

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Biotechnologies Agro-Ecologies



Mémoire

en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Option : Eau et Environnement

Thème

**MODELISATION DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION DE
LA TOMATE SOUS DIFFERENTS NIVEAUX DE
FERTILISATION**

Présenté par : Soufi Nourelhouda

Devant le jury

- R. Kheddar	MC U. Blida 1	Présidente de jury
- M. Amirouche	MCB U. Blida 1	Promoteur
- N. Degui	MAA U. Blida 1	Examineur

2021/2022

RESUME

En Algérie, les cultures maraichères sont tributaires de l'irrigation. Ce travail a pour but d'une part, d'étudier l'effet des différents doses de fertilisation azoté sur quelques paramètres de développement de tomate au cours du cycle végétatif qui contribueraient dont l'objectif est de maîtriser l'efficacité des apports d'eau en relation avec les besoins en eau d'irrigation. Cette efficacité d'utilisation, est impérative pour une meilleure production végétale et pour la préservation de l'environnement agricole. Dont cette étude, nous avons utilisé le modèle agronomique AquaCrop (v 6.1), qui pour estimer les besoins en eau d'irrigation (BEI), les besoins en eau de la culture (ETc) de tomate sous différents niveaux de fertilisation, dans la région de Mostaganem à caractère semi-aride sur une période de 12 ans (2009-2020). La méthodologie adoptée porte sur la variation des doses d'azote (250, 150, 100 kg N/ha) et leurs effets sur l'évolution de la culture de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) dont l'impact socio-économique, est avéré. Les résultats obtenus ont montré que le modèle AquaCrop a estimé d'une manière satisfaisante l'effet des doses d'azotes sur les paramètres étudiés. Ces estimations concernent le BEI, ETc, productivité de l'eau (WP). Sur la base du rendement et de la biomasse, la dose (250kg N/ha) a donné un bon rendement par rapport aux autres doses apportées. Le modèle de simulation de la croissance des cultures est devenu un outil pourrait être recommandé comme un outil pratique pour mieux gérer les pratiques agricoles notamment, la fertigation.

Mots clés : Algérie, Fertilisation azoté, Besoins en eau d'irrigation, Tomate, AquaCrop

ABSTRACT

MODELING THE IRRIGATION WATER REQUIREMENTS OF TOMATOES UNDER DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION

In Algeria, vegetable crops are dependent on irrigation. The aim of this work is to study the effect of different doses of nitrogen fertilization on some parameters of tomato development during the vegetative cycle, which would contribute to the control of water supply efficiency in relation to irrigation water needs. This water use efficiency is imperative for a better crop production and for the preservation of the agricultural

environment. In this study, we used the agronomic model AquaCrop (v 6.1) to estimate the irrigation water requirement (IWR), the crop water requirement (CWR) of tomato under different levels of fertilization, in the semi-arid region of Mostaganem over a 12-year period (2009-2020). The methodology adopted concerns the variation of nitrogen doses (250, 150, 100 kg N/ha) and their effects on the evolution of the tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill) whose socio-economic impact is proven. These estimates concern BEI, ETc, WP. On the basis of yield and biomass, the dose (250kg N/ha) gave a good yield compared to other doses applied. The crop growth simulation model has become a tool that could be recommended as a practical tool for better management of agricultural practices including fertigation.

Keywords: Algeria, Nitrogen fertilization, Irrigation water requirements, Tomato, AquaCrop

ملخص

نمذجة متطلبات مياه الري للطماطم تحت مستويات مختلفة من التسميد

في الجزائر ، تعتمد زراعة الخضروات على الري. يهدف هذا العمل من جهة إلى دراسة تأثير الجرعات المختلفة منالتسميد بالنيتروجين على بعض عوامل نمو الطماطم خلال الدورة الخضرية والتي من شأنها أن تسهم في التحكم في كفاءة مساهمات المياه فيما يتعلق بالري. متطلبات المياه. هذه الكفاءة في الاستخدام ضرورية لتحسين الإنتاج والذي ، AquaCrop (v 6.1) النباتي وللحفاظ على البيئة الزراعية. في هذه الدراسة ، استخدمنا النموذج الزراعي للطماطم تحت مستويات مختلفة من (ETc) واحتياجات مياه المحاصيل ، (BEI) لتقدير احتياجات مياه الري الإخصاب ، في منطقة مستغانم ذات الطابع شبه القاحل. على مدى 12 سنة (2009-2020). المنهجية المعتمدة تتعلق باختلاف جرعات النيتروجين (250 ، 150 ، 100 كجم نيتروجين / هكتار) وتأثيرها على تطور زراعة التي ثبت تأثيرها الاجتماعي والاقتصادي. وأظهرت النتائج (*Lycopersicon esculentum* Mill) الطماطم قدر النموذج بشكل مرضٍ تأثير جرعات النيتروجين على المتغيرات المدروسة. AquaCrop المتحصل عليها أن بناءً على المحصول والكتلة الحيوية ، أعطت الجرعة (250 كجم WP و ETc و BEI تتعلق هذه التقديرات بـ نيوتن / هكتار) محصولاً جيداً مقارنة بالجرعات الأخرى المقدمة. أصبح نموذج محاكاة نمو المحاصيل أداة يمكن التوصية بها كأداة عملية لتحسين إدارة الممارسات الزراعية على وجه الخصوص ، التسميد

الكلمات المفتاحية: الجزائر ، التسميد بالنيتروجين ، متطلبات مياه الري ، طماطم, AquaCrop

Remerciement

Au terme de cette étude, je remercie en premier lieu Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la puissance et la volonté pour terminer ce travail.

Ce travail est la résultante de la contribution de plusieurs personnes dont je tiens à remercier vivement :

*Toute ma reconnaissance et remerciement vont au **Dr Amirouche M**, qui a accepté de m'encadrer, merci infiniment de m'avoir orienté, dirigé, conseillé et encouragé veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.*

Mes vifs remerciements vont également à :

*-Madame **R.Kheddare** qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury.*

*-Madame **N.Degui** qui m'a fait l'honneur d'accepter de faire partie du jury de ce travail.*

*-Mes remerciements vont aussi à **Mr Zella**, Professeur et chef d'option de master eau et environnement.*

*Enfin, j'adresse ma profonde gratitude à ma famille surtout **ma mère** qui m'a toujours soutenue qui est contribué à ma formation au niveau de tous les cycles d'études. Et mes remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

Dédicace

Tout d`abord louange à « ALLAH » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail et nous a inspiré les bons pas et les bons réflexes.

Sans sa miséricorde, ce travail n`aurait pas abouti.

Je dédie ce modeste travail :

*A ma chère mère **Fatima.Z***

Pour leur soutien inconditionnel, leurs sacrifices, leur tendresse, leur amour infini ;

Je souhaite qu`il trouve en ce modeste travail le témoignage de ma reconnaissance et toute mon affection,

*A mon père : **Mouhamed***

*A mes chères frères : **Ibrahim, M.Amine***

*A mes chères sœurs : **Dalila, Meriem, Hanane***

Que dieu les protège.

Je souhaite tout le bonheur durant leur vie ;

A tous les enseignants du primaire jusqu`à l`université particulièrement les enseignants de l`eau et l`environnement ;

*A tous mes amis : **Youssra, Naziha, Ayoub, Soumia, Amina***

Ainsi qu`à tous les étudiants de la promotion sans exception.

Sommaire

Résumé.....	I
Remerciement.....	III
Dédicace	IV
Sommaire	V
Liste des tableaux.....	X
Liste des figures.....	XI
Liste des abréviations.....	XII
INTRODUCTION GENERALE.....	1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1. CULTURE DE LA TOMATE.....	4
1. Origine et classification	4
2 .Caractéristiques génétiques	5
a) Variétés fixées	6
b) Variétés hybrides	6
3. Caractéristiques culturelles	6
a) Variétés à croissance déterminée.....	6
b) Variétés à croissance indéterminée	6
4. Caractéristiques morphologiques.....	6
1. L'appareil végétatif	6
2. L'appareil reproducteur.....	8
5. Caractéristiques physiologiques de la tomate	9
5.1. Le cycle biologique de la tomate.....	9
• La germination	9
• La croissance	10
• La floraison.....	10
• La pollinisation.....	10

• La fructification et nouaison des fleurs.....	10
• La maturation du fruit.....	10
6. Les exigences édapho-climatiques.....	11
6.1. Les exigences climatiques.....	11
• La température de l'air.....	11
• La lumière.....	12
• L'humidité de l'air.....	12
6.2. Les exigences édaphiques.....	12
• La nature du sol.....	12
• La température du sol.....	12
• Le pH du sol.....	13
• L'humidité du sol.....	13
• La salinité du sol.....	13
• L'aération du sol.....	13
6.3. Les exigences nutritionnelles.....	14
• Exigences hydrique	14
• Exigences en éléments fertilisants	14
7. Principales maladies et ravageurs de la tomate.....	15
8. Importance médicinale de la tomate	15
9. Situation et importance économique	16
9.1. Evolution de la production de tomate par pays	16
9.2. Evolution de la superficie et la production de tomate en Algérie	17
9.3. Le rendement national de tomate	18
9.4. La production de tomate par wilaya	19
9.5. Répartition de la superficie nationale de tomate	19

CHAPITRE 2. LA FERTILISATION AZOTEE.....	21
1. Définition des engrais	21
2. Importance des engrais	21
3. Consommation d’engrais dans le monde	22
4. Consommation d’engrais par hectare de terre arable	22
5. Pourcentage des terres Fertilisées en Algérie.....	23
6. Utilisation des engrais en Algérie.....	23
7. Les éléments nutritifs	23
8. Les engrais azotés.....	24
9. Nutrition azotée.....	24
CHAPITRE 3. LE MODELE AQUACROP.....	27
1. Définition d’un modèle	27
2. Typologie des modèles de culture.....	27
2.1 Les modèles mécanistes.....	28
2.2 Les modèles empiriques.....	28
3. Importance de la modélisation en agronomie.....	28
4. Etapes de l’élaboration du modèle	29
4.1 Caractérisation.....	29
4.2 L’identification	29
4.3 La vérification	29
4.4. L’exploitation	29
5. Le modèle AquaCrop.....	29
6. Environnement d’AquaCrop.....	32

7. But du logiciel AquaCrop.....	33
MATERIEL ET METHODES	
Introduction	34
I.Présentation de la zone d'étude.....	34
1. Situation géographique.....	34
2. Climatologie de la région.....	35
3. Pédologie	36
4 .Les potentialités hydriques de la wilaya de Mostaganem.....	37
5. Les potentialités agricoles	38
II. Evaluation des besoins en eau des cultures par AquaCrop	38
1. Les données climatiques	39
2. Les données liées à la culture	40
3. Les données liées au sol	41
4. Calcul de l'évapotranspiration potentielle.....	41
5. Calcul la pluie efficace	42
6. Calcul les besoins en eau de la culture	42
7. Etablir des calendriers d'irrigation	43
8. Calcule l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE).....	43
RESULTATS ET DISCUSSIONS	
1. Analyse les paramètres climatiques.....	45
1.1. Pluie	45

1.2. Température.....	45
1.3. Humidité	46
1.4. Insolation.....	47
1.5. Vitesse du vent.....	47
2. Analyse l'Evapotranspiration.....	48
2.1. A l'échelle annuelle.....	48
2.2. A l'échelle de la saison.....	49
3. Calcul les besoins en eau d'irrigation.....	50
4. Analyse l'évaporation et la transpiration.....	51
4.1. Evaporation.....	51
4.2. Transpiration.....	51
5. Analyse la biomasse aérienne.....	52
6. Calcul les rendements.....	53
7. Analyse la productivité de l'eau.....	54

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des tableaux

Tableau 01. Classification botanique de la tomate (Source : Cronquist ,1981).....	4
Tableau 02. . La consommation d’engrais dans quelques pays du monde en 2016.....	22
Tableau 03. Paramètres de culture d’entrée pour calibrer le modèle AquaCrop	40

Liste des figures

Figure 01. Diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992).....	5
Figure 02. Appareil végétatif de la tomate.....	7
Figure 03. Appareil reproducteur de la tomate.....	9
Figure 04. Le cycle de développement de la tomate.....	11
Figure 05. Evolution de la production de tomate par pays.....	17
Figure 06. Evolution de la production et la superficie nationale de tomate.....	18
Figure 07. Evolution de rendement nationale de tomate.....	18
Figure 08. La production de tomate par wilaya en 2016.....	19
Figure 09. Répartition de la superficie nationale de tomate en 2016.....	20
Figure 10. Evolution de la production et la superficie nationale de tomate de wilaya Mostaganem.....	20
Figure 11. la profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation.....	21
Figure 12. Schématisation du cycle de l'azote, adaptée au contexte de l'étude.....	26
Figure 13. Schéma d'AquaCrop présentant les composants principaux du continuum sol-plante- atmosphère et les paramètres caractérisant la phénologie, la couverture de la canopée, la transpiration, la production de biomasse et le rendement final.....	31
Figure 14. Aperçu de la nouvelle version d'AquaCrop.....	32
Figure 15. Aperçu de l'environnement de la nouvelle version d'AquaCrop.....	33
Figure 16 : Limites géographiques de la wilaya de Mostaganem.....	35
Figure 17. Diagramme ombrothermique de la région du Mostaganem (2016).....	36
Figure 18. Répartition de la surface Agricole dans la wilaya de Mostaganem.....	38

