

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad Dahleb Blida -01-
Faculté des Science de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologie et Agro Ecologie



Mémoire de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière: Sciences Agronomiques

Option: Eau et Environnement

THEM

**Effet d'irrigation sur le rendement et l'efficacité de l'eau
Cas de pomme de terre**

Présentée par: OUCHERIF NABILA

Jury:

Président: L.Zella (USDB)

Promoteur: M.Amirouche (USDB)

Examinatrice: M.Khddar (USDB)

Examinatrice: M.Degui

Année Universitaire: 2021 /202

RESUME

L'Algérie est classée parmi les pays les plus déficitaires en matière de ressources hydriques. Le secteur agricole est le plus consommateur de l'eau via l'irrigation. Dans ce contexte, la présente étude s'oriente vers la gestion efficace de l'eau agricole sous l'influence de trois régimes d'irrigation à savoir: 100 % RFU, 80% RFU et 50 % RFU, qui contribuent à la croissance et l'amélioration des rendements. L'approche est basée sur le calcul des besoins en eau d'irrigation de la culture de pomme de terre afin de surveiller l'efficacité de l'approvisionnement en eau par rapport aux besoins en eau de la culture en utilisant le modèle AquaCrop. Sous un climat tempéré chaud (Mostaganem) sur une période de 13 ans (2009-2021). Les résultats obtenus montrent que les régimes (100% et 80%) montrent des meilleurs rendements, qui sont respectivement 8,61 ton/ha ; 7,39 ton/ha, par contre le dernier régime (50%) a donné 3.36 ton/ha. Il a été remarqué une légère différence pour tous les paramètres analysés (BEI, ETc, biomasse et le rendement) entre les régimes 100 et 80%. Le modèle AquaCrop de simulation de la croissance des cultures est devenu un outil important pour évaluer et développer des stratégies d'irrigation, en particulier dans les régions arides et semi-arides.

Mots clés: AquaCrop, Efficience d'utilisation d'eau, irrigation, pomme de terre

ABSTRACT

Effect of irrigation on yield and water efficiency: Case of potato

Algeria is classified among the most deficient countries in terms of water resources. The agricultural sector is the most water consumer via irrigation. In this context, the present study is oriented towards the efficient management of agricultural water under the influence of three irrigation regimes namely: 100% RFU, 80% RFU and 50% RFU, which contribute to the growth and improvement of yields. The approach is based on calculating the irrigation water requirement of the potato crop to monitor the water supply efficiency against the crop water requirement using the AquaCrop model. Under a warm temperate climate (Mostaganem) over a period of 13 years (2009- 2021).the results obtained show that the regimes (100% and 80%) show better yields, which are respectively 8.61 ton/ha; 7.39 ton/ha, on the other hand the last regime (50%) gave 3.36 ton/ha. It was noticed a slight difference for all the analyzed parameters (BEI, ETc, biomass and yield) between the 100 and 80% regimes. The AquaCrop crop growth simulation model has become an important tool for evaluating and developing irrigation strategies, especially in arid and semi-arid regions.

Key words: AquaCrop, water use efficiency, irrigation, potato

ملخص تأثير الري على المحصول وكفاءة المياه: حالة البطاطس

تُصنف الجزائر من بين البلدان التي تعاني من أكبر عجز في الموارد المائية. يستهلك القطاع الزراعي أكبر قدر من المياه عن طريق الري. في هذا و 50% RFU و 80% RFU ، فإن الدراسة الحالية موجهة نحو الإدارة الفعالة للمياه الزراعية تحت تأثير ثلاثة أنظمة ري ، وهي: 100% ، والتي تساهم في النمو وتحسين الغلات. يعتمد النهج على حساب متطلبات مياه الري لمحصول البطاطس لمراقبة كفاءة إمداد المياه مقابل RFU متطلبات مياه المحصول باستخدام نموذج أكوأروب. في ظل مناخ معتدل دافئ (مستغانم) على مدى 13 سنة (2009-2021) أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الأنظمة (100% و 80%) تظهر إنتاجية أفضل تبلغ على التوالي 8.61 طن / هكتار. 7.39 طن / هكتار بينما أعطت العلف الأخير (50%) والكتلة الحيوية والمحصول) بين الأنظمة الغذائية 100 و ETC و BEI 3.36 طن / هكتار. لوحظ اختلاف طفيف لجميع المعلمات التي تم تحليلها أداة مهمة لتقييم وتطوير استراتيجيات الري ، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة AquaCrop 80%. أصبح نموذج محاكاة نمو المحاصيل

الكلمات المفتاحية: أكوأروب ، كفاءة استخدام المياه ، الري ، البطاطس

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail pour mes très chers parents, que Dieu protège maman.

A mes frères et mes sœurs qui a toujours cru en moi, pour leurs compréhensions et leurs encouragements depuis toutes ces années, qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère amitié.

A tous mes amis (es) particulièrement Anfel

A mon promoteur Dr. Amirouche M.

A tous mes amis de la promotion 2021/2022

A tous ceux que j'estime beaucoup

Remerciement

Avant tout, je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir accordé courage et patience pour mener à terme ce travail.

Je remercie également mon promoteur Mr. Amirouche M. ; d'avoir bien voulu m'encadrer, me guider et m'accompagner dans ce travail ainsi que sa compréhension, ces précieux conseils, et surtout pour sa patience.

Je témoigne ma reconnaissance aussi à tous les enseignants de la spécialité Eau et Environnement.

Mes remerciements sont destinés aussi aux membres du Jury de m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail. De plus je remercie tous les enseignants du Département des Biotechnologies sans oublier tous les amis.

En fin, j'adresse ma profonde gratitude à ma famille qui est toujours soutenue et qui a contribué à ma formation au niveau de tous les cycles d'études.

Sommaire

Résumé

Dédicace

Remerciement

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale..... 1

Partie I: Synthèse bibliographique

Chapitre I : La culture de la pomme de terre	3
I . Généralité sur la pomme de terre.....	3
1. Origine et historique	3
2. Définition de la pomme de terre	3
3. Classification botanique	3
4. Description morphologique de la pomme de terre	4
5. Cycle de développement	5
5.1. La dormance	5
5.2. La germination	6
5.3. La croissance	6
5.4. La tubérisation	6
6. Durée des différents stades phonologiques de pomme de terre	7
7. Plantation et buttage	8
7.1. Préparation des plantes	8
7.2. Préparation du sol	9
7.3. Densité de plantation	9
7.4. Période de plantation	9
7.5. Profondeur de plantation	9
7.6. Les besoins en eau de pomme de terre	9
8. Exigences écologiques	10
8.1. Exigences climatiques	10
8.1.1 Température	10
8.1.2 .Lumière	10

8.2. Exigences édaphiques.....	10
8.2.1. Nature du sol	10
8.2.2. PH.....	11
9. Importance de la pomme de terre	11
9.1. Dans le monde	11
9.2. En Algérie.....	12
10. Principales wilayas algérienne productrices de la pomme de terre.....	13
Chapitre 2: Irrigation	14
1. Technique d'irrigation.....	14
2. Importance de l'irrigation.....	14
3. Besoin en eau... ..	15
3.1. Besoin en eau des cultures... ..	15
3.2. Besoin en eau d'irrigation... ..	16
3.3. Le bilan hydrique	16
4. L'évapotranspiration	16
4.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	17
4.2. L'évapotranspiration potentielle de référence (ET0)	17
4.3. L'évapotranspiration réelle	17
5. Efficacité d'utilisation de l'eau	17
5.1. Efficacité de l'irrigation (EI).....	17
5.2. Efficacité d'utilisation d'eau (EUE).....	18
Chapitre 3: Modélisation agronomique	19
1. Le modèle.....	19
2. Définition... ..	19
3. Importance de la modélisation agronomique	19
4. L'élaboration du modèle	20
4.1. Les étapes de l'élaboration... ..	20
4.1.1 Caractérisation... ..	21
4.1.2. L'identification.....	21
4.1.3. La vérification... ..	20
4.1.4. L'exploitation... ..	20
5. Objectif des modèles	20
5.1. Des modèles sur la recherche	20
6. Description de modèle AquaCrop.....	21
6.1. Les données d'entrée	22
6.2. Les données sortie	23
Partie II: Matériel et méthode	
Introduction... ..	24
I . Présentation de la zone d'étude	24
1. Situation géographique.....	24
2. Situation économique.....	25
3. Choix de la zone d'étude... ..	25
4. Pédologie du sol... ..	26
4.1. Relief... ..	26
5. Climatologie	26
6. Ressource en eau à Mostaganem.....	27
6.1. Ressource conventionnelle	28
6.1.1 Les barrages.....	28
6.1.2. Les eaux souterraines	28
6.2. Ressource non conventionnelle	28
6.2.1. Les eaux de dessalement... ..	28

6.2.2. Réutilisation des eaux usées épurées...	28
6.2.3. Cadre d'usage des eaux usées épurées...	28
7. L'agriculture de la pomme de terre dans la région de Mostaganem...	29
II. Evaluation des besoins en eau de culture par AquaCrop	30
1. Les données climatiques...	31
2. Les données culturales	31
3. Les données liées au sol...	31
4. Calcul de l'évapotranspiration potentielle.....	32
5. Calcul de la pluie efficace	32
6. Calcul des besoins en eau des cultures.....	33
7. Calcul des besoins en eau d'irrigation.....	33
8. Etablir les calendriers d'irrigation.....	33
9. Calcul l'efficacité d'utilisation de l'eau	33

Partie III: Résultats et discussions

1. Analyse des paramètres climatiques	34
1.1. Pluie.....	34
1.2. Température	34
1.3. Humidité de l'air	35
1.4. Vitesse du vent	36
1.5. Insolation.....	36
2. Calcul de l'évapotranspiration de référence	37
2.1. A l'échelle annuelle.....	37
2.2. A l'échelle saisonnière	38
3. Calcul des besoins en eau d'irrigation ...	39
4. Calcul de l'évaporation à l'échelle saisonnière	40
5. Calcul de la transpiration à l'échelle saisonnière	41
6. Calcul des besoins en eau de culture	42
7. Calcul de la biomasse aérienne de culture	42
8. Calcul le rendement	43
9. Analyse la productivité de l'eau	44
Conclusion générale... ..	45
Conclusion générale	46

Liste des figures

Figure 01. Caractéristiques morphologiques de la pomme de terre	4
Figure 02. Cycle de vie de la pomme de terre	6
Figure 03. Production de la pomme de terre en Algérie, Tunisie, Maroc et l’Egypte.....	11
Figure 04. Les différents systèmes d’irrigation.....	13
Figure 05. Interface graphique de modèle Aquacrop... ..	21
Figure 06. Situation géographique de la wilaya de Mostaganem... ..	25
Figure 07: Les différents types des ressources en eau à Mostaganem... ..	26
Figure 08. : Evolution de la production et la superficie réelle de PDT de Mostaganem.....	28
Figure 09: Evolution du rendement de pomme de terre dans la wilaya de Mostaganem... ..	29
Figure10 : Variabilité interannuelle de la pluie.....	34
Figure 11: Température moyenne annuelle	35
Figure 12: Humidité relative moyenne annuelle	35
Figure 13: Vitesse du vent moyenne annuelle pour la période d’étude	36
Figure 14: Variation de la durée d’ensoleillement	37
Figure 15: Variation interannuelle de l’ET0 à l’échelle annuelle	38
Figure 16: Variation interannuelle de l’ET0 à l’échelle de la saison de culture	39
Figure 17: Variation interannuelle du BE à l’échelle saisonnière de la culture	40
Figure 18: Variation interannuelle de l’évaporation	41

Figure 19: Variation interannuelle de la transpiration à l'échelle de la saison de culture...	41
Figure 20: Variation interannuelle du BE de PDT (ETm) estimé par AquaCrop.....	42
Figure 21: Variation de la biomasse à l'échelle saisonnière de croissance de culture	43
Figure 21: variation de rendement de pomme de terre sous l'influence des trois régimes...	43
Figure 23: Variation de la productivité de l'eau à l'échelle saisonnière	44

Liste des tableaux

Tableau 01. Taxonomie de la pomme de terre	3
Tableau 02. Cycle de croissance de la pomme de terre.....	5
Tableau 03. Principaux pays producteurs de pomme de terre en 2000 à 2019	10
Tableau 04. Principaux wilayas algériennes productrices de pomme de terre.....	12
Tableau 05. Les données entrées de modèle AquaCrop.....	22
Tableau 06. Paramètres d'entrée exigés par le modèle AquaCrop.....	30

Liste des abréviations

PNE: Plan National de l'eau

ET0: évapotranspiration de référence

ETP: évapotranspiration potentielle

Etc : besoin en eau des cultures

EUE : efficacité d'utilisation de l'eau

Kc: coefficient cultural

Tr: transpiration

Ev: évaporation

FAO : Food and Agriculture Organisation

hg: hectogramme

ha: Hectare

Introduction générale

La raréfaction des ressources en eau et l'augmentation croissante de leur demande globale, particulièrement dans le secteur agricole qui détient 70% de la consommation en eau dans le monde (FAO, 2011) nourrir le débat sur la problématique de l'amélioration de l'efficacité d'utilisation et de productivité de l'eau (Van Halsema et al,2012). Les acteurs du secteur de l'irrigation, notamment les décideurs et les irrigants, ont besoin d'indicateurs sur l'efficacité de l'irrigation et la productivité de l'eau afin de mettre en place des stratégies appropriées de gestion durable des ressources en eau.

L'agriculture nécessite une grande quantité d'eau et à l'avenir, la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation augmentera considérablement en raison de la demande croissante alimentaire. La meilleure pratique en matière d'agriculture, définie comme l'agriculture qui optimise l'utilisation de l'eau, est une clé pour surmonter ce problème en améliorant l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE).

Le déclenchement et les doses d'irrigation sont décidés généralement sur la base de l'observation visuelle. Pour cela, il est important que les besoins en eau des cultures soient connus à différents niveaux de gestion dans ces régions pour accomplir une gestion efficace de l'irrigation. Les besoins en eau des cultures sont satisfaits grâce aux précipitations efficaces, à l'eau d'irrigation appliquée et à l'humidité disponible du sol.

En Algérie, la consommation en eau dans le secteur agricole est d'environ 7 milliards de m³ en moyenne annuelle, sachant que la consommation globale nationale (consommation de la population en potable, les besoins des secteurs industriels et agricoles) est de 10,6 milliards de m³ /an. Par conséquent, une utilisation plus efficace de l'eau dans l'agriculture doit être la priorité absolue. Il est estimé que dans les régions semi-arides et arides, l'eau demeure une contrainte majeure pour l'amélioration de la production agricole. Aussi, la maximisation du rendement par unité d'eau (efficacité de l'eau de pluie et d'irrigation) semble être la meilleure stratégie. En dépit de la rareté de l'eau, le constat fait sur la gestion de l'eau d'irrigation fait ressortir une insuffisance relative aux méthodes de gestion de l'eau simples et accessibles totale d'outils d'aide à la décision (bulletins d'avertissement à l'irrigation) maîtrisés par les agriculteurs.

Le recours à la modélisation est l'un des moyens les plus récents pour le calcul des bilans hydriques. Ainsi que l'évaluation des besoins en eau des cultures. Pour cela, il est intéressant

de confronter les données collectées lors d'expériences réalisées sur le champ, aux résultats de modèle, choisies afin de mieux comprendre les processus étudiés.

La présente étude consiste à utiliser le modèle AquaCrop pour simuler les besoins en eau d'irrigation pour la culture de pomme de terre conduite sous trois régimes d'irrigations.

Ce document est constitué en trois parties :

- La première partie abordera d'abord les caractéristiques de la culture de la pomme de terre (origine et historique, classification botanique, et positionnement au niveau mondial et national). Au second semestre, l'étude de la gestion de l'irrigation, et en dernier chapitre le modèle de culture (AquaCrop) qui a été choisi comme principal outil de modélisation.
- La deuxième partie traitera la ^présentation du site d'étude (localisation, caractéristiques climatiques et pédologiques). Et les différentes données utilisées pour l'élaboration de la présente thématique de recherche.

Enfin, la troisième partie du document sera consacrée aux travaux de modélisation. Il traite des résultats de simulation obtenus à partir du modèle AquaCrop et des discussions.

Le document se termine par une conclusion générale résumant les résultats et les possibilités de valorisation de ces résultats.

Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : La culture de la pomme de terre

I. Généralité sur la pomme de terre

1. Origine et historique

La pomme de terre est d'origine des Andes, en Amérique du sud .Elle est cultivée pour ses organes de réserve riche en amidon. Vers 1565, les explorateurs les ont ramenées des Andes en Europe via l'Espagne au milieu de XVIème siècle. Les pommes de terre ont été cultivées à des fins alimentaires et ont commencé à conquérir le monde au départ de l'Europe en 2016 sont cultivées dans plus de 150 pays sous pratiquement toutes les latitudes habitées (Kerroum, 2019).

En Algérie, la pomme de terre a été probablement introduite pour la première fois par les andalous au XVIème siècle, puis oubliées sans susciter d'intérêt. Dans la seconde moitié de ce siècle, les colons l'ont masqué planté pour leur propre usage, car malgré des pénuries alimentaires continues, les Algériens hésitaient encore à le faire (Meziane, 1991).

