatiques.....	11
2.3.2. Choix du site de plantation	12
2.4. Efficience de l'irrigation	12
2.4.1. Définition.....	12
2.4.2 Efficience de l'irrigation gravitaire.....	13
2.4.3 Efficacité technique d'utilisation de l'eau.....	13
2.4.4 Efficience économique de l'utilisation d'eau	13
2.4.5. Efficience agronomique (le rendement est l'utilisation des sources naturelles)	13
2.5. Calendrier cultural	13
2.6. Rendement	15
2.6.1. Dans le monde	15
2.6.2. En Algérie.....	15
2.6.3. Dans la wilaya d'Alger	16

Chapitre 02 : La détermination des besoins en eau des cultures

1. La détermination des besoins en eau des cultures.....	17
1.1. Pourquoi déterminer les besoins en eau des cultures ?.....	17
1.2. Comment déterminer les besoins en eau des cultures ?.....	17
1.2.1. Besoin en eau d'irrigation.....	17
1.2.2. Besoin en eau de culture (ETm).....	18
1.2.3. Evapotranspiration.....	18
1.2.3.1. Les différents aspects théoriques de l'évapotranspiration.....	18

1.2.4. Choix du coefficient cultural.....	19
1.2.5. Les méthodes d'estimation de l'ET0.....	21

Chapitre 03 : pilotage d'irrigation

1. Méthodes et matériel pour le pilotage de l'irrigation	23
1.1. Mesure de l'état hydrique du sol	23
1.2. Mesure de la teneur en eau du sol	24
1.3. Mesure de l'état hydrique des plantes	25
2. L'opération de pilotage d'irrigation.....	25
2.1. Choix de la date d'irrigation.....	26
2.2. Choix de la dose et de la fréquence d'irrigation.....	26
2.3. Choix de mode d'irrigation.....	26
2.4. Outils de pilotage.....	26

Chapitre 04 : Modèle Cropwat

1. Définition du modèle.....	27
2. Etapes de l'élaboration du modèle	27
3. Les types de modèles.....	28
4. Le logiciel cropwat 8.0.....	28
5. Paramétrage du modèle	29
6. Données météorologiques, culturales et pédologiques	29
7. Les paramètres de sortie du programme.....	30
8. Avantages	30
9. Limitations.....	31

PARTIE II : Matériel et Méthode

1. Situation et limite de la région d'étude	32
2. choix de la culture.....	33
2.1. Les productions agricoles.....	33
2.2. Répartition générale des terres agricoles.....	34
3. Les données édaphiques.....	34
3.1. Le sol.....	34
3.2. Le relief.....	34
2.3. Ressources hydriques.....	35
3.3. Qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	36
4. Données climatiques	36
4.1. Pluviométrie.....	37
4.2. Température.....	37
4.3. Le vent	38
4.4. Humidité.....	38
4.5. L'insolation	39
4.6. Evapotranspiration.....	39
5. Méthode évaluation de cropwat.....	39
5.1. Le logiciel cropwat 8.0.....	39
5.2. Evaluation des besoins en eau des cultures.....	40
5.2.1. Les données climatiques.....	40
5.2.2. La station météorologique.....	40

5.2.3. Utilisation du cropwat dans le calcul de	
L'évapotranspiration de référence (ET ₀).....	41
5.3. Utilisation du Cropwat dans le calcul de la pluie utile.....	41
5.3.1. Données liées à la culture.....	41
5.3.3. Utilisation du Cropwat pour l'extraction des coefficients culturaux.....	42
5.3.4. Données liées au sol.....	42
5.4. Utilisation du Cropwat dans le traitement des données liées au sol.....	44
5.5. Calcul des besoins totaux en eau.....	44
5.7. Calcul d'ET ₀	44
5.8. Calcul pluies efficace.....	45
5.9. Calculer l'ET _m	45
5.10. Calculer irrigation requise.....	46
5.11. Calcul de l'évapotranspiration réelle de la culture ET _c	46

PARTIE III : Résultats et discussions

1. Répartition des précipitations moyennes annuelles à l'échelle spatiale	47
2. Répartition des précipitations annuelles à l'échelle temporelle	47
2.1. Répartition des pluies par décennie	47
3. Répartition des précipitations mensuelle à l'échelle temporelle	49
4. Détermination l'année excédentaire et déficitaire dans les deux décennies	50
5. Calcul de l'évapotranspiration ET ₀	50
6. Relation entre l'évapotranspiration et la température moyenne	51

7. Calcul de la pluie efficace	52
8. Evaluation des besoins en eau des cultures (tomates et agrumes)	54
9. Calcul des besoins en eau d'irrigation	55
10. Pilotage des irrigations	58
11. Evaluation des besoins en eau à l'échelle de la wilaya d'Alger	61
11.1. Calcul des besoins en eau des cultures.....	61
11.2. Les superficies des cultures pratiquées	61
12. Calcul de l'efficience théorique d'utilisation de l'eau.....	63
Conclusion générale	64
Références bibliographiques	65
Résumé	

Références bibliographiques

Agustin M. ,1965. Premier cours national post gradue sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques. IICA. 159p.

Allen, R. et al (1998). Crop évapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements », FAO irrigation and drainage paper, (6), pp.297.

Anonymes (2006). Situation de l'agriculture de la wilaya d'Alger, rapport du conseil de la wilaya d'Alger.

Benediste A. et Biches m. (2002). Agrumes. Ed. Ugen Ulmer, PARIS, n° 132, 96 p

Benton J., (2007). Tomato plant culture: In the field, Greenhouse and home garden. 2nd Edition CRS Press, Londre, 399p.

Benton J. (2008). Tomato plant culture: In the field, Greenhouse, and home garden, deusièmeédition. Edition: Taylor et Francis Group. New York. 399p.

Blancard D., (2009). Les maladies de la tomate : identifier connaître et maîtriser. Ed. Quae, Paris. 691 p.

Bittelli, M., (2011). Measuring soil water content: A review. HortTechnology 21, 293-300.

Chaoui W., Mouhouche M. (2006). Détermination des besoins en eau des cultures irriguées de la wilaya de Blida à l'aide du logiciel Cropwat 8.0. Cas du périmètre de la Mitidja Ouest. Mém. ding. INA, EL HARRACH (Alger).

Chaux C., Foury C., (1994). Productions légumières. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruits. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. Pp 145-231.

Corbineau F., Core A., 2006. Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. 226 p.

Corbineau F., Core A., 2006. Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. 226 p.

Doorenbos J., Kassam A.H. 1979. Réponse des rendements à l'eau, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage 33, Rome.

Doorenbos J., Pruitt W. O. 1975. Les besoins en eau des cultures, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage 24, Rome.

Dobriyal, P., Qureshi, A., Badola, R., Hussain, S.,(2012). A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. *Journal of Hydrology* 458–459, 110-117.

DSA d'Alger (2004). Monographie de la wilaya d'Alger.

Dukes, M.D., Zotarelli, L., Morgan, K.T., 2010. Use of irrigation technologies for vegetable crops in florida. *HortTechnology* 20, 133-142.

Elattir H., (2003) : Fiches techniques V : La tomate, l'aubergine, le poivron, le gombo. Plan National de Transfert de Technologie.

Filali F. (2003). Bilan hydrique à la parcelle, Thèse de magistère, INA, EL HARRACH (Alger).

FAO (2002). Eau et agriculture : produire plus avec moins d'eau, Rome.

FAO, (2016). Statistiques Agricoles de la FAO.

FAO, 2013. Statistiques Agricoles de la FAO.

FAOStat, (2016).production des agrumes et tomates.

FAOStat, 2012.production des agrumes et tomates.

Gallais A., Bannerot H., (1992). Amélioration des espèces végétales cultivés objectif et critères de sélection. INRA, Paris.765p.

Gaudu, J.C., Mathieu, J.M., Fumanal, J.C., Bruckler, L., Chanzy, A., Bertuzzi, P., Stengel, P., Guennelon, R., Others, 1993. Mesure de l'humidité des sols par une méthode capacitive: Analyse des facteurs influençant la mesure. *Agronomie* 13, 57-73.

Hanson, B et Al , 2000a. Effectiveness of tensiometers and electrical resistance sensors varies with soil conditions. *California Agriculture* 54, 47-50.

Hanson, B.R., Orloff, S., Peters, D.,(2000b). Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. *California Agriculture* 54, 38-42.

Intrigliolo, D.S., Castel, J.R.,2004. Continuous measurement of plant and soil water status for irrigation scheduling in plum. *Irrig Sci* 23, 93-102.

Kolev N., (1976). Les cultures maraîchères en Algérie. Tome I: Legumes fruits. Edition FAO, 107p.

Kassam A., Smith M. 2001. FAO methodologies on crop water use and crop water productivity, Expert meeting on crop water productivity, 3 to 5 December, Paper CWR-M7, Rome.

Loucif N., 2002. Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en Algérie, Conférence internationale sur les politiques d'irrigation, INRAA.

Loussert Raymond, 1985. Les agrumes (production). Techniques agricoles méditerranéenne. 120p.

Louhichi K., 1999. Amélioration de l'efficacité de l'irrigation pour une économie d'eau : cas d'un périmètre irrigué en Tunisie. CIHEAM-IAMM, Tunisie. 59p

MADR., (2016). Ministère de l'agriculture et de développement rural. Service statistiques.

Mermoud M, Musy M, Soutter M, (2007). Ingénierie des eaux et du sol, processus et aménagements. Presses polytechniques et universitaires romandes. 294p

Mouhouche B., 2003. Polycopie de cours d'irrigation, INA, EL HARRACH (Alger).

Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural (2005-2016). Les statistiques agricoles : de productions et superficies « Série B ».

Naika A., 2005. La culture de la tomate - production, transformation et commercialisation- Ed. Fondation Agromisa et CTA. 105 p.

Ollier CH., Poirée M. 1983. Irrigation : les réseaux d'irrigation théorique, technique et économie des arrosages, (6^{ème} édition), Eyrolles, Paris.

Pesson P., Louveaux J., 1984. Pollinisation et production végétales. Ed. INRA. 663p.

Philouze J., Hedde L., 1993. La tomate in : Méthodes traditionnelles de sélection des plantes : un aperçu historique destiné à servir de référence pour l'évolution du rôle de la biotechnologie moderne. Ed. OCDE. Paris. Pp 95-104.

Pierre Nyabyenda, 2006. Les plantes cultivées en région tropicales d'altitude d'Afrique. CTA. 233p.

Polese J-M., 2007. La culture des tomates. Edition : Artémis. chine.95p.

Praloran C., 1971. Les agrumes. Ed. editeur 8348, Paris, n° 5, p. 25.

Ravisé A., Raynal G., Durand M.C., 2000. Modalités de l'obtention des nécroses bloquantes sur feuilles détachées de Tomate par l'action du tris-Q-éthyl phosphonate d'aluminium (phoséthyl d'aluminium), hypothèses sur son mode d'action in vivo, 18e colloque, Ann. Phytopathol. 15p.

Rey Y., Costes C., 1965. La physiologie de la tomate, étude bibliographique. INRA.111P.

Toussaint A., Baudoin J.P., 2010. La biodiversité chez la tomate, stratégie de conservation et valorisation de la collection « Luc Fichot », Gembloux Agro Tech. 105p.

Virbel et Alonso C., 2011. Citron et autres agrumes. Ed. Groupe Eyrolles, 15 p.

Vote, C et al., 2015. « A comparison of three empirical models for assessing cropping options in a data-sparse environment, with reference to Laos and Cambodia », ACIAR Technical Reports, No. 87: 30 pp.

Veschambre D., Vaysse P. 1980. Mémento goutte à goutte : guide pratique de la micro-irrigation par goutteur et diffuseur, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (Ctifl), Paris.

Zazueta, F.S., Xin, J., 1994. Soil moisture sensors. Soil Science 73, 391-401.

Zella, L, (2010).Micro- Irrigation Théorie et Application (O.P.U) ,87-91 pp.

Zella, L, (2015). Irrigation Eau, Sol et Plante (O.P.U), 214-221pp.

Référence d'internet

- <file:///F:/agrumes/Oranger%20%20%20Plantation,%20entretien%20et%20r%C3%A9colte%20de%20l'agrume%20en%20milieu%20agricole%20-%20C3%A9ric%20Zella%20-%202010.pdf>
- <file:///F:/agrumes/Oranger%20%20%20Plantation,%20entretien%20et%20r%C3%A9colte%20de%20l'agrume%20en%20milieu%20agricole%20-%20C3%A9ric%20Zella%20-%202010.pdf>
- file:///F:/agrumes/oranger-agrumes-arbre01.htm
- file:///J:/la_mineuse_wikipedia/35078.htm
- file:///J:/la_mineuse_wikipedia/Mineuse%20de%20l'agrume%20Fr%C3%A9s%20-%20C3%A9ric%20Zella%20-%202010.pdf
- file:///J:/la_mineuse_wikipedia/Pheromone%20contre%20mineuse%20agrumes%20-%20C3%A9ric%20Zella%20-%202010.pdf
- file:///J:/la_mineuse_wikipedia/Ravageurs%20des%20agrumes%20-%20C3%A9ric%20Zella%20-%202010.pdf

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 (Louhichi, 1999).

L'Algérie comme les pays méditerranéens est confrontée de plus en plus au problème du manque d'eau. D'après la Banque Mondiale, l'Algérie se classe parmi les pays les plus pauvres en potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté qu'elle a fixé à 1 000 m³ par habitant et par an. Ces potentialités correspondent actuellement à un taux de 500 m³/ hab/ an qui passera à 400 m³ / hab / an à l'horizon 2020. (Mouhouche, 2003).

L'agriculture, et notamment l'agriculture irriguée est considérée comme un secteur fort consommateur d'eau. De ce fait, l'utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation nécessite la connaissance des besoins en eau de la culture à chaque stade de développement précis et bien déterminé. Une production maximale ne peut être satisfaite que s'il existe une concordance entre les besoins de la culture et les quantités d'eau qui lui sont administrées pendant les différentes phases de développement (Doorenbos et al, 1980).