Figure 19. : Données d'entrée définissant l'environnement dans lequel la culture va se développer.....	39
Figure 20. Variabilité interannuelle de la pluie (2009-2021).....	45
Figure 21. Températures moyennes annuelles (2009-2021).....	46
Figure 22. Humidité moyenne annuelle sur la période (2000-2020).....	46
Figure 23. Variation de la durée d'insolation pour la période (2009-2020).....	47
Figure 24. Vitesse du vent moyenne annuelle pour la période d'étude (2000-2020)....	48
Figure 25. : Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence, période (2009-2020).....	49
Figure 26. Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence à l'échelle saisonnière, période (2009-2020).....	50
Figure 27. Variation des besoins en eau d'irrigation (BEI) de la Tomate sous différents niveaux de fertilisation, période (2009-2020)	50
Figure 28. Variation interannuelle de l'évaporation sous différents niveaux de fertilisation période (2009-2020).....	51
Figure 29. : Variation interannuelle de la transpiration sous différents niveaux de fertilisation période (2009-2020).....	52
Figure 30. : Effet de différents niveaux de fertilisation sur la biomasse à l'échelle saisonnière de la tomate, période (2009-2020).....	53
Figure 31. Rendements simulés et observés de la tomate sous différents niveaux de fertilisations, période (2009-2020).....	53
Figure 32. Variation de la productivité de l'eau de la tomate sous différents niveaux de fertilisation. (2009-2020)	54

Liste des abréviations

B : Biomasse

C° : Degré Celsius

cm : centimètre

E : Evaporation

ET : Evapotranspiration

ETM : Evapotranspiration Maximale

ETR : Evapotranspiration Réelle

EUE : Efficience d'Utilisation de l'Eau

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

g : gramme

h : heure

ha : hectare

Kc : Coefficient cultural

Kg : Kilogramme

MADR : Ministère de l'Agriculture, du développement Rural

ml : millilitre

mm : millimètre

N : Azote

ONU : Organisation des Nations Unies

q : quintal

SAU : Surface Agricole Utile

t : tonne

T : Transpiration

WP : Productivité de l'eau normalisée

INTRODUCTION GENERALE

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), nourrit le débat sur la problématique de l'amélioration de l'efficacité d'utilisation et de la 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).

En Algérie, le secteur agricole absorbe annuellement près de 70 % de l'ensemble des volumes d'eau consommés au niveau national. La consommation en eau dans ce secteur est d'environ 7 milliards de m³ en moyenne annuelle, sachant que la consommation globale nationale (consommation de la population en eau potable, les besoins des secteurs industriel et agricole) est de 10,6 milliards de m³/an (MRE, 2018). Une augmentation de la production agricole à l'horizon 2030 de 49% et 81% dans, respectivement, les régions pluviales et irriguées, c'est selon les analyses par comprenant 93 pays effectuées par (FAO, 2003), en Algérie, la surface irriguée augmente légèrement ces dernières années. 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/ou 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 aux agriculteurs pour guider la programmation des irrigations. En effet, devant l'absence totale d'outils d'aide à la décision (outils de pilotage et bulletins d'avertissement à l'irrigation) maîtrisés par les agriculteurs, le déclenchement et les doses d'irrigation sont, en général, décidés sur la

Introduction générale

base de l'observation visuelle. Il s'avère donc nécessaire de s'orienter vers l'élaboration de nouvelles stratégies fiables pour anticiper ces problèmes.

Le manque d'eau reste également, le facteur le plus limitant de la productivité des cultures, particulièrement la culture de tomate et afin de faire face à ce défi, l'amélioration de l'utilisation de l'eau s'avère nécessaire, c'est pourquoi il est important que les besoins en eau des cultures soient connus à différents niveaux de gestion afin de parvenir à une gestion efficace de l'irrigation. Les précipitations efficaces, l'eau d'irrigation appliquée et l'humidité disponible du sol sont les facteurs par lesquels les besoins en eau des cultures sont satisfaits.

Le connaître de mesure ou l'estimation de l'évapotranspiration et les parts à la fois de l'évapotranspiration et de la transpiration permet d'approfondir la connaissance des besoins en eau des cultures et vous aide à mieux améliorer les volumes d'irrigation. L'utilisation d'outil de simulation pourra améliorer la compréhension du comportement variétale en condition de contraintes hydrique et aider à déterminé les phases de stresse exactitude et leur impacte sur le potentiel de production. Il permet d'estimer les besoins en eau de la culture et donc le mieux gérer les ressources hydriques (Steduto et *al.* 2009).

Notre étude a pour objectifs de déterminer les besoins en eau de la culture de la tomate sous différents niveaux de fertilisation dans une région semi-aride, en utilisation le modèle *AquaCrop*.

Ce manuscrit est organisé en trois parties, comme suit:

-La première partie présente dans un premier temps une revue bibliographique sur les caractéristiques de culture de tomate (son origine, sa classification botanique, leur place à l'échelle mondiale et nationale). Dans un second chapitre la fertilisation azotée et enfin le dernier chapitre abordera le modèle de culture AquaCrop qui ont été choisis comme un outil principale à la modélisation.

-La deuxième partie décrit la région d'étude, le dispositif expérimental exploité et les différents jeux de données utilisés dans ce travail.

Introduction générale

-La troisième partie du document présente les résultats de simulation obtenus par le modèle AquaCrop et leur discussion.

Finalement, une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus et les possibilités de valorisation de ses résultats.

Synthèse bibliographique

Chapitre 01. Culture de la tomate

1 . Origin et classification

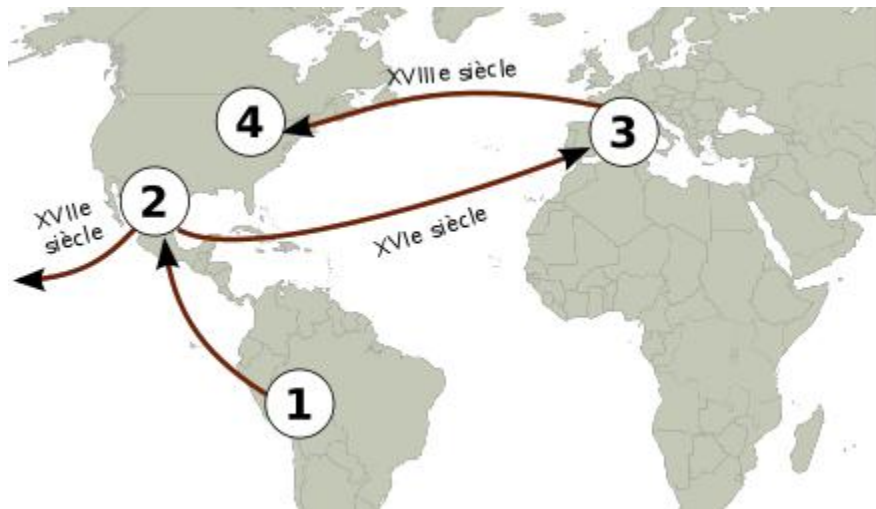
La tomate (*Solanum lycopersicum* L. 1753) est originaire des Andes d'Amérique du Sud, dans une zone allant du sud de la Colombie au nord du Chili et de la côte Pacifique aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe au (12ème) XYlème siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac (Nalka et *al.*, 2005). Les botanistes modifièrent à plusieurs reprises les noms de genre et d'espèce attribués à la tomate. Elle a été classée par Linné en 1753, comme *Solallum lycopersicum*, certains botanistes lui ont attribué différents noms: *Solanum lycopersicon*, *Solanum esculelltum*, *Lycopersicon lycopersicum*; mais Miller (1754, 1768) la renomma *Lycopersicon esculentum*, en créant le genre *Lycopersicoll* qui regroupait les différentes espèces de tomate. La taxonomie actuelle a replacé la tomate au sein du genre *Solallum*, section *Lycopersicon* qui regroupe 13 espèces (Spooner et *al.*, 1993; Spooner et *al.*, 2005), et son nom est désormais *Solanum lycopersicum* L. 1753.C'est ce que montre le tableau suivant:

Tableau 1 : Classification botanique de la tomate (Source : Cronquist ,1981)

Règne Plantae	
Sous règne	Trachenobionta.
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida.
Sous classe	Asteridae.
Ordre	lonales.
Famille	Solonaceae.
Genre	Solanum ou Lycopersicon.
Espèce	LycopersiconesculentumMill

Les plants de tomates appartiennent au groupe des plantes appelées plantes à fleurs ou

angiospermes. Le plant de tomate se reproduit sexuellement, ce qui signifie qu'il faut des organes féminins et masculins pour produire des graines. Chaque graine de tomate renferme une minuscule plante. Lorsque les conditions sont adéquates, les graines de tomate germent.



- (1) Pérou : Centre de diversification.
- (2) Mexique : Premier centre de domestication.
- (3) Europe :Deuxième centre de domestication.
- (4) Etats Unis :Troisième centre de domestication

Figure.1 : Diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992).

2 .Caractéristiques génétiques

La tomate cultivée, *Lycopersicon esculentum* Mill est une espèce diploïde avec $2n=24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants mono géniques, dont certains sont très importants pour la sélection. Sa carte chromosomique compte actuellement 235 gènes localisés avec précision (Gallais et Bannerot, 1992).

La structure de la fleur de *L.esculentum* assure une cleistogamie (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame. On peut avoir jusqu'à 47% de

fécondation croisée dans la nature (Publishers, 2004). Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont:

c) Variétés fixées

Il existe plus de cinq cents variétés fixées (conservent les qualités parentales). Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007).

d) Variétés hybrides

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (Polese, 2007).

3. Caractéristiques culturelles

a) Variétés à croissance déterminée

Dans ce groupe et selon la variété, la tige émet 2 à 6 bouquets floraux, puis la croissance s'arrête naturellement. Elle est caractérisée par l'absence de la dominance apicale. Ce type de variété est destiné à l'industrie agro-alimentaire sous le nom de variété industrielle (Laumonier, 1979).

b) Variétés à croissance indéterminée

Les variétés à croissance indéterminée présentent un nombre indéfini d'inflorescences sur la tige principale comme les tiges latérales. Cette croissance peut cependant être interrompue par des facteurs extérieurs comme le gel ou régulée en taillant les plantes (Abdeslam, 2012).

4. Caractéristiques morphologiques

La tomate est une plante vivace dans sa région d'origine mais en culture on la considère comme une plante annuelle (Chaux et Foury, 1994).

1. L'appareil végétatif

- **Le système racinaire**

Le système racinaire est puissant, très ramifié à tendance fasciculée. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à 1 mètre de profondeur (Chaux et Foury, 1994).

- **La tige**

La tige est de forme anguleuse, épaisse aux entrenœuds pubescents (couvert de poil), de consistance herbacée en début de croissance, se lignifie en vieillissant.

Cette croissance mono modale au début après 4 ou 5 feuilles devient sympodiale, c'est-à-dire que les bourgeons axillaires donnent naissance à des ramifications successives. Par contre, les bourgeons terminaux produisent des fleurs ou avortent.

Ces rameaux issus des bourgeons axillaires produisent des feuilles à chaque nœud et se terminent par une inflorescence (Chaux et Foury, 1994).

La tige porte 2 types de poils, simple ou glanduleux. Ces derniers contenant une huile essentielle qui donne son odeur caractéristique de la plante (Kolev, 1976).

- **La feuille**

Les feuilles sont composées de 5 à 7 folios principales, longues de 10 à 25 cm et d'un certain nombre de petits folios les intercalaires ovales, un peu dentés sur les bords, grisâtre à la face inférieure. Elles sont souvent repliées en forme de cuillères ou même à bords roulés en dessus. Ces feuilles sont alternées sur la tige (Raemaekers, 2001)



Figure 2 : Appareil végétatif de la tomate : A : Système racinaire (Chaux et Foury, 1994)

B : Feuille de tomate (Chougar S, 2011).

2 .L'appareil reproducteur

- **La fleur**

Chez la tomate les fleurs sont regroupées sur le même pédoncule en bouquet lâche en inflorescences formant des grappes plus ou moins bifurquées de 3 à 8 fleurs chez les variétés fixées et au-delà chez les hybrides (Polese, 2007). Les fleurs s'épanouissent du printemps à l'été (de fin Mai à Septembre) dans l'hémisphère Nord. La fleur est actinomorphe à un système pentamère.

Le calice comporte 5 sépales verts, il est persistant après la fécondation et subsiste au sommet du fruit. La corolle comporte 5 pétales d'un jaune vif, soudées à la base, réfléchis en arrière en formant une étoile à 5 pointes.

L'androcée comporte 5 étamines à déhiscence latérale, les anthères allongées forment un cône resserré autour du pistil; celui-ci est constitué de deux carpelles soudées formant un ovaire super biloculaire à 2 loges et à placenta central. Chez certaines variétés l'ovaire est pluriloculaire (Dore et Varoquaux, 2006).

- **Le fruit**

Le fruit de la tomate est une baie charnue dont l'épiderme est lisse brillant. Selon la variété, il peut présenter sur des fruits mûrs des colorations très diverses (Chougar, 2011), elle peut varier du rouge foncé ou rose, bleuâtre, orange, jaune et même blanche.

Cette diversité de coloration est due à la présence de 2 principaux pigments :

*Pigment carotène : Jaune.

*Pigment lycopène : Rouge (Chaux et Foury, 1994).