2. Définition de pomme de terre

La culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) est une plante vivace, dicotylédone, tubéreuse et herbacée, appartenant à la famille des solanacées, qui sont des plantes à fleurs, et partage le genre *Solanum* avec au moins 2 000 autres espèces. Le terme désigne également la plante elle-même, mais toujours cultivée comme une culture annuelle (Juz et Bukasov, 2018).

3. Classification botanique

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L) appartient à la famille de solanacées .Le genre *Solanum* regroupe environ 2000 espèces dont plus de 200 sont tubéreuse dont les tubercules (Boufares, 2012). Selon le système international de classification du règne végétal, la pomme de terre se classe comme suit :

Tableau 01 : Taxonomie de la pomme de terre (Hawkes, 1990)

Règne	Métaphyts (végétaux supérieurs)
Embranchement	Spermatophytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Polemoniales
Famille	Solanaceae
Genre	Solanum L
Sous-genre	Potatoe
Section	Potatoe Dumort
Espèce	<i>Solanum tuberosum</i>

4. Description morphologique de pomme de terre

La pomme de terre est cultivée comme une plante annuelle. Elle contient de deux parties aérien et souterrain, les pommes de terre ont de 1 à 10 tiges aériennes, qui sont dressées puis étalées. Egalement des feuilles de 6 à 10 (folioles et feuilles). Cette dernière contient des fleurs blanches ou colorées. Les tiges souterraines sont appelées rhizomes, elles sont courtes et leur extrémités forment des tubercules.

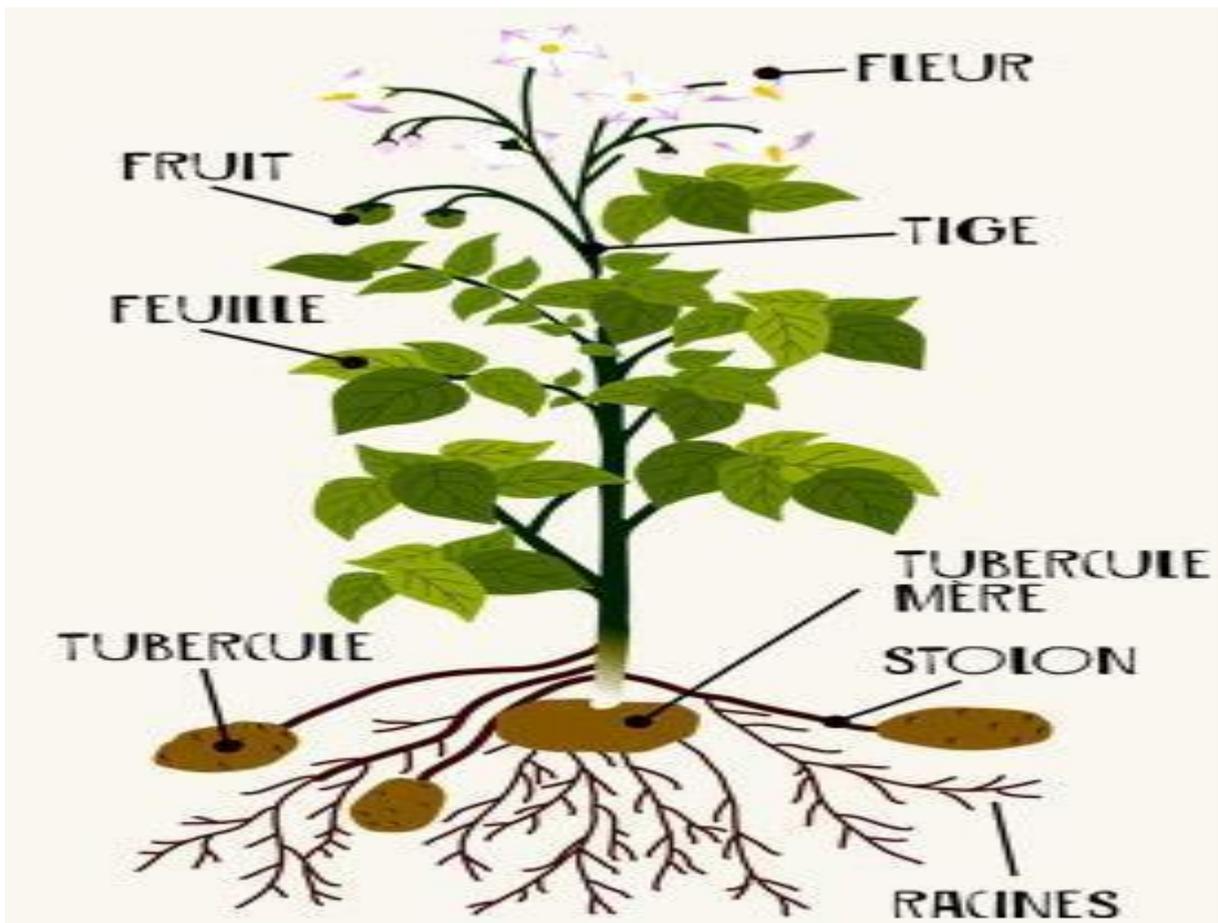


Figure 01 : Caractéristique morphologique de la pomme de terre (FAO, 2008)

5. Cycle de développement

Le cycle de la pomme de terre est très court, il varie de 3 à 4 mois, et demande une quantité d'eau importante due à son système racinaire court (40 à 60 cm), pour permettre le grossissement des tubercules et ainsi obtenir un rendement correct. Le cycle est divisé en quatre étapes sont : la dormance, la germination, la croissance et la formation des tubercules.

5.1. La dormance

Après la récolte, les tubercules entrent en phase de repos végétatif pendant lequel même placés dans des conditions optimales de température d'éclairage et d'humidité .ou le tubercule ne germe pas, la longueur de cette période dépend de la variété, des conditions d'entreposage, et surtout de la température (Kebaili,2017)

5.2. La germination

Après le repos, les tubercules sont capable de germer, leur croissance commence pendant le stockage et se produisent après la plantation (Soltner, 1999).

5.3. La croissance

Une fois les tubercules sont plantés au stade physiologique adapté, les germes se transforment en dessous du sol en tiges feuillées avec des bourgeons axillaires poussant au-dessous des branches du sol, puis des stolons et des rameaux (Soltner, 2005).

5.4. La tubérisation

Après certaine période et selon le climat, les coureurs s'allongent et s'arrêtent doucement et leurs extrémités gonflent pour des espaces de tubercules (Soltner, 1998).

6. Durée des différents stades phonologique de pomme de terre

Le cycle de développement de la pomme de terre dure trois à quatre mois, conditionnée par des facteurs génétiques et environnementaux (Grenot, 2006).

Tableau 02 : cycle de croissance de pomme de terre (Soltner, 2005).

Stade	Développement des feuilles	Formation des tubercules	Floraison	Fructification	Maturité des tubercules
Durée (par jours)	30j à 40j	50j à 60j	60j à 80j	70j à 90j	85j à 130j

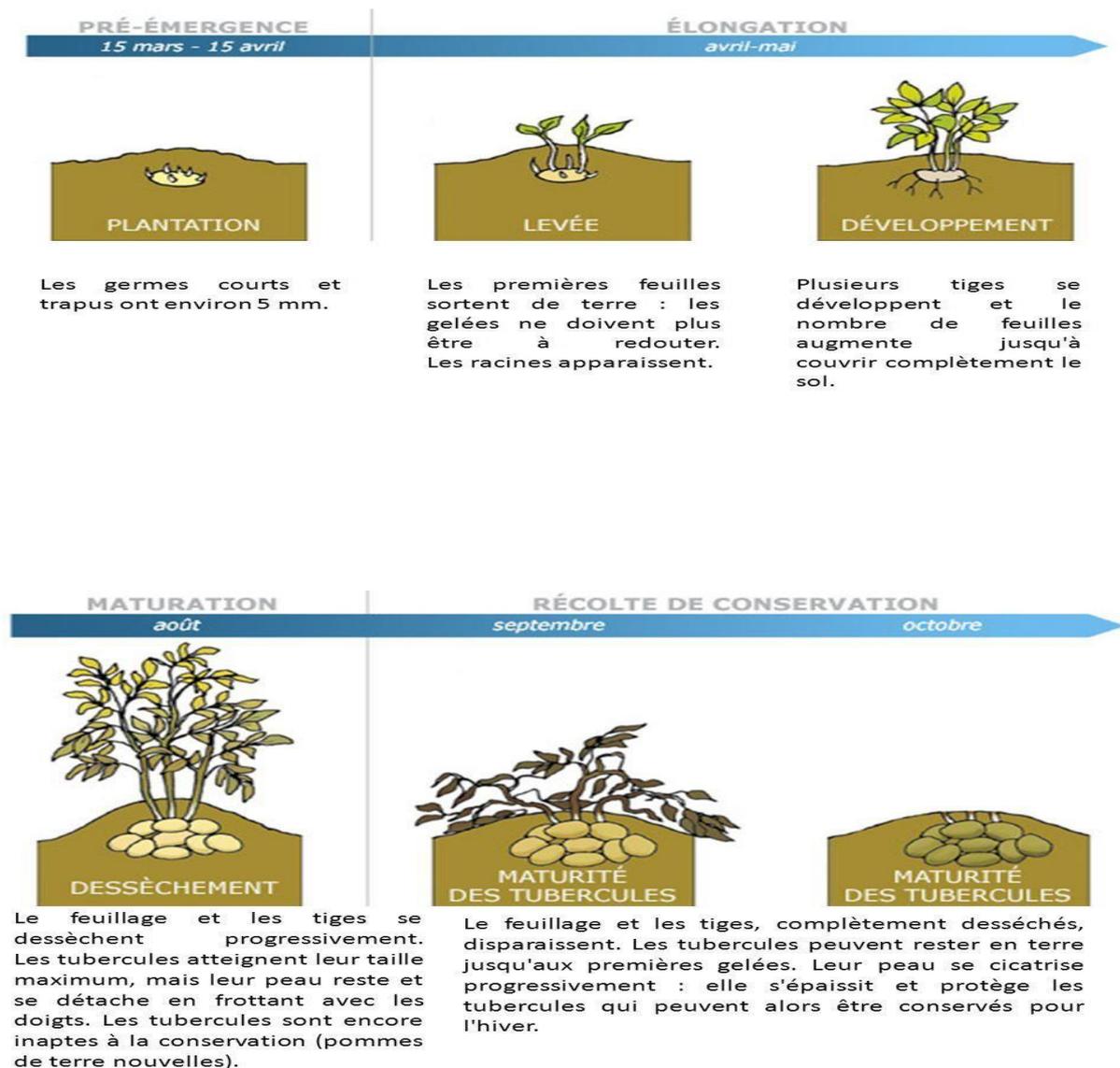


Figure 02 : Cycle de vie de la pomme de terre (Soltner, 2005)

7. Plantation et buttage

7.1. Préparation des plantes

Avant la plantation, les plants doivent être pré germés, l'utilisation de plants non germés induit un retard de culture, une durée plus longue sur terrain et par la suite un rendement faible. Si le premier germe a démarré il faut le supprimé afin d'accélérer les germes latéraux; les plants sont disposés dans un endroit bien aère et éclairé afin d'obtenir des gros germes, verdâtre, ne dépassant pas 10mm, et facile à utiliser lors de la plantation (Reguieg, 2008).

7.2. Préparation du sol

Un labour a 20-25 cm de profondeur est nécessaire suivi des façons superficielles afin de bien ameublir le sol, pendant cette préparation, des engrais minéraux seront ajoutés au dosage moyen : N (30) P (150) K (180), et nécessité de apporter 30T/ha d'engrais organique enfouie dans cette préparation (Reguieg, 2008).

7.3. Densité de plantation

La densité d'une culture de la pomme de terre. Pour mieux occupation du sol, 15-20 tiges /m² paraît optimal. Un plant de diamètre 35-55 mm pré germée produit entour de 5 à 6 tiges principales. Généralement, on place 4 plants/m². Avec une distance de 70 cm entre lignes et 30 cm entre plants, on a besoin de 2000 à 2500 kg de germes par hectare (Bamouh, 1999).

7.4. Période de plantation

La pomme de terre est cultivée durant une saison, Contrairement aux pays septentrionaux, en Algérie elle est cultivée selon trois types de culture qui sont : la primeur, la saison, et l'arrière-saison.

- Primeurs : plantation 15 novembre - 15 janvier.
- Saison : plantation 15 janvier -15 mars.
- Arrière-saison : 15 août -15 septembre

7.5. Profondeur de plantation

Les tubercules doivent être plantés à une profondeur uniforme. Pour obtenir une culture homogène La profondeur de plantation dépend du type de sol, des conditions climatiques et de l'âge physiologique des plants. La plantation fine (5 à 6 cm) est préférée dans un sol lourd et humide, où les tubercules mère risquent de s'épuiser avant que les germes puissent atteindre la surface du sol. Mais, pour les sols à texture légère où les risques de dessèchement sont à craindre, un labour profonde environ 10 cm. (Daoud, 2017).

7.6. Les besoins eau de pomme de terre

L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante, la pomme de terre est exigeante en eau, elle doit être irriguée avec des régimes d'irrigation bien étudiés. Une courte durée de sécheresse peu affecter négativement la production. De même un excédent d'eau entraîne l'asphyxie des racines et la pourriture des tubercules. Une forte humidité favorise aussi le développement du mildiou. Des variations excessives de l'humidité du sol influencent la qualité de la croissance des tubercules. Les besoins en eau vont principalement avec la profondeur des racines et varie selon la période de plantation. Ils se situent aux environs de 3 à 4 mm d'eau /jour avant la tubérisation et de 5 à 6mm /jour dès la formation des tubercules. Les besoins totaux atteignent environ 455 mm (Bamouh, 1999).

8 .Exigences écologiques

8.1. Exigences climatiques

8.1.1 Température

La meilleure température pour la culture de la pomme de terre se situe entre 14 °C et 17 °C. Les feuilles de la plante sont tuées à 3 °C et 4 °C. Les sommes des températures correspondant aux groupes extrêmes de précocité sont de l'ordre de :

- 1600°C pour les variétés primeurs (90 jours).
- 3000°C pour les variétés tardives (200 jours).
- Le tubercule gèle entre 1°C et 2.2°C.
- La température de stockage de la récolte devra être inférieure à 6°C (Moule, 1972).

8.1.2. Lumière

A la pré-germination, un éclaircissement suffisant favorise le développement des germes courts et vigoureux (2-3 cm) et bien colorés. La croissance végétative de la pomme de terre est favorisée par la longueur du jour élevée (14à18 heures), une photopériode inférieure à 12 favorise la tubérisation. L'effet d'une longue peut être atténué par chute de température (Moule, 1972)

8.2. Exigences édaphiques

8.2.1. Nature du sol

La pomme de terre se développe mieux dans des sols à texture grossière (Sablonneuse ou sablo-limoneuse) que dans les sols de texture fine (Argileuse ou argilo-limoneuse). Pour la bonne croissance la pomme de terre préfère des sols profonds, fertiles et humides (Bamouh, 1999).

8.2.1. pH

La pomme de terre supporte les pH assez bas de 5.5 à 6. Néanmoins elle peut s'adapter aux sols faiblement alcalins, la galle commune sur tubercule peut pousser (Bamouh, 1999).

9. Importance de la pomme de terre

9.1. Dans le monde

La pomme de terre occupait la quatrième production vivrière mondiale (après le riz, le blé le maïs) mais première production non céréalière.

Elle joue un rôle clé dans le système alimentaire mondial. Et s'adapte à des situations très diverses du cercle polaire arctique à l'équateur. Quant aux cultures non céréalières. Parmi 153 pays producteurs de pomme de terre, la production mondiale a atteint le chiffre record de 370 436,581 millions de tonnes(Mt) en 2019 (FAO STAT, 2019).

Dans les pays développés, la consommation de pommes de terre augmente considérablement et représente plus de la moitié de la récolte mondiale. Comme elle est facile à cultiver et que sa teneur énergétique est élevée, c'est une culture commerciale précieuse pour les agriculteurs (Tria, 2011).

Certain l'appelle l'aliment du futur, selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) au cours des vingt prochaines années, la population mondiale devrait croître de plus de 100 millions d'habitants par an, dont plus de 95% dans les pays en développement, où la pression sur la terre et l'eau est déjà très forte. Le défi principal que doit relever la communauté internationale consiste, par conséquent, à garantir la sécurité alimentaire des générations présentes et futures, tout en protégeant la base des ressources naturelles dont nous dépendons (Boufares, 2012).

La pomme de terre sera un élément important des efforts déployés pour relever ces défis. Les grands pays producteurs sont la Chine, l'Inde et la Fédération de Russie. L'Algérie occupe la quinzième classe mondiale (FAO, 2018).

Tableau 03 : Principaux pays producteurs de pomme de terre en 2000-2020(FAO, Stat).