Actuellement une gestion moderne tend vers l'approche par la demande : révision des allocations de ressources, recherche d'une meilleure efficacité de l'irrigation suivant la recommandation de la FAO (2002) pour l'irrigation « se servir plus et mieux de l'eau pour en prendre moins » ; et en reconnaît que les pays souffrant du manque d'eau, comme ceux affectés par la surabondance de cette ressource, ont besoin d'informations sur l'eau plus complètes, plus précises et mieux intégrées aux fins de la planification, de la mise en œuvre et de la gestion d'une agriculture plus productive et durable.

Notre travail s'inscrit dans cette optique, qui vise à déterminer les besoins en eau des cultures et leurs pilotages à l'aide du logiciel (CROPWAT 8.0).

La wilaya d'Alger qui présente des potentialités agricoles importantes, et dont fait partie le périmètre de la Mitidja Ouest a fait l'objet de notre étude.

Nous suivrons dans la suite de ce mémoire le plan de travail suivant qui comporte une introduction générale plus trois grandes parties accompagnées d'une conclusion générale.

Introduction générale

L'introduction générale qui résume les raisons qui nous ont incités à effectuer ce travail.

1 ère partie : Etude bibliographique, dans cette partie nous donnerons les différentes caractéristiques des cultures étudiées (tomates et agrumes), ensuite nous abordons les généralités sur les besoins en eau cultures et leur pilotage d'irrigation.

2ème partie : Matériel et méthode, où nous donnons en détail, ensuite traite quelques notions en relation avec notre sujet a savoir les méthodes de calculs des besoins en eau, les critères de pilotage d'irrigation, et une brève présentation du logiciel « Cropwat 8.0 », présente les données utilisées concernant le calcul de besoins (données climatique, les données liées aux cultures et au sol), ainsi que l'étude fréquentielle des pluies. Vient après la présentation des résultats obtenus dans la wilaya et le périmètre,

3ème partie : Elle traitera les principaux résultats de l'étude ainsi que leurs discussions.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale dans laquelle nous mettrons en évidence les résultats qui nous paraîtront les plus déterminants par rapport aux objectifs fixés.

Chapitre 01. Les cultures (Tomates et Agrumes)

1. Données générales sur la culture de tomate

1.1. Origine et historique

La tomate est originaire des régions andines côtières du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud Colombie, Equateur, Pérou et Nord du Chili. Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe en 1544. De là, sa culture s'est propagée en Asie du Sud et de l'Est, en Afrique et en Moyen Orient (Naika, 2005). Considérée pendant longtemps comme une plante ornementale et toxique, ce n'est qu'au 18^{ème} siècle que la tomate a commencé à être consommée. Depuis cette époque, elle a connu un développement considérable, et cela dans tous les pays du monde (Philouze, 1999). En Algérie, elle fut cultivée pour la première fois près d'Oran, puis elle s'est étendue aux autres régions d'Algérie (Kolev, 1976).

1.2. Classification et description botanique

La tomate est connue sous le nom scientifique de *Lycopersicon esculentum* Mill., la tomate appartient à la famille des solanacées (Naika, 2005). La tomate est une plante annuelle, poilue aux tiges plutôt grimpante. Cette plante potagère herbacée voit sa taille varier de 40 cm à plus de 5 mètre selon les variétés et le mode de culture (Toussaint et Baudoin, 2010). La description botanique des différentes parties du plant de tomate sont indiquées dans le tableau (01) (Naika, 2005 ; Chaux et Fourry, 1994 et Polese, 2007).

Tableau 01. La classification systématique de *lycoperiscum esculentum* (Benton , 2008)

Règne	Plantae
Sous- règne	Tracheobionia
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous- class	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanacées
Genre	<i>Lycopersicum</i>
Espèces	<i>Lycopersicum esculentum</i>

Tableau 02. Description des différentes parties d'un plant de tomate

Partie de la plante	Description
Racine	Le système racinaire est puissant, très ramifié et a tendance fasciculé et qui peuvent atteindre 50 cm de profondeur.
Tige	Le port de croissance varie entre érigé et prostré. La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire
Feuillage	Feuilles disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs
Fleur	Bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre, la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu.
Fruit	Est une baie charnue a placentation centrale, coloration très diverses selon les variétés .En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large.
Graine	L'embryon est enroulé dans l'albumen.

Source : Chiad, 2013

1.4. Cycle de développement

D'après Gallais et Bannerot (1992), le cycle végétatif complet de la culture de tomate varie selon les variétés, l'époque de culture et les conditions de culture et s'étend fréquemment de 3 à 4 mois à partir du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit). Le cycle comprend six phases qui sont les suivantes :

- **La germination**

C'est le stade levé qui mène la graine jusqu'à la jeune plante (Corbineau et Core, 2006). La germination chez la tomate est épigée, une température ambiante de 20°C et une humidité relative de 70 à 80 % sont indispensables (Chaux et Foury, 1994). Les graines de tomate germent mieux à l'obscurité qu'à la lumière (Benton, 2007).

- **La croissance végétative**

La croissance de plant de tomate se déroule en deux phases et en deux stades de culture différents (Gallais et Bannerot, 1992):

- **En pépinière**

De la levée jusqu'au stade six feuilles, on marque l'apparition des racines non fonctionnelles et des pré-feuilles.

- **En plein champ**

Après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines fonctionnelles, les plantes continuent leur croissance. La tige s'épaissit et augmente son nombre de feuilles.

- ❖ **La floraison**

C'est le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif à l'état reproducteur. Cette phase dépend de la photopériode, de la température et les besoins en éléments nutritifs (Benton, 2007).

- ❖ **Pollinisation**

Ce stade nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon, qui est capable de faire vibrer les anthères et libérer le pollen (Chaux et Foury, 1994). La libération et la fixation du pollen reste sous la dépendance des facteurs climatiques. Si la température nocturne est inférieure à 13°C, la plupart des graines de pollen seraient vides. Ainsi, une faible humidité dessèche les stigmates et il en résulte la difficulté du dépôt du pollen (Pesson et Louveaux, 1984).

- ❖ **Fructification et nouaison des fleurs**

Ce stade représente l'ensemble des phénomènes de la gamétogenèse, en partant de la pollinisation, la croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules jusqu'au développement des fruits (Rey et Costes, 1965).

- ❖ **Maturation des fruits**

La maturation se manifeste par un grossissement du fruit et un changement de coloration, du vert au rouge, grâce à la synthèse active de la matière organique assurée par la

photosynthèse. Pour cela il faut une température nocturne de 18°C et 27°C le jour (Benton, 2007).

1.5. Exigences culturales

1.5.1. Exigences pédoclimatiques

1.5.1.1. Température et lumière

La culture de tomate est considérée comme une culture de saison chaude, qui exige un climat frais et sec (Elattir et al, 2003). Selon Naika (2005), la température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C. En-dessous de 10°C et au-dessus de 38°C, les tissus de la plante seront endommagés. La tomate est une culture neutre à la photopériode, mais exigeante en énergie lumineuse, notamment pour l'initiation florale (Philouze et Hedde, 1993).

Tableau 3. Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate.

Phase	Tmin (°C)	Intervalle optimale	Tmax(°C)
Germination des granes	11	16-29	34
Croissance des semis	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-24	30
Développement de la couleur rouge	10	20-24	30

FAO, 2002

1.5.1.2. Eau et humidité

L'alimentation hydrique est un facteur important du rendement et de qualité, entre autres du calibre. La tomate est gourmande en eau et une alimentation irrégulière entraîne une irrégularité du point de vue de l'apport en calcium et entraîne donc la nécrose apicale. Les besoins hydriques sont surtout importants à partir de la floraison du deuxième bouquet (Toussaint et Baudoin, 2010).

1.5.1.3. Sol

La tomate pousse bien sur la plupart des sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau et une bonne aération (Naika, 2005). La teneur en matière organique du sol doit être assez élevée (2-3%) pour obtenir de bons rendements (Elattir et al, 2003). La tomate est une culture modérément tolérante à une grande variation de pH, un pH de 6.5 à 7.0 est favorable (Ravisé et al, 2000). En revanche, cette culture est considérée comme sensible à la salinité (Benton, 2007).

1.5.1.4. Le PH

L'espèce est très tolérante à l'égard du PH, le meilleur équilibre nutritionnel étant assuré entre 6.0 et 7.0 (Letard, 1995)

1.5.1.5. La salinité

La culture de la tomate tolère une conductivité électrique (CE) de l'ordre de 3 à 4.5 mmhos /cm. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit. Donc elle doit être maintenue entre 1 et 2 mmhos/cm à 25°C en fonction du stade de la culture à saison (Skiredj, 2006).

1.5.2. Exigences en fertilisants

Afin d'obtenir des rendements élevés, la tomate a besoin de fertilisants. Il existe deux groupes d'engrais qui permettent d'apporter des éléments nutritifs : les fumiers organiques et les fertilisants chimiques (12% de N (azote), 24% de P (phosphore) et 12% de K (potassium)) (Naika, 2005).

1.6. Situation et importance économique

1.6.1. Dans le monde

La tomate est l'une des principales productions légumières dans le monde, et particulièrement dans les pays tropicaux et les pays du bassin méditerranéen, elle est cultivée dans plus de 130 pays sur une surface avoisinante 2,5 millions ha (Blancard, 2009). La production mondiale est estimée à 177 042 000 de tonnes en 2016 cultivé sur une surface d'environ 4,78 millions Ha (FAO, 2016).

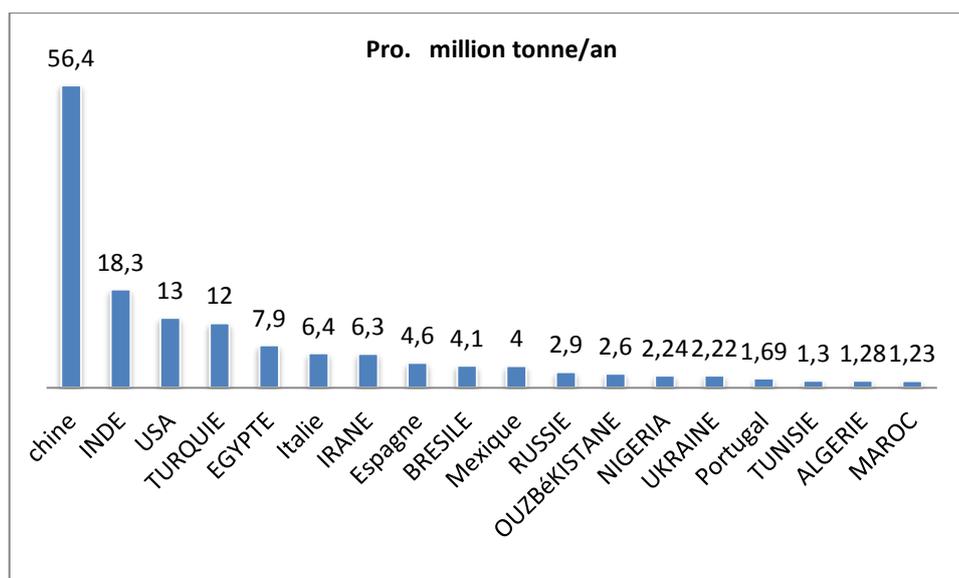


Figure 01. La variation de la production mondiale de tomate en 2016 (FAO ,2016)

1.6.1. En Algérie

1.6.1.1. Zones de production de la culture

Selon le MADR (2013), la tomate est cultivée sur tout le territoire national, y compris les oasis du sud du pays, en particulier la wilaya de Biskra qui produit presque la moitié de la production maraîchère algérienne, avec 100 000 serres agricoles pour une production qui a atteint 2,8 millions de quintaux en 2012. Sinon on distingue quatre zones de production de tomate en Algérie :

- **Zone Est**

Elle représente 84 % des superficies et regroupe les wilayat de Skikda, El-Taref, Annaba, Guelma, et Jijel. Cette zone est caractérisée par une bonne pluviométrie et possède des sols à forte capacité de rétention d'eau, la culture de tomate se pratique en sec et semi irrigué, avec une production d'environ 90% de la production nationale.

- **Zone Centre**

Représente 12 % des superficies et regroupe les wilayat de Blida, Alger, Boumerdes, Béjaïa, Chlef, Tipaza et Ain Defla.

- **Zone Ouest**

Cette zone regroupe les wilayat de Rélizane, Mostaganem, Mascara, Sidi-Bel-Abbès et Tlemcen, représentant 2,7 % des superficies de la culture de tomate.

- **Zone Sud**

Est représentée par les wilayat d'Adrar et Biskra et oued sauf.

1.6.1.2. Production, superficie et rendement

La production de la tomate en Algérie reste très modeste par rapport aux autres pays méditerranéens. Cette production est estimée à plus de 578.700 tonnes, malgré la diminution des surfaces qui est passée d'environ 43.910 ha en 2000 à 23.500 ha en 2011 (FAO, 2013) (fig. 01)

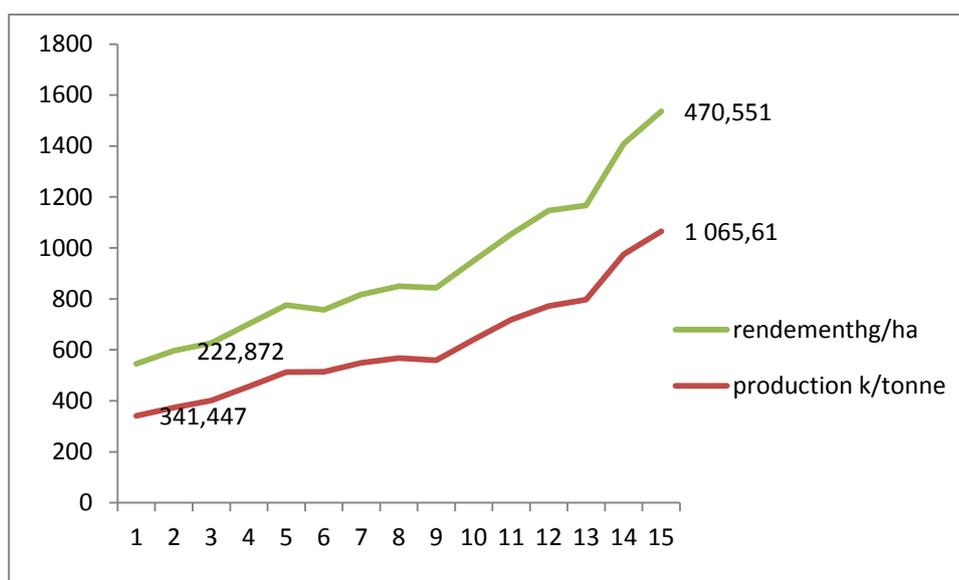


Figure 02. Courbe d'évolution la production et le rendement de tomate en Algérie (2000-2014), MADR ,2015

1.6.1.3. Dans la wilaya d'Alger

Selon MADR, (2016), l'évolution des productions et rendements avec la superficie des cultures des tomates sous serre et en plain champ dans la wilaya d'Alger sont représentées dans le **tableau 06**.