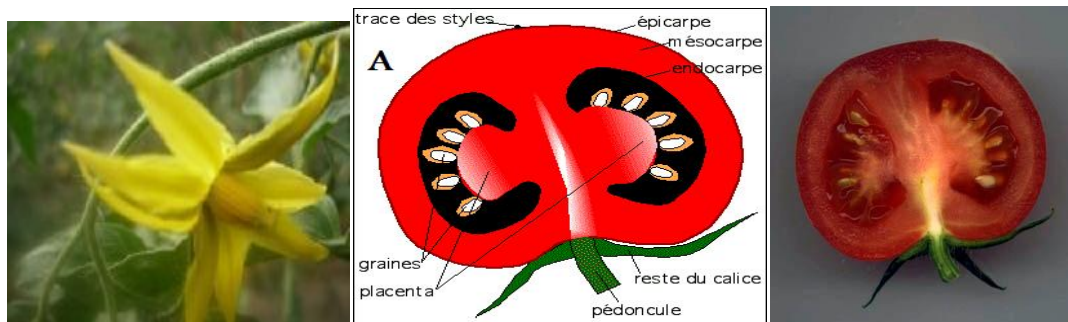
En principe le fruit présente 2 loges.

En section méridienne le fruit peut revêtir des formes très variées, ellipsoïdales, plus ou moins aplaties, globuleuses, ovales, plus ou moins allongées, voir cylindrique. La taille est extrêmement variable, allant de 1,5 cm de diamètre pour la tomate cerise à plus de 10 cm. ((Chougar, 2011).

- **La graine**

Synthèse bibliographique

Le nombre de graines varie de 80 à 500 graines par fruit. Elles sont recouvertes d'un mucilage qui présente à maturité un albumen et embryon à courbe, à germination épigée. La graine est petite (250 à 350 graines par gramme) et velue (Chaux et Foury, 1994). Après le stade cotylédonaire, la plante produit 7 à 14 feuilles composées avant de fleurir (Dore et Varoqaux, 2006).



A

B

Figure 3 : Appareil reproducteur de la tomate. **A** : Fleur de tomate. **B** : Section transversale et longitudinale d'une tomate (Chougar, 2011).

5. Caractéristiques physiologiques de la tomate

Le cycle végétatif complet de la graine à la graine de la tomate varie selon les variétés, l'époque et les conditions de culture

5.1. Le cycle biologique de la tomate

Le cycle de la tomate s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois 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). (Gallais et Bannerot, 1992). Le cycle comprend six phases:

- **La germination**

La germination chez la tomate est épigée. Une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% sont nécessaires (Chaux et Foury, 1994).

- **La croissance**

La croissance de plante de tomate se déroule en 2 phases et en 2 milieux différents.

-En pépinière: De la levée jusqu'au stade 6 feuilles, on remarque 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 feuille. (Laumonier, 1979).

- **La floraison**

La tomate entre en floraison après un mois de croissance. La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante, car celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est propre, en plus d'un apport équilibré sous serre (Chougar, 2011).

- **La pollinisation**

La pollinisation nécessite l'intervention d'agents extérieurs, le vent ou certains insectes capables de faire vibrer les anthères et de 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 grains de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates et de cela résulte la difficulté du dépôt du pollen (Pesson et Louveaux, 1984).

- **La fructification et nouaison des fleurs**

La nouaison est l'ensemble de gamétogenèse, pollinisation, croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules et le développement des fruits «fructification». La température de nouaison est de 13°C à 15°C. Les nuits chaudes à 22°C sont défavorables à la nouaison (Rey et Costes, 1965). Le zéro de germination est de 12°C, l'optimum de la croissance des racines est de 15°C à 18°C. En phase grossissement du fruit, l'optimum de la température ambiante est de 25°C le jour et 15°C la nuit (Anonyme, 2003).

- **La maturation du fruit**

La maturation du fruit se caractérise par le grossissement du fruit et le changement de couleur, du vert au rouge. La lumière intense permet la synthèse active de matière

organique qui est transporté rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour (Rey et Costes, 1965).

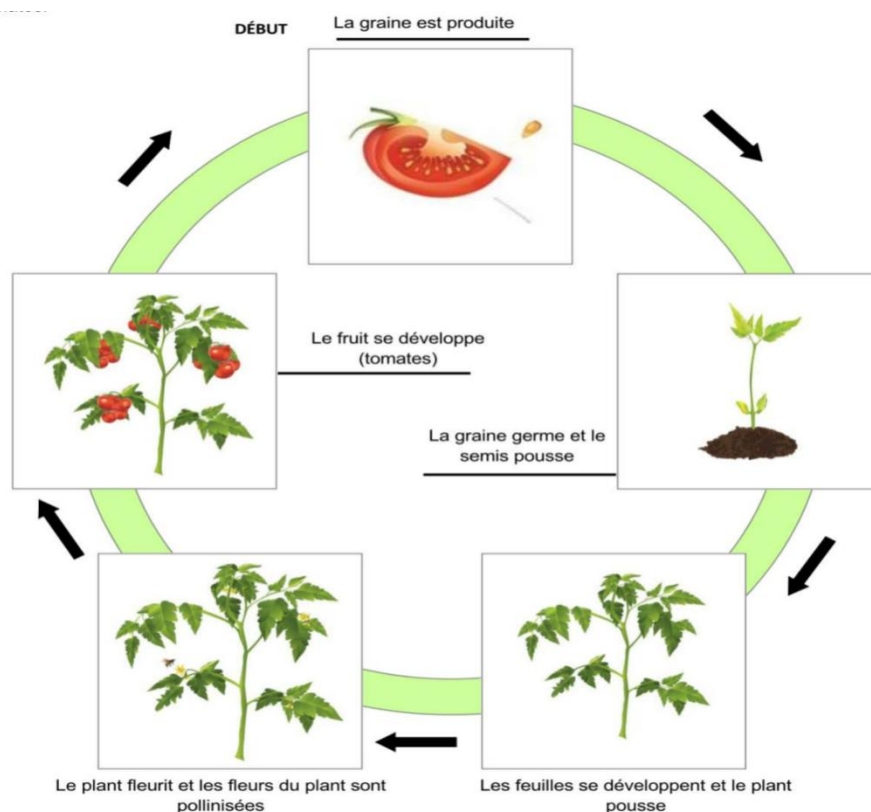


Figure 4 : Le cycle de développement de la tomate.

6. Les exigences édapho-climatiques de la tomate

6.1. Les exigences climatiques

La tomate s'adapte à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide (Naika et al, 2005).

- **La température de l'air**

La tomate est une plante des saisons chaudes, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet. Les températures optimales pour la plupart des variétés sont de 18°C le jour et 15 à 25°C la nuit. Pendant la nuit la fécondation s'arrête à des températures inférieures à 15°C. En dessous de 10°C et en dessus de 38°C, les tissus végétaux sont endommagés (Naika et al, 2005).

- **La lumière**

Le développement de la tomate exige de fortes quantités de lumière. La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité. 1200 heures d'insolation sont nécessaires pendant les 6 mois de végétation, un éclairage de 14 heures par jour est nécessaire pour une bonne nouaison. (Kinet, 1985)

- **L'humidité de l'air**

La tomate est très sensible à l'hygrométrie, il semble qu'une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure, l'humidité de l'air joue un rôle important dans la fécondation.

Si l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Et si elle est accompagnée de la chaleur cela favorise le développement des maladies cryptogamiques (Laumonier, 1979). L'humidité atmosphérique doit être de 76% lors de la germination, 75-80% durant l'élevage des plantes, 70-80% lors du développement des fruits (Benchaalal, 1983).

6.2. Les exigences édaphiques

- **La nature du sol**

La tomate peut s'adapter à toutes les textures, allant des sols argileux, aux sables dunaires, à conditions que les travaux du sol soient effectués convenablement. La tomate pousse bien sur la plupart des sols, ayant en général une bonne capacité de rétention d'eau et une bonne aération. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées, légères, meubles, riches en humus, s'échauffant rapidement et plus facilement. La couche superficielle du terrain doit être perméable. Une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine (Laumonier, 1979).

- **La température du sol**

La température du sol est le premier facteur dont dépendent le pourcentage de levée et la vitesse de germination. Cette dernière augmente avec la température jusqu'à une valeur optimale de 25°C, et entre 15°C et 20°C on aura un meilleur pourcentage de levée (Rey et Costes, 1965).

Au-dessous de 12°C la végétation est très faible et les inflorescences portent peu de fleurs (Kolev ,1976).

- **Le pH du sol**

La culture de la tomate tolère une large gamme de pH. Néanmoins sur des sols à pH basique, certains micro-éléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles pour la plante. Ce taux de pH toléré varie de 4,5 à 8,5. Le meilleur équilibre nutritionnel est assuré à des pH compris entre 6 et 7 (Chaux et Foury, 1994).

- **L'humidité du sol**

La tomate est exigeante en humidité du sol. L'humidité optimale du sol pour des terres argilosiliceuses est de 75 à 80% de la capacité au champ, et l'abaissement de l'humidité et de la température du sol crée un déficit hydrique, et par conséquent réduit la photosynthèse et la transpiration (Heller, 1981).

- **La salinité du sol**

La tomate est moyennement sensible à la salinité du sol, elle peut supporter des teneurs en sels, allant de 2 à 4g/l. La période pendant laquelle la tomate est plus sensible à la salinité, correspond à la germination et au début du développement de la plante (Bentvelsen, 1980).

- **L'aération du sol**

Un sol bien aéré détermine un pourcentage élevé de levée des plantules, mais exerce par contre un effet défavorable sur les racines durant la période de croissance végétative. L'aération est indispensable à la maturité des fleurs (Chaux et Foury, 1994).

Les mêmes auteurs ajoutent qu'il convient d'éviter les sols battants mal aérés et mal structurés en profondeur, cela ralentit la germination et la levée des jeunes plantes en pépinières, de même qu'ils réduisent le nombre de boutons floraux en plein champ.

6.3. Les exigences nutritionnelles

- **Exigences hydrique**

Synthèse bibliographique

La tomate paraît être l'une des cultures les plus exigeantes en eau. Les besoins de tomate en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. Celles d'un cycle de 90 à 120 jours sont de 400 à 600 m³/ha. L'évolution des besoins en eau de la tomate est fonction de l'environnement, de la plante, mais aussi des stades de développement de celle-ci (Bentvelsen, 1980).

Le manque d'eau pendant la phase de maturation des fruits destinés à la transformation est bénéfique pour leur qualité, qui se traduit par une augmentation du taux d'extrait sec (Doorenbos, 1975).

Les irrigations fréquentes et régulières, suivies par un binage permettent l'obtention des rendements élevés. Par contre, les irrigations trop copieuses pendant la floraison provoquent les chutes de fleurs et une croissance trop exubérante, d'où un retard de la maturité des fruits. (Mouhouche 1983)

- **Exigences en éléments fertilisants**

En général, on estime les exigences en fumure des plantes en fonction de l'exportation globale de la culture. En dépit des différences régionales, on admet qu'une production d'une tonne de tomate requiert :

- 2,2 à 2,7 Kg de P₂O₅
- 3 à 3,9 Kg de K₂O
- 5 à 6 Kg de CaO
- 0,5 à 1 Kg de MgO, (Chougar, 2011).

7. Principales maladies et ravageurs de la tomate

Les cultures de tomates peuvent être affectées par diverses attaques de ravageurs (insectes, acariens, nématodes, etc.) et de maladies cryptogamiques, bactériennes ou virales, par la concurrence de mauvaises herbes et par des accidents de végétation ou des

agressions abiotiques, dont l'importance varie selon le type de culture et les conditions climatiques.

Les ennemis de la tomate sont nombreux et variés. Parmi les principaux, on trouve différents des ravageurs tels que la mouche blanche vecteur du virus TYLCV et des mouches mineuses qui produisent des galeries dans les feuilles et dans les fruits. Parmi ces mineuses on trouve actuellement depuis peu *Tuta absoluta*. Ce lépidoptère est récemment apparu dans le Var et dans les Bouches-du-Rhône (2008) (Ramel, 2008). Les galeries causées par ces mineuses aboutissent à une diminution de la photosynthèse et créent un risque d'attaque par des pathogène tels que *B. cinerea*. Enfin les acariens peuvent être très nuisibles en période chaude et sèche. Parmi les principaux champignons pathogènes on trouve l'oïdium (*Oidium neolycopersici* et *Leveillula taurica*), mildiou (*Phytophthora infestans*) et la pourriture grise (Blancard, 2009). *B. cinerea* est capable d'attaquer l'ensemble des parties aériennes de la tomate. Parasite de faiblesse, il pénètre les défenses de la plante généralement à partir des plaies causées par les actions culturales. Dans une étude faite dans 15 serres, du sud de la France, afin de voir l'incidence de la pourriture grise sur la tomate, des pourcentages d'attaque de 32 à 100% ont été absorbés et la mortalité des plantes la plus élevée a atteint 46% (Nicot et Baille, 1996).

8. Importance médicinale de la tomate

Le rôle médicinal de la tomate est connu depuis bien longtemps chez les Incas en Amérique du Sud, où ils utilisaient la feuille fraîche du plant de tomate comme antibiotique (Chougar, 2011).

De plus la consommation de tomate joue plusieurs rôles :

- Accélère la formation du sucre dans le sang ce qui permet au corps de combattre la fatigue.
- Diminue l'hypertension grâce à son haut taux en potassium.