Classe	pays	Production
1	Chine	76.484.078
2	Inde	36.603.310
3	Russie	27.701.745
4	Ukraine	20.498.745
5	Etats-Unis	20.122.144
6	Allemagne	11.071.387
7	Pologne	10.910.219
8	Belarus	7.401.706
9	France	7.079.594
10	Pays-Bas	6.941.806

9.1. En Algérie

Depuis le lancement du programme et jusqu'à nos jours, la culture de la pomme de terre en Algérie a connu un développement spectaculaire. Cet accroissement des superficies cultivées en pomme de terre était accompagné d'une importante augmentation des rendements. Les données recueillies lors d'une enquête que nous avons réalisée montrent bien ces augmentations.

Selon FAO STAT 2020.L'Algérie occupe la deuxième place, après l'Égypte, dans la production de la pomme de terre en Afrique, En 2013, l'Algérie a atteint le taux le plus élevé de près de 5 millions.

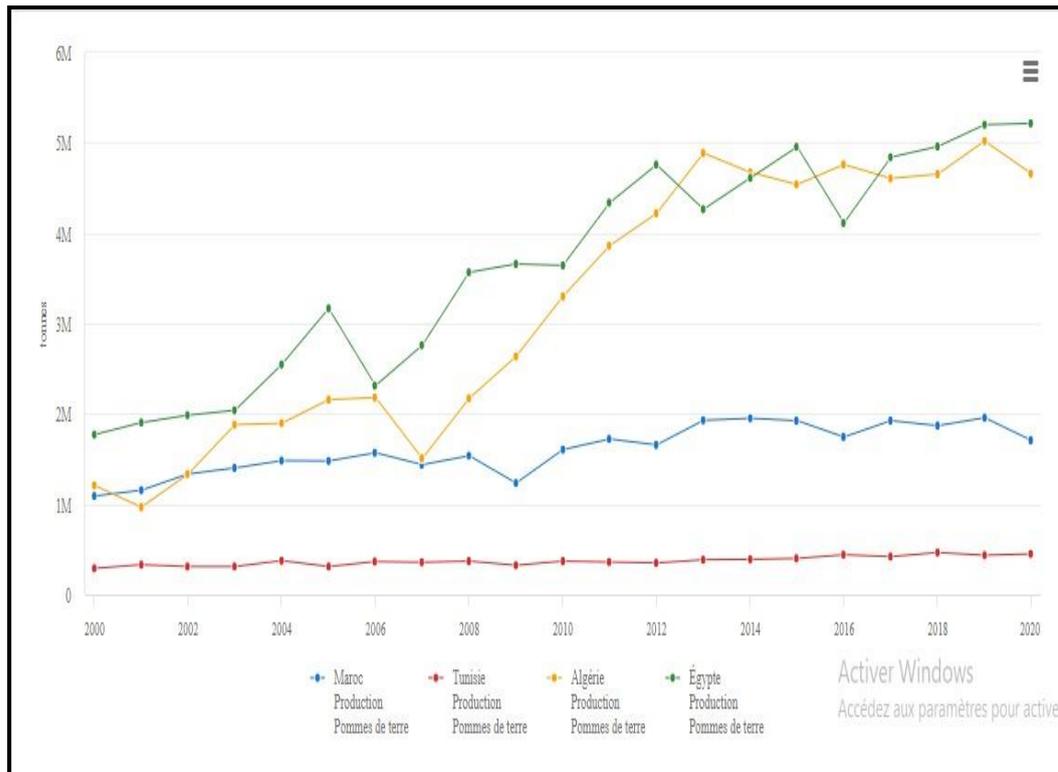


Figure 03 : production de la pomme de terre en Algérie, Tunisie, Maroc et l’Egypte(FAO, 2020).

10. Principales wilayas algériennes productrices de pomme de terre

El oued est classé en premier place dans la production de pomme de terre depuis 2010, en 2021 il a utilisé les plus grandes surfaces agricoles estimées à 36 500 hectares pour doubler sa production à 11 965 000 qx , et sa production à développer de 2010 à 2021 a causé la qualité de son sol, son climat et d’autres conditions .puis la wilaya de Mostaganem , Ain Defla ...etc. Le tableau suivant illustre le classement de dix premiers wilayas algériennes en termes de production (MADR, 2021).

Tableau 04 : Principales wilayas algériennes productrices de pomme de terre
(MADR ,2021).

Classement	wilayas	Superficie (ha)	Production (qx)	Rendement (qx /ha)
1	El oued	36 500	11 965 000	327.8
2	Mostaganem	15 696	5 103 190	325.1
3	Ain Defla	13 850	4 495 834	324.6
4	Mascara	13 689	3 679 180	268.8
5	Tlemcen	5 728	1 863 100	325.3
6	Tiaret	5 191	1 789 213	344.7
7	Djelfa	5 279	1 728 150	327.4
8	Bouira	5 388	1 676 480	311.2
9	Skikda	6 067	1 589 448	262
10	Tebessa	3 000	1 446 000	482

Selon le ministère de l’agriculture 2021 les trois types de cultures de wilaya algériennes sont comme suit :

- Primeur : Boumerdes, Tipaza, Skikda, Alger, Mostaganem, Tlemcen
- Saison : Ain-Defla, Mascara, Mila, Souk ahras, Boumerdes, Mostaganem, Sétif, Tizi ousou, Tiaret, M’sila, Tlemcen, Batna, Chlef, Bouira, El-oued.
- Arrière saison : Ain-Defla, Mascara, Guelma, Chlef, El oued, Tlemcen, Mostaganem, Djelfa...

Chapitre02 :Irrigation

Introduction

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

1. Technique d'irrigation

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. Ceci passera forcément par une gestion efficace de l'irrigation ainsi que par la maîtrise de l'utilisation et le choix des systèmes d'irrigation. Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories: l'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression

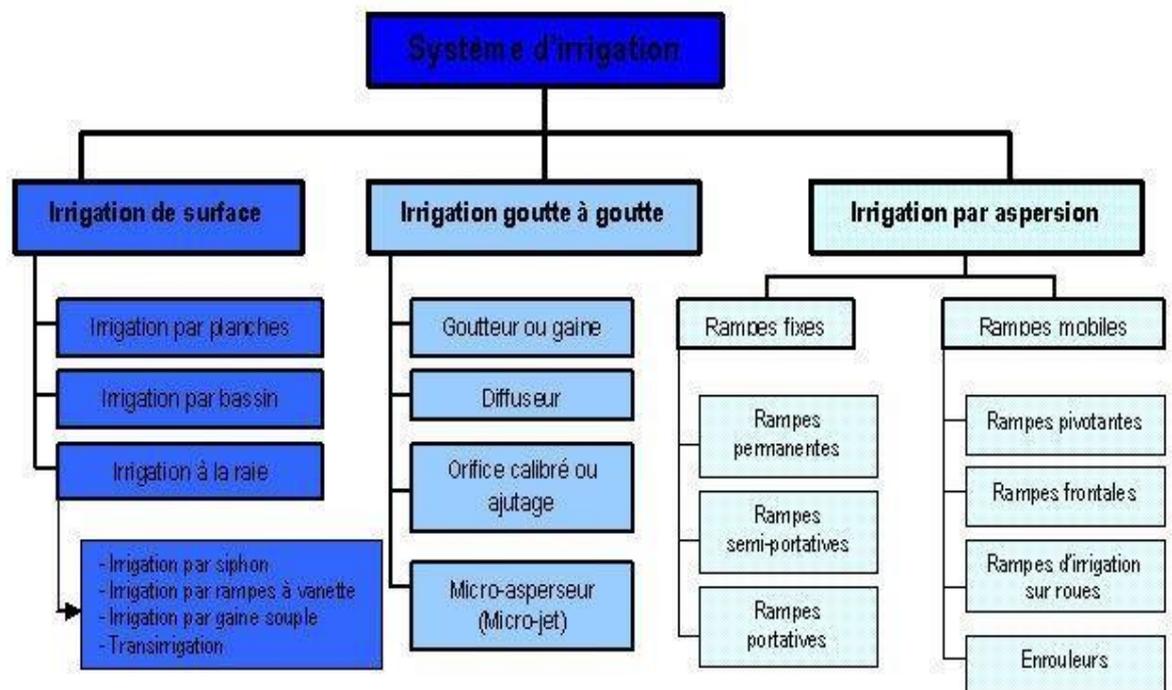


Figure 04 : Les différents systèmes d'irrigation (FAO ,1986)

2. Importance de l'irrigation

L'irrigation est la seule méthode d'augmenter les rendements et de les organiser avec des régimes d'irrigation justes et mesurés. Selon les terres, les espèces et variétés cultivées, et

les techniques d'irrigation utilisées. Les systèmes d'irrigation jouent un rôle important dans la satisfaction d'un terme d'efficacité d'utilisation d'eau et de rendement, et c'est ce que recherchent les agricultures à cause de carence d'eau et de la forte demande pour le produit (Plauchu, 2004).

3. Besoin en eau

Le besoin en eau est des doses précises d'eau qui est donné à la plante aux moments appropriés au cours de cycle végétatif afin de répondre à ses besoins et de la mettre dans les meilleures conditions d'humidité requise pour obtenir un nombre record de culture agricole, c'est ce qu'on appelle les besoins en eau (FAO, 1975).

3.1. Besoin en eau des cultures

Nous utilisons le bilan hydrique calibré en conditions naturelles, une carte mondiale des zones irriguées et des valeurs de calendrier des cultures irriguées pour calculer les besoins en eau des cultures, qui sont identiques à l'évaporation potentielle des cultures irriguées qui s'établit quotidiennement selon une résolution spatiale de 5 degrés d'arc par cellule de grille (FAO, 1998).

Donc : $ET_c = K_c \times ET_0$ (1)

Avec ET_c : l'évaporation potentielle des cultures (mm).

ET_0 : l'évapotranspiration de référence (mm).

K_c : coefficient spécifique à la culture et au stade de croissance en divisant en 4 étapes

- ❖ Faible initialement (juste après les semis)
- ❖ Augmentent pendant la phase de développement
- ❖ Sont élevés à la mi-croissance
- ❖ Retombent au stade tardif (mûrissement avant la récolte)

Les stades initial, de développement et tardif sont mensuels pour chaque culture, tandis que la durée du stade de croissance moyen varie en fonction du type de culture (FAO, 1999).

3.2. Besoin en eau d'irrigation

Selon FAO, les fortes pluies et leur efficacité fournissent une partie d'eau pour satisfaire besoins d'évapotranspiration des cultures comme le sol joue un rôle important dans l'économie d'eau et stocke une partie de l'eau de pluie et la restitue aux cultures en période de carence.

Il faut mettre le bilan hydrique pour calculer les besoins en irrigation d'un champ pour un type de culture spécifique, ce qui se fait en mesurant tous les débits naturels ou débit d'eau (eaux de surface et souterraines) et les pertes éventuelle s dans une zones cultivée (Zella, 2015)

3.3. Le bilan hydrique

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut donc se faire à l'aide d'une équation de bilan appelée "bilan hydrique" qui représente le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un sol (entité naturelle en générale) et dans le temps. L'alimentation en eau des végétaux dépend de plusieurs facteurs (Hillel, 1988).

- La quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol, et cela varie selon le climat.
- Déchets par évaporation directe de l'eau qui n'atteint pas le sol (10-40% en forêt).
- Le Ruissellement dépendant de la pente, de la porosité, de la texture.
- L'équation de bilan hydrique se s'exprime comme suit :

$$P + S = R + E + (S + \Delta S) \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

P : précipitation (liquide et solide)

S : Ressources disponible a la fin de la fin de la période précédent (eaux souterraine), humidité du sol, neige, glace)

R : Ruissellement de surface écoulement souterraine

E : évaporation (y compris évapotranspiration)

S+ ΔS : Ressource accumulation a la fin de la période étudiée .

4. L'évapotranspiration

Selon Allen en 1998, L'évapotranspiration (ET) désigne tous les processus par lesquels l'eau en phase liquide ou solide à la surface de la Terre devient de la vapeur d'eau

atmosphérique Elle est une combinaison de deux processus : l'évaporation et transpiration et a plusieurs concepts.

4.1.L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Quant il ya un déficit hydrique pour les plantes, on utilise l'irrigation. La durabilité de la vie de la plante est augment grâce à l'ETP et les doses qui ajoutent dans le sol (Dubost, 1992).

4.2.L'évapotranspiration potentielle de référence (ET0)

L'évapotranspiration de référence (ET0) est définie comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration d'une surface de gazon de hauteur uniforme avec des caractéristiques particulières. Ils se trouvent sur des larges avec des herbes courtes ou la transpiration maximale et les fournitures d'eau est bienfaisant en phase de croissance des plantes (Penman, 1948).

4.3. L'évapotranspiration Réelle (ETR)

La valeur de l'évapotranspiration est appelée l'évapotranspiration réelle (ETR) en cas d'approvisionnement en eau insuffisant de la culture (Katerji et Perrier, 1983).

Depuis longtemps les chercheurs utilisent un échenillons de sol et analyses gravimétrique, mais, ils ont échoué car la détermination de l'évaporation réelle de cette façon est très difficile. (Katerji et al, 2011).

5. Efficience d'utilisation de l'eau

5.1. Efficience de l'irrigation (EI)

L'efficacité de l'irrigation représente la quantité d'eau consommée dans les racines, c'est un facteur utilisé dans l'ingénierie, la conception et l'exploitation des techniques d'irrigation (Van Halsema et al, 2012).

La conception de l'efficience d'irrigation, définie comme suit :

$$\text{EI} = \text{Eau utilisé avantageusement} / \text{Eau totale appliquée} \dots\dots\dots (3)$$

cette perception de l'efficience met l'accent sur la quantité d'eau libérée à partir d'une source et la consommation réelle d'eau par les cultures un intérêt spécifique a été porté sur les phénomènes de déperdition d'eau qui surviennent au cours du transport de l'eau de sa source à la parcelle , afin de définir l'aptitude du système de transport à assurer le transport de l'eau sans perte .

5.2 .Efficience d'utilisation de l'eau (EUE)

Le concept d'utilisation efficace de l'eau (EUE) consommé par une culture sur une parcelle récoltée est généralement considéré comme l'eau d'irrigation plus l'eau de pluie, de cette eau, une partie non spécifiée de l'évapotranspiration réelle des cultures est utilisé pour produire de la biomasse végétale. (Van Halmsa et al, 2012). L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE Kg.m-3) est généralement définit comme suit :

$$\mathbf{EUE = rendement (Kg /ha) / eau appliquée pu disponible (m3 /ha) (4)}$$

Chapitre 03 : Modélisation agronomique

1. Le modèle

La modélisation occupe désormais une place importante, comme les travaux de Wit(1978) sur la photosynthèse et la respiration sont apparus dans le domaine d'agriculture il y'a 25 ans. Elle est devenue un outil important pour comprendre et comprendre les mécanismes e production végétale et inventir de nouvelles technologies, en fait, les simulations par le biais de modèles de cultures offrent une opportunité d'extrapoler les connaissances acquises a partir d'un petit nombre d'expérience a un plus large éventail de conditions. Un modèle est un outil qui donne accès à divers indicateurs difficiles a obtenir par l'expérimentation, comme le flux de solutés pu de composés gazeux, ils peuvent également comprendre les changement a long terme du système de plantation. Il peut quantifier simultanément l'impact de différents facteurs sur les performances du système étudié ; il offre également la possibilité d'explorer un plus large éventail de simulations dans un laps de temps limité (Boote et al, 1996).

2. Définition

La modélisation est généralement utilisée dans le domaine de l'agronomie pour aider les chercheurs et les scientifiques à mieux comprendre les liens complexes entre les actions humaines, le contexte pédoclimatique et les réponses de l'agro écosystème. Mais aussi dans un objectif d'aide à la décision, les modèles permettent d'analyser de manière systémique les conséquences d'une modification de la conduite d'une culture et d'évaluer les risques associés à de telles modifications (Loyce et Wéry, 2006)

3. Importance de la modélisation en agronomie

La modélisation y occupe aujourd'hui une place conséquente. Profitant ainsi des possibilités ouvertes par le développement de l'informatique, elle est devenue l'outil incontournable qui permet de connaître, et de comprendre les mécanismes impliqués dans la production des cultures et d'en inventer de nouvelles techniques. En effet, la simulation à travers les modèles de cultures offre d'une part l'opportunité d'extrapoler

les connaissances acquises par un petit nombre d'expérimentations à une plus large gamme de conditions. D'autre part, elle permet de quantifier simultanément les effets de différents facteurs sur les performances du système étudié (Boote et al, 1996). Elle offre aussi la possibilité d'explorer une gamme plus vaste de situations dans un intervalle de temps restreint (Semenov et al, 2009). En outre, les modèles sont des outils qui donnent l'accès à une diversité d'indicateurs difficilement accessibles par expérimentation telles que les flux de solutés ou de composés gazeux. Ils permettent aussi d'appréhender des évolutions à très long terme de systèmes de culture.

4. L'élaboration du modèle

4.1. Les étapes de l'élaboration du modèle

Selon Zella (2010), la méthodologie de l'élaboration d'un modèle s'articule sous les quatre étapes suivantes

4.1.1. Caractérisation

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

4.1.2. 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 de témoin ou références.