Tableau 4. Production et rendement de la tomate en plein champ et sous serre

	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
Plein champ	22 366,02	12 608 462	563,73
Sous serre	189,98	197 240	1038,2
Totale	22 556	12 805 702	567,7

MADR ,2016

1.7. Problèmes phytosanitaires de la culture

La culture de la tomate a énormément évolué au cours de cette dernière décennie. Avec une large diversification, l'intensification des cultures et les échanges mondiaux ont contribué à modifier, ou parfois bouleverser, la situation phytosanitaire de cette culture par l'introduction de nouveaux bios agresseurs (Blancard et al. 2009).

2. Données générales sur la culture des agrumes

2.1. Origine et historique

Le mot Agrume provient du latin acrumen qui désignait dans l'antiquité des arbres à fruits acides (Benediste et Baches, 2002). Les agrumes se distinguent par leur grande diversité de leurs familles et de leurs ordres. L'agrumiculture des pays du bassin Méditerranéen est diversifiée, tant au niveau des variétés cultivées (oranges, mandarines, Thomson, clémentines, pomelos, citrons, limes, pamplemousses pour ne citer que les plus courants) reflète d'une certaine manière la richesse et la variabilité de ces arbres, du fait de l'extension de cette culture (Virbel-Alonso, 2011). La culture des agrumes en Algérie remonte à une époque lointaine. Son développement a pris de l'ampleur à partir du XIVème siècle avec l'arrivée des musulmans d'Andalousie. L'essor du commerce des produits agrumicoles se situe au XIXème siècle avec le déclin de l'agrumiculture Espagnole (Madar, 2011).

2.2. Classification et description botanique

Les Agrumes appartiennent aux genres Citrus, Fortunella et Poncirus. Ces trois genres sont de la famille des « Rutaceae ». D'après Swingle (2003), la position taxonomique des agrumes montre dans le Tableau 06 :

Tableau 5. Classification botanique des agrumes

Règne	Végétale
Embranchement	Angiospermes
Classe	Eudicotes
Sous classe	Archichlomydeae
Ordre	Germinale (Rutales)
Famille	Rutaceae
Sous-famille	Aurantioideae
Tribus	Citreae
Sous-tribu	Citrinae
Genre	Poncirus, Fortunella et Citrus

Source : (Swingle, 2003)

2.3. Exigences culturales

2.3.1. Exigences pédoclimatiques

➤ La température

Les agrumes peuvent bien se produire sous toute une gamme de température allant de 13 à 39°C. Le seuil de température maximale se situe à 50-52°C tandis que celui de minimum dépend de l'espèce, il est de -9 à 10°C pour les orangers. (Pierre Nyabyenda, 2006).

➤ La pluviométrie

Les agrumes sont des arbres à feuilles persistantes à fort besoins en eau qui varient entre 900 et 1200 mm par an. (Pierre Nyabyenda, 2006).

➤ L'humidité de l'air

Si l'humidité de l'air est insuffisante, la transpiration du végétal est élevée et ses besoins en eau augmentent. Cette faible humidité de l'air peut être amplifiée par des vents chauds desséchants pouvant provoquer des brûlures sur le feuillage et les fruits (Loussert, 1985 ; 1989).

➤ **Le vent**

Le vent est un aléa climatique redoutable pour les agrumes. Par son action mécanique, il peut provoquer des dégâts importants tels que la chute des fruits et l'altération de leurs écorces ; les pertes de production sont par conséquent élevées, d'où la nécessité de renforcer le dispositif de protection par l'installation de « brise-vents ».

➤ **Les exigences pédologiques**

Il faut éviter les sols trop lourds ou très limoneux. Dans ces types de sol, les orangers présentent des fruits petits, à épiderme grossier, moins juteux et moins sucrés qu'en sols sableux. Le pH idéal serait entre 5,5 et 7,5 FAO, 2004.

2.3. Choix du site de plantation

Au préalable, avant de planter, il est nécessaire d'étudier le projet sur tous ses aspects et de s'entourer du maximum de précautions à travers une étude pédoclimatique (analyses physico-chimiques du sol, analyses hématologiques, analyse et disponibilité des ressources hydriques avérées, la mise en place de brise-vents) .

- Drainage

L'état de drainage du terrain est un point particulièrement important qui est lié à la texture et structure du sol mais également à la topographie du site. Ainsi, on préférera des parcelles situées en zones de plaines de bonne drainance.

- Eau

Il est utile avant toute plantation, de s'assurer de l'existence d'une ressource en eau suffisante. Schématiquement, dès que la période déficitaire se fait sentir, il faudrait prévoir des apports d'eau complémentaires par l'irrigation.

2.4. Efficience de l'irrigation

2.4.1. Définition

L'efficience est définie par le rapport des volumes d'eau effectivement utilisés par les plantes aux volumes délivrés en trotte de réseau (Mermoud et al, 2007). La notion d'efficience d'un réseau d'irrigation exprime la qualité de la gestion de la ressource

hydrique. Des pertes en eau peuvent en effet se produire tant au niveau de la distribution à la parcelle que dans le réseau d'amenée.

2.4.2 Efficience de l'irrigation gravitaire

L'efficience est d'autant plus faible que les sols sont perméables, avec des valeurs indicatives se situant généralement entre 40% sols sableux, 60 à 70% sols argileux (Agustin Merea, 1965). Selon (Agustin Merea, 1965) pour traiter ce sujet, on groupe les pertes de la façon suivante :

- **Ec** : Pertes par conduction
- **Ea** : Pertes par application

2.4.3 Efficacité technique d'utilisation de l'eau

D'après OCDE, 2001, cette efficacité est présentée par le poids de la production agricole en tonnes par unité de volume d'eau irrigation consommée (volume d'eau en méga litre, dérivée pour l'irrigation).

2.4.4 Efficience économique d'utilisation d'eau

Pour toutes les cultures irriguées, cette efficience est la valeur monétaire de la production agricole par unité de volume d'eau d'irrigation consommée (volume d'eau en méga litre, dérivé pour l'irrigation).

2.4.5. Efficience agronomique (le rendement est l'utilisation des sources naturelles)

Le rendement des cultures reste un critère stratégique à considérer dans le système où l'eau est une source rare. L'efficience agronomique (EA) est définie par le rapport du volume d'eau consommé par la culture et le rendement.

2.5. Calendrier cultural

Le calendrier cultural consiste l'application des différentes opérations culturales et les travaux que les agrumes nécessitent pour un bon développement et un meilleur rendement. Comme il est indiqué dans le tableau 6 suivant selon Benediste et Baches, 2002.

Tableau 6. Calendrier cultural des agrumes (Benediste et Baches, 2002)

Les travaux Effectués	A quel moment doivent être effectuées ?
Le semis	<p>- Les semis donnent généralement des plantes très vigoureuses mais qui fructifieront tardivement (de 3 à 10 ans).</p> <p>- Effectuée en période du printemps à partir du mois de Mars.</p>
L'arrosage	<p>Les agrumes de pleine terre disposent potentiellement de plus de volumes, et donc de plus de réserves d'eau :</p> <p>En période végétative il faut arroser beaucoup jusqu'à 300 litres par semaine, pour une plante de 7 à 8 ans (parcelle jeune).</p> <p>En hiver, l'arrosage aura pour but de maintenir le sol frais, si la pluviométrie n'est pas suffisante, et ça dépend de la variété comme (les Poncirus à feuilles caduques demanderont moins d'eau).</p> <p>En sol léger, le même volume sera diminué dans chaque apport.</p> <p>Un agrume planté à l'abri d'une haie de cyprès demandera beaucoup plus d'eau qu'un agrume isolé.</p> <p>Les agrumes ne peuvent pas se passer d'eau, la terre doit toujours être fraîche, vois humide, été comme hiver.</p> <p>Il n'y a pas de programme d'arrosage type, il faut estimer l'humidité du sol et décider d'arroser en tenant compte du climat.</p>
La fertilisation	<p>La fertilisation est l'opération la plus délicate et la plus importante après l'arrosage, l'hyperactivité des agrumes tout au long de l'année nécessite un soin particulier en fertilisation et fumure.</p> <p>En période de végétation de Mars-Avril jusqu'à Septembre-Octobre selon les régions</p> <p>Les agrumes ont un besoin particulièrement important en azote (N), Acide phosphorique (P), potassium (K) et oligo-éléments (Fer, Magnésium, Calcium...etc).</p> <p>Un agrume jeune de 7ans a besoin chaque année d'environ 400g. (N), et de 4 apports de 650 g. d'engrais composé 15 /15 /15 (dosant donc 15% de N, 15% de P et 15% de K.</p> <p>Un agrume adulte a besoin chaque année d'environ 800 g d'Azote pur (N), de 200 g d'acide phosphorique (P), et de 400g de potasse (K). Ces besoins pourront être couverts par des apports d'engrais dit « complet » (NPK+ oligo-éléments).</p>

La taille	<p>Les agrumes n'ont pas besoins d'être taillés pour fructifier, mais nécessite une taille de formation tous les ans de Mars à Octobre, cette taille est indispensable pour former et structurer la charpente de l'arbre.</p> <p>La taille d'entretien est quand l'arbre ayant atteint la hauteur et le volume souhaité il suffit d'une taille par an à la sortie de l'hiver (Février, Mars ou Avril, selon le climat) pour maintenir une augmentation limitée de sa masse.</p> <p>La taille de fructification est effectuée à la fin d'hiver lorsque les gelées ne sont pas à craindre. Elle consiste à supprimer les bois morts, éliminer les gourmands mal placés afin de maintenir l'éclairage à l'intérieur de l'arbre. Pas besoins d'être taillés pour fructifier mais nécessite une taille de Formation tous les ans de mars à octobre</p>
Le désherbage	<p>Il faut biner régulièrement pour aérer la terre et enlève les mauvaises herbes et aussi pailler. Il existe aussi des désherbants chimiques pour lutter contre les mauvaises herbes.</p>

2.6. Rendement

2.6.1. Dans le monde

Selon FAO (2015), la récolte atteignait environ 109 millions de tonnes en 2014-2015, et représentait environ 22 % de la production fruitière mondiale totale. Praloran, (1971) signale que les niveaux de production des différents agrumes sont très hétérogènes. L'orange, largement diffusée à travers le monde avec un taux de production d'environ 60 %. Les petits agrumes (type mandarine et clémentine) dont le développement a été beaucoup plus tardif, viennent en deuxième position avec environ 22 %. Les groupes citron/limon et pomelo/pamplemousse, aux caractéristiques gustatives de moindre qualité représentent respectivement 12 et 4 %. Kumquat, cédrat et autres agrumes moins répandus.

6.2.2. En Algérie

D'après FAO, (2015), durant l'année 2014/2015, la surface des cultures pérennes présente est de 920670 ha. Les agrumes couvrent actuellement une superficie de 63296 ha, soit environ 6,8% de la superficie totale occupée par l'arboriculture fruitière. Les grandes zones

de production par ordre d'importance sont la plaine de la Mitidja avec 44%, Habra Mascara avec 25%, le périmètre Bounamoussa et la plaine de Saf Saf (Skikda) avec 16% et le périmètre de la Mina et bas Chélif avec 14%. Le Centre du pays occupe une surface de 39305 ha d'agrumes soit 62%, l'Ouest représente 26% soit 16453 ha, l'Est 9,7% représenté par 6134 ha et 1404 ha pour le Sud soit 2,2%.

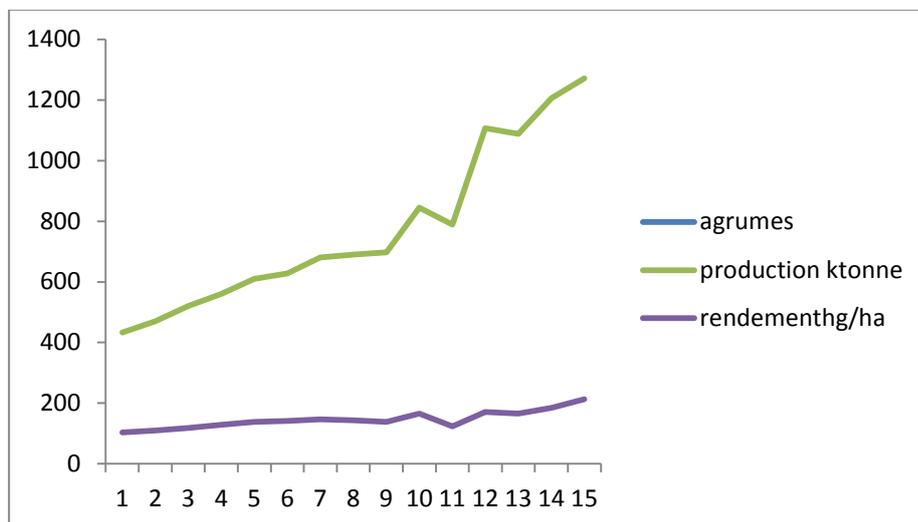


Figure 03. Courbe d'évolution de la production et rendement des agrumes en Algérie (2000-2014), MADR, 2015

6.2.3. Dans la wilaya d'Alger

D'après MADR, 2016, la surface des cultures des agrumes couvre 5722 ha et sa production de 962340qx, la wilaya d'Alger en 5^{ème} position producteur en Algérie après les wilayas Blida, chlef, Mostaganem, mascara, Ghilizane .le rendement représente 196,3 qx /ha.