Synthèse bibliographique

- Contient des traces d'éléments antitoxiques (chlorite et sulfure) excellents pour la santé du foie.
- Stimule les sécrétions digestives grâce à sa saveur acidulée.
- Contribue à la prévention des maladies cardiovasculaires, l'artériosclérose et la cécité ;
- Joue un rôle de prévention du cancer grâce à sa teneur en pigments caroténoïdes antioxydants, notamment sa forte concentration en lycopène (3,5mg/125g de tomate). (Chougar, 2011).

9. Situation et importance économique

9.1. Evolution de la production de tomate par pays :

La tomate est cultivée dans de nombreux pays du monde (170 selon la FAO) et sous divers climats, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri. C'est, par le volume de production, le premier légume au plan mondial, devant la pastèque et le chou, mais derrière la pomme de terre et la patate douce (FAO, 2009).

La tomate peut être cultivée soit en plein air soit en serre. Elle est produite en serre essentiellement en Amérique du Nord et en Europe, où les systèmes de production sont extrêmement intensifs et peuvent produire des rendements très élevés (jusqu'à 700 tonnes/ha). La production en plein air est beaucoup moins intensive, et c'est le système le plus courant dans les régions tropicales et subtropicales.

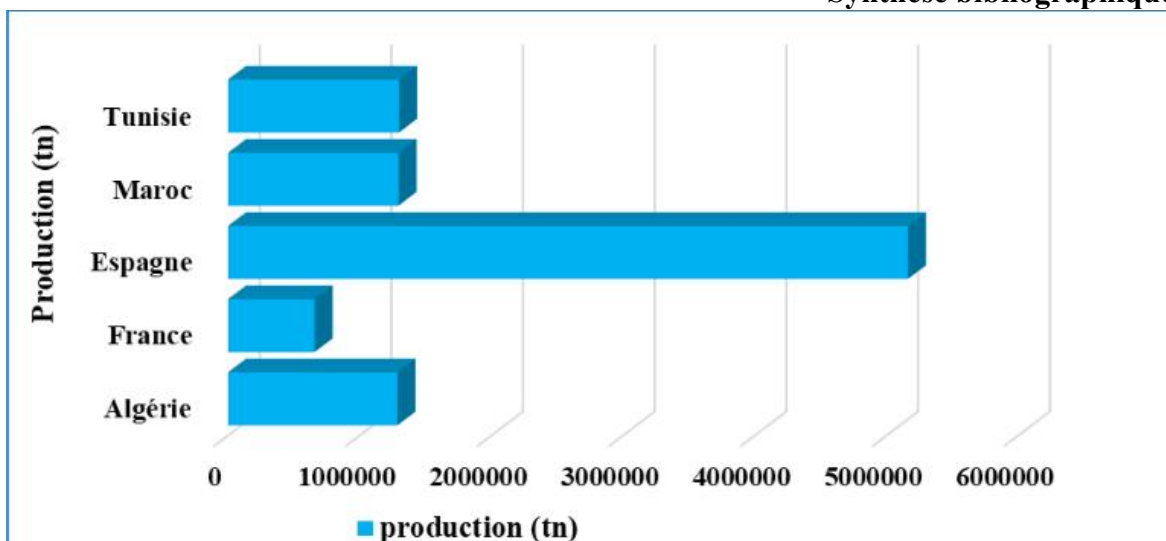


Figure 05: Evolution de la production de tomate par pays (FAO, 2019)

En 2017, l'Algérie a produit 1.2 million de tonnes de tomates fraîches, la France, 656408 tonnes, le Maroc (1.3 millions de tonnes), l'Espagne (5.1 millions de tonnes) et le Tunisie a produit 1.3 million de tonnes (FAO, 2019).

9.2. Evolution de la superficie et la production de tomate en Algérie :

En 2017, la croissance de la production mondiale dépasse de 182million de tonnes de fruits frais sur une superficie croissante jusqu'à 5million d'hectares.

Selon les sources statistiques de la MADRP 2022, l'évolution de la production et la superficie nationale qui consacrés pour la culture de tomate au cours des années (2000-2020) est présentée dans la figure suivante :

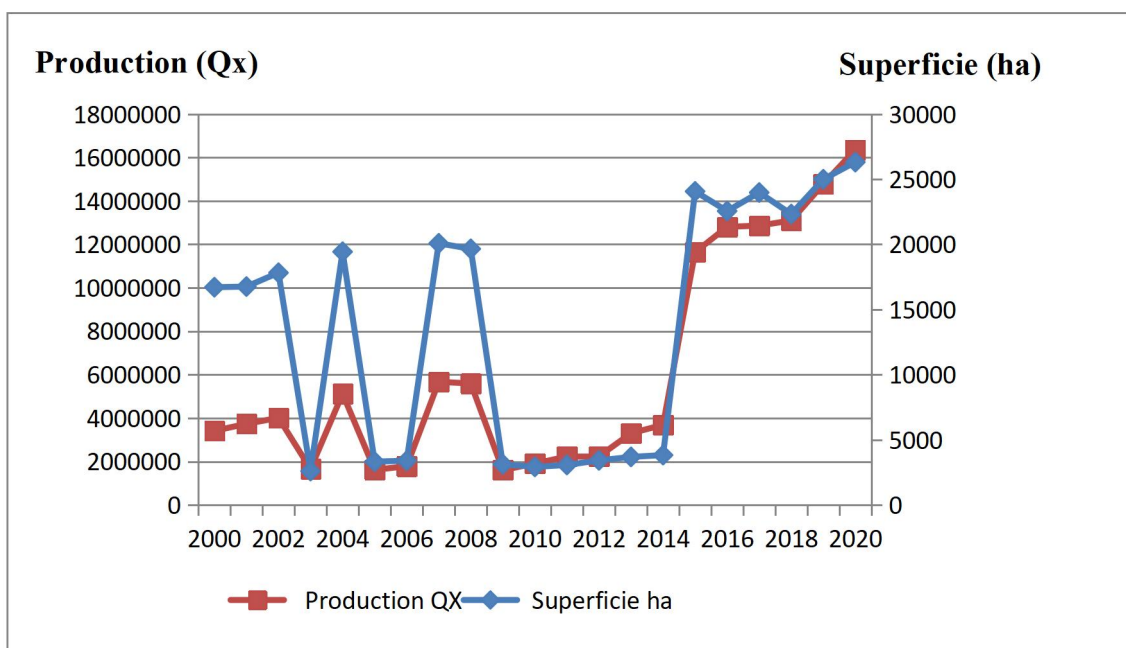


Figure 06: Evolution de la production et la superficie nationale de tomate (MADRP, 2022).

En 2000, la production de tomates dépassé 300 000 Qx. Après 2000, la production de tomates était faible par rapport à la superficie, mais depuis l’année 2014, la production de la tomate a amorcé une nouvelle phase de croissance.

9.3. Le rendement national de tomate

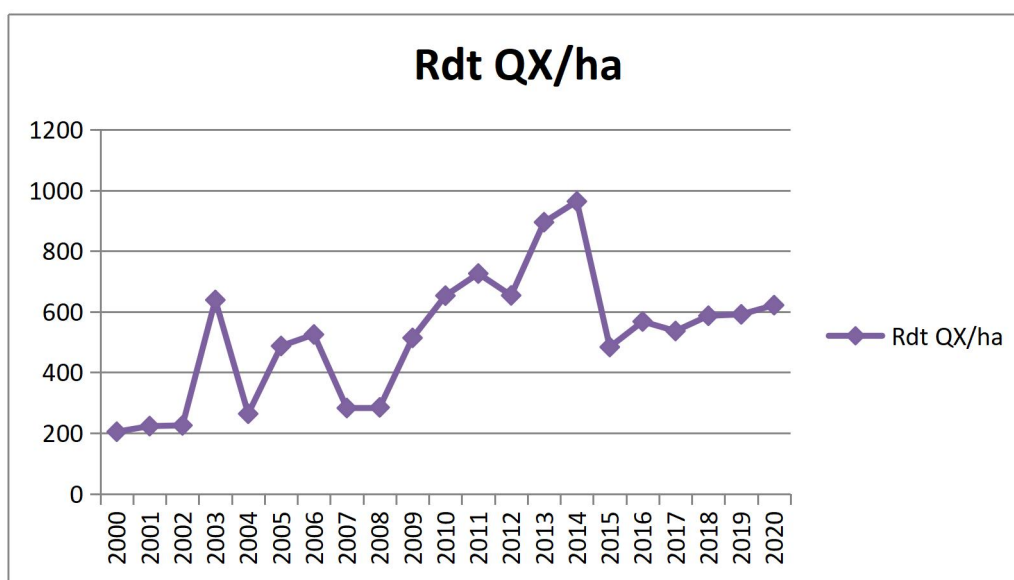


Figure 07: Evolution de rendement nationale de tomate (MADRP, 2022).

En Algérie le rendement de tomate n'a pas connu une forte augmentation, entre 2000 et 2008. À partir de l'année 2009, nous constatons une augmentation jusqu'à l'année 2014. En 2014 le rendement de tomate dépasse 53 tonne/hectare.

9.4. La production de tomate par wilaya

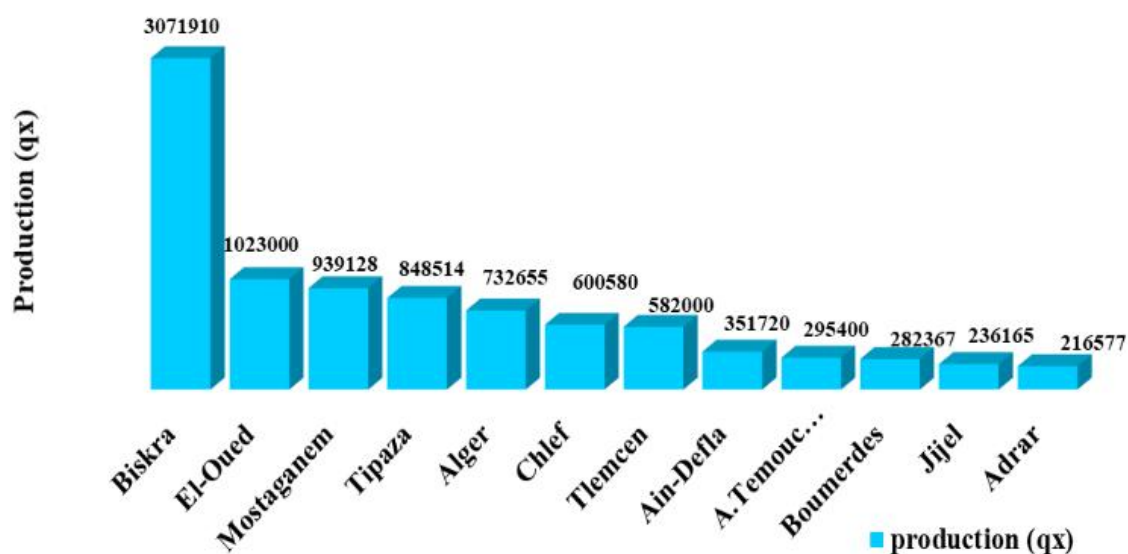


Figure 08 : La production de tomate par wilaya en 2016 (MADRP, 2019).

La wilaya de Biskra vient en tête des 12 wilayas productives de tomate avec une production plus de 3 million de quintaux, El-Oued est la secondaire région productrice avec une production plus de 1 million de quintaux et la troisième région est Mostaganem avec une production de 939128 de quintaux. Suivie de Tipaza avec une production de 848514 de quintaux.

9.5. Répartition de la superficie nationale de tomate

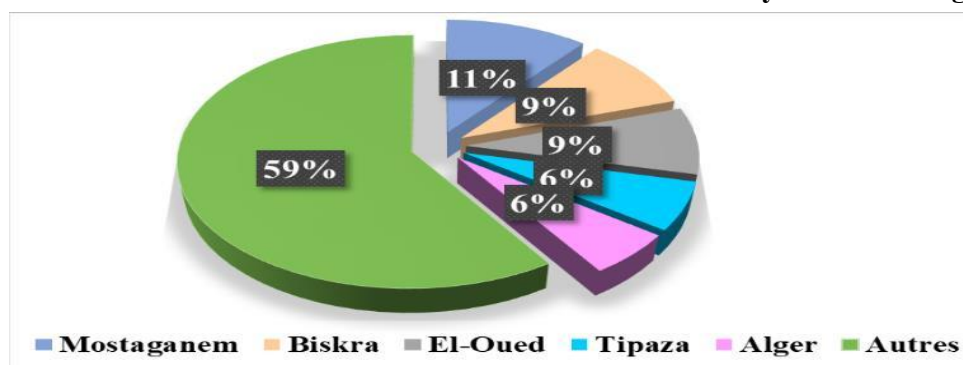


Figure 09: Répartition de la superficie nationale de tomate en 2016 (MADRP, 2019) .

Mostaganem occupe 11% de la superficie récoltée nationale, Biskra occupe 9% de la superficie récoltée et El-Oued occupe 9%. Suivie de Tipaza et Alger occupent 12%, les autres wilayas occupent 59% en 2016.