4.1.3. La vérification

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

4.1.4. L'exploitation

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

5. Objectif des modèles

5.1. Des modèles pour la recherche

Les chercheurs-modélisateurs se distinguent par les objectifs qu'ils assignent à leur

travail de modélisation (Raes et al ,2011) .Nous avons distingué deux grandes tendances :

- La conception de modèle pour l'exploration, ou bien pour la compréhension de mécanisme.
- La conception de modèle pour l'utilisation par d'autres personnes que leurs auteurs comme le modèle de CropWat, AquaCrop, CropSyst et plusieurs autres modèles. Dans cette étude, nous utilisons l'AquaCrop comme un modèle.

6. Description de modèle AquaCrop

Développé par la Food and Agriculture Organisation (FAO) branche pour l'agriculture des Nations Unies. Le modèle AquaCrop vise à offrir un outil simple d'utilisation et intuitif que les agents de vulgarisation puissent s'approprier pour une efficacité optimale. Les données à renseigner dans le modèle sont simples et ne demandent pas de calculs complexes. Il s'agit, par exemple, d'informations sur la plante cultivée, le climat, l'état du sol, la gestion, les rendements... Une fois les données entrées dans le système AquaCrop, un calcul (très complexe celui-ci) s'effectue automatiquement, et les résultats sont quasiment immédiats : on apprend dès lors, par exemple, comment et quand irriguer son maïs pour obtenir de meilleurs rendements, etc. Un ordinateur suffit pour utiliser le modèle qui est téléchargeable gratuitement sur le site de la FAO. Le modèle est utilisable partout dans le monde, pour tout type de culture, Un grand nombre de cultures sont modélisées et calibrées dans le modèle, mais AquaCrop permet aussi de contextualiser très finement les données. Ce modèle a été paramétré et testé pour de nombreuses cultures comme les céréales (Ben Abd elouahab, 2015), le maïs ou du maraichage comme le chou (Wellens et al, 2014) et ce, pour une large gamme de conditions climatiques.

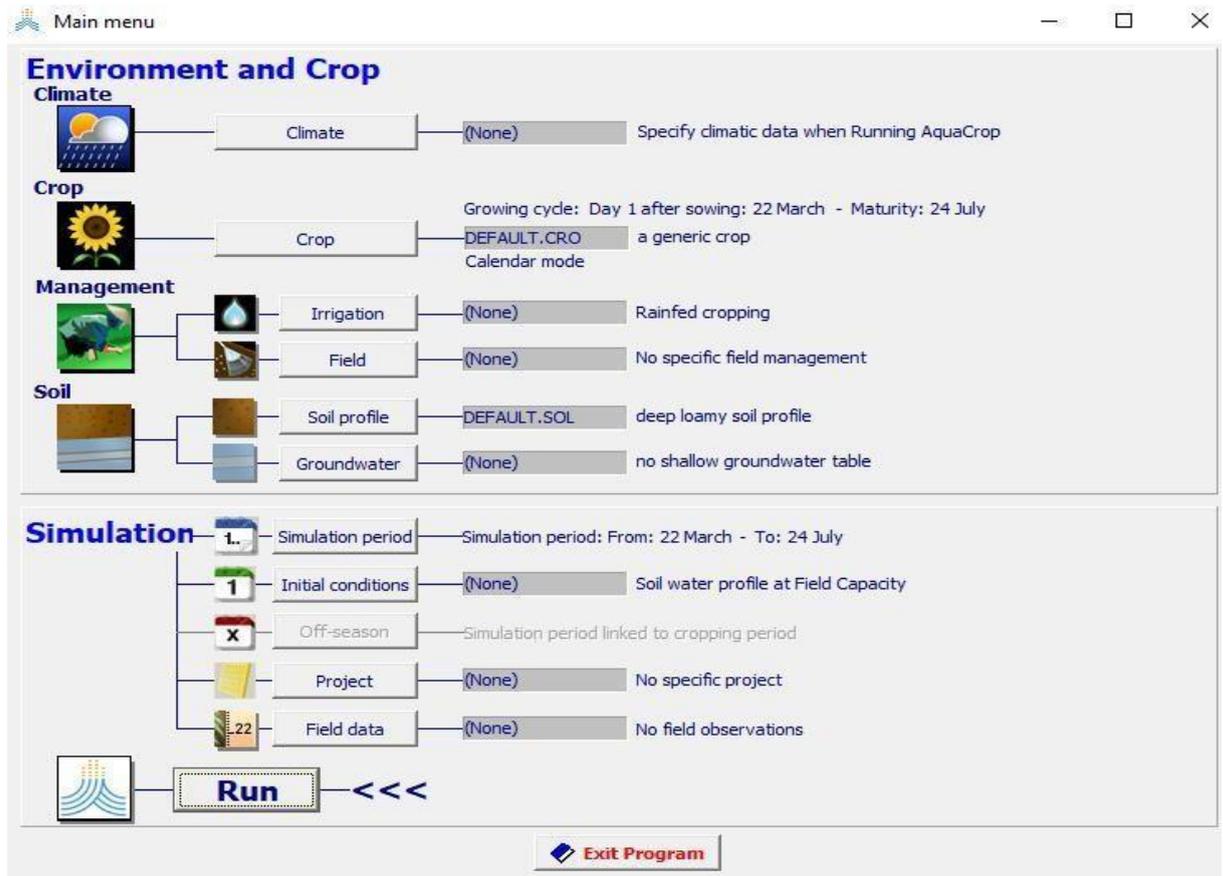


Figure 05 : Interface graphique de modèle Aquacrop (Raes et al, 2012)

6.1 Les données d'entrée

Pour faire tourner AquaCrop, on distingue deux types de paramètres d'entrée : les paramètres conservatifs et les paramètres non conservatifs. Les premiers sont des paramètres fixes qui n'évoluent ni avec le temps ni en fonction de la situation géographique comme les paramètres de résistances au stress ou de la productivité de l'eau. Le modèle fournit des valeurs par défaut pour ces paramètres. Sinon, ils doivent être calibrés. Par ailleurs, les seconds paramètres changent en fonction des pratiques agricoles, comme la densité de semi ou le calendrier cultural. Ces paramètres doivent être fournis au modèle (Steduto et al, 2012). Au cours de cette étude, la version 5.0 du logiciel AquaCrop a été utilisée. Trois composants sont impératifs pour les simulations.

Tableau 07 : Les données entrées de modèle AquaCrop (Steduto et al, 2012).

Les données	Les Caractéristiques
Climatiques	-Pluviométrie journalière -Températures journalières maximales et minimales -Evapotranspiration de référence journalière -Concentration annuelle de CO ² dans l'atmosphère
Pédologiques	-Texture -Profondeur -Volume d'eau contenu a saturation, a la capacité au champ et au point de flétrissement
Phonologiques	-Date de plantation -Densité des semis -Cycle culturale et phénologie de la plante

6.2. Les données sorties

Les données sorties sont des données sous forme des tableaux ou des graphes et sont des résultats de calcule automatique par logiciel AquaCrop (Steduto et al, 2012). Les résultats de simulation sont enregistrés dans un ensemble de fichiers de sortie. En supposant que, les fichiers de données de sortie sont dans le sous-répertoire OUP du dossier AquaCrop, la distinction est faire entre des fichiers de stockés données de sortie contenant des données journalières et des résultats saisonniers. Les fichiers de données de sortie avec des données journalières contient des informations sur:

- Le développement et la production de la culture.
- La teneur en eau du sol aux profondeurs divers de profil de sol.
- La salinité du sol aux profondeurs divers de profil de sol.
- La teneur en eau du sol dans le profil de sol et dans la zone racinaire.
- La salinité du sol dans le profil de sol et dans la zone racinaire.
- Les différents paramètres du bilan d'eau du sol.
- Le besoin net en eau d'irrigation.

MATERIELS ET METHODES

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques informations générales sur la région de Mostaganem, son emplacement, son climat et ses facteurs climatiques.

Introduction

La pomme de terre est l'un des légumes les plus consommés et de vaste superficie ont été utilisées pour sa culture. Mostaganem est l'un des wilayas les plus producteurs de pomme de terre en Algérie et sa prend la Deuxième place dans la production de la pomme de terre dans le pays. Pour cette raison, nous avons étudié a cette partie sa localisation, son territoire et les facteurs métrologiques.

I. Présentation de la zone d'étude

1. Situation Géographique

La wilaya de Mostaganem est située à 360 km au nord-ouest de la capitale et à 80 km à est d'Oran. Elle s'étend sur une superficie de 2.269 km² avec une population estimée à 737.118 habitants (2008). L'agriculture constitue la principale activité de ses habitants. 35° 56' 00" Nord, 0° 05' 00" Est de longitude et de 104 d'altitude. Elle se trouve au Nord-Ouest de l'Algérie sur la méditerranée (Afrique du Nord), à 350 Km à l'Ouest d'Alger (La capitale) et à 80 Km à l'Est d'Oran .

La wilaya est limitée :

- Au Nord par de la Mer Méditerranéenne.
- A l'Ouest par la wilaya d'Oran.
- Au Sud par la wilaya de Mascara et Relizane.
- A l'Est par la wilaya de Chlef.

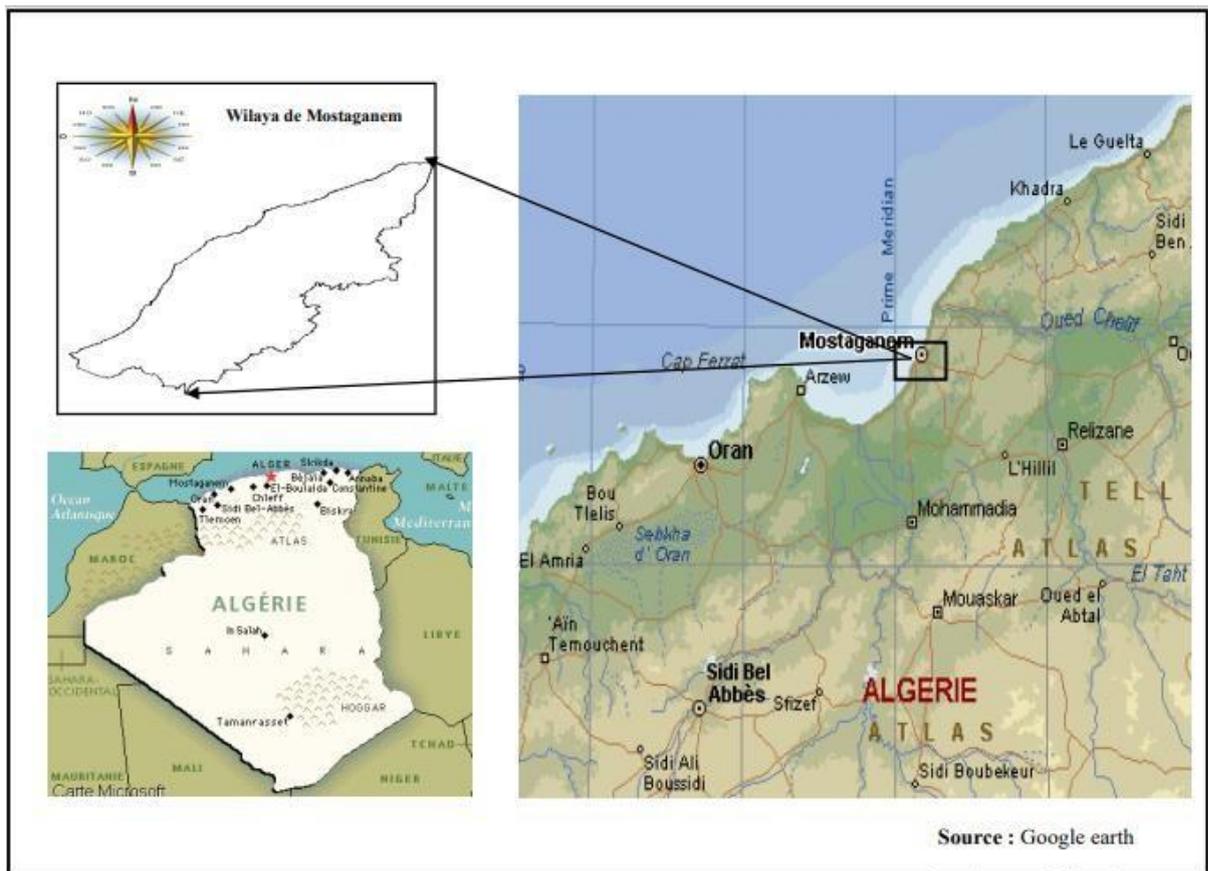


Figure 06 : Situation Géographique de la wilaya de Mostaganem (Google earth).

2. Situation économique

La région est caractérisée par une économie agricole liée à la pomme de terre et certaines cultures maraichères. L'activité agricole est dominée sur l'économie de la wilaya, d'où la production d'une grande variété de produits maraichères. (ANDI.2013). La wilaya de Mostaganem se distingue par la richesse de ses terres agricoles et de son littoral qui lui confèrent une vocation agricole et touristique réelle.

3. Choix de la zone d'étude :

La wilaya de Mostaganem est connue par sa production abondante de pomme de terre, selon les données statistiques des services agricoles de la wilaya, elle couvre plus de 8 % des besoins du marché national, c'est la deuxième zone productrice au niveau nationale (FAO, 2021) La pomme de terre est cultivée selon trois types ; la primeur, la saison et l'arrière-saison. Les rendements le plus élevés sont ceux de la saison

4. Pédologie de sol

D'après Belarbi (2017), Le sol est l'un des principaux facteurs en relation directe avec la production agricole. Suivant la structure pédologique, les sols de Mostaganem sont divisés en trois catégories principales sont à distinguer :

- ❖ Sols alluvionnaires : bordure occidentale du plateau de Mostaganem.
- ❖ Sols dunaires : localement sur la bande littorale, ils sont importants dans la forêt littorale (50 % de superficie).
- ❖ Sols calcaires : présents pratiquement dans l'ensemble de la superficie de la wilaya. (Lahouel 2014).

La zone de Mostaganem est caractérisée par des sols légers avec un bon pourcentage de matière organique, une faible salinité, un PH alcalin et une bonne aération.

4.1. Relief

Le relief de la Wilaya de Mostaganem s'individualise en 04 quatre unités morphologiques appartenant à deux régions distinctes : Le Plateau et le Dahra, des basses plaines de l'Ouest avec une superficie de 680Km² et une altitude située entre 0 et 100 m (Lahouel, 2014).

- Montagnes : 12%.
- Collines et piémonts : 21%.
- Plaines et plateau : 60%.
- Autres : 7%.

5. Climatologie

Le climat joue un rôle important dans la formation du terrain, le couvert végétal, la genèse et le type de sol, ainsi que dans les activités agricoles.

Le climat de Mostaganem se caractérise par un climat tempéré chaud et une pluviométrie qui varie entre 350 et 500 mm/Année, la température varie généralement de 8 °C à 31 °C et est rarement inférieure à 4 °C ou supérieure à 34 °C. (Belarbi 2017).

D'après Belarbi en 2017, illustre que l'humidité relative moyenne atteint son maximum en hiver de 80.79 % (en Janvier) et son minimum en Mai et Juillet entre 67.31 % et 67.83 %, on constat donc que le taux d'humidité dépasse les 65 % durant tout l'année.

La région se caractérise par un air humide. Dont l'humidité moyenne annuelle de 70,6%. La valeur de l'humidité moyenne maximale dans la région du Mostaganem est enregistrée pendant le mois de Décembre avec 85,7 % et la valeur de l'humidité moyenne minimale dans cette région est enregistrée pendant le mois de Juin avec 60,9 % (Daoud, 2017).

6. Ressources en eau à Mostaganem

Il est possible de schématiser l'exploitation des ressources en eau à Mostaganem comme suit :

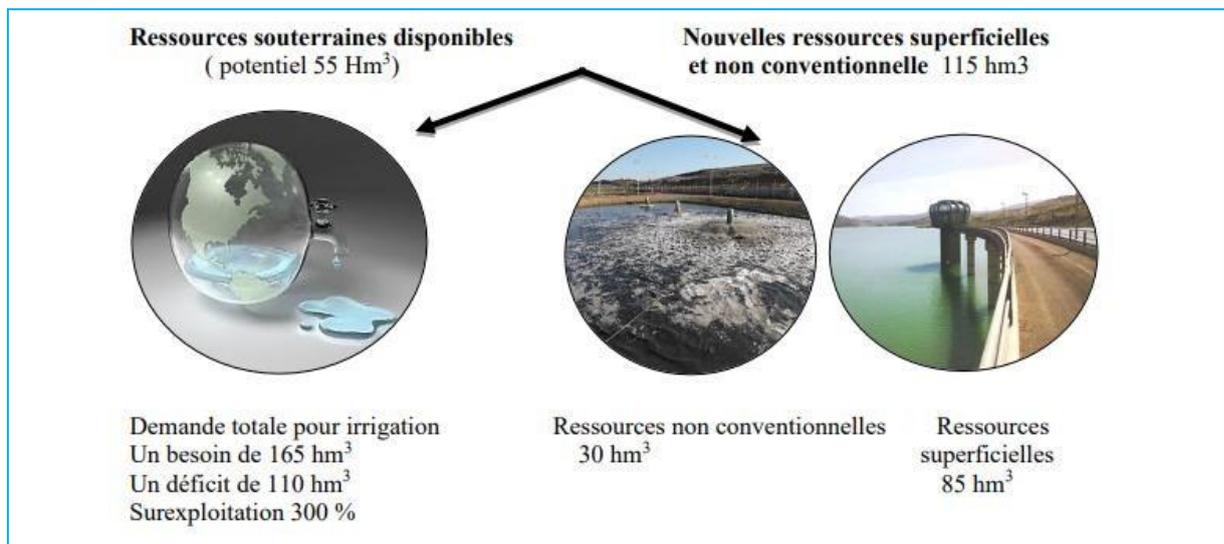


Figure 07 : Les différents types des ressources en eau à Mostaganem

2.1. Ressources conventionnelles (Ressources superficielles)

2.1.1 Les Barrages

Trois barrages sont en exploitation dans la wilaya de Mostaganem. Il s'agit de Kramis mis en service en 2005 et les deux barrages de Cheliff et Karrada mis en service en 2010. Leurs capacités au dernier levé bathymétrique totalisent un volume de 165.38 Hm³. D'après le PNE 2010, Le volume régularisable à partir de ces trois barrages est de 137Hm³ /an pour l'irrigation (Rakeb, 2020).