Chapitre 02 : La détermination des besoins en eau des cultures

1. La détermination des besoins en eau des cultures

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant, aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région.

Selon Doorenbos et Pruitt (1975) le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration. Les pratiques agronomiques, les techniques d'irrigation, les engrais, les infestations dues aux insectes et aux maladies peuvent aussi influencer le taux d'évapotranspiration.

1.1. Pourquoi déterminer les besoins en eau des cultures ?

Connaître la valeur des besoins en eau des cultures est à la base de :

- **projet d'irrigation**

Conception des réseaux d'irrigation (calcul du débit de dimensionnement des ouvrages),

- **gestion des réseaux d'irrigation**

Prévision à court terme (programmation des apports d'eau), - pilotage des irrigations,

- **planification de l'utilisation des ressources hydrauliques**

Volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, surfaces irrigables au vu des ressources, etc.

1.2. Comment déterminer les besoins en eau des cultures ?

D'après Doorenbos et Pruitt (1975) l'estimation de l'évapotranspiration en vue de la programmation de l'irrigation doit se faire en se fondant sur le calcul de l'évapotranspiration maximale et de la pluie efficace (P_e).

1.2.1. Besoin en eau d'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation au niveau du champ représentent le volume et la fréquence des applications d'eau nécessaires pour compenser les déficits en eau du sol pendant la saison végétative d'une culture donnée.

Pour calculer les besoins en eau d'irrigation au niveau du champ pour une culture déterminé il faut établir un bilan hydrique, qui est réalisé en mesurant tous les apports

naturels ou entrées d'eau (superficielles et souterraines) et toute pertes ou sorties d'eau opérées à l'échelle d'une parcelle cultivée (Zella,2015).

1.2.2. Besoin en eau de culture (ETm)

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 :

$$ETm = kc \times ET0$$

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

kc : coefficient cultural,

ET0 : évapotranspiration de référence (mm).

1.2.3. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est l'une des composantes du cycle hydrologique les plus difficiles à quantifier du fait de sa complexité dans le système sol-terre-plante. Son estimation est importante pour les programmes d'irrigation, la planification et la gestion des ressources en eau (Singh et al, 1998).

1.2.3.1. Les différents aspects théoriques de l'évapotranspiration

➤ Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration d'une prairie ou d'un gazon en pleine croissance (mais non épié), fauché régulièrement, correctement fumé et bien enraciné, sur un sol maintenu à une humidité proche de la capacité de rétention et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique.

Pour Calanca et Holzkämper (2010), l'ETP considérée comme l'indicateur du développement optimal de la végétation et joue un rôle capital pour l'évaluation des aptitudes climatiques d'une région pour l'agriculture. Ce paramètre entrepris par plusieurs climatologues est d'une part favorable pour analyser les besoins en eau des cultures, et d'autre part pour y remédier aux différentes carences au niveau desquelles les plantes sont soumises à l'exemple du stress hydrique (Dubost ,1992).

➤ **Evapotranspiration maximale**

Selon Zella (2015) l'ETM exprime la demande en eau exercée sur un couvert végétal. Par ailleurs Charles (1975) mentionne que, ETM est quand la plante produit le maximum de matière sèche donnant en rendement maximum.

➤ **Evapotranspiration réelle**

C'est l'évapotranspiration d'un couvert végétal dans des conditions réelles données l'alimentation en eau de la plante peut être limitée par des contraintes d'ordre physique (succion du sol), chimique (concentration des solutions), biologique (régulation). Charles (1975) estime qu'ETR est la dose à appliquer dans le temps et dans l'espace au niveau du développement de la plante.

1.2.4. Choix du coefficient cultural

Par définition, le coefficient cultural (K_c) est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ET_C) et l'évapotranspiration potentielle (ET_0), il intègre les effets des 4 caractéristiques primaires qui distinguent une culture de la culture de référence qui sont : (la hauteur de la culture, la résistance de surface sol-végétation, l'albédo, l'évaporation de sol), (Allen et al, 1998).

Les facteurs qui influent sur la valeur de k_c sont : les caractéristiques de la culture, les dates de plantation ou de semis, le rythme de son développement et la durée de son cycle végétatif, les conditions climatiques, en particulier au début de la croissance et la fréquence des pluies ou des irrigations.

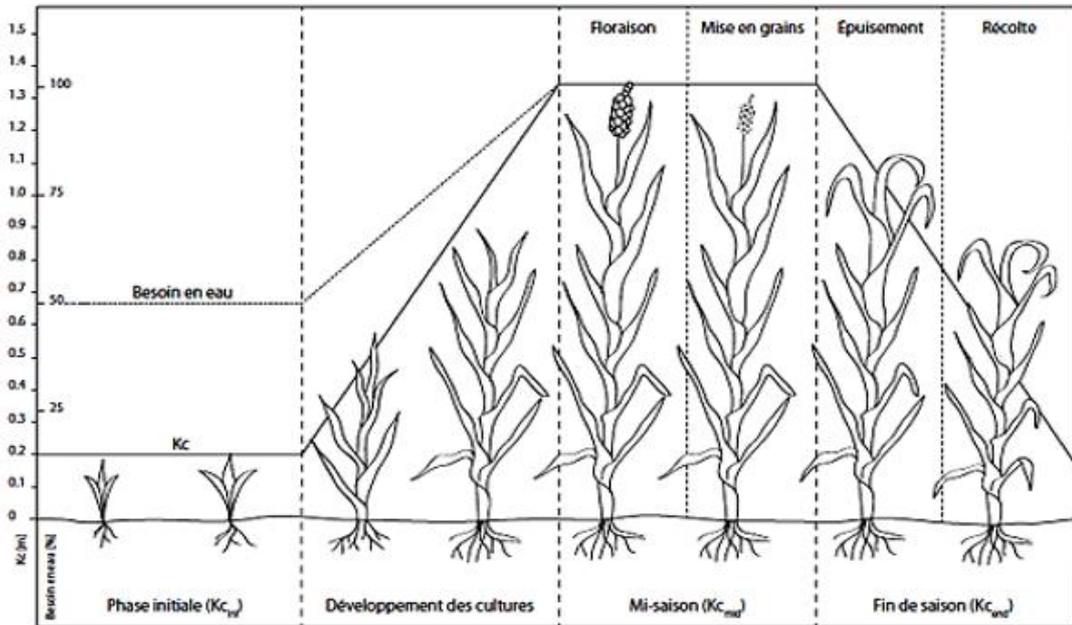


Figure 04. Courbe de coefficients culturaux et définition des phases
(Doorenbos et Pruitt, 1975)

La courbe de k_c sur l'ensemble de la période de croissance a été présentée initialement par Doorenbos et Pruitt (1975). Elle permet de distinguer les 3 valeurs de k_c (initial, mi-saison, et d'arrière saison). Les valeurs les plus élevées du k_c sont observées au printemps et en automne, lorsque le sol est encore humide. Les valeurs les plus basses sont notées en été (Allen et al, 1998 in traité d'irrigation).

En choisissant le k_c approprié pour une culture donnée et pour chaque mois du cycle végétatif, il faut tenir compte du rythme de son développement, l'époque de plantation ou de semis, les conditions climatiques notamment le vent et l'humidité, et également la particularité de la formule utilisée pour le calcul de l' ET_0 , ce qui pose un problème d'harmonisation et d'utilisation des valeurs publiées dans la littérature d'après Puech et Hernandez (1973) cité par Choisnel (1989).

Le coefficient cultural, K_c , permet de calculer l'évapotranspiration réelle de la culture. Il varie en fonction de la plante et de son état végétatif. Le coefficient cultural varie selon quatre phases : la phase initiale, la phase de développement, la phase de mi saison et la phase de fin de saison. Les valeurs théoriques de K_c ainsi que les différentes phases sont indiquées dans la fig. 4. La réserve utile représente quant à elle l'eau accessible aux végétaux dans le volume de sol exploité par leurs racines (Van Laere, 2003).

1.2.5. Les méthodes d'estimation de l'ET0

L'ET0 est considérée comme une donnée climatique, ne dépend que des conditions atmosphériques, de l'énergie disponible à la surface évaporant et la résistance aérodynamique de couvert végétal. Ils existent des méthodes expérimentales pour la mesure directe de l'ET0, basées sur le bilan hydrique, le bilan d'énergie et la méthode lys métrique. Devant la difficulté de la mise en place de ces dispositifs, différentes formules avec des degrés d'empirisme variables ont été développées depuis ces 50 dernières années pour estimer indirectement cette grandeur à partir de données climatiques. Elles sont classées en 4 groupes selon les paramètres utilisés, parmi ces formules on peut citer dans le tableau suivant :

Tableau 7. Les différentes méthodes d'estimations de l'ET0

Les formules	Nom et l'année
Les formules combinées	*de panman originale (1963) ; *de FAO panman –monteith(1994) ;
Les formules basées sur la température	*blaney-Criddle (1950) ; *Turc ; *Jensen-Haise ; *Hargreaves ; *Thornwaite.
Les formules basées sur la radiation	*FAO-Radiation ; *Christiansen-Hargreaves (1969) ; *Christiansen-samani(1985) ;
Les formules basées sur l'humidité relative de l'air	*d'Ivanov(1954). *d'Eagleman (1967). *FAO Class A.

Source : FAO ,2006

Chapitre 03 : pilotage d'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. 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.

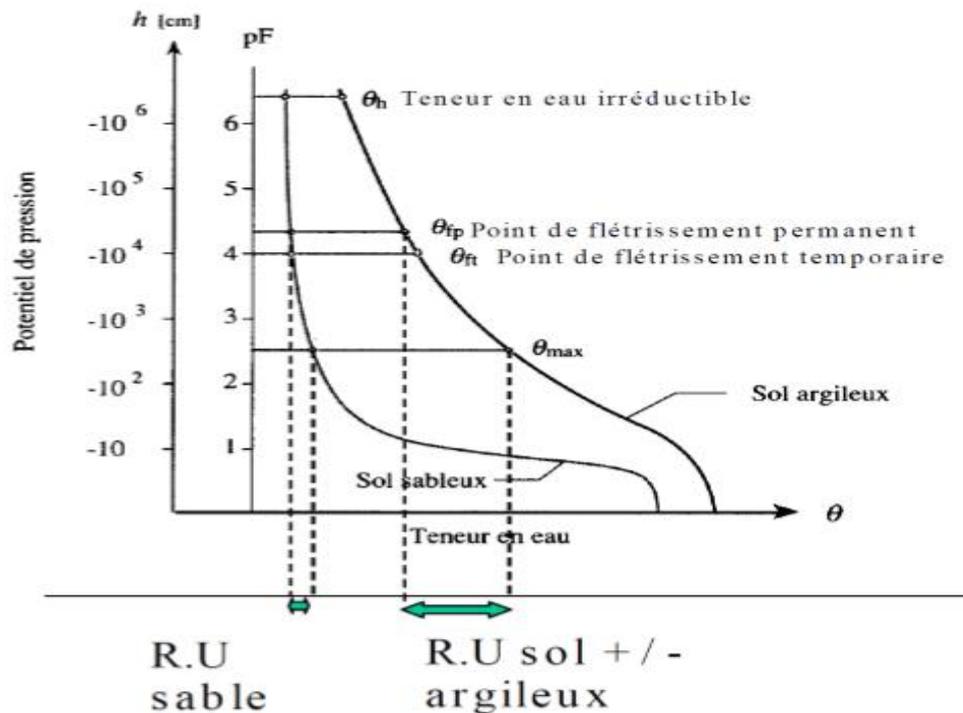


Figure 05. Effet de la texture du sol sur la teneur en eau du sol et le potentiel hydrique

1. Méthodes et matériel pour le pilotage de l'irrigation

1.1. Mesure de l'état hydrique du sol

➤ Mesure du potentiel hydrique par des sondes tensiométriques

Le potentiel hydrique du sol indique la force qui doit être développée par les racines pour extraire l'eau du sol: c'est une mesure robuste de la disponibilité en eau pour les plantes. L'irrigation peut être déclenchée lorsque le potentiel hydrique du sol atteint une certaine valeur, souvent dépendante du type de culture (Hanson et al, 2000a). Des valeurs de références sont présentées dans différents ouvrages, mais peuvent aussi être acquises de manière empirique.

➤ Tensiomètre à eau

Le principe du tensiomètre à eau est de mesurer directement le potentiel hydrique du sol (Zazueta and Xin, 1994). Le dispositif comporte un tube relié à une extrémité par une bougie poreuse en contact avec le sol et bouché à l'autre extrémité. Le tube est rempli d'eau; l'eau du réservoir en s'équilibrant avec la solution du sol provoque une dépression dans le tube, qui peut être mesurée à l'aide d'un manomètre, une colonne de mercure ou un capteur de pression relié à une centrale d'acquisition (Dukes et al, 2010).

➤ Capteurs à matrice granulaire/ Watermark

Le principe de cet appareil est de mesurer la résistivité électrique au sein d'une matrice poreuse grâce à deux électrodes. L'appareil est enterré dans le sol et l'eau du sol entre en équilibre avec la solution de la matrice. A partir d'une mesure de la résistivité électrique au sein d'une matrice poreuse, il est possible de déterminer le potentiel hydrique du sol grâce à une courbe de rétention en eau de cette matrice (Intrigliolo et Castel, 2004).

➤ Bloc de gypse

Le principe de cet appareil, proche des capteurs à matrice granulaire, est de mesurer la conductivité électrique au sein d'un bloc de gypse. La mesure de conductivité est liée au potentiel hydrique du sol (Ψ) par des courbes de référence liant les deux variables (Zazueta and Xin, 1994). Le dispositif se compose de deux électrodes qui sont placées

dans une solution saturée en sulfate de calcium (qui joue le rôle d'électrolyte) : le bloc de gypse absorbe l'eau du sol et la conductivité est mesurée (Dobriyal et al. 2012).

1.2. Mesure de la teneur en eau du sol

Méthode directe Il est possible de déterminer directement l'eau contenue dans le sol par une mesure gravimétrique correspondant à la différence de poids d'un échantillon de sol frais et sec après séchage à 105°C pendant 24h (Bittelli, 2011; Dobriyal et al. 2012)

➤ **Sondes capacitives**

Le but est de mesurer la permittivité diélectrique du sol mesurée grâce à un champ magnétique à une fréquence connue (Dobriyal et al, 2012; Gaudu et al, 1993).