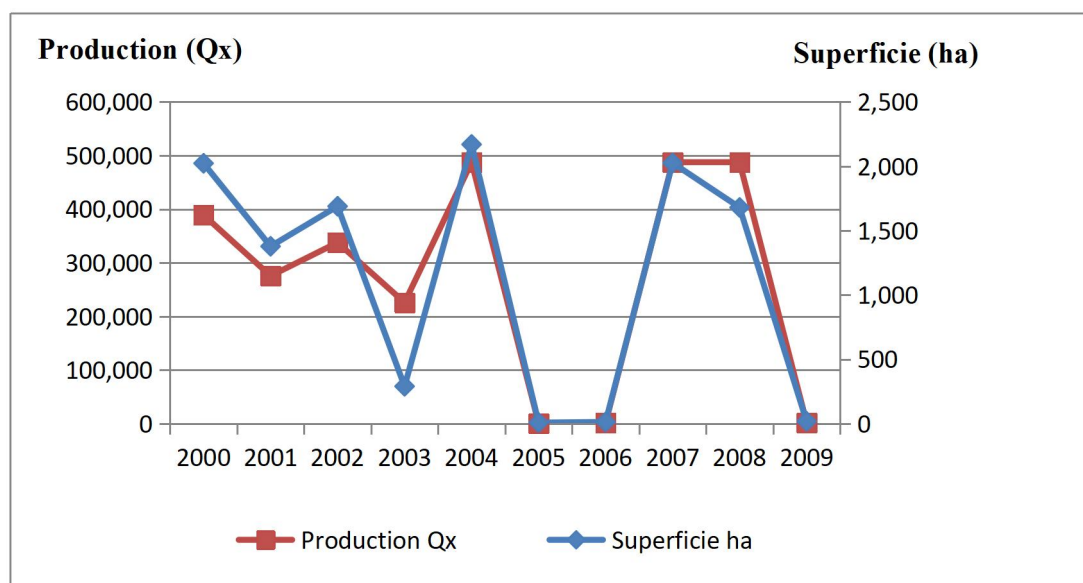


Figure 10: Evolution de la production et la superficie nationale de tomate de wilaya Mostaganem (MADRP, 2022).

En 2000, la production de tomates dépassé 300 000 Qx. Après 2004, la production de tomates était faible, mais depuis l'année 2006, la production de la tomate a amorcé une nouvelle phase de croissance.

Chapitre 2 : La fertilisation azotée

1. Définition des engrais

On entend par engrais tous les composés minéraux et organiques qu'on ajoute au sol et qui sont destinés à être acheminés directement ou indirectement vers les plantes alimentaires (Bliefert et Perraud, 1997). Les engrais tout produit contenant au moins 05% ou plus de l'un ou plus des trois principaux éléments nutritifs des plantes (N, P₂O₅, K₂O), fabriqué ou d'origine naturelle. Les engrais issus de fabrication industrielle sont appelés les engrais minéraux (Anonyme, 2003). Toute matière fertilisante organique ou minérale incorporé au sol pour en accroître ou en maintenir la fertilité, apportant notamment aux végétaux les éléments qui leur sont directement utile (Mazoyer, 2002).

2. Importance des engrais

Les engrais permettent d' :

- ✚ Augmenter la production
- ✚ Améliorer la qualité des cultures vivrières et celle des cultures de rente.
- ✚ Améliorer la fertilité des sols.
- ✚ Apportent aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elles ont besoin.

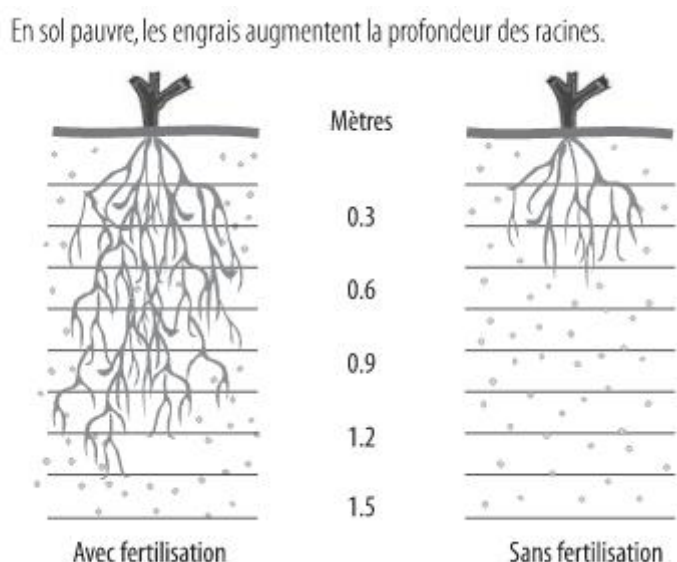


Figure 11: la profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation

3. Consommation d’engrais dans le monde

Au début des années 60, la consommation d’engrais dans le monde était de 30 Mt répartis entre 27,5 Mt pour les pays développés et 2,5 Mt pour les pays en voie de développement. Depuis, cette consommation a fortement augmenté, particulièrement dans les pays en développement, pour atteindre plus de 136 Mt par an en 2000, dont 49,8 Mt pour les pays développés et 86,6 Mt pour les pays en voie de développement (FAO, 2003). Au niveau mondial, l’approvisionnement en engrais est suffisant pour chacun des trois éléments nutritifs principaux. La consommation mondiale d’éléments fertilisants s’est élevée à 179,4 milliards de kilos en 2007 : 61,6% d’azote, 23,1% de phosphates, et 15,3% de potasses (Planatoscope, 2019).

4. Consommation d’engrais par hectare de terre arable

Selon la FAO (2003), un indicateur de l’utilisation des engrais est la quantité d’engrais utilisée par hectare de terre arable. Le tableau 2 montre la consommation d’engrais dans certains pays du monde, on constate une inégalité importante entre pays aussi bien au niveau de cet indicateur. Cette répartition est due à différents facteurs et contraintes ayant pour origine les politiques agricoles, les réductions des subventions mais également une utilisation différente des engrais pour préserver l’environnement (M.Amirouche 2019).

Tableau 2. La consommation d’engrais dans quelques pays du monde en 2016 (B.M., 2019)

Pays	Consommation d’engrais (kg/ha)	pays	Consommation d’engrais (kg/ha)	Pays	Consommation d’engrais (kg/ha)
Afrique du sud	58,5	Autriche	141,8	Canada	87,6
Albanie	126,1	Australie	68,1	Etats-Unis	138,6
Algérie	22,3	Brésil	186,1	France	163,1
Tunisie	59,3	Burkina Faso	21,6	Espagne	144
Argentine	50,3	Chine	503,3	Maroc	71,1

La consommation mondiale d'engrais en kilogrammes par hectare de terres arables, est illustrée par la figure 3. En effet, la moyenne mondiale est passée de 23,5 kg/ha en 1961 à 100,9 kg/ha en 2000 (FAO, 2003), et elle atteint jusque 124,07 kg/ha en 2016 (B.M., 2019). Cette augmentation s'est effectuée surtout dans les pays en développement (M.Amirouche 2019).

5. Pourcentage des terres Fertilisées en Algérie

Les pourcentages des terres fertilisées ne sont pas pratiquement promoteurs pour l'élément Phosphore. Par contre l'utilisation est meilleure pour l'azote, l'utilisation de Potasse (K) a changé dans la dernière décade suite à une intensification des cultures maraîchères. Malgré les efforts d'intensification les pourcentages des terres fertilisées restent faibles, stables. (FAO, 2005)

6. Utilisation des engrais en Algérie

L'Algérie utilise peu d'engrais comparativement à d'autres pays africains telle Maroc par exemple. L'utilisation reste stabilisée autour de 45 unités d'élément nutritifs/hectare. Actuellement, l'agriculture algérienne ne consomme que 100000 tonnes d'éléments fertilisant alors que selon la moyenne mondiale, la consommation devrait se situer à 850000 tonnes par an (Asmidal, 2004). Si nous prenons l'exemple de cultures céréalières, les 2,5 millions d'hectares de cette culture [à raison de 72kg de N, 27kg de P_2O_5 et 65kg de K_2O /hectare] ont besoin de 410500 tonnes d'éléments nutritifs dont 180000 d'Azote, 68000 tonnes de P_2O_5 et 162500 tonnes de K_2O .

7. Les éléments nutritifs

D'après (Wopereis et al. 2008) les plantes ont besoin de la radiation solaire (la lumière), de l'eau et des nutriments pour leur croissance. Ces nutriments se trouvent dans le sol ou proviennent de l'air ou de l'eau (la solution du sol). En général 18 éléments nutritifs sont essentiels pour une croissance normale et/ou un développement complet.

Il existe des nutriments majeurs (qui se trouvent dans au moins 0,1 % de la matière sèche de la plante) et des micro-éléments (qui se trouvent dans moins de 0,1 % de la matière sèche de la plante). Le nutriment majeur provenant de l'air est le carbone (C). L'hydrogène

Synthèse bibliographique

(H) provient de l'eau et l'oxygène (O) de l'eau et de l'air. Ces éléments C, H et O sont transformés par la photosynthèse (le moteur de la croissance de la plante) en hydrates de carbone pour la plante. Les nutriments majeurs provenant du sol sont les suivants :

Azote (N), phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), sulfure (S).

8. Les engrais azotés

Selon Ghouar (2006), les engrais azotés sont appliqués depuis plus de 150 ans. Jointes aux progrès de la sélection génétique et des itinéraires techniques, ils permettent d'atteindre des rendements culturels suffisamment élevés et assurer un faible coût de production.

De plus, pour assurer un développement durable et la protection de l'environnement, certains pays ont introduit un contrôle de la pollution par les engrais. La réduction de la consommation d'engrais ne s'est pas associée à une diminution de la production mais à une augmentation de l'efficacité d'utilisation des engrais, celle-ci étant estimée comme le rapport entre la quantité d'engrais apportée et la quantité absorbée. Le type d'engrais, le mode et la date d'apport ont permis cette amélioration. Des techniques comme la fertigation ont également permis d'augmenter sensiblement l'efficacité (Latiri, 2002).

9. Nutrition azotée

L'azote est un élément essentiel à la croissance des organismes vivants et est donc indispensable à la production de nourriture à l'échelle planétaire. En effet, il est un élément important entrant dans la composition de la chlorophylle, des protéines (enzymes), des acides nucléiques, des vitamines ainsi que des composés énergétiques tels que l'ATP (Farndon, 1999). L'azote atmosphérique ou diazote (N_2) doit être fixé sous forme assimilable (NH_4^+ , NO_3^-) afin d'être utilisable par les plantes, celui-ci étant constitué d'une triple liaison le rendant chimiquement très stable. Selon la loi du minimum de Liebig (von Liebig, 1862), l'azote est souvent l'élément qui limite la croissance des cultures. Ainsi, il est un élément clé dans les programmes de fertilisation agricole, puisqu'il permet d'améliorer les rendements. Cependant, il est également l'élément dont le niveau de complexité est le plus important pour la conception des plans

de fertilisation (Mortensen, 2000; N'Dayegamiye, 2007) en plus de représenter un coût important comme intrant agricole

Afin d'être disponible pour les plantes, l'azote organique contenu dans la matière organique du sol doit d'abord être minéralisé par les microorganismes. La minéralisation de l'azote organique dépend de plusieurs facteurs dont le taux de matière organique (fractions: labile > lentement minéralisable > récalcitrante), la porosité, la texture, le pH, la température et le niveau d'humidité du sol qui influencent tous l'activité des microorganismes (N'Dayegamiye, 2007). En effet, la minéralisation augmente avec la température, l'humidité, la porosité ainsi que la teneur en particules argileuses et limoneuses du sol alors qu'une forte activité microbiologique optimise la disponibilité des formes d'azote assimilables (NO_3 , NH_4) (N'Dayegamiye, 2007; Sbih et *al.*, 2003). L'azote est d'abord libéré sous forme d'azote ammoniacal, puis transformé en nitrates (en passant par la forme nitrique) par les bactéries nitrifiantes: ce processus s'appelle la nitrification (figure 12). Cette conversion d'ammonium en nitrates est une réaction acidifiante : $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^- + 8 \text{H}^+$, des ions hydrogène y étant libérés. Il s'en suit l'assimilation de l'azote par les plantes, sous forme de nitrate ou d'ammonium (figure 12).

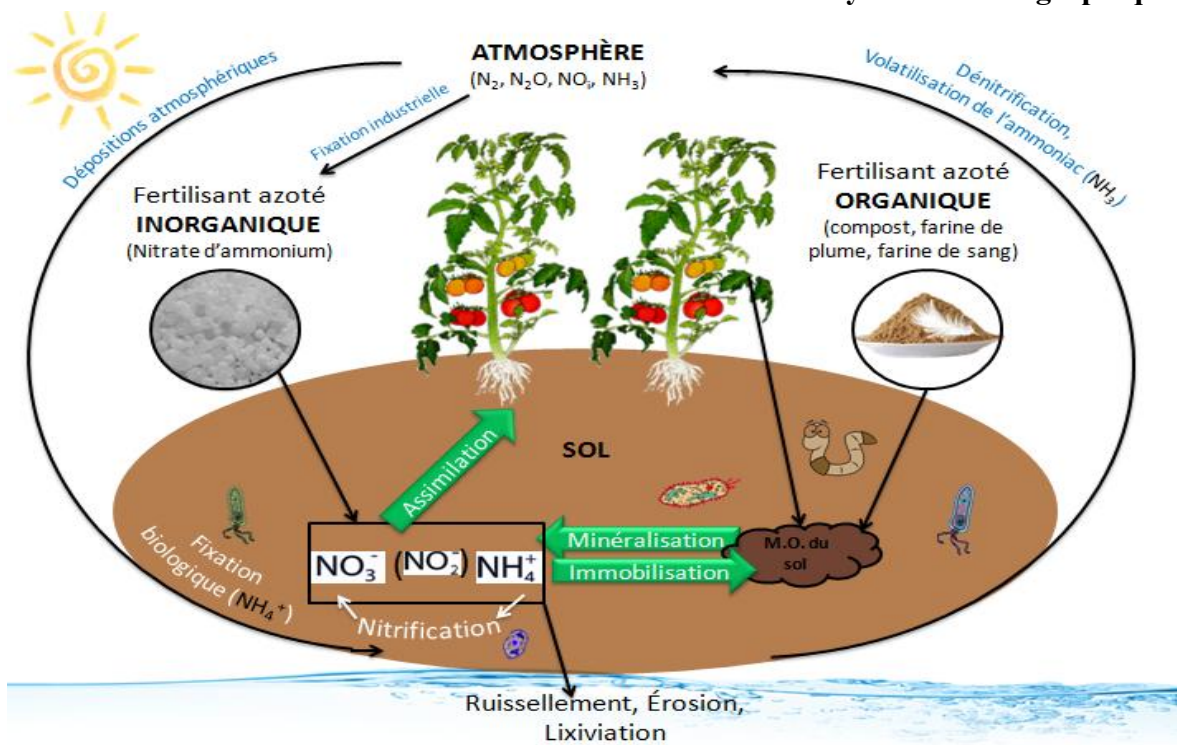


Figure 12. Schématisation du cycle de l'azote, adaptée au contexte de l'étude. (Béatrice Perron)

Chapitre 03 : Le modèle AquaCrop

La modélisation est couramment 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.