2.1.2. Les Eaux souterraines

Les eaux souterraines font partie des ressources conventionnelles, mais avec la mise en service du système MAO et Kramis et l'arrivé des eaux du dessalement cette ressource ne représente environ 5% de la production totale des eaux potables de la wilaya.

2.1. Ressources non conventionnelles

2.1.1. Eaux de dessalement

La station de dessalement de Mostaganem est implantée dans la zone de Sonachter à l'Est de

la ville de Mostaganem d'une capacité de production théorique de 200.000 m³/jour, et une Production réel actuelle de 145 000 m³/j. Elle est entrée en production au mois de novembre

2011, en application d'un programme de production et de livraison de l'eau potable. Un contrat de vente et d'achat d'eau entre les sociétés de projet de groupements d'entreprises espagnoles, à savoir STMM et MTM en tant qu'investisseurs, et l'ADE en tant qu'acheteur.

2.1.2. Réutilisation des eaux usées épurées

D'après Rakeb en 2020, Il existe cinq (05) stations d'épuration en exploitation dans la wilaya de Mostaganem avec une capacité totale de 106 000 (Eqh) et épurent un volume d'eau annuel de 8.1 Hm³, une (01) station en cours de réalisation à Salamandre avec une capacité de 350 000 (Eqh) et un volume d'eau annuel de 18.25 Hm³ et sept (07) stations sont en phase d'étude avec une capacité totale de 275 000 (Eqh) et un volume d'eau épuré annuel de 70 Hm³.

2.1.3. Cadre d'usage des eaux usées épurées

Pour une meilleure utilisation de cette ressource spécifique, le ministère des ressources en eau a initié une étude de réutilisation des eaux usées épurées à l'échelle nationale (achevée en décembre 2008) a pour objectif de définir les opportunités de réutilisation ainsi que la réglementation de l'usage de cette ressource non conventionnelle à travers le territoire national. Malgré l'existence d'un dispositif réglementaire limitant les usages de l'eau pour le fonçage de puits, néanmoins ce potentiel hydrique a contribué au développement de l'agriculture à travers la Wilaya (Rakeb, 2020).

4. L'agriculture de la pomme de terre dans la région de Mostaganem

Mostaganem est réputé pour sa production de pomme de terre, Selon les statistiques du service agricole du gouvernorat et constitue une zone de production majeure après el Oued au niveau national.

Il existe deux types de culture de pomme de terre : saisonnière avec une production 4 126 540 qx et hors saison avec 914 250 qx (MADR ,2020).les rendements les plus élevés sont dans la saison en cours avec 349,8 qx /ha.

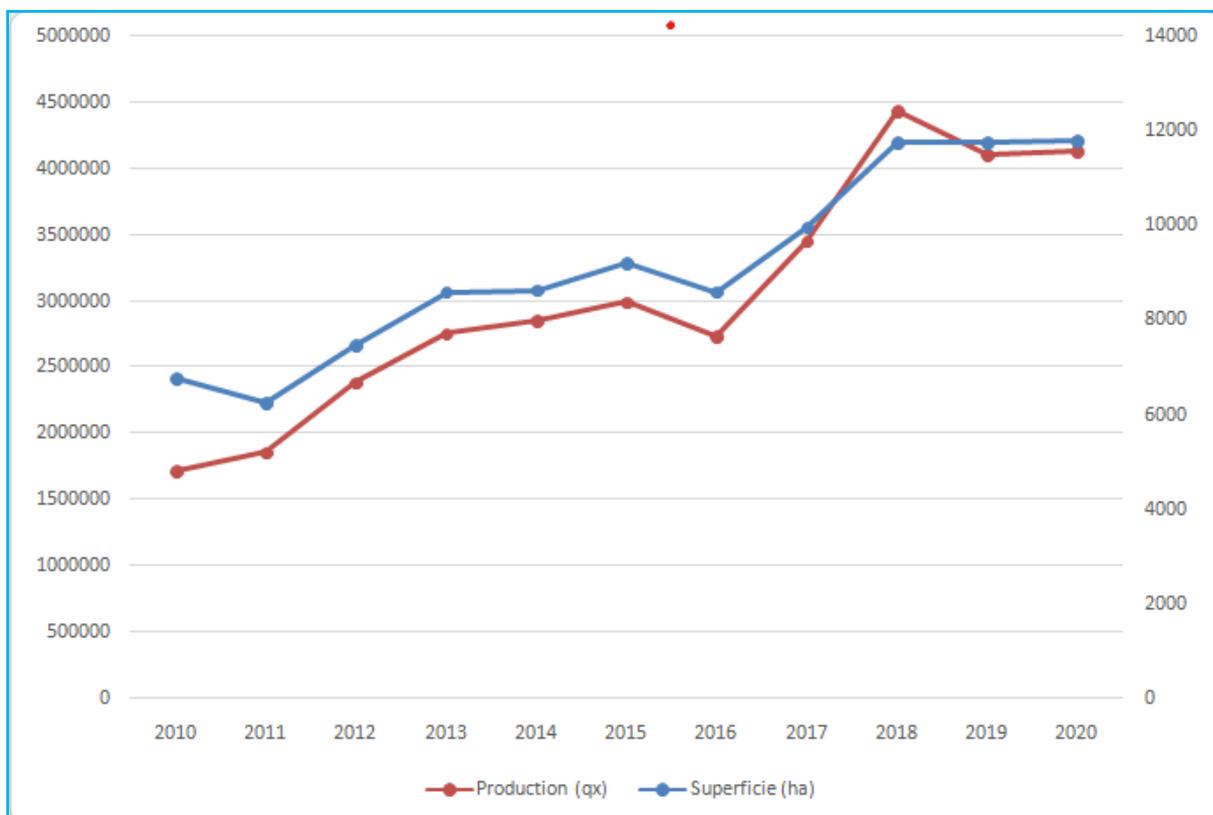


Figure 08. : Evolution de la production et la superficie réelle de la pomme de terre dans la Wilaya de Mostaganem 2010-2020 (MADR, 2020).

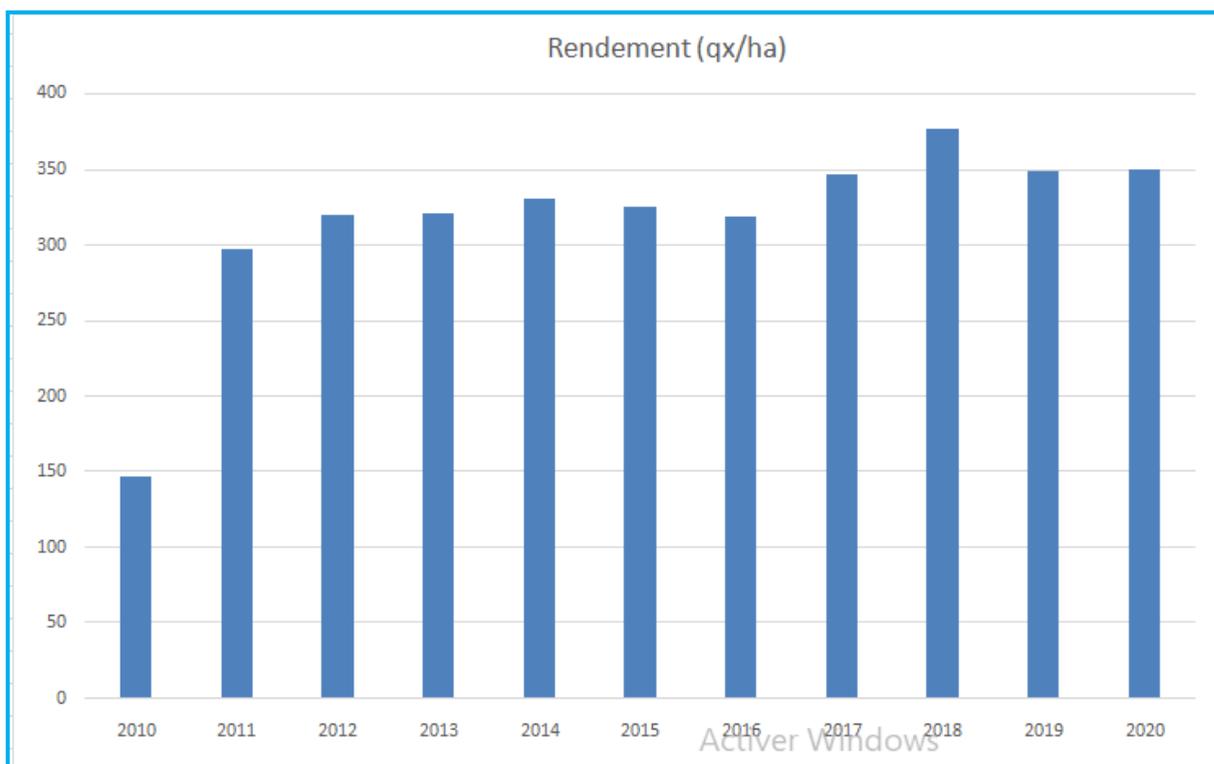


Figure 09 : Evolution du rendement de pomme de terre dans la wilaya de Mostaganem
2010-2020 (MADR, 2020)

II. Evaluation des besoins en eau de culture par AquaCrop

Afin de répondre au besoin en eau des cultures et de ne pas sur-arroser, des doses spécifiques et précisément calculées doivent être utilisées. Pour cela, la FAO a développé des techniques facilitant le calcul des besoins de cultures, comme AquaCrop.

Le calcul des besoins en eau nécessite des informations particulières pour donner de bons résultats.

- Pour les informations nécessaires liées aux besoins en eau de la culture, nous entrons des données climatiques.
- Les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve utile de sol.
- Les données de cultures détermineront la réserve d'eau la plus facile à utiliser pour la plante, en fonction de la profondeur des racines.

1. Les données climatiques

La température maximale et minimale ($^{\circ}\text{C}$), précipitation (mm), humidité relative (%), vitesse des vents (m /s) a une hauteur de 2 m au-dessous du sol, rayonnement solaire (watt/m²), nous obtenons ces données par publication d'Office National de la

Météorologie (ONM) et de Localisation Météorologique s'étalant sur une période Mesures prises au pas de temps mensuel, sont les données liées au climat utilisée par AquaCrop.

2. Les données culturales

Aquacrop utilise un certain nombre de paramètres réels et de variables d'entrée qui sont facilement disponibles ou nécessitent des méthodes simple à définir. Le tableau ci-dessous illustre les paramètres d'entrée liés à la culture.

Tableau 6 : Paramètres d'entrée exigés par le modèle AquaCrop

Paramètres	Valeurs
Température de base (°C)	5,5°C
Température supérieur seuil (°C)	30°C
Nombre des plantes par hectare	35000 à 43000
Méthode de plantation	15 cm / plante
Le temps du semis à l'émergence	5 jours
Temps de floraison	47 jours
La durée de stade de floraison	50 jours
Moment de début de sénescence de la canopée	110 jours
La durée de cycle de culture	125 jours
Indice de récolte (%)	75%
Productivité de l'eau g/m ²	17
Profondeur maximale d'enracinement	0,5 à 1,5 m

Les données liées au sol

- Texture : Argileux-limoneux
- Horizon du sol : 1Nr
- Epaisseur : 1m
- Saturation : 44.6%
- Eau totale disponible dans le sol : 35 mm

4. Calcul de l'évapotranspiration potentiel

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La valeur limite de l'ETP est fonction de l'énergie disponible.

La formule de PENMAN-MONTEITH est bilan énergétique et Méthode de transfert de masse, parmi les différentes méthodes de calcul des ETP, Recommandé par la FAO (Allen et al, 1998). La formule générale est la suivante :

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + g \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + g(1 + 0,34u_2)} \dots\dots\dots (5)$$

Avec :

ET₀ : évaporation de référence journalière (mm/j)

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

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

T : température moyenne journalière

U₂ : vitesse moyenne journalière du vent mesuré à 2 mètres (m/s)

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

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

5. Calcul la pluie efficace

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

La pluie effective est la pluie utilisée en fin de compte pour déterminer les besoins d'irrigation des cultures. Elle est calculée selon la méthode de l'USDA (United States Department of Agriculture) basée sur l'équation suivant :

$$P_{eff} = P_{mois} \times (125 - 0,2 \times P_{mois}) / 125 \text{ pour } P_{mois} \leq 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (6)$$

$$P_{eff} = 125 + 0,1 \times P_{mois} \text{ pour } > 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (7)$$

Ou : P_{eff} = pluie efficace, P_{mois} = pluie mensuelle

6. Calcul les besoin en eau des cultures

En matière d'irrigation, on cherche à placer les plantes dans des conditions de production optimale et on base l'irrigation sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ET_m) qui

est une valeur ponctuelle liée à l'ET₀ qui est relative à une région par un coefficient cultural, donné par la formule de base de l'approche climatique :

$$ET_m = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots (8)$$

Avec ; ET_m : évapotranspiration maximale d'une culture (mm)

K_c : coefficient cultural

ET₀ : évapotranspiration de référence (mm)

7. Calcul les besoins en eau d'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation d'une culture dépendent des pluies et de la capacité du sol absorbé et restituer l'eau. Voici un bilan de la FAO pour calculer les besoins en eau d'irrigation. Elle est définie comme suit :

$$BEI = ET_c - P - DS \dots\dots\dots (9)$$

BEI : consommation d'eau pour l'irrigation nécessaire pour satisfaire la demande des cultures (mm).

ET_c : l'évapotranspiration potentielle de la culture (mm).

P : pluie.

DS : le changement dans l'humidité du sol (mm).

8. Etablir les calendriers d'irrigation

La planification de l'irrigation détermine la mesure correcte de l'eau à irriguer et l'heure correct pour arrosage. Les modèles AquaCrop calcule l'ET₀, les besoins en eau des cultures et les besoins en eau d'irrigation pour développer les programmes d'irrigation dans les conditions d'administration et des plans d'approvisionnement en eau différents.