➤ **Humidimètre TDR (time domain reflectometry)**

Comme pour les sondes capacitives, la méthode TDR est basée sur la mesure de la permittivité, liée à la constante diélectrique de l'eau. Le principe de l'appareil est cependant différent : il mesure la vitesse à laquelle se propage une onde électromagnétique dans le sol, laquelle est modifiée avec l'eau contenue dans le sol (Dobriyal et al, 2012).

➤ **Humidimètre à neutrons**

Le principe de cette méthode est de mesurer la vitesse d'atténuation d'un rayonnement émis, comme des neutrons générés à partir d'une source radioactive. Ceux-ci sont lancés à grande vitesse par une source, et sont ensuite ralentis lorsqu'ils rencontrent les atomes d'hydrogène contenus dans les molécules d'eau (Evet and Steiner, 1995).

➤ **Radar sous-terrain**

Le principe est de mesurer les variations d'ondes radio (générées par une antenne radar) grâce à un récepteur qui détecte les variations dans les propriétés électriques des ondes en détectant une part du signal qui est réfléchi (Chanzy et al, 1996).

1.3. Mesure de l'état hydrique des plantes

Le potentiel hydrique du sol, relié à sa teneur en eau, est un des moteurs de la circulation de l'eau dans la plante. Cependant il est aussi possible d'estimer les variations de conduction ou de contenu en eau des plantes en se basant sur des mesures micromorphométriques d'épaisseur de la feuille ou du diamètre de la tige ou des fruits. Il est également possible de mesurer directement les flux dans la sève, ou d'estimer le potentiel hydrique des feuilles à partir d'une chambre à pression (Jones, 2004).

➤ **Epaisseur de la feuille**

Lorsque la plante manque d'eau, la feuille devient plus fine du fait de la diminution de la pression de turgescence (Jones 2004).

➤ **Diamètre de la tige**

Les variations journalières du diamètre de la tige reflètent l'état hydrique de la plante car il y a des échanges d'eau entre les faisceaux du xylème (sève brute) et les cellules du parenchyme. Les variations du diamètre des tiges ont été bien étudiées pour les plantes ligneuses (Génard et al. 2001).

➤ **Flux de sève**

Le but est de mesurer le flux de sève au sein du xylème (sève brute) qui renseigne sur le statut hydrique de la plante : plus la plante transpire, plus le potentiel osmotique est négatif au sein du xylème (De Swaef and Steppe, 2010).

2. L'opération de pilotage d'irrigation

L'opération de pilotage est délicate, nécessite la combinaison de plusieurs facteurs qui 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 apprendre pour conduire les irrigations sont :

2.1. 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.

2.2. 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.

2.3. 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.

2.4. Outils de pilotage

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 ».

Chapitre 04 : Modèle Cropwat

1. Définition du modèle

Le modèle est un système constitué soit par un ensemble abstrait formé d'équation, de relations et d'opérations ,soit par un ensemble concret comme le modèle réduit et le model analogique (bonnet ,1982) . L'objectif est de représenter aussi fidèlement que possible tout ou une partie du comportement d'un système réel. Le fonctionnement du modèle et de l'objet sous l'effet d'une même excitation ou stimulation ou encore entrée (input).

2. Etapes de l'élaboration du modèle

D'après Zella, (2010) La méthodologie de l'élaboration d'un modèle s'articule séquentiellement sue les étapes suivantes :

➤ caractérisations

C'est l'étape fondamentale et le point de départ de tout processus de modélisation. Elle consiste a choisir le modèle a partir d'une analyse de l'objet définit en tant que système, de proposer les relations les plus apte à représenter son comportement. La caractérisations équivaut a une postulation de principe, facilitée par une bonne connaissance théorique de l'objet.

➤ l'identification

Dénommée calage ou calibration, consiste à attribuer aux paramètres structuraux, les valeurs numériques afin de minimiser l'écart entre les réponses calculées du modèle et les réponses du témoin ou références.

➤ La vérification

Est une étape qui devrait aboutir à la consolidation du modèle par la représentativité et la conformité des résultats.

➤ l'exploitation

Est l'ultime étape qui permet de vérifier que les entrées pour lesquelles le modèle est exploité appartiennent bien a la même classe que celles prises comme référence.

3. Les types de modèles

Il y a plusieurs types des modèles qui en peut utiliser dans le domaine agricole, pour s'amplifier les calculs des besoins en eau culture et l'évapotranspiration, la biomasse, et défini le système d'irrigation, démontre les graphes pour un but principale de développement culturale et diminuée le gaspillage des ressources hydrique. Ces dernières années, il aura une série de nouveaux modèles comme :

- STICS (Simulateur multi disciplinaire pour les Cultures Standard)
- HYDRUS
- Pilote Tr
- Irristat
- FIVE-CoRe
- Aquacorp
- Cropwat

Dans notre étude, nous avons opté au modèle cropwat parce que c'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. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficience de différentes pratiques d'irrigation.

4. Le logiciel cropwat 8.0

Le modèle Cropwat est un support d'aide pour l'irrigation des cultures développé par la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), basé sur le calcul du bilan hydrique. Il est utilisable pour toutes les sortes de culture et dans différentes régions climatiques. Sa fonction principale est de déterminer le besoin en eau des cultures et de développer des schémas d'approvisionnement en eau. Pour cela, le modèle calcule l'évapotranspiration de référence, basée sur l'équation de PenmanMonteith et en fonction de données météorologiques. Celles-ci sont listées dans la suite de ce chapitre. Le logiciel offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation des cultures, d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures, ainsi que l'efficience des différentes pratiques d'irrigation (Van Laere, 2003). Le modèle peut utiliser des données d'entrée à un pas de temps journalier, décadaire ou mensuel. Dans le cadre de ce travail, les données

d'entrée du modèle sont utilisées à un pas de temps journalier. Les résultats sont eux présentés à un pas de temps mensuels.

5. Paramétrage du modèle

Les facteurs les plus importants sont le flux hydrique, constitué de l'évapotranspiration et des précipitations, ainsi que le coefficient cultural de la plante (K_c). La figure 02 ci-contre représente les paramètres principaux pris en compte par Cropwat.

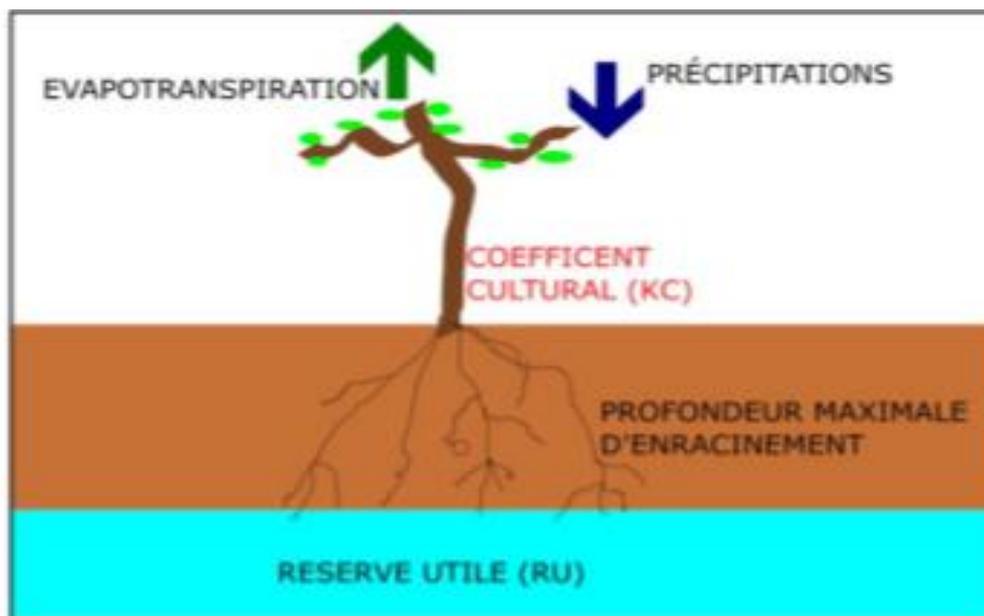


Figure 06. Flux hydrique et paramètre prise en compte par le programme Cropwat

6. Données météorologiques, culturelles et pédologiques

Le logiciel cropwat exige cinq données climatiques d'une station météorologique normalisée, pour que cette dernière soit représentative elle doit être la plus proche de la zone agricole, les stations comme celles des aéroports ou dans les zones urbaines sont à éliminer (Doorenbos et Kassam, ne donne pas les 5 données climatiques il est conseillé de les estimer, la FAO propose les méthodes d'estimation de l'humidité relative, rayonnement, et la vitesse du vent dans son Bulletin -56 (FAO, 1998).

- La température de l'air moyenne en degré Celsius
- Le pourcentage d'humidité de l'air
- La vitesse du vent, en mètre par seconde
- Les précipitations, en millimètre par jour
- L'évapotranspiration, en millimètre par jour

7. Les paramètres de sortie du programme

Les paramètres de sortie du modèle cropwat sont détaillés dans le **tableau 08**:

Tableau 8. Paramètres de sortie de cropwat

Paramètre	Définition
Besoin en eau de la culture [mm/décade]	Besoin en eau de la culture, calculé comme étant la différence entre l'évapotranspiration de la culture sous des conditions standards (ETc) et les précipitations effectives
Planification de l'irrigation	La planification de l'irrigation permet d'assurer la croissance optimale de la plante ainsi qu'une utilisation efficace de l'eau. Elle a pour but de déterminer l'approvisionnement en eau optimal nécessaire à une culture
Evaluation des pratiques d'irrigation	Permet l'évaluation des pratiques d'irrigation existantes, en fonction d'une utilisation efficace de l'eau, afin de développer une irrigation optimale de la culture
Déficit en eau du sol [mm]	Ce paramètre montre le statut du sol chaque jour et indique comment varie la teneur en eau du sol au fil de la saison Il permet donc d'évaluer les conséquences d'un approvisionnement en eau limité sur une culture et de développer une planification alternative de l'irrigation, en fonction de l'approvisionnement en eau limité.

(source : Allen, 1998)

8. Avantages

En comparaison à d'autres modèles agronomiques, Cropwat requiert moins de données d'entrée. Le modèle est utilisable dans différentes régions agro-écologiques et sous différentes conditions climatiques car il possède une base de données climatique (CLIMWAT 2.0) développées spécialement pour procurer des observations climatiques mensuelles depuis 3200 stations météorologiques réparties sur la surface du globe (Vote et al, 2015). Cette base de données n'a cependant pas été utilisée dans ce travail, car elle comprend uniquement trois stations en Suisse, à Genève, Zürich et Bâle. Par ailleurs, le modèle Cropwat est exploité mondialement par les ingénieurs et les économistes, afin de planifier la gestion des cultures en cas de limitation de l'approvisionnement en eau. Le modèle a la capacité de calculer lui même l'évapotranspiration de référence à partir des données climatiques (Vote et al., 2015).

9. Limitations

Une limitation de ce modèle provient du fait que le coefficient cultural K_c varie grandement, temporellement et spatialement, selon les différents types de cultures, les sols, les nutriments ainsi que les microclimats (Vote et al., 2015). L'application d'une valeur théorique de K_c sur une période de temps prédéfinie, comme il a été fait dans ce travail, peut potentiellement limiter la précision des données de sortie du modèle. Il est donc préférable d'utiliser Cropwat pour des projections générales et une gestion des ressources en eau à une échelle régionale ou nationale (Vote et al., 2015).

Conclusion

La synthèse bibliographique réalisée sur la culture des tomates et agrumes et son environnement agro climatiques, permet de mieux orienter la présente recherche, établie sur des séries historiques des factures climatiques comme la pluie et la température et des séries des production et de rendement annuels dans le monde et en Algérie, plus exacte la wilaya d'Alger.

1. Répartition des précipitations moyennes annuelles à l'échelle spatiale

L'évolution des précipitations annuelles moyennes dans la région d'étude, sur la période (1995-2017), est de l'ordre de 642 mm (fig. 17). Cette moyenne fluctue entre un minimum de 366.7 mm et un maximum qui atteint 937.01 mm.

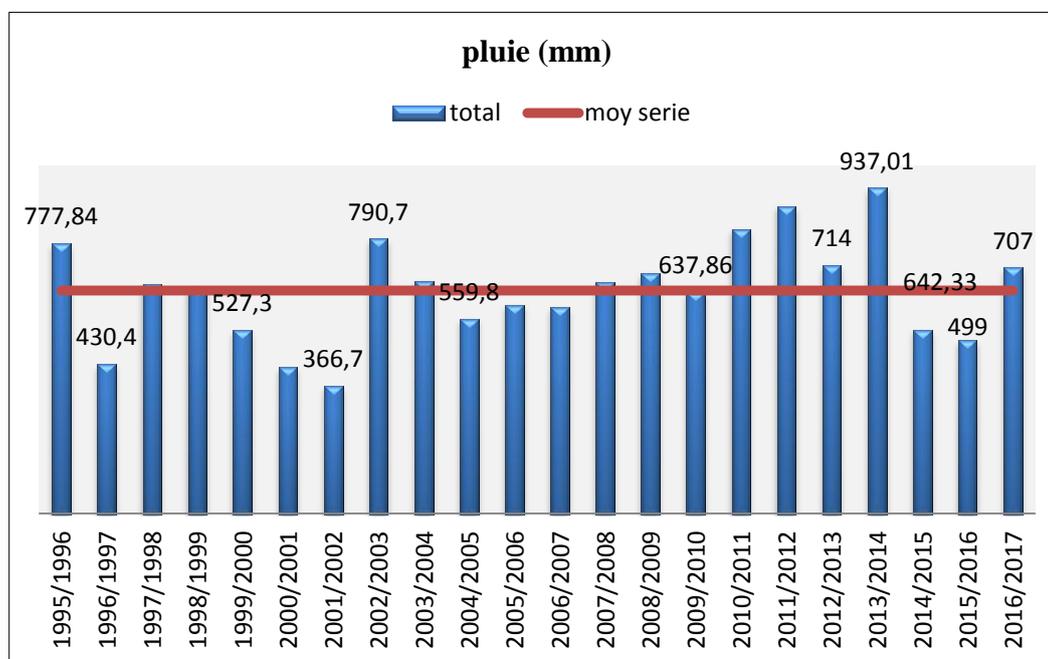


Figure 17 : Répartition des précipitations moyennes annuelles spatiale, période (1995-2017)

2. Répartition des précipitations annuelles à l'échelle temporelle

La pluviométrie d'une année est définie par la somme de la hauteur des précipitations mensuelles. D'après la figure 17, nous constatons que la répartition des précipitations pendant cette période allant de 1995 à 2017 est inégale d'une année à l'autre, il y a des années pluvieuses que l'autre et des années moins pluvieuses que l'autre par rapport à la moyenne générale des précipitations qui est égale à 642 mm.