1. Définition d'un modèle

Les textes de références en agronomie donnent des définitions générales au mot modèle, selon Penning de Vries et al. (1989), un modèle est généralement défini comme une représentation ou une simplification du fonctionnement réel d'un système. Certaines définitions s'appuient sur les formalismes mathématiques, en effet, selon la définition du National Research Council (1990), un modèle est une tentative systématique de traduire la compréhension conceptuelle d'un système réel (phénomène physique, biologique...) en des termes mathématiques.

Par ailleurs, il est composé d'un ensemble d'équations mathématiques, appelées formalismes, constituées de variables d'état, qui caractérisent l'état du système à différents pas de temps mais aussi de paramètres, qui définissent l'intensité des relations entre les variables d'état de ce système.

D'autres auteurs fondent leurs définitions sur les interactions entre le système sol-plante-atmosphère et les pratiques agricoles définissant ainsi les modèles de cultures. Selon Bonhomme et al. (1995), un modèle de culture est un ensemble de relations qui décrivent de façon simplifiée le fonctionnement du système sol-plante en interaction avec le climat et les opérations techniques. C'est ainsi un outil privilégié pour simuler le comportement d'une culture et définir son niveau de production.

2. Typologie des modèles de culture

On distingue généralement deux types de modèles de culture qui sont les suivants:

2.1 Les modèles mécanistes: Ils décrivent et quantifient les mécanismes et les processus qui interviennent au niveau de la plante et du sol. Cela se fait en se basant sur la formalisation d'hypothèses concernant le fonctionnement physiologique et physique du système étudié.

2.2 Les modèles empiriques: Ils décrivent quant à eux l'évolution du système au travers de relations simplifiées entre les différentes variables sans fournir d'explications sur le fonctionnement biologique ou physique. Les équations décrivant les relations sont le plus souvent obtenues à partir d'ajustements statistiques entre les différentes variables d'état mesurées.

Les modèles de cultures se situent à l'interface des deux catégories présentées (Hammer et *al.*, 2002). Etant constitués d'un ensemble d'équations mathématiques formalisant les hypothèses sur le fonctionnement du système sol-plante et regroupées par processus, ils peuvent être considérés comme mécanistes. Cependant, ils peuvent intégrer des relations de type empirique entre les variables caractérisant les différents processus.

3. Importance de la modélisation en agronomie

Apparue dans le champ de l'agronomie il y a 25 ans avec les travaux de de Wit (1978) sur la photosynthèse et la respiration, 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. Etapes de l'élaboration du modèle

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

4.1 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.

4.2. 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 du témoin ou références.

4.3. La vérification

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

4.4. 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 celles prises comme référence.

5. Le modèle AquaCrop

Le modèle AquaCrop développé par la division des terres et des eaux de la FAO, est un modèle axé sur l'eau, qui peut être utilisé comme outil d'aide à la décision pour la planification et l'analyse des scénarios (Steduto et *al.*, 2009; Hsiao et *al.*, 2009). Les

Synthèse bibliographique

concepts de base et les procédures fondamentales de calcul du modèle sont résumés dans l'organigramme présenté à la figure 13 selon Steduto et *al.* (2009).

Aquacrop exige cinq composantes importantes pour qu'il soit fonctionnel : le climat, avec son régime thermique, la pluviométrie, la demande évaporatoire (ET0) et la concentration en dioxyde de carbone ; ensuite la culture avec ses processus de développement, de croissance et de constitution du rendement; puis le sol avec son bilan en eau. En plus, quelques aspects de gestion ont été considérés explicitement (ex. irrigation, fertilisation, etc.), vu qu'ils affecteront le bilan d'eau du sol, le développement de la culture, et de cette manière la production finale.

AquaCrop utilise un nombre relativement réduit de paramètres explicites et de variables d'entrée (souvent intuitives), qui sont facilement disponibles ou qui nécessitent des méthodes simples pour leur détermination (Raes et *al.*, 2012).

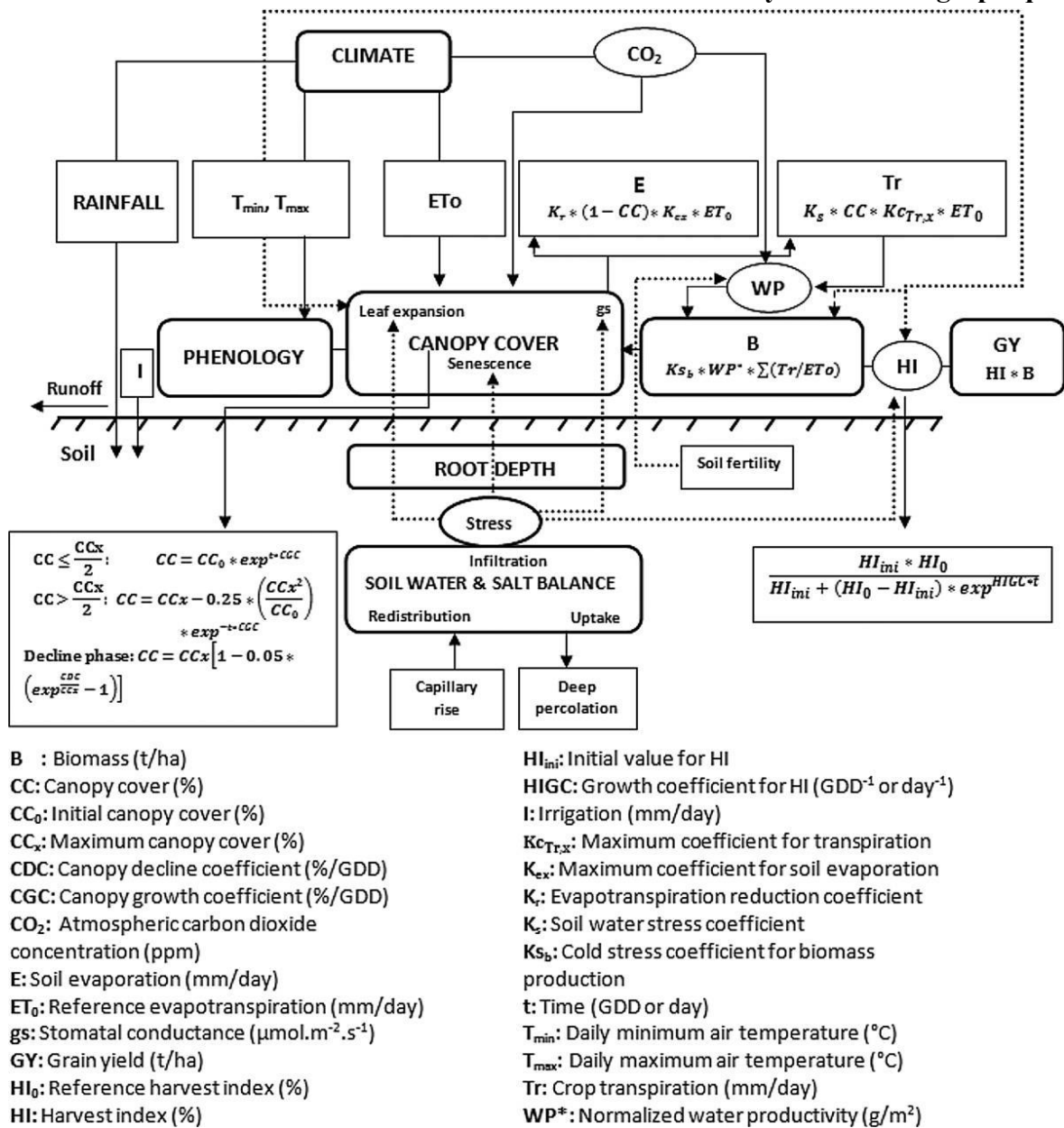


Figure 13: Schéma d'AquaCrop présentant les composants principaux du continuum sol-plante- atmosphère et les paramètres caractérisant la phénologie, la couverture de la canopée, la transpiration, la production de biomasse et le rendement final (Toumi et al., 2016)

6. Environnement d'AquaCrop

La nouvelle version d'AquaCrop (version 6.1) a l'avantage d'être dans deux langues (anglaise et française) (FAO, 2018). La figure 14 ci-dessous présente l'interface de cette nouvelle version :

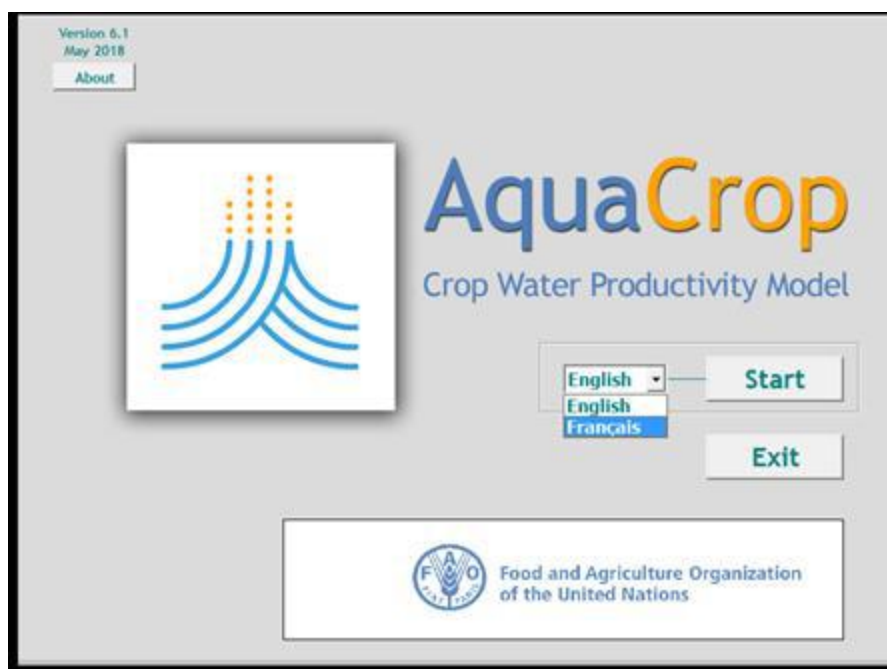


Figure 14: Aperçu de la nouvelle version d'AquaCrop **Source :** (FAO, 2018)

Le menu principal se présente en deux grandes parties : une première qui concerne

l'« Environnement/culture » et une deuxième partie pour la « Simulation ».

Les données d'entrée concernent « le Climat, la Culture, la Gestion (parcelle, irrigation) et le sol (profil, nappe) » et les données de sortie concernent « la Biomasse et/ou rendement, les teneurs en eau et/ou Bilan d'eau » (Wellens, 2016). Selon la même source la simulation prend en compte les réponses des cultures aux facteurs externes (climat, sol, gestion, ...).