9. Calcul l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE)

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

$$EUE (Kg/m^3) = Rdt / ET_m \dots\dots\dots (9)$$

Avec :

EUE : l'efficacité d'utilisation d'eau

Rdt : le rendement de la culture (Kg/ha)

ET_m : l'évapotranspiration maximale de la culture (m³/ha)

9. Scénario des trois régimes d'irrigation

L'utilisation des trois régimes d'irrigation 100%RFU, 80%RFU, 50%RFU, avec un programme d'arrosage organisé pour trouver le régime le plus approprié pour la culture pour donner un bon rendement avec une petite quantité d'eau utilisé.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Analyse des paramètres climatiques

1.1. Pluie

La figure 09 illustre la variabilité inter annuelle de la pluviométrie durant la série climatique (2009-2021)

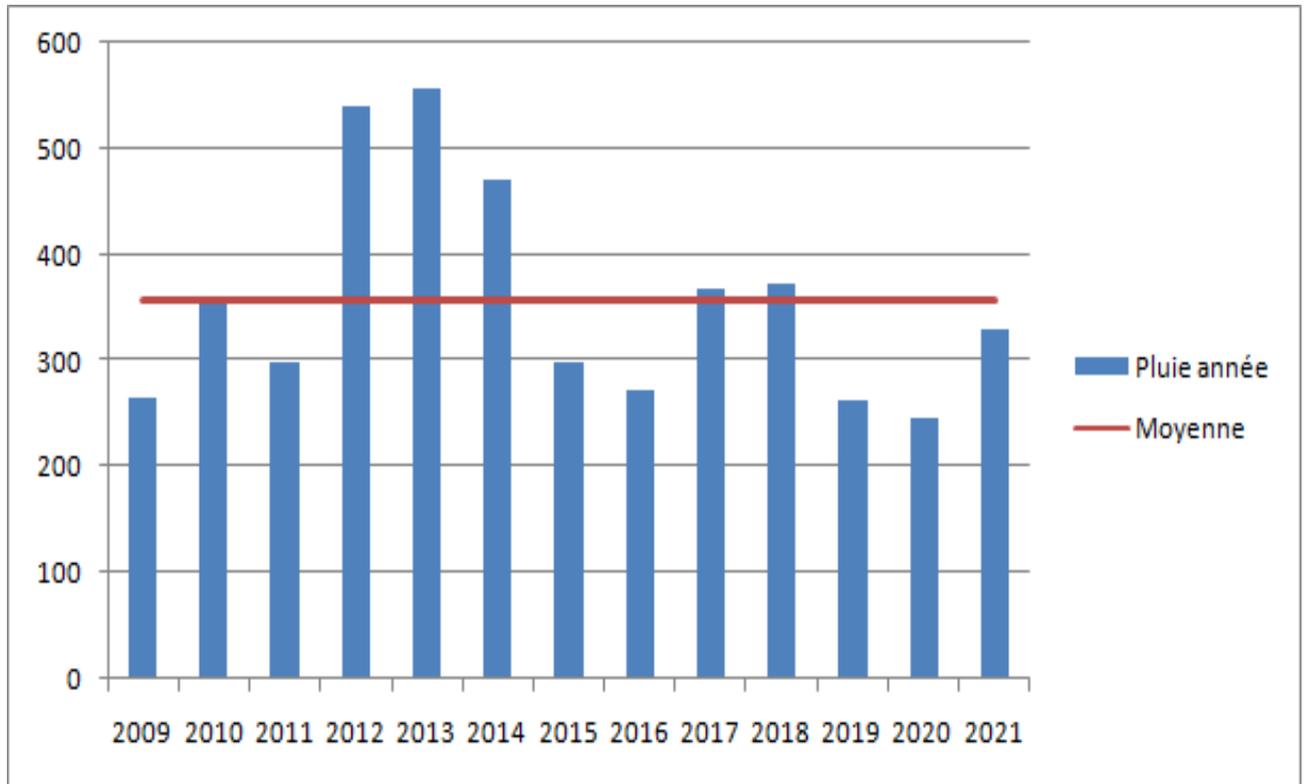


Figure 10 : Variabilité interannuelle de la pluie (2009-2021)

Les résultats obtenus montrent une variation hétérogène de l'intensité des précipitations sur la zone d'étude. La valeur moyenne estimée des précipitations annuelles au cours de la période d'étude (2009-2021) variait entre une valeur minimale de 247 mm et une valeur maximale de 557.4mm.

L'analyse de ce graphique nous a permis de déterminer l'année de l'excédentaire, qui est l'année 2013 et l'année de déficitaire, l'année de 2020.

1.2. Température

La figure 11 montre les résultats de température annuelle moyenne enregistrés au cours de la période d'étude (2009-2021). A partir de ces chiffres, on note que la moyenne annuelle de l'année la plus froide est de 17.32 °C en 2013 et l'année la plus chaude est de 21.05°C en 2010.

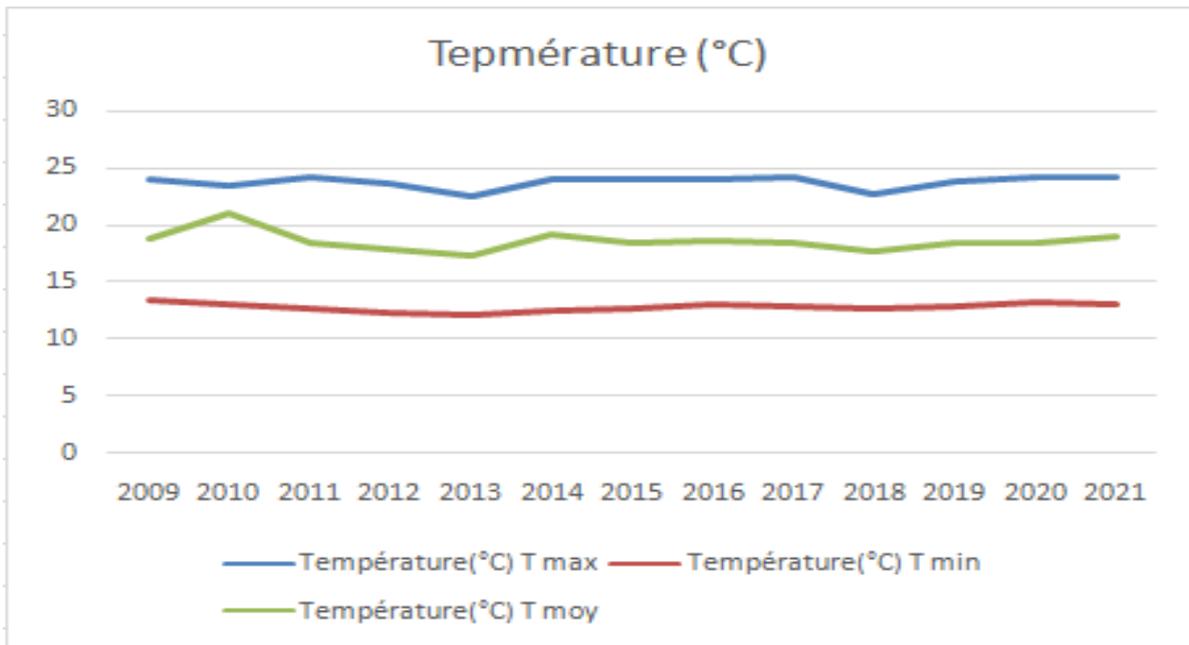


Figure 11: Température moyenne annuelle (2009-2021)

1.3 Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air est un élément du cycle hydrologique qui contrôle l'évaporation du sol et le couvert végétal. L'humidité moyenne annuelle pour la période (2009-2021) est illustrée par la figure 11.

Il est constaté que l'année la plus humide est 2012 et 2013 avec 75% par contre l'année la moins humide coïncide avec l'année 2017 avec 67%.

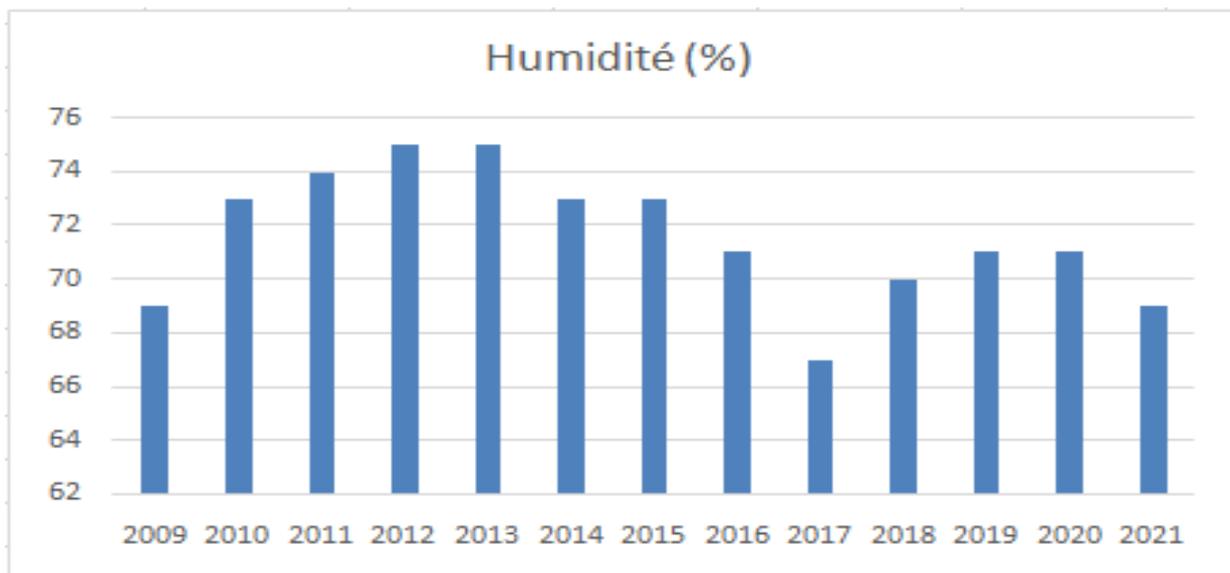


Figure 12: Humidité relative moyenne annuelle (2009-2021)

1.4 Vitesse du vent

Le vent a un effet indirect en modulant la température et l'humidité, il augmente la transpiration des plantes.

Les vents les plus fortes sont ceux qui soufflent de l'est principalement pendant la période de février à août. Ces vents forts qui transportent du sable peuvent avoir des effets néfastes sur les cultures agricoles de la région.

Le vent est un facteur important en agriculture et du point de vue des aménageurs car il reste un élément crucial dans le choix du type d'irrigation (aspersion ou gravitaire).

Les données de vitesse du vent pour chaque année de 2009 jusqu'à 2021 ont été rapportées dans la zone d'étude, il est constaté que la vitesse moyenne maximale du vent en 2009 est de 2.47 m/s et la vitesse minimale observée est de 1.79 m/s en 2015.

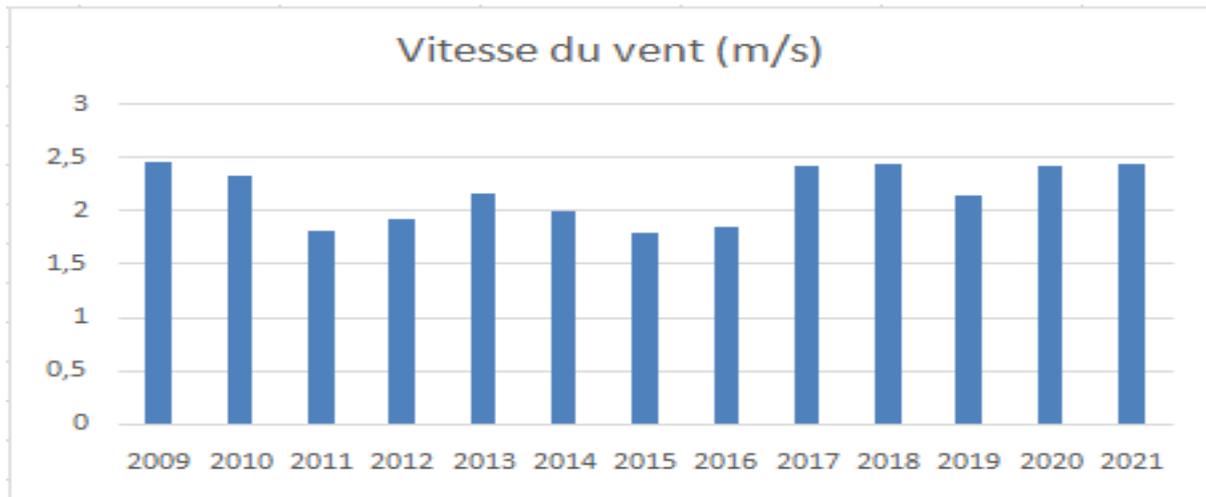


Figure 13 : Vitesse du vent moyenne annuelle pour la période d'étude (2009-2021)

1.5. Insolation

La variation de la durée d'ensoleillement durant la période d'étude est illustrée dans la figure 14, il est constaté que l'ensoleillement maximum est enregistré en 2009 (8,77 h) et par contre la valeur la plus basse est observée en 2021 (7,63 h).

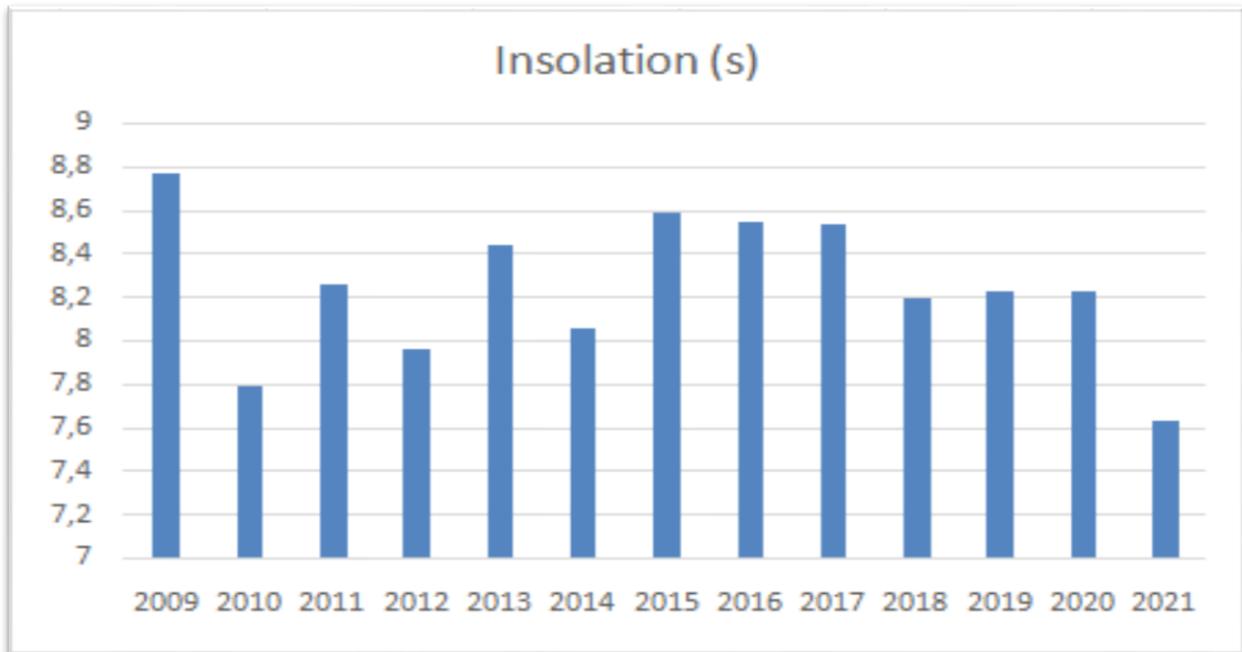


Figure 14: Variation de la durée d’ensoleillement pendant (2009-2021)

2. Calcul de l’évapotranspiration de référence

2.1. A l’échelle annuelle

L’évapotranspiration de référence (ET₀) a été calculée selon la méthode Penman- Monteith de la FAO (Allen et al, 1998). Celle-ci nécessite comme données la température (maximale et minimale), l’humidité (maximale et minimale) ainsi que la radiation solaire et la vitesse du vent à 2 mètres au-dessus du sol. La figure 14 illustre la variation interannuelle de l’évapotranspiration de référence (ET₀) sur une période de 18 ans (2009-2021). Il est constaté que la moyenne annuelle de l’ET₀ est de l’ordre de 1270.38 mm, fluctue entre un maximum de 1389.8 mm et un minimum de 1182.6 mm.

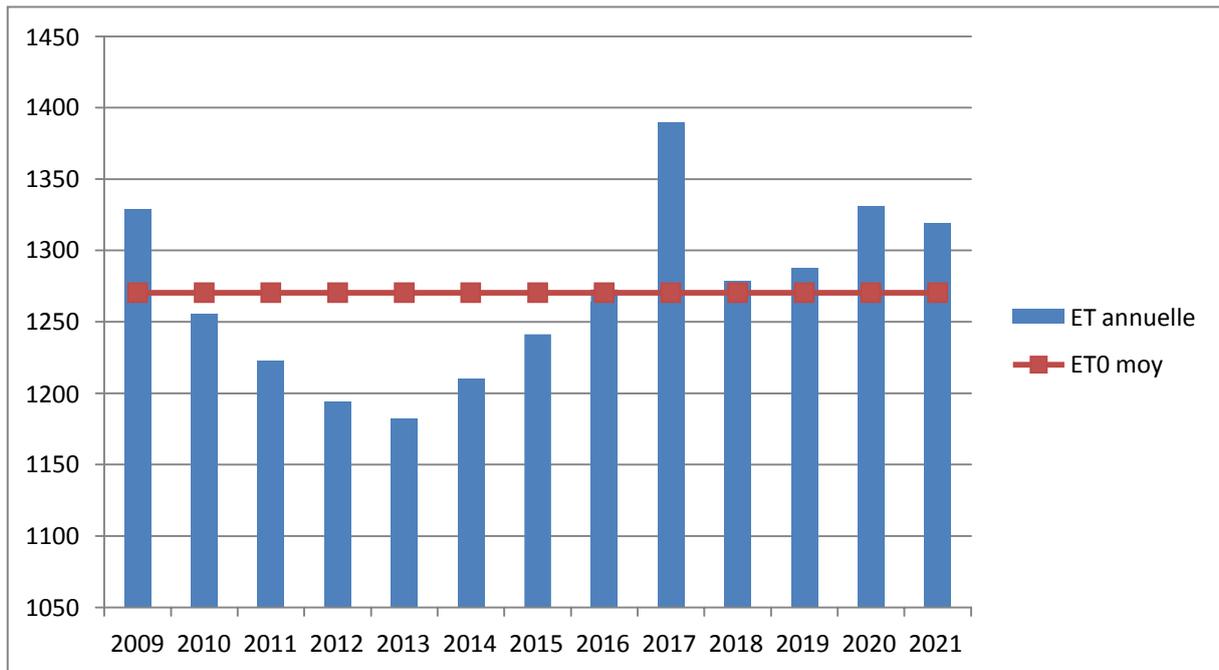


Figure 15 : Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence, pendant la Période (2009-2021)

2.2. A l'échelle saisonnière

La figure 15 montre la variance interannuelle de l'évapotranspiration de référence (ET₀) en la taille de la saison de croissance de la récolte de pomme de terre dans sur une période de 18 ans (2009-2021). Il été constaté que les moyennes annuelles d'ET₀ pour pomme de terre 506.85 mm .Evapotranspiration de référence (ET₀) enregistrée pendant la saison de croissance de pomme de terre (Février à Mai) est de 571 mm en valeur maximale et de 473 mm en valeur minimale.