Dans notre zone d'étude la pluviométrie annuelle, varie entre 366.7 et 937.01 mm où la quantité des pluies maximales reçues, est enregistrée dans l'année 2013-2014, et la valeur minimale est dans l'année 2001-2002.

2.1. Répartition des pluies par décennie

La figure 18 montre la répartition des précipitations annuelles de la wilaya d'Alger, cette figure nous permet de distinguer deux décennies :

La première décennie de 1995 à 2006 est une décennie qui reçoit les quantités minimale des pluies, car les pluies moyennes dans cette décennie sont inférieures à la moyenne annuelle. Cette décennie se caractérise par une valeur minimale atteignant les 366,7 mm au cours de l'année (2001/2002), alors que la valeur maximale 790,7 mm dans l'année suivante (2002/2003).

La deuxième décennie allant de 2007 à 2017 est la décennie qui reçoit la quantité des pluies la plus élevée 937,01 mm dans l'année (2013/2014), par contre la valeur minimale de cette décennie (499 mm) est enregistrée dans l'année agricole (2015/2016).

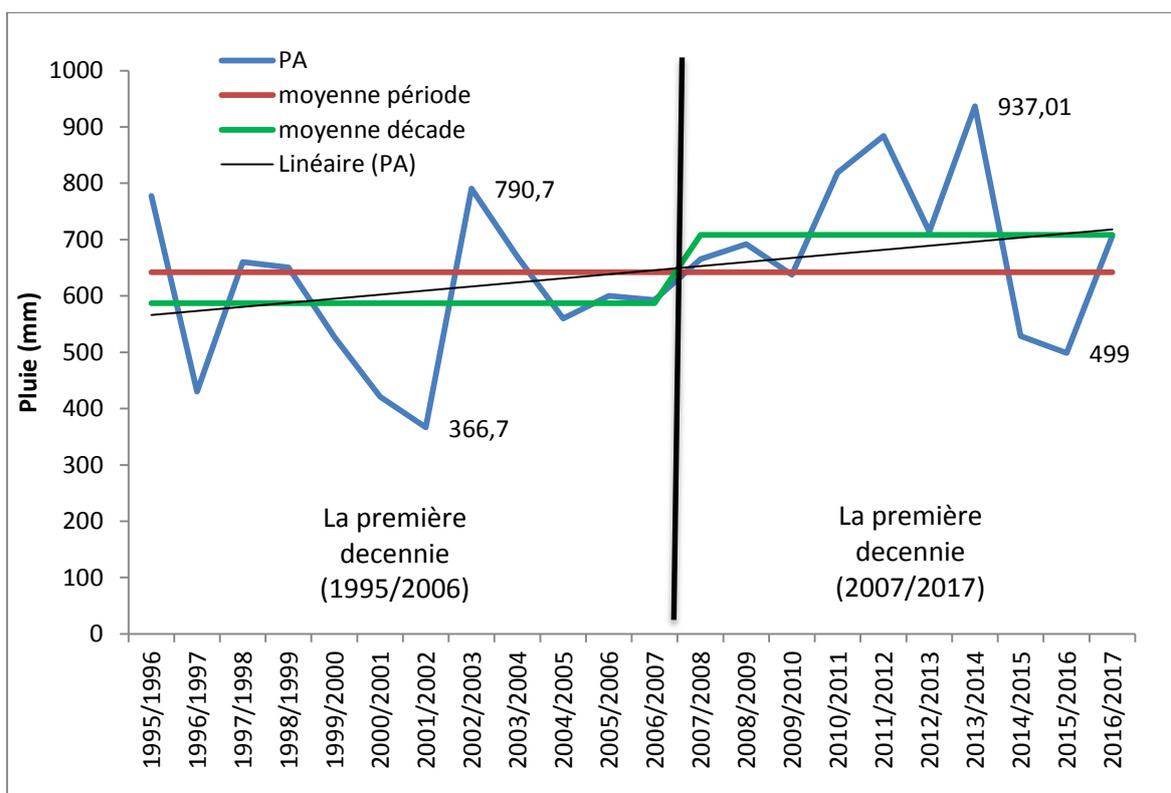


Figure 18 : Répartition des précipitations moyennes annuelles dans la wilaya d'Alger, période (1995 -2017).

3. Répartition des précipitations mensuelles à l'échelle temporelle

La figure 19 montre la répartition des précipitations moyenne mensuelle de la wilaya d'Alger

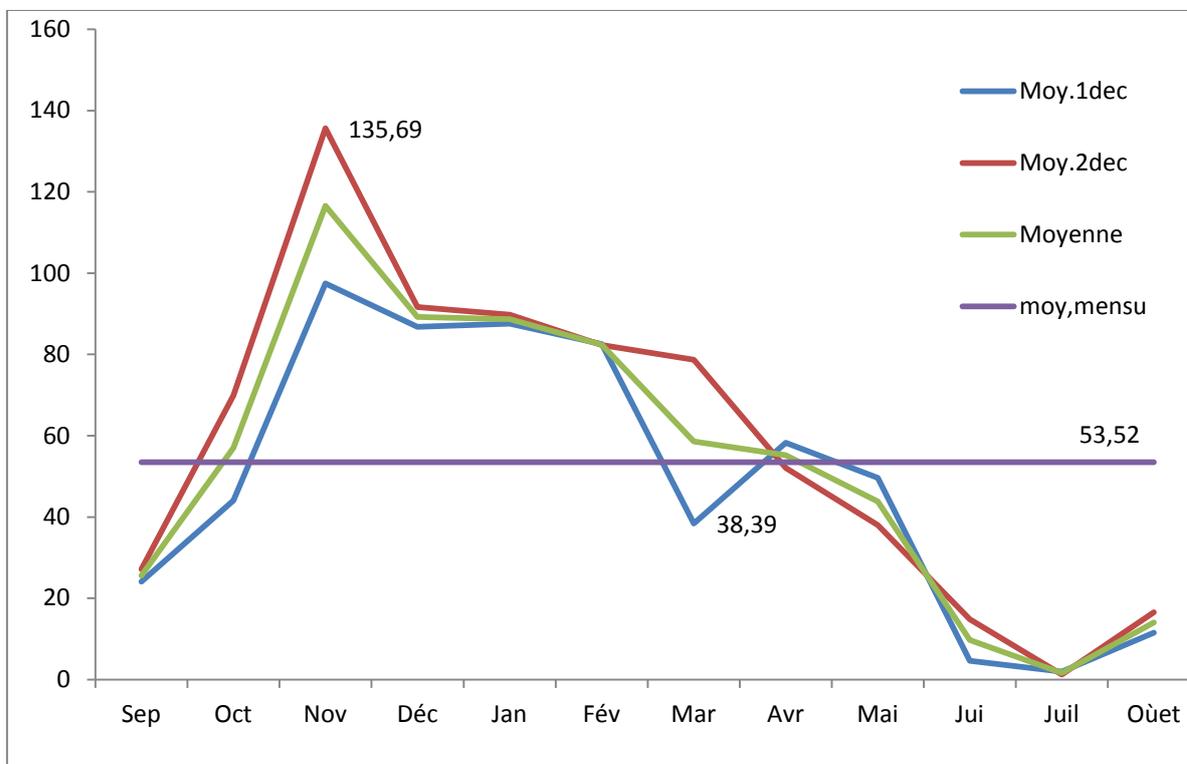


Figure 19 : Répartition des précipitations moyennes mensuelle dans la wilaya d'Alger, période (1995 -2017).

D'après la figure 19, on constatant que la moyenne mensuelle sur la période (1995-2017) est de l'ordre de 53,52 mm, le mois novembre est considéré comme le mois le plus pluvieux, par contre le mois juillet est le mois le plus sec (1,59 mm). Il est noté que la décennie déficitaire ou bien excédentaire est définie selon le nombre de mois inférieure et /ou supérieure à la moyenne mensuelle.

Pour la première décennie, nous avons trouvé qu'il y sept mois (7 mois/12 mois) qui ont une moyenne inférieure à la moyenne mensuelle et les moyennes des mois restants (5 mois) supérieure à la moyenne mensuelle (53.52 mm), donc en constatant que cette décennie est déficitaire par rapport la moyenne mensuelle.

4. Détermination l'année excédentaire et déficitaire dans les deux décennies

D'après la figure 19, on distingue une année excédentaire et l'autre déficitaire pour chaque décennie. Dans la première décennie l'année excédentaire (2002/2003), reçoit une quantité de pluie de 790,7 mm, et l'année déficitaire (2001/2002), reçoit 366,7 mm. Et pour la deuxième décennie, l'année déficitaire (2015/2016) reçoit une quantité de pluie 499 mm, et l'année excédentaire (2013/2014) reçoit une quantité de pluie la plus élevée sur toute la période (1995-2017), qui est égale à 937,7 mm.

5. Calcul de l'évapotranspiration ET_0

L'évapotranspiration de référence (ET_0) a été calculée selon la méthode Penman-Monteith de la FAO (Allen et al., 1998) en utilisant le modèle ET_0 calculateur (fig. 20). Celle-ci nécessite comme données d'entrées la température (minimale et maximale), l'humidité (minimale et maximale) ainsi que la radiation solaire et la vitesse du vent à 2 mètres au-dessus du sol (Raes, 2009).

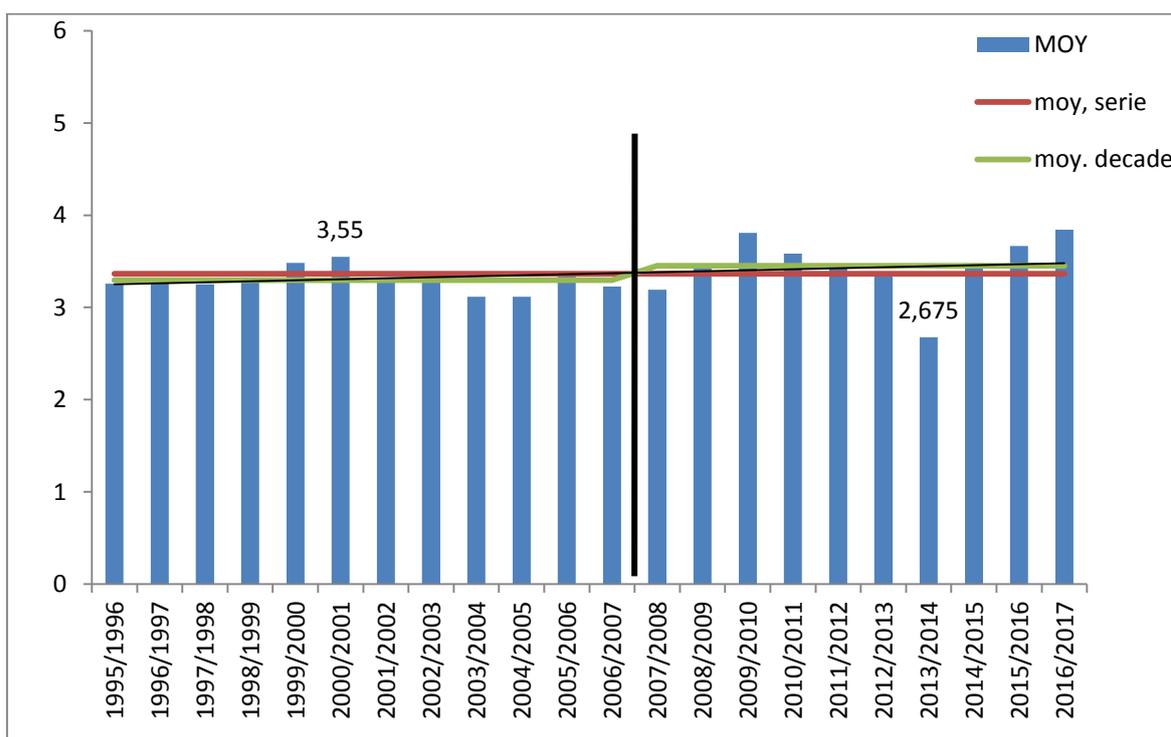


Figure 20 : variation de l'évapotranspiration de référence moyenne annuelle, période (1995-2017).