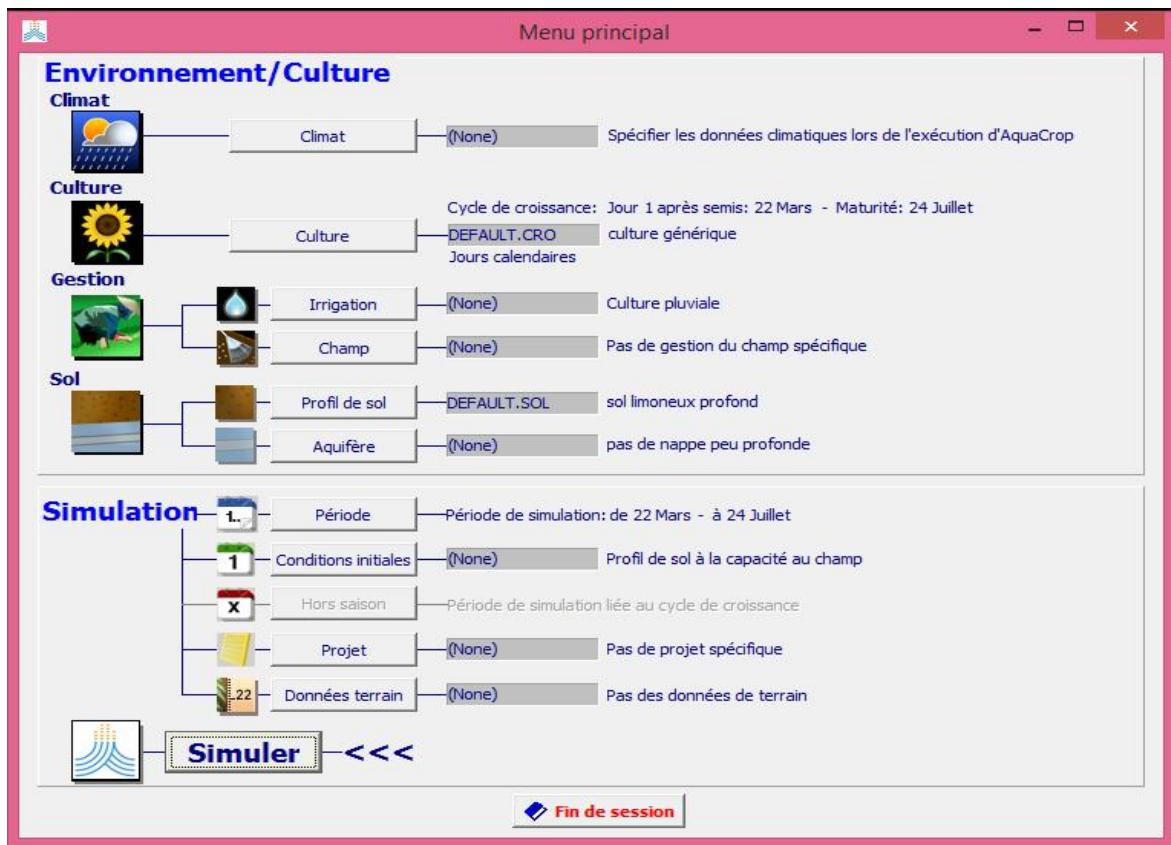


Figure 15: Aperçu de l'environnement de la nouvelle version d'AquaCrop Source : (FAO, 2018)

7. But du logiciel AquaCrop

Il exécute les fichiers de projets successifs. Ensuite, les résultats des modélisations, identiques à ceux générés avec l'interface, sont directement enregistrés dans des dossiers prédéfinis. Travailler avec l'extension permet d'économiser beaucoup de temps aussitôt que l'ensemble des fichiers d'entrée a déjà été formaté (Raes et al. 2012).

Matériels & méthodes

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons traiter les caractéristiques de la région de la wilaya de Mostaganem, particulièrement sa situation géographique et les facteurs climatiques pédologiques, et aussi les potentialités hydrique et agricoles.

I. Présentation de la zone d'étude

3. Situation géographique

La région d'étude illustrée dans la figure 15 se situe dans le Nord-Ouest de l'Algérie couvre une superficie d'environ 2175 km². Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée, à l'ouest par la wilaya d'Oran et Mascara, à l'est par la wilaya de Chélif et au sud par la wilaya de Relizane.

Il est situé sur une longitude comprise entre 0°6 Ouest et 0°26 Est et sur une latitude Nord comprise entre 35°40 et 36°01.

Le relief de la wilaya de Mostaganem se subdivise en 6 grandes unités morphologiques : le cordon littoral, une zone de collines littorales, les monts de Dahra, une zone de plateau, la vallée du bas Chélif et une zone de plaine (la plaine des Bordjias). La diversité de la wilaya de Mostaganem lui permet de posséder d'énormes potentialités naturelles.

Les coordonnées géographiques de la région Mostaganem sont :

- Altitude 102 mètres
Elle est Située entre les points coordonnées Lambert
- Latitude : 35.9311500°Nord
- Longitude : 0.0891800°Est

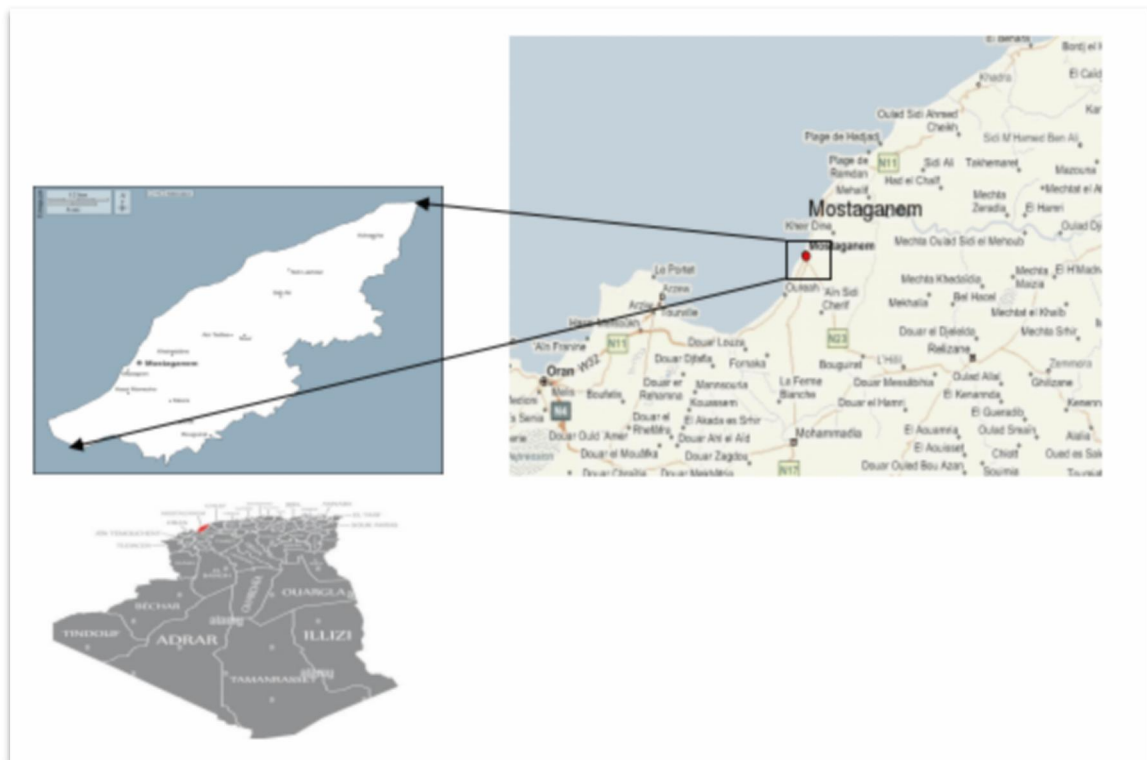


Figure 16 : Limites géographiques de la wilaya de Mostaganem.

2. Climatologie de la région

Le climat de Mostaganem se caractérise par une température douce, la faiblesse des écarts thermiques et l’alternance quasi-quotidienne des brises de mer et de terre. Elle se caractérise par un climat semi-aride et un hiver tempéré, compte tenu de la proximité de la mer.

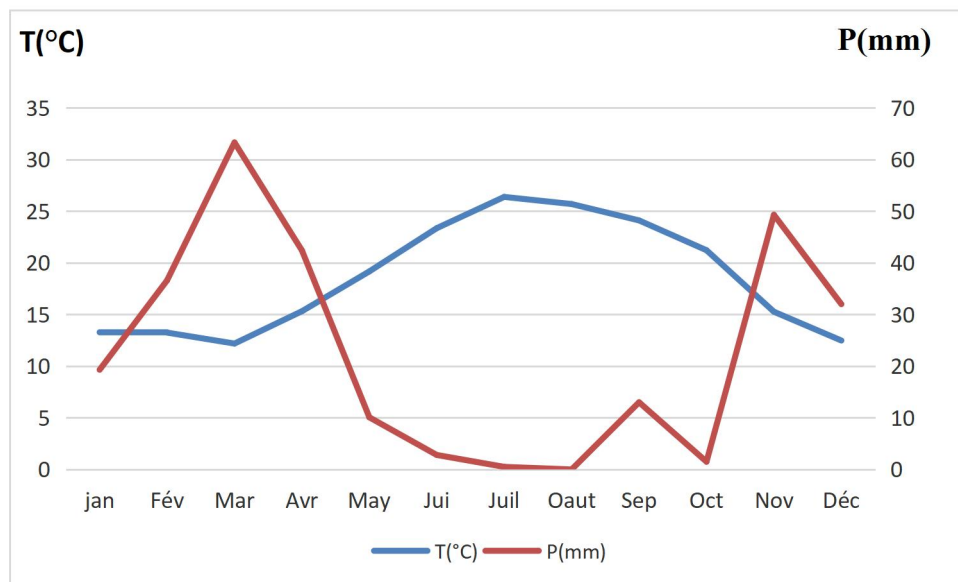


Figure 17 : Diagramme ombrothermique de la région du Mostaganem (2016).

3. Pédologie

Selon (Bneider, 1996), les études des terrains de la zone d'étude, ont permis de mettre en évidence six grands types de sol.

-Les sols peu évolués : Il s'agit de sols jeunes, à profil A/C, caractérisés essentiellement par une faible altération du milieu minéral.

-Les sols bruns calciques :

Il s'agit essentiellement de sols possédant les mêmes caractéristiques que les sols de la sous classe des carbonatés (Rendzines et bruns calcaires), sauf qu'ils sont dépourvus de calcaire. Ce sont des sols minoritaires et n'ont pas la possibilité de former des complexes humo-calcaire. D'après (**Duchaufour, 1965**), ces sols peuvent avoir deux origines différentes selon qu'ils proviennent de la décarbonation du calcaire (sol brun calcique monocyclique) ou au contraire d'une décarbonation secondaire.

Les sols brun calciques de la zone d'étude sont épais et sont localisés surtout dans la partie centrale du plateau, de même il convient de noter qu'ils conviennent à toutes les cultures.

- Les sols calcimagnésiques : ce sont des sols qui évoluent sur du matériau calcaire.

-Les Rendzines : ces sols sont peu épais (jusqu'à 50 cm) possèdent souvent une seule pente supérieure à 3% et comportent des matériaux grossiers surtout des débris de croute calcaire, ils sont parfois érodés avec des signes de décapages.

-Les sols bruns calcaire : les profils de cette unité pédologique selon (BNEDER, 1996) se caractérise par : les caractéristiques analytiques, donnent un taux de calcaire faible en surface le complexe absorbant est caractérisé par la dominance des cations Ca^{++} et Mg^{++} . La salinité est très faible et le pH est nul. La composition granulométrique est limono-sableuse surtout au niveau de la couche 0-55cm.

-les sols marron hydromorphes : Dans l'ensemble, ces sols possèdent les mêmes caractéristiques que les sols marrons modaux, ils se distinguent par l'apparition de traces d'hydromorphie dans les horizons profonds sous forme de taches rouillées de pseudo-gley due probablement à un assainissement de surface. Ils se localisent au niveau du plateau de Mostaganem, peu étendus, leur assainissement de surface est recommandé. Ils conviennent surtout aux cultures céréalières, fourragères et maraichères.

4 .Les potentialités hydriques de la wilaya de Mostaganem

L'approvisionnement en eau est constitué des ressources conventionnelles des eaux souterraines et de surface. En ce qui concerne les eaux souterraines, plusieurs nappes sont exploitées par des forages. La nappe principale est celle de Mostaganem.

❖ Les différents systèmes d'adduction de la wilaya

Il est important de signaler que la wilaya de Mostaganem constitue une partie montagneuse très importante dite Dahra, regroupant une population rurale, le reste de la wilaya est répartie sur le plateau de Mostaganem.

L'alimentation en eau potable de la wilaya de Mostaganem, est assurée par deux ressources principales :

✚ Les eaux conventionnelles :

- ✓ Barrage de Kramis avec une capacité de 45 Hm³
- ✓ Barrage de Kerrada avec une capacité de 70 Hm³
- ✓ Barrage de Chélif avec une capacité de 50 Hm³

✚ Les eaux non conventionnelles :

La station de dessalement de Mostaganem située à l'Est de la wilaya avec une capacité de production de 200 000 m³/j.

Notons que le barrage de Kramis alimente en eau potable la région de Dahra, avec une production moyenne de la station de traitement (130 000 à 150 000) m³/j.

Matériels et méthodes

Pour les barrages de Kerrada et du Chélif servent d'appoint en cas de perturbation des systèmes de dessalement ou du système de Kramis.

5. Les potentialités agricoles

La wilaya de Mostaganem est une région essentiellement agricole caractérisée par la variété pédologique des sols et une diversification des variétés. La wilaya connaît actuellement une activité agricole très importante, Augmentation de la production durant l'année 2019/2020 des produits suivants: (Céréales, Légumes Secs, Maraîchage, Arboriculture Fruitière, Vignoble).Le secteur agricole est considéré comme l'une des principales vocations de la Wilaya de Mostaganem. La SAU couvre plus de 132 268 hectares, ce qui correspond à plus de 74,59 % de la surface agricole totale (177310 ha). La diversité des milieux offre la possibilité d'une diversification des spéculations agricoles.

La superficie irriguée est évaluée à 32 220 hectares, ce qui représente un peu moins est 24,35 % de la SAU.