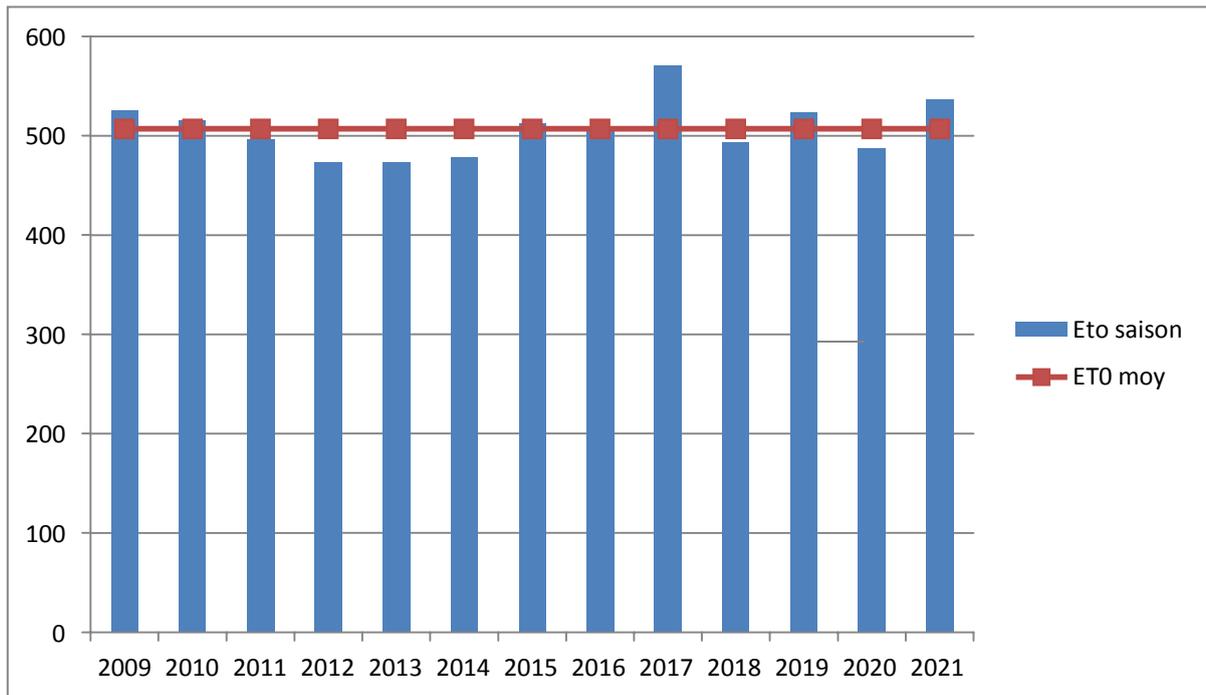


Figure 16 : Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence à l'échelle de la Saison de culture, période (2009-2021)

3. Calcul les besoins en eau d'irrigation

Le besoin total en irrigation de la culture de pomme de terre (BEI) est estimé par le modèle AquaCrop (figure 16). Nous constatons que les valeurs de BEI sont plus importantes pour les régimes 100 et 80 RFU, qui sont respectivement de 489 mm et 355 mm. Par contre pour le régime 50 RFU, le BEI est de l'ordre de 231 mm.

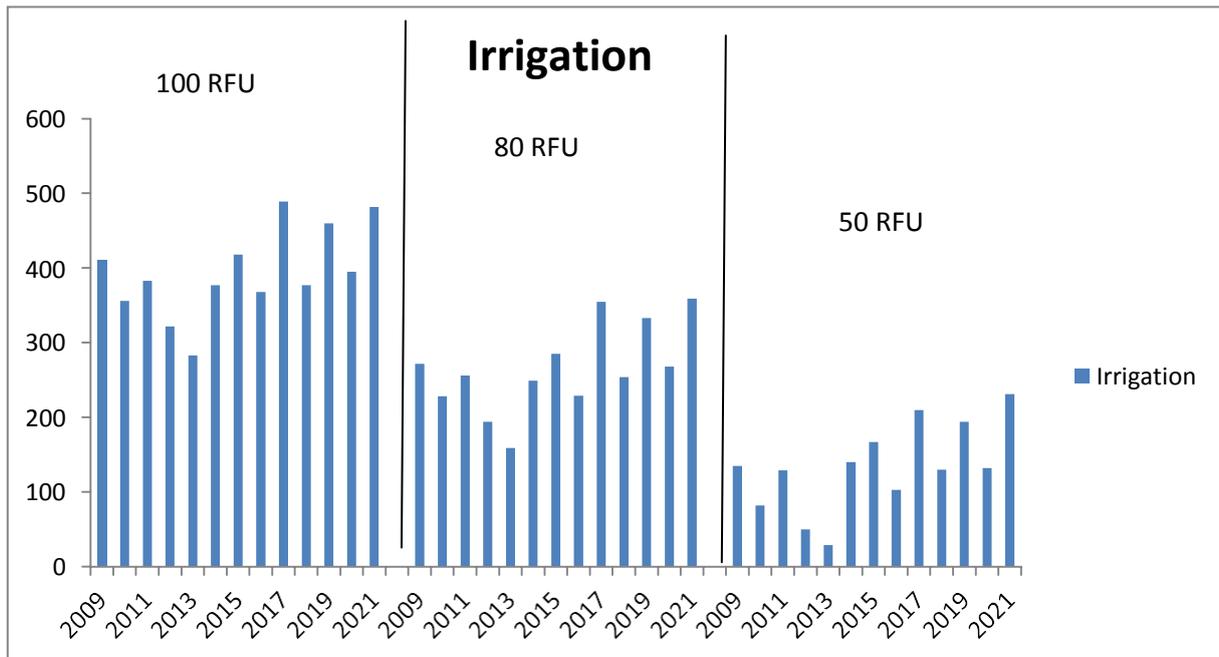


Figure 17 : Variation interannuelle du besoin en eau à l'échelle saisonnière de pomme de terre (2009-2021)

4. Calcul de l'évaporation

L'évaporation se fait à la surface du sol. Il est plus élevé avec le régime 100 RFU surtout en 2021 car la température était plus élevée. Le départ de l'eau superficielle fait remonter l'eau des zones plus profondes. La quantité évaporée diminue avec la quantité retenue dans le sol à cause de son évaporation (figure 17).

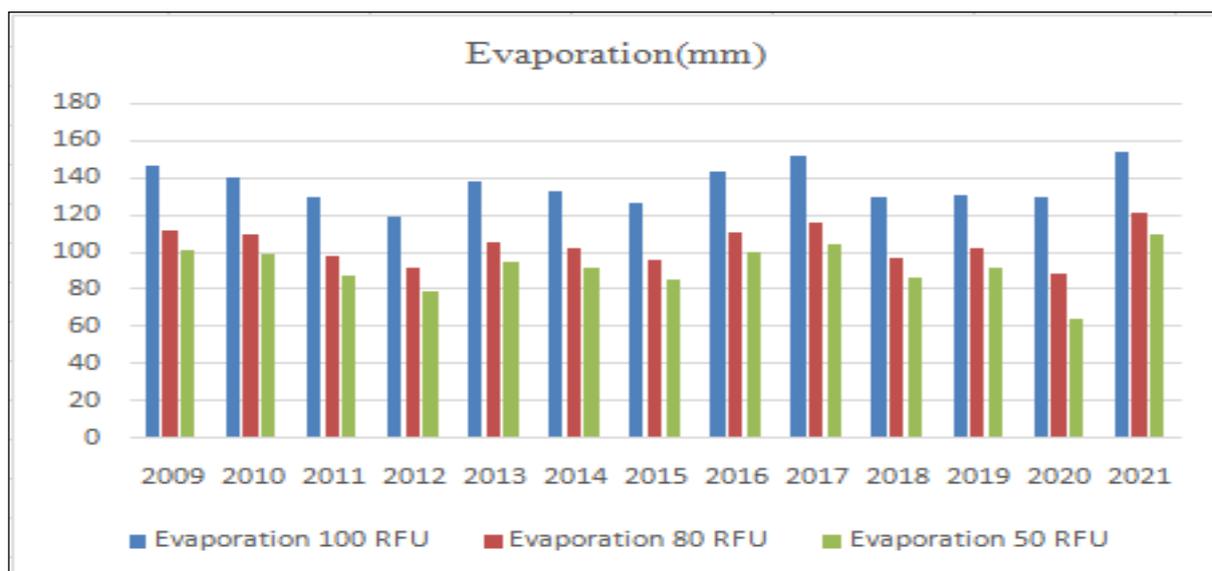


Figure 18 : Variation interannuelle de l'évaporation, période (2009-2021)

5. Calcul de la transpiration à l'échelle saisonnière

La figure 18 montre la variation des teneurs de la transpiration au cours de la saison de croissance de la pomme de terre pour la période d'étude (2009-2021). Il est constaté que la transpiration est plus élevée avec le régime 100 % par rapport aux autres régimes (80 % et 50 %) à cause la culture est mise dans des bonnes conditions hydriques (pas de stress hydrique) surtout en 2017.

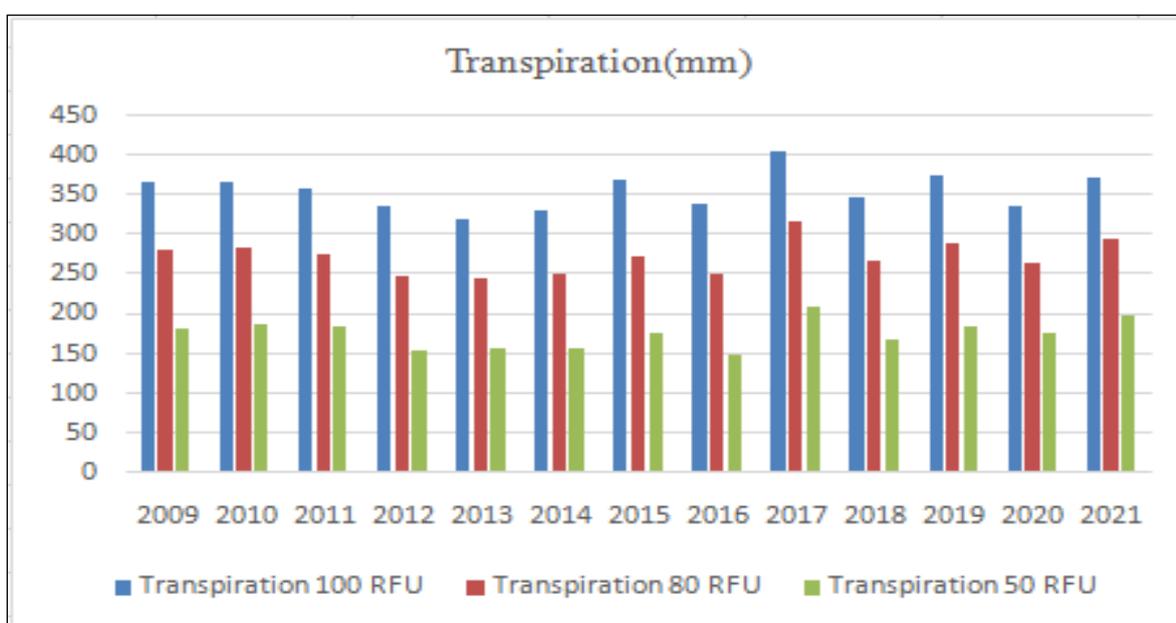


Figure 19 : Variation interannuelle de la transpiration à l'échelle de la saison de culture,

Période (2009-2021)

6. Calcul des besoins en eau de culture

A l'échelle saisonnière, les besoins en eau de la pomme de terre (ETm) ont été estimés à l'aide du modèle AquaCrop. Il ressort clairement de cette figure (figure 20) qu'il y a une différence entre l'irrigation à 100 RFU, 80 RFU et 50 RFU et bien sûr 100 RFU est le meilleur, alors que pour le régime d'irrigation à 50 RFU, on remarque que les besoins en eau des pommes de terre sont faibles par rapport 80 RFU ou la moyenne annuelle pour chaque régime est respectivement comme suit : 492.30 mm, 376.76 mm, et 267.92 mm, ces valeurs se situent dans la fourchette signal par la FAO qui varie de 300 à 500 mm selon le climat.

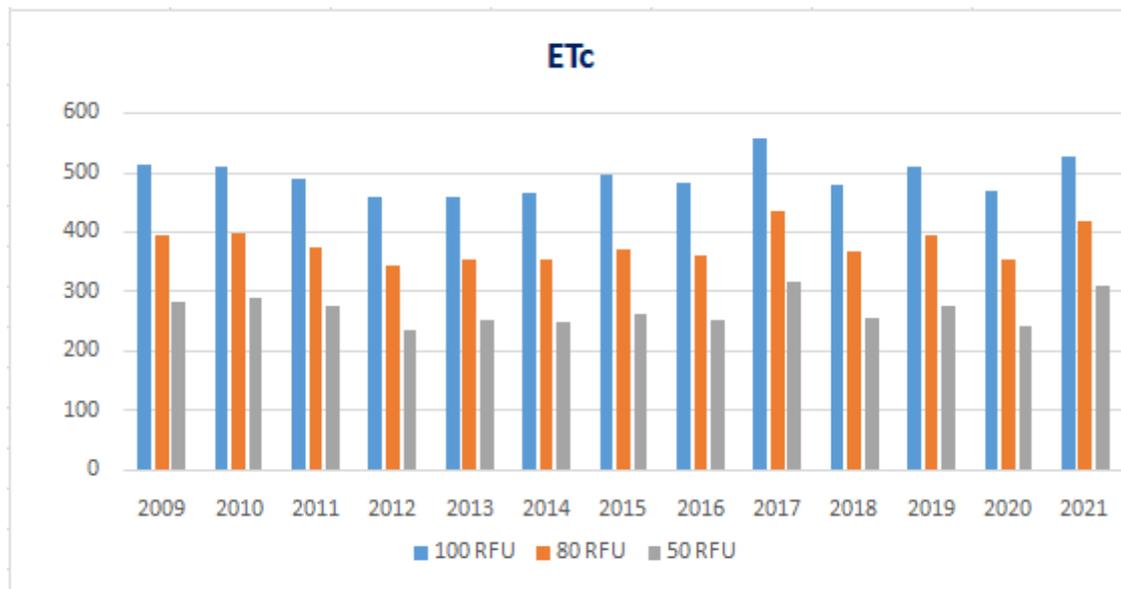


Figure 20 : Variation interannuelle du besoin en eau de la pomme de terre (ETm) estimé par le modèle AquaCrop

7. Calcul de la biomasse aérienne de culture

La figure 21 montre les variations de la biomasse aérienne simulées pour chaque régime d'irrigation, il est constaté que les régimes 100 et 80 RFU enregistrent des biomasses plus importantes à cause des quantités d'eau louées par chaque régime d'irrigation, la culture se trouve dans des bonnes conditions, ne soumis à aucun stress.