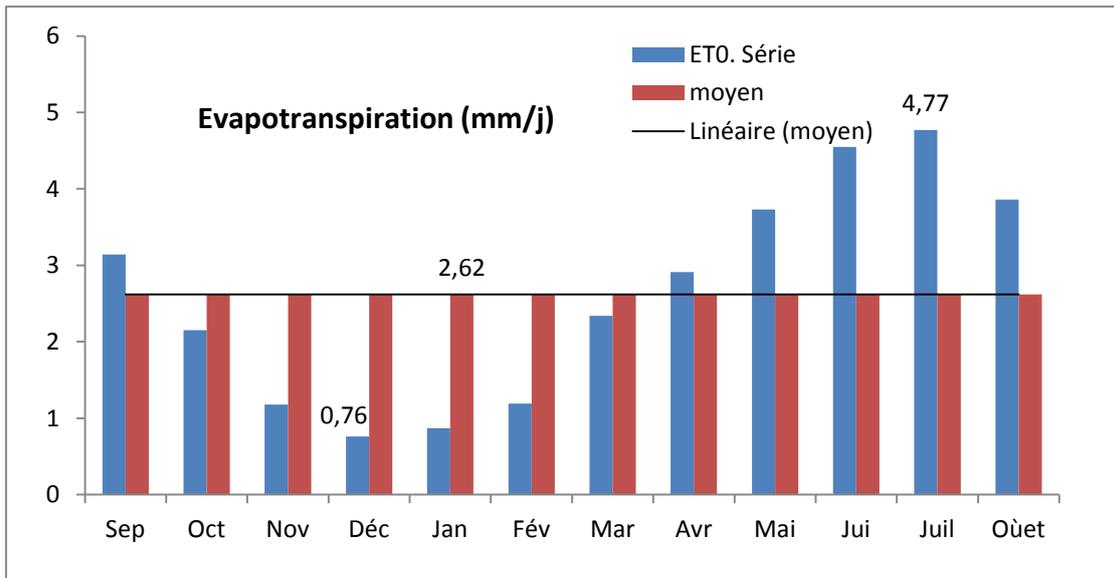


Figure 21 : répartition de l'évapotranspiration mensuelle de la wilaya d'Alger (1995-2017)

Selon la figure 21, nous constatons que le mois de pointe pour la demande climatique (ET0) correspond au mois de juillet, avec une moyenne journalière de 4.77 mm/j.

Nous remarquons l'élévation de l'ET0 est liée à la saison estivale, qui passe par un pic (mois de juillet), cette augmentation peut s'expliquer par les températures élevées max et min et les valeurs importantes de la vitesse du vent enregistrées durant ce mois.

6. Relation entre l'évapotranspiration et la température moyenne

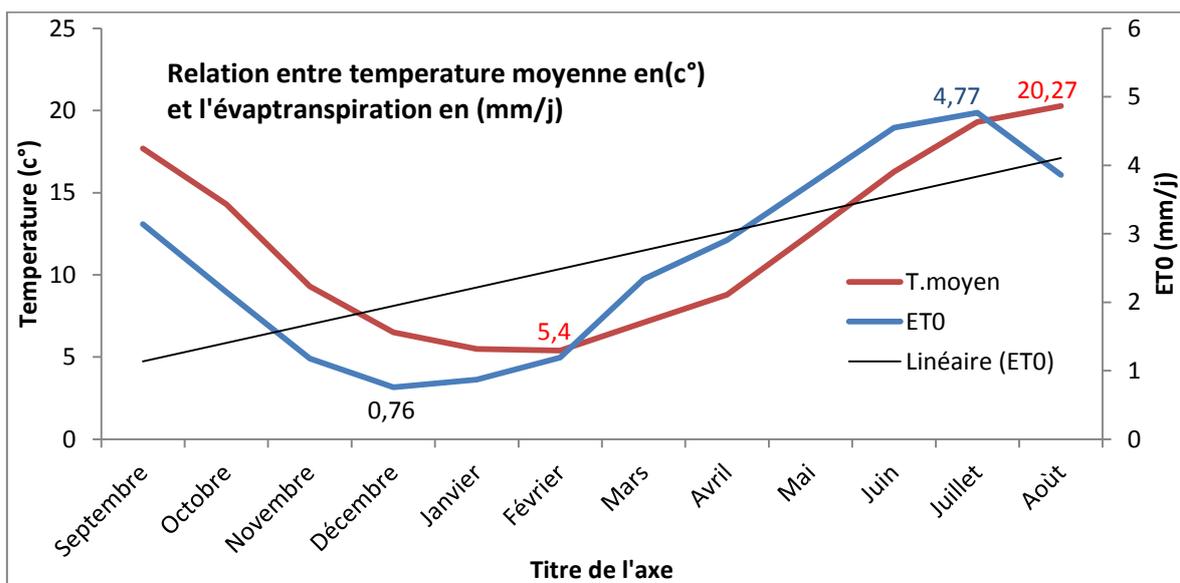


Figure 22 : l'évolution de l'évapotranspiration et la température moyenne, période (1995-2017).

D'après la figure 22, nous remarquons que l'évolution de courbe des températures moyenne, indique le niveau de température le plus élevé (20,27 C°) en mois août, et le plus bas (5,4 C°) enregistré au mois février.

Pour l'évapotranspiration moyenne mensuelle de la série (1995-2017), le mois le plus élevé c'est le mois juillet (4,77 mm/j) et le mois le plus bas c'est le mois décembre (0,76 mm/j).

Nous concluons que il y a une relation de proportionnalité entre les températures et l'évapotranspiration c'est-à-dire lorsque les températures augmentent, l'évapotranspiration augmente. Donc nous pouvons dire que la température est le paramètre qui a influé l'évapotranspiration durant cette série.

7. Calcul de la pluie efficace

Pour les productions agricoles, les précipitations efficaces se réfèrent à la fraction des précipitations qui peut être effectivement utilisée par les plantes. La totalité des précipitations n'est pas disponible pour les cultures des tomates et agrumes puisqu'en effet une partie est perdue par ruissèlement et/ou par percolation en profondeur.

D'après le logiciel Cropwat, les résultats sont indiqués dans la figure suivante :

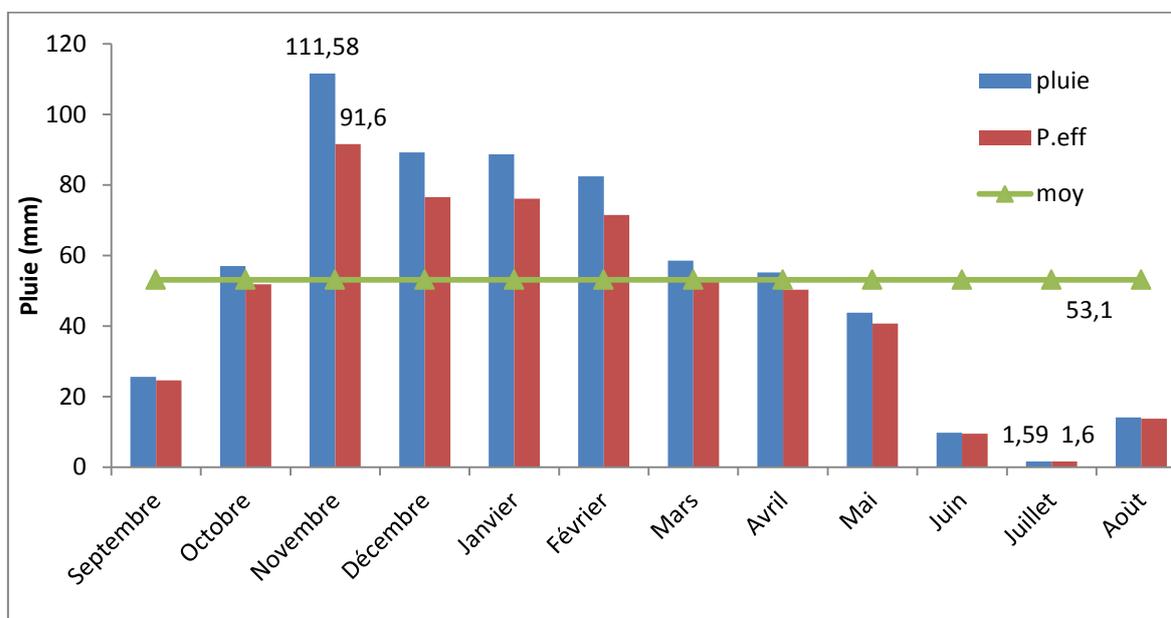


Figure 23 : L'évolution la pluie efficace et la pluie moyenne mensuelle (1995-2017).

La quantité d'eau précipitée moyennement mensuellement de toute la série (1995-2017) est de l'ordre de 53.1 mm, tandis que la pluie la plus élevée est marquée dans le mois novembre 111,58 mm, avec une pluie efficace 91,6 mm, et une perte de pluie de 19,98 mm. Par contre, le mois juillet est le mois le moins pluvieux (1,6 mm).

D'une manière générale, on dit que la région est pluviale, parce qu'il y a (07) mois où la pluie tombée est supérieure à la moyenne, donc la quantité des pluies durant cette période est suffisante.

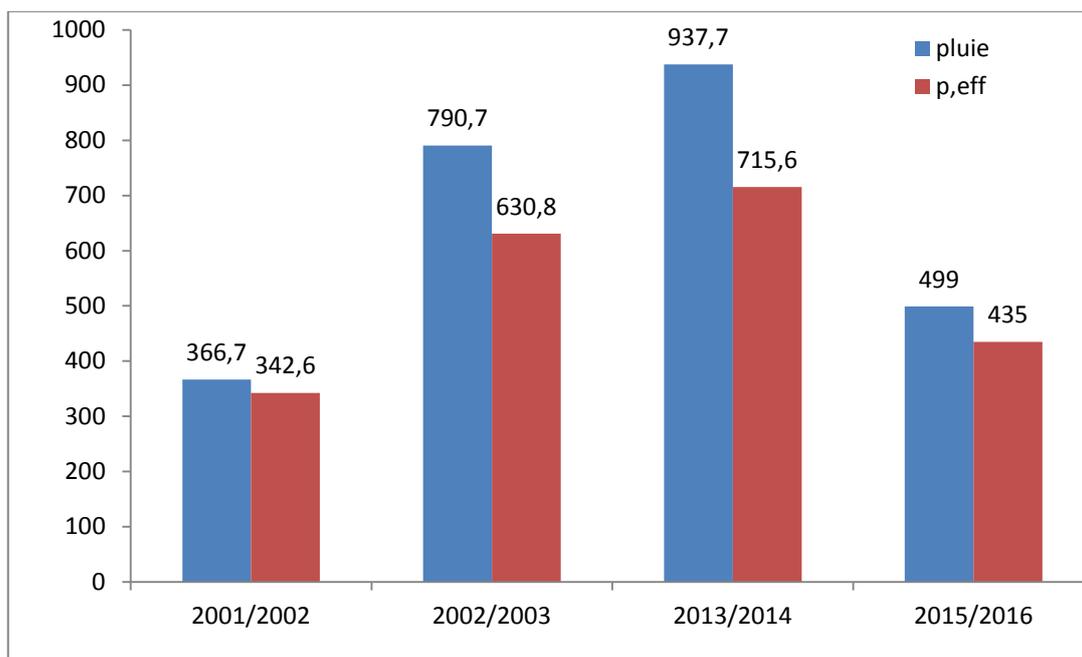


Figure 24 : variation de la pluie efficace par rapport à la pluie brute

La quantité d'eau précipitée annuellement au cours de l'année déficitaire (2001/2002) de la première décennie est de l'ordre de 366.7 mm, tandis que la pluie efficace calculée est de 342.6 mm, ce qui permet d'évaluer les pertes (évapotranspiration, ruissellement et infiltration) par simple différence entre la pluie brute et la pluie efficace. Donc les pertes d'eau sont égales à 24.1 mm, soit un pourcentage de 6.6%.

Pour l'année déficitaire (2015/2016) de la deuxième décennie, les pertes d'eau sont de l'ordre de 64 mm, soit un pourcentage 12.83%.

Les pertes d'eau pour l'année excédentaire (2003/2004) et (2013/2014) sont égales à 159.9 mm (20.22%) et 222.1 mm (23.68%), respectivement.

D'après ces résultats, nous avons déduit que chaque fois la pluie annuelle augmente, les pertes en eau par ruissèlement, évapotranspiration et infiltration augmente.

8. Evaluation des besoins en eau des cultures (tomate et agrumes)

Pour calculer les besoins en eau des cultures en question (tomate et agrumes) par le modèle cropwat, nous avons pris l'année déficitaire (2001/2002) de la première décennie et l'année excédentaire (2013/2014) de la deuxième décennie.

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimales et on fixe l'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ET m) qui est une valeur ponctuelle liée à l'ET₀ qui est relative à une région par un coefficient cultural (kc).

Pour calculer l'ET_m, logiciel cropwat utilise la relation suivante :

$$ET_m = ET_0 \times K_c$$

Avec : K_c, Coefficient cultural, il dépend du type de culture et de sa phase de développement;

ET_m : Evapotranspiration maximale (mm) ;

ET₀ : Evapotranspiration potentielle (mm).

Le tableau récapitule l'ET m des cultures en question (tomate et agrumes).

Tableau 15. Les besoins en eau des cultures en question

		Année déficitaire (2001/2002)	Année excédentaire (2013/2014)
Cultures		ET _m (mm)	ET _m (mm)
Tomate	Sous serre	472.4	450.2
	Plein champ	472.4	450.2
Agrumes		580.1	557.3

9. Calcul des besoins en eau d'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation représentent la fraction des besoins en eau des cultures qui devra être apportée par irrigation, afin de garantir des conditions optimales de croissance pour la culture.

Le calcul de ces besoins repose sur un bilan hydrique qui exprime la différence entre les besoins en eau totaux ou l'évapotranspiration maximale de la culture et la pluie efficace.

Afin de maîtriser le pilotage d'irrigation, le volume d'eau d'irrigation (l'eau bleue) ne pourrait pas être apporté à n'importe quel moment, mais selon un calendrier d'irrigation qui doit être géré durant tout le cycle végétatif des cultures (tomates et agrumes).

L'interface 1 donne la différence entre la disponibilité en eau et la demande de la culture à l'ET m pour la culture (exemple : tomate plein champ).

A titre exemple, le 1^{er} juillet, pour un tour d'eau de 10 jours, l'ET 0 est de 46.59 mm soit 4.65 mm/jour.

La quantité d'eau requise par la plante (CWR) ou l'ET m est de :

$$46.59 * 0.97 = 45.20 \text{ mm/dec.}$$

La pluie efficace calculée étant de 0.1 mm/dec. Donc l'irrigation requise est de :

$$45.20 - 0.1 = 45.1 \text{ mm/décade, soit } 4.51 \text{ mm/jour}$$

Interface 1 : Besoins en eau d'irrigation de l'aubergine

Besoins en eau des cultures								
Station ET0			dar elbaida		Culture			Tomato
Station Pluie			dar el baida		Date de plantation			02/03
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.	
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec	
Mar	1	Init	0.60	0.81	7.3	37.7	0.0	
Mar	2	Init	0.60	0.90	9.0	49.1	0.0	
Mar	3	Init	0.60	1.05	11.6	33.0	0.0	
Avr	1	Crois	0.67	1.35	13.5	2.0	11.4	
Avr	2	Crois	0.79	1.80	18.0	0.0	18.0	
Avr	3	Crois	0.92	2.51	25.1	0.1	25.0	
Mai	1	Crois	1.04	3.34	33.4	0.2	33.2	
Mai	2	Mi-sais	1.10	4.03	40.3	0.0	40.3	
Mai	3	Mi-sais	1.10	4.32	47.5	5.9	41.6	
Jui	1	Mi-sais	1.10	4.61	46.1	25.1	21.0	
Jui	2	Mi-sais	1.10	4.90	49.0	36.7	12.3	
Jui	3	Arr-sais	1.08	4.91	49.1	24.4	24.7	
Jui	1	Arr-sais	0.97	4.52	45.2	0.1	45.1	
Jui	2	Arr-sais	0.85	4.07	40.7	0.0	40.7	
Jui	3	Arr-sais	0.77	3.63	14.5	0.0	14.5	
					450.2	214.3	327.9	

Le tableau 16 présente les besoins en eau de chaque culture et leurs répartitions mensuelles sur le cycle végétatif

Tableau 16 : Résultats de calcul les besoins en eau des cultures en question

Besoins en eau des cultures en mm															
Année déficitaire (2001/2002)															
Cultures		Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Cycle
		Besoins													
Tomate	Sous serre	ETm/ha	/	/	38.8	69.97	126.9	141.6	94.8	/	/	/	/	/	472.4
		Ir/ha	/	/	38.8	69.97	126.9	141.6	94.8	//	/	/	/	/	472.4
	Plein champ	ETm/ha	/	/	30.8	70.2	126.9	141.6	94.8	/	/	/	/	/	472.4
		Ir/ha	/	/	5.8	33.9	113.1	141.2	94.6	//	/	/	/	/	388.7
Agrumes		ETm/ha	17.5	22.6	46.5	60.9	77.4	79	77.5	68.2	54	38.5	21.4	15.4	580.1
		Ir/ha	0	8.5	13.6	24.6	63.7	78.6	77.1	36.3	12	3	0	0	319.2
Année excédentaire (2013/2014)															
Tomate	Sous serre	ETm/ha	/	/	27.9	56.6	121.2	144.2	100.4	/	/	/	/	/	450.2
		Ir/ha	/	/	27.9	56.6	121.2	144.2	100.4	/	/	/	/	/	450.2
	Plein champ	ETm/ha	/	/	27.9	56.6	121.2	144.2	106.7	/	/	/	/	/	450.2
		Ir/ha	/	/	0	54.4	115.1	58.1	107.2	/	/	/	/	/	328.0
Agrumes		ETm/ha	15.9	13.8	14.5	21	39	55.1	76.6	82.4	81.2	74.6	49.1	33.4	557.3
		Ir/ha	0	0	0	46.9	68.5	4.4	82.3	73.5	27.5	24.2	0	0	327.4

10. Pilotage des irrigations

Nous avons établi les calendriers d'irrigation des cultures en question à l'aide de logiciel Cropwat, sur la base des critères que nous avons fixés dans la partie précédente. Ce calendrier établi par le Cropwat nous donne la date de chaque irrigation par décade, l'intervalle de jours entre deux irrigations, la dose d'irrigation de chaque apport d'eau.

Les tableaux 17 et 18 récapitulent tous les résultats du logiciel Cropwat 8.0 concernant les besoins en eau des cultures en question (tomate et agrumes) pour l'année excédentaire et déficitaire.

Tableau 17. Résultats du cropwat (année déficitaire 2001-2002)

Cultures Paramètres	Tomates en plein champ	Tomates sous serre	Agrumes
Irrigation brute totale	530.3 mm	532.6 mm	364.5 mm
Irrigation nette totale	371.2 mm	372.8 mm	255.1 mm
Précipitation totale	88.3 mm	0.0 mm	366.6 mm
Précipitation efficace	83.8 mm	0.0 mm	313.3 mm
Déficit d'eau à la récolte	13.6 mm	96.3 mm	10.4 mm
Besoins en eau réels	384.8 mm	469.3 mm	265.6 mm
Efficienc des précipitations	95 %	/	85.5 %
Perte par précipitation	4.5 mm	0.0 mm	53.3 mm

Tableau 18: bilan hydrique annuel des cultures tomate et agrumes (année excédentaire, 2013-2014).

Cultures Paramètres	Tomates en plein champ	Tomates sous serre	Agrumes
Irrigation brut totale (mm)	386.6	605.3	361.9
Irrigation net total (mm)	270.6	423.3	253.3
Précipitation totale (mm)	281.9	0.0	937.2
Précipitation efficace (mm)	132.6	0.0	303.1
Déficit d'eau à récolte (mm)	43.4	23.1	0.0
Besoins en eau réels (mm)	314.1	446.8	253.3
Efficiencie des précipitations	47 %	/	32.3 %
Pert par précipitation	149.3	0.0	634.1

La figure 25, représente la comparaison de bilan hydrique entre l'année déficitaire et l'année excédentaire.

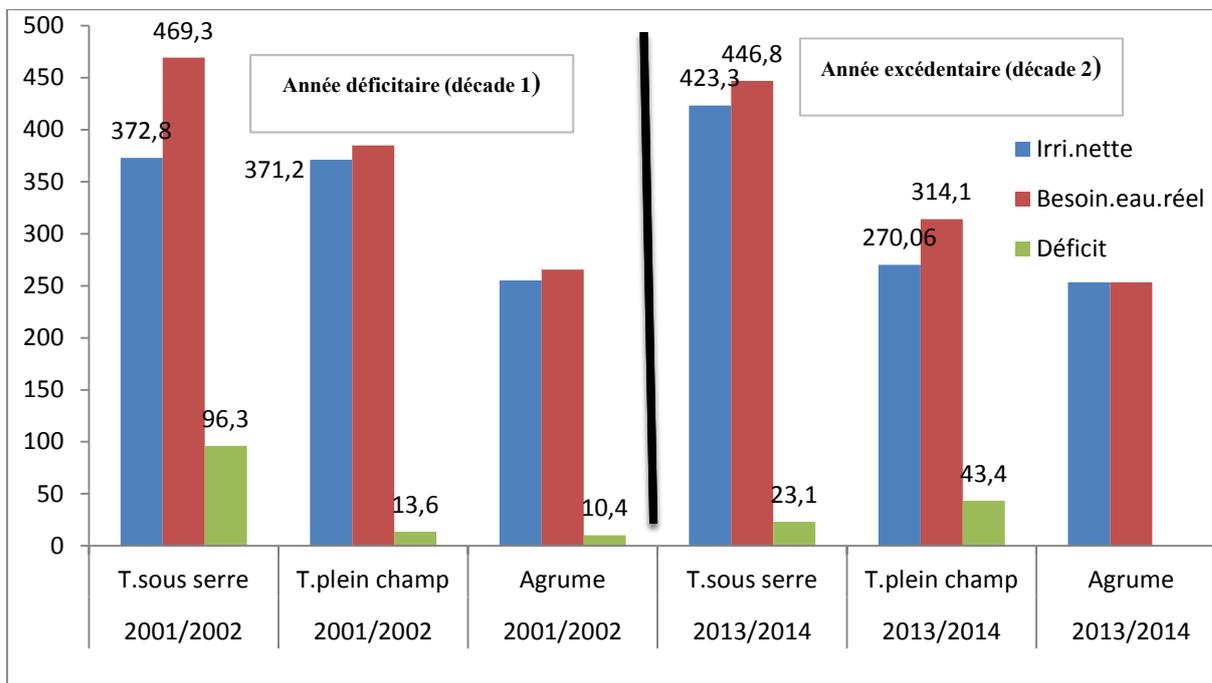


Figure 25 : bilan hydrique de la wilaya d'Alger pour l'année déficitaire (2001/2002), et l'année excédentaire (2013/2014).

Nous avons remarqué que les besoins en eau d'irrigations de l'année déficitaire sont plus élevés par rapport à l'année excédentaire pour les cultures.

Pour l'année déficitaire (2001/2002), le déficit de la culture de tomate sous serre est plus élevé (96,3 mm) par rapport à la culture de tomate en plein champ (13,6 mm)

Par contre pour l'année excédentaire (2013/2014), le déficit de cette culture est plus élevé en plein champ (43,4 mm) que sous serre (23,1 mm).

11. Evaluation des besoins en eau à l'échelle de la Wilaya d'Alger

11.1. Calcul des besoins en eau des cultures

Afin de mieux maîtriser les besoins en eau de chaque culture, nous avons calculé son besoin comme si c'était une monoculture (la culture occupe 100 % de superficie). Une fois les besoins en eau unitaires de chaque culture soient calculés, il suffit de multiplier par la superficie réelle respective de chaque culture pour obtenir leurs besoins dans la wilaya d'Alger.

11.2. Les superficies des cultures pratiquées

Pour recenser les superficies des cultures pratiquées (tomates et agrumes) dans la wilaya d'Alger, nous avons eu recours à la «série B, 2016» du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

Le tableau 19 récapitule les besoins d'irrigation unitaires de chaque culture et leur superficie au niveau de la wilaya d'Alger.

Tableau 19: Les besoins en eau totaux des cultures (tomates et agrumes) dans la wilaya d'Alger (2001/2002).

Type de culture		Besoins en eau (m3)		
		Superficies (ha)	Besoin unitaire (m3/ha)	Total (m3)
Tomate	En plein champ	22 366, 02	3887	86936719.7
	Sous serre	189,98	4724	897465.52
Agrumes		5722	3192	18264624

Tableau 20: Les besoins en eau totaux des cultures (tomates et agrumes) dans la wilaya d'Alger (2013/2014).

Type de culture		Besoins en eau (mm)		
		Superficies (ha)	Besoin unitaire (m3/ha)	Total (m3)
Tomate	En plein champ	22 366, 02	3280	73360545.6
	Sous serre	189,98	4502	855289.96
Agrumes		5722	3274	18733828

Dans la wilaya d'Alger, les besoins en eau totaux (ETm) de la tomate sont de 472 mm, ce qui correspond aux besoins de 400 à 600 mm donnée par Doorenbos et Kassam, (1987) pour une culture de tomate en plein champ après transplantation (145j). Par ailleurs les besoins d'irrigation pour ces cultures sont respectivement de 384,8 mm et 314,1 mm en année déficitaire et excédentaire, ce qui fait que le taux de couverture des besoins totaux par les pluies est de l'ordre 95% et 47%, respectivement.

La culture de tomate est particulièrement sensible au déficit hydrique pendant et immédiatement après le repiquage, ainsi que pendant la floraison et la formation du fruit.

Un manque d'eau ainsi qu'un apport excessif pendant la période de floraison provoque la colure des fleurs. Pour favoriser une croissance optimale pendant tout le cycle végétatif, le niveau de tarissement de l'eau du sol pendant les différentes périodes de croissance doit rester inférieure à 40% et peut aller de 60% à 70% pendant le mûrissement.

Les besoins en eau d'irrigations pour la culture de la tomate sous serre pour l'année déficitaire et excédentaire sont respectivement, 4693 m3 et 2533 m3.

12. Calcul de l'efficacité théorique d'utilisation d'eau

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

Donc $Eff. = m / B$

Avec : Eff. : L'efficacité d'utilisation de l'eau (Kg/m³) ;

B : besoins en eau (m³) ;

m : poids de la production commercialisable (Kg).

Le tableau 21. Résultats de calcul l'efficacité théorique

Cultures	Rendement (Kg/ha)	Besoins en eau (m ³ /ha)	Eff. (Kg/m ³)
Tomates sous serre	103820	3901	26,61
Tomates en plein champ	56370	2206	25,55
Agrumes	19630	2537	7,73

D'après les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, nous constatons que :

Pour les agrumes, son efficacité théorique est de l'ordre de 7,73 Kg/m³ qui très faible car l'agrumes c'est une culture pérenne donc elle consomme beaucoup d'eau, par contre la culture de la tomate en plein champ et sous serre, son efficacité théorique est de l'ordre de 26,6 Kg/m³ et 25,55 kg/m³, respectivement, qui est bonne car la tomate c'est une culture saisonnière donc son cycle végétatif est court donc elle consomme moins d'eau.

La rareté des ressources en eau et leurs limitations et la demande croissante globale que connaît l'Algérie, affecte directement le secteur agricole qui représente le premier secteur utilisateur de l'eau avant le secteur de l'eau potable et l'industrie. Une gestion efficace s'impose en vue de la satisfaction complète de la demande de ces trois secteurs utilisateurs.

Dans un souci de produire mieux avec peu d'eau disponible dans notre pays, nous sommes obligés d'évaluer les besoins en eau des cultures pour valoriser cette ressource dite faible, rare et difficilement renouvelable. A cet effet, nous avons adopté le logiciel Cropwat 8.0 comme outil de détermination des besoins en eau des cultures de tomates et les agrumes dans la wilaya d'Alger sur la base de quelques données climatiques et géographiques de la zone d'étude (station dar el beida), en plus des données relatives à la culture des tomates et agrumes.

Les résultats obtenus nous ont permis de définir les besoins en eau et le pilotage des irrigations des cultures (Tomates et Agrumes) pratiquées au niveau des exploitations correspondantes représentant une surface des tomates en plein champ 22 366,02 ha pour une consommation totale annuelle d'eau de 10,3 hm³, et 189,98 ha pour les tomates sous serre avec consommation d'eau de 0,85 hm³, à la fin la surface des cultures des agrumes 5722 ha pour une consommation de 3,6 hm³. A l'échelle de la wilaya d'Alger, les besoins totaux en eau de ces cultures est de 14,75 hm³ pour une superficie totale de 28 278,2 ha.

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

Dans le contexte actuel de rareté des ressources, l'objectif principal du gestionnaire reste toujours la satisfaction de la demande en eau croissante de la population pour ce produit vital tout en protégeant les ressources hydriques de toutes les déperditions et gaspillages.

Cette disposition nous permettra valoriser l'eau consommée par les cultures tomates et agrumes dans la wilaya d'Alger. En d'autres termes, améliorerons l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) totale consommée.