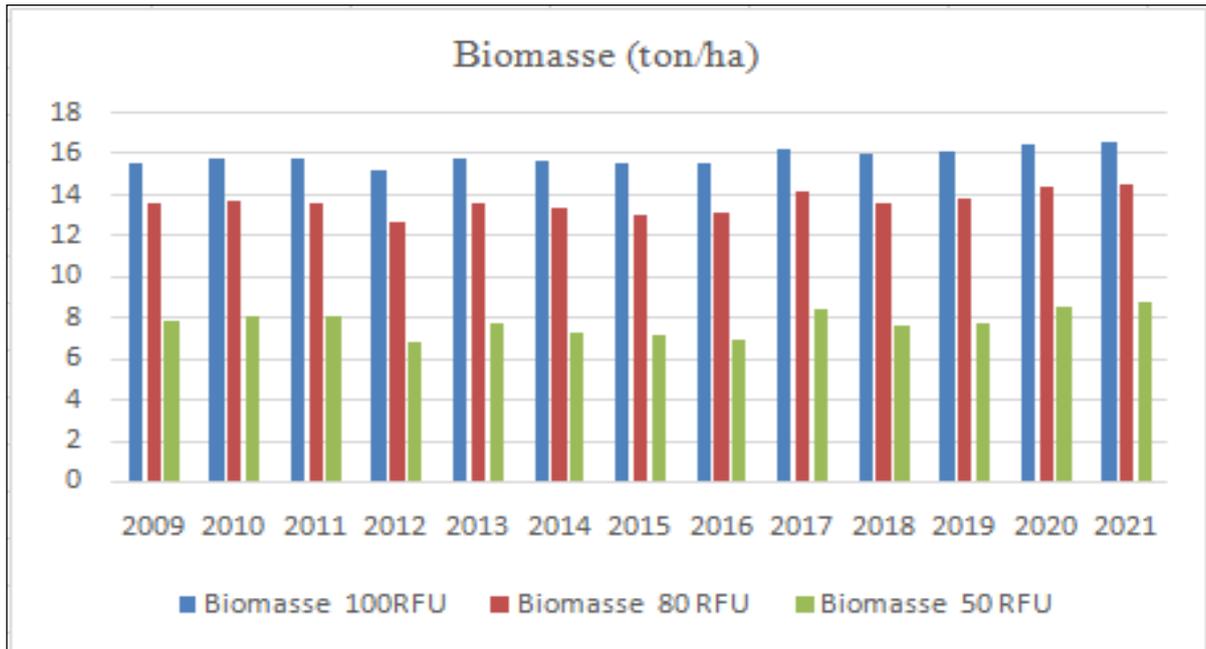


Figure 21 : Variation de la biomasse à l'échelle saisonnière de croissance de culture

8. Calcul les rendements

Dans la figure 22, la variation de rendement apparait lorsque nous irriguons avec trois régimes différents. Le rendement augmente avec l'augmentation de la quantité d'eau utilisée (100 RFU, 80 RFU et 50 RFU), et le rendement moyen simulé par les trois régimes 100, 80 et 50 RFU sont, respectivement, 8.61 ton/ha, 7.39 ton/ha et 3.36 ton/ ha.

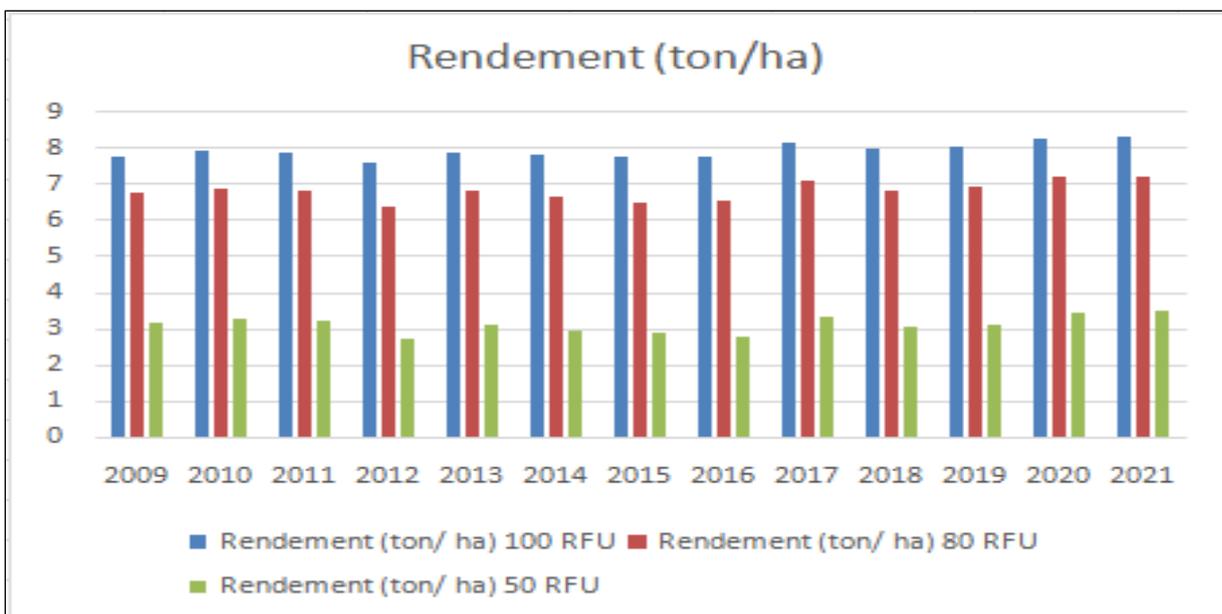


Figure 22 : variation de rendement de pomme de terre sous l'influence des trois régimes

9. Analyse la productivité de l'eau

La figure 23 montre la productivité de l'eau pour la culture de la pomme de terre durant la période d'étude (2009-2021). Il a été constaté que la productivité de l'eau est plus élevée en 2020, qui est de 2.04 Kg/m³. Les valeurs les plus élevées sont simulées avec les régimes 100 et 80 RFU.

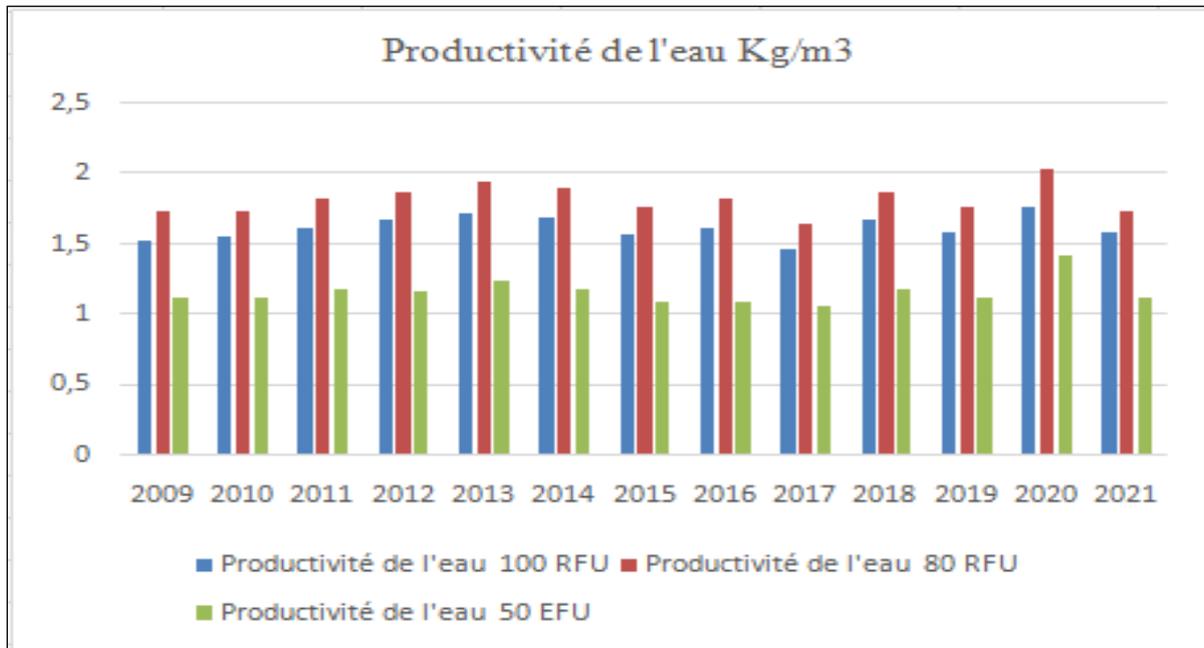


Figure 23 : Variation de la productivité de l'eau avec les trois régimes d'eau à l'échelle Saisonnière (2009-2021)

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Il est recommandé d'utiliser l'équation FAO-Penman-Montieth comme méthode standard pour l'estimation de l'évaporation de base et des cultures ainsi que de l'eau d'irrigation via le modèle AquaCrop de l'FAO. L'évapotranspiration annuelle moyenne de référence (ET₀) pour la zone de Mostaganem est estimée à 1270.38 mm. Cela correspond à la saison de croissance de la pomme de terre. Avec l'utilisation des trois régimes, ET₀ est respectivement 435.41 mm pour chacun de 100 RFU, 80 RFU et 50 RFU.

Pour le cycle de développement complet de la culture de pomme de terre, les besoins en eau d'irrigation de cette culture (BEI) et la biomasse après l'irrigation avec trois régimes différents, nous avons obtenus respectivement 426.66 mm, 286.75 mm, 144.33 mm.

Les valeurs moyennes d'ET_c et de BEI fluctuent autour de cycle de développement de la pomme de terre selon les conditions climatiques de la région et de la qualité du sol. Ces résultats peuvent être utilisés pour augmenter et pour l'efficacité de l'eau améliorer la production de pomme de terre dans les régions arides et semi-arides Dénudé.

Comprendre l'ET_c, BEI et la planification de l'irrigation pendant les mois de pénurie aidant les agricultures à prendre la bonne décision pour éviter toute réduction de performances dans leurs travaille.

A propos de rendement, après avoir utilisé les trois régimes d'irrigation mentionnés précédemment, nous constatons que le rendement est très faible lorsque on irrigons avec 50 RFU tandis qu'en utilisant 100 RFU et 80 RFU, le rendement augment à mesure que nous augmentons la quantité d'eau, mais la différence entre les régimes 100 RFU et 80 RFU est pas génial 8.62 (100 RFU), 7.39 (80 RFU) et 3.36 (50 RFU).

Bien que le modèle AquaCrop fournisse des estimations raisonnables, pour des résultats plus fiables, mais doit être validé dans son contexte zone d'étude.

Enfin, dans le contexte actuel de raréfaction des ressource en eau, et l'agriculture étant l'un des domaines les plus consommateurs d'eau, les agriculteurs doivent être plus prudents et intelligents dans l'utilisation rationnelle de l'eau.

A travers les résultats de mes recherches et sur la base du modèle AquaCrop et de plusieurs documents scientifiques, on constate que les besoin en eau, la biomasse et surtout le rendement, il n'y a pas une grande différence lors nous irriguons avec 100 RFU et 80 RFU,

Conclusion générale

c'est pourquoi, on recommande d'utiliser le régime 80 RFU pour réduire la consommation excessive d'eau même si le rendement est réduit un peu, mais cette perte n'est pas prise en compte car elle est petite et notre objectif est de conserver l'eau. Afin d'assurer une répartition équitable des ressources. Et tout cela afin de préserver l'eau, dont la surexploitation est devenue une terreur sur la planète en général. Sachant que les ressources en eau en Algérie ont un caractère stratégique dans le cadre du développement global du pays en raison de leur lien étroit avec le développement durable, et parce que l'eau en Algérie est une ressource rare et précieuse qui nécessite de rationaliser son utilisation pour répondre aux besoins de la population et de l'économie nationale sans hypothéquer les besoins des générations futures.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. A.N.D.I : Agence Nationale de Développement de l'Investissement
2. Allen, K. D. and Shriver, M. D. (1998). Role of parent-mediated pain behavior management strategies in biofeedback treatment of childhood migraines. *Behavior Therapy*, 29 (3) :477– 490.
3. Bamouh H., 1999. Technique de production la culture de pomme de terre, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N°58 ,1-15pp.
4. Belarbi Y., 2017. Détermination de la structure du peuplement forestier et propositions d'amélioration de la forêt de Cap-Ivi (wilaya de Mostaganem).
5. Ben Abdelouahab, T. 2015. Using remote sensing (Optical and radar) and modeling to support the irrigation management of potato in a aride région. Thèse de doctorat présentée pour la faculté des sciences. Université de Liège.157p.
6. Bernard D, 2003. Rivers, chemical weathering and Earth's climate - ScienceDirect.
7. Boote KJ ; Pickering NB, 1996. Potentiel uses and limitations of crop model. *Agron. J.*88, 704-116pp.
8. Boufares K, 2012. Comportement de trois variétés de pommes de terre (Spunta, Désirée et Chubak) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. Thèse Magistère en Agronomie « Amélioration de la production végétale et biodiversité », Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 108p.
9. Daoud H, Dooudou O, 2017. Etude comparative de 14 variétés de pomme de terre cultivée (*Solanum Tuberosum L.*) dans la région de Mostaganem. Mémoire master. Université Abdelhamid Ibn Badis. Mostaganem .16p.
10. Dubost D, 1992. aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes, in *sèchresse* no 2 ,8-10pp.
11. FAO Stat : Food agriculture organisation of the United nation.
12. FAO, 1975 .Food alimentation organisation les besoin en eau des cultures .Bull Fao n°24.
13. FAO ,1998. Crop évapotranspiration - Guidelines for comptent crop water requirement ; By : Allen, R.G., Raes, D. AND Smith, M. FAO Irrigation and Drainage 56p.

Références bibliographiques

14. Greco J, 1966. L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire
15. Grenot R, 2006.pomme de terre culture et création .Ed .Palémon, 01-71pp.11. Reguieg L ,2008.Itinéraire technique de la pomme de terre en Algérie, Journée d'étude sur la filière pomme de terre .INA, El Harrach, 15-20pp.
16. Hawkes J G ,1990.The potato, Evolution, Biodiversité and genetic ressources. London Belhaven Press.259p.
17. Hillel D, 1988. L'eau et le sol, Principes et processus physique, Ed Academia, 288 p.
18. Katerji N ; Rana G ; Fahed S, 2011. Parameterizing canopy resistance using mechanistic and semi-empirical estimates of hourly evapotranspiration : critique evaluation for irrigated crops in the mediterranean .Hydrological Processes, 117-129 pp.
19. Kebaili L, Benchaib A, Boukchida A2017.Etude comparative de la production des semences de pré-base de quatre variétés de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) Université Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.I, Bordj Bouariridj, 7p.
20. Kerroum F, 2019.Identification et caractérisation du phytophthora infestans agent pathogène du moldiou de pomme de terre et essai de lutte biologique .Thèse de doctorat Université Ahmed Ben Bella .Oran
21. Kherief N.S, 2006. Etude de la variabilité des températures extrêmes et pérennité des arbres urbains dans la région de Constantine.
22. Lahouel, N. 2014. Dépôt institutionnel de l'Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen UABT: Navigation Espace 2014.
23. Lahouel Z, 2015. Etude diagnostique de la filière pomme de terre dans la région de Tlemcen. Cas de deux fermes pilotes : Hamadouche et Belaidouni. Mémoire Master. Université Aboubekr Belkaid. Tlemcen.95p.
24. Les grandes productions végétales .Ed CSTA 5Collection Sciences et Technologique Agricoles),20ème édition ,Angers,472p.
25. Loyce C. and Wéry J ,2006.Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception des systèmes de culture.Argonomie, 77-95pp.

Références bibliographiques

26. MADR : Ministère d'agriculture et de développement rural.
27. Meziane D, 1991 .Histoire de la pomme de terre. Détritique n°25 ,29p.
28. Moule C, 1972.Plantes sarclées et déverses. J-B.Ballière et Fils, Editeur, Paris, 246p.
29. Penman H, L ,1948 .Natural évaporation forme open water, bare soil and grass,
30. Plauchu ,2004.Economie de l'environnement 45p.
31. Rousselle, 1996.La pomme de terre production, Amélioration, Ennemies et Maladies .Utilisation édition R Doun, 278p.
32. Raes D, Steduto P ; TC. Hsiao et Fereres E, 2012.AquaCrop : Version 4.0 : Manuel d'utilisation, 172p.Toumia J.Er –Rakib S ; Ezzaharc J ; Khabbaa S ; Jarlan L, Chehbounid A, 2015. Performance assessment of AquaCrop model for estimating évapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco) : Application to irrigation management. Agriculture Water Management, vol 163,219-235pp.
33. Raes D, Steduto P : Hsiao T.C. Fereres D, 2011. AquaCrop :the FAO Crop model to simulate yield response to water : Reference Manuel (accessed 22.04.13).
- 34 Rakeb, L.2020. Les ressources en eau à Mostaganem état actuel et contraintes de distribution. Mémoire de Master .Université Abdelhamid Ibn Badis.Mostaganem.
35. « Solanum tuberosum - Juz. & Bukasov » [archive], sur *Plants for a Future* (consulté le 31 décembre 2018).
36. Soltner D, 1998. Les grandes productions végétales, production Agronomie appliquée aux grandes cultures des pays tempérés : céréales d'hiver et de printemps, maïs, betterave, pomme de terre, oléo protéagineux, prairies et autres plantes fourragères, collection sciences et techniques agricoles, Sainte-Gemme-sur –Loire, Sciences et techniques Agricoles, 230-266pp.
37. Soltner D, 1999. Les grandes productions végétales. Ed CSTA (Collection Sciences et techniques Agricoles), 20ème édition, Angres, 472p.
38. Soltner D, 2005.Les grandes productions végétales, pyrotechnie spéciale-céréales plantes 30p.

Références bibliographiques

39. Steduto P, Hsiaso T ; Raes D ; Fereres E, 2012.Crop yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
40. Tria M, 2009. Analyse de la compétitivité de la filière pomme de terre dans la région d'Oued souf. Mémoire d'ingénierie. Université D'Ouargla .78p.
41. Van Halmsa GE, Vincent L, 2012. Efficience and productivité terme for water management : à matter of contextuel relativisme versus général absolutisme. Agric. Water Manage.108, 9-15p.
42. Wellens J, 2014. A Framework for the use of décision-support Toolsat.various spatial scales for the management of irrigated agriculture in aride Ph.D. dissertation. Université de Liège Belgium, 106p.
43. Zella L, 2010.micro-irrigation, théorie application (o.p.u) ,87-91pp.
44. Zella L ,2015.irrigation sol et plante, 275pp.