Les principales grandes spéculations pratiquées actuellement (campagne 2012) selon les superficies utilisées pour (fig. 17) :

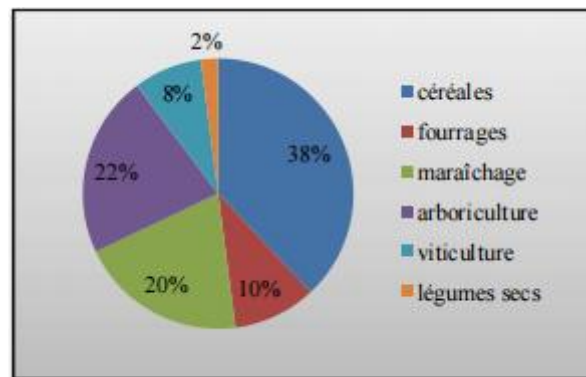


Figure 18 : Répartition de la surface Agricole dans la wilaya de Mostaganem

II. Evaluation la réponse du modelé AquaCrop aux doses d'azote

Dans cette section, il s'agit de simuler par le modèle AquaCrop, les besoin en eau d'irrigations de la culture de la tomate sur la wilaya de Mostaganem pour une période de 12 ans (2009-2021). La démarche consiste à fixer les données climatiques, les données liées au sol et les données liées à la culture, le seul paramètre qu'on change c'est *les doses d'azotes*.

Matériels et méthodes

AquaCrop utilise un nombre relativement faible de paramètres explicites et variables d'entrée largement intuitifs, soit largement utilisé ou nécessitant des méthodes simples pour leur détermination. Entrée composée des données météorologiques, les caractéristiques des cultures et des sols et des pratiques de gestion qui définissent l'environnement dans lequel la culture se développe. Les entrées sont stockées dans le climat, la culture, le sol et les fichiers de gestion et peuvent être facilement réglés grâce à l'interface utilisateur (Raes et *al.*, 2009).

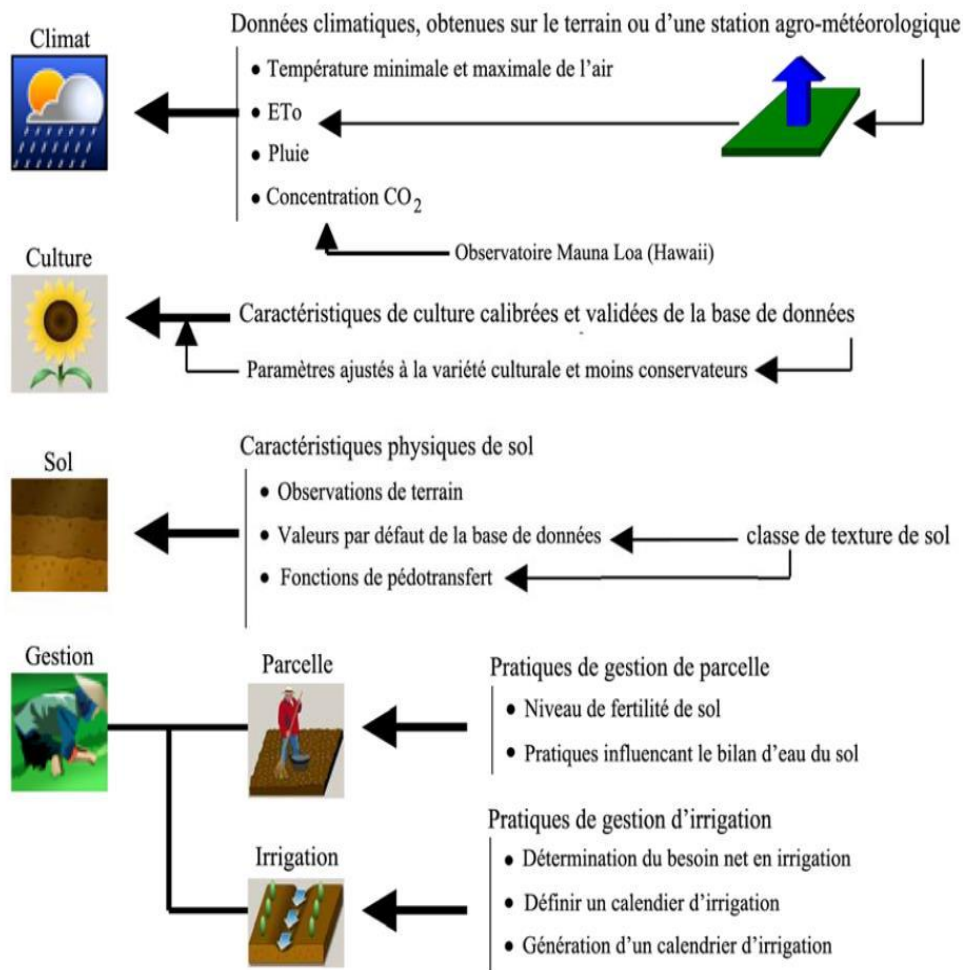


Figure 19 : Données d'entrée définissant l'environnement dans lequel la culture va se développer (Raes et *al.*, 2009).

1. Les données climatiques

Les données climatiques requise par le modèle AquaCrop sont les température minimale T_{min} , maximale T_{max} (°C), les précipitations (mm), la vitesse du vent (m/s) à 2m au-dessus du sol, la radiation solaire (insolation) (W/m²) et l'humidité relative (%). Ces données ont été récoltées à travers des bulletins de l'ONM et des sites météorologiques s'étalent sur une période de 12 ans (2009-2020). Les mesures prises, à un pas de temps annuelle.

2. Les données liées à la culture

AquaCrop utilise un nombre relativement réduit de paramètre explicites et de variables d'entrée qui sont facilement disponibles ou qui nécessitent des méthodes simples pour leur détermination. Le tableau 1 montre les paramètres d'entrés liés à la culture.

Tableau 3 : Paramètres de culture d'entrée pour calibrer le modèle AquaCrop

Paramètres	Valeur
Température de base (C°)	5,5
Température supérieur seuil (C°)	30
Nombre de plante par hectare	185000
Méthode de plantation/semis (semis direct ou transplantation)(cm/plant)	15
Le temps du semis à l'émergence (j)	5
Moment de floraison (j)	47
Durée du stade de floraison (j)	50
Moment du début de sénescence de la canopée (j)	110
Moment ou la maturité est atteinte (c'est-à-dire la durée du cycle de culture)	125
Indice de récolte %	75%
Productivité de l'eau g/m ²	17
Profondeur maximale d'enracinement (m)	0 ,5 à 1,5

3. Les données liées au sol

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

✚ La texture

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

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

✚ La profondeur d'enracinement de la culture.

4. Calcul de l'évapotranspiration potentielle

Elle est calculée en utilisant la formule de Penman Monteith de la FAO. Elle exige comme données d'entrées, la vitesse du vent, le rayonnement et la température (maximale et minimale) sur une seule station étudiée et l'humidité relative.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{Cste}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Avec:

ET₀ = évapotranspiration de référence, en mm/j ou mm/h,

R_n = rayonnement global en MJ/m²/j ou MJ/m²/h,

G = flux de chaleur dans le sol par conduction en MJ/m²/j ou MJ/m²/h,

Δ et γ = constantes en kPa/°C,

Cste = 900 pour un pas de temps journalier et 37 pour un pas de temps horaire.

T = température en °C

e_s(T) = e_{sat}(T), la pression de vapeur saturante en kPa,

e_a(T) = pression de vapeur actuelle en kPa = humidité relative * e_s / 100,

u_2 = vitesse du vent à 2 mètres du sol en m/s.

5. Calcul la pluie efficace

C'est la portion d'eau tombée contribuant à la satisfaction des besoins en eau de la culture, toute précipitation ne se transformant pas en ruissellement ou en eau de recharge de la nappa souterraine peut être considérée comme effective, au point de vue l'irrigation, la pluie efficace elle est calculé selon la méthode de l'USDA (United States Department of Agriculture) basé sur l'équation suivante :

pour des précipitations inférieures à 250mm :

$$P_{\text{eff}} = \frac{ptot \times (125 - 0,2 \times ptot)}{125}$$

P_{eff} = Précipitation efficace (mm)

P_{tot} = Précipitation totale (mm)

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

$$P_{\text{eff}} = 125 + 0,1P_{\text{tot}}$$

6. Calcul les besoins en eau de la culture

Dans le domaine de l'irrigation, On cherche à cultiver les plantes dans des conditions optimale et elle est subordonné sur la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETM) qui est une valeur ponctuelle lié à l' ET_0 qui est relative à une région par un coefficient cultural, donné par la formule de base de l'approche climatique :

$$ETM = kc \times ET_0$$

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

kc : coefficient cultural.

ET_0 : évapotranspiration de référence (mm).

7. Etablir des calendriers d'irrigation

Matériels et méthodes

La planification de l'irrigation détermine la mesure correcte de l'eau à irriguer et l'heure correcte pour arrosage. Le modèle AquaCrop calcule l' ET_0 , les besoins en eau des cultures et les besoins en eau d'irrigation pour développer les programmes d'irrigation dans des conditions d'administration et des plans d'approvisionnement en eau différents.

8. Calcule l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE)

L'efficacité (EFE) 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 :

$$EUE \text{ (kg /m}^3\text{)} = Rdt / ETR$$

Ou :

EUE : l'efficacité d'utilisation de l'eau (kg/m³)

Rdt : le rendement de la culture (kg)

ETR : l'évapotranspiration réelle de la culture (m³).

Résultats & discussions

1. Analyse les paramètres climatiques

1.1. Pluie

La figure 20 illustre la variabilité interannuelle de la pluviométrie durant de la série climatique (2009 à 2020)

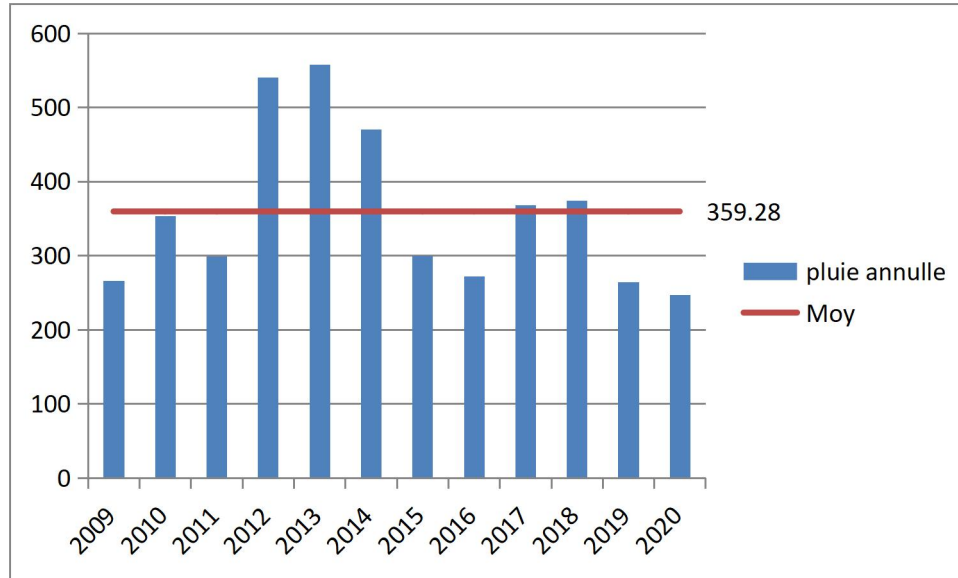


Figure 20 : Variabilité interannuelle de la pluie (2009-2021)

Les résultats obtenus montrent que variation hétérogène des intensités pluviométriques sur la région d'étude. La valeur moyenne annuelle de la pluie estimée sur la période d'étude (2009-2020) est de l'ordre de 359,28mm. L'analyse de ce graphique nous a permis de déterminer l'année excédentaire (2013), l'année déficitaire (2020).

1.2. Température

Les relevés moyens annuelles des températures enregistrées sur la période d'étude (2000-2021) sont présentés dans la figure 21. D'après cette figure, il est constaté que la moyenne annuelle de l'année le plus froid es 2013 avec $T_{min} = 12.05\text{ °C}$ et celle de l'année le plus chaud est 2009 avec $T_{max} = 24.6\text{ °C}$,

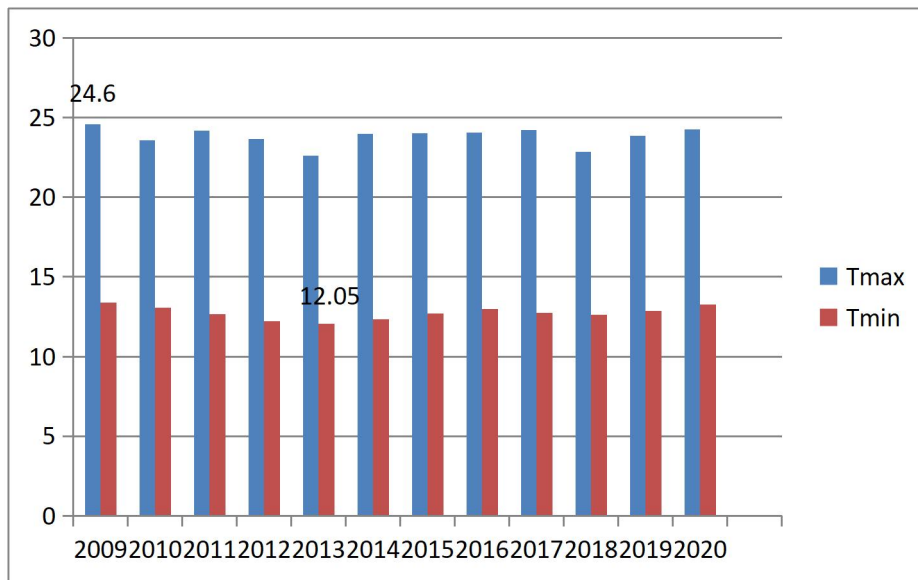


Figure 21 : Températures moyennes annuelles (2009-2021)

1.3. Humidité

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 d'étude (1990-2021) est illustrée par la figure 22.

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 (67 %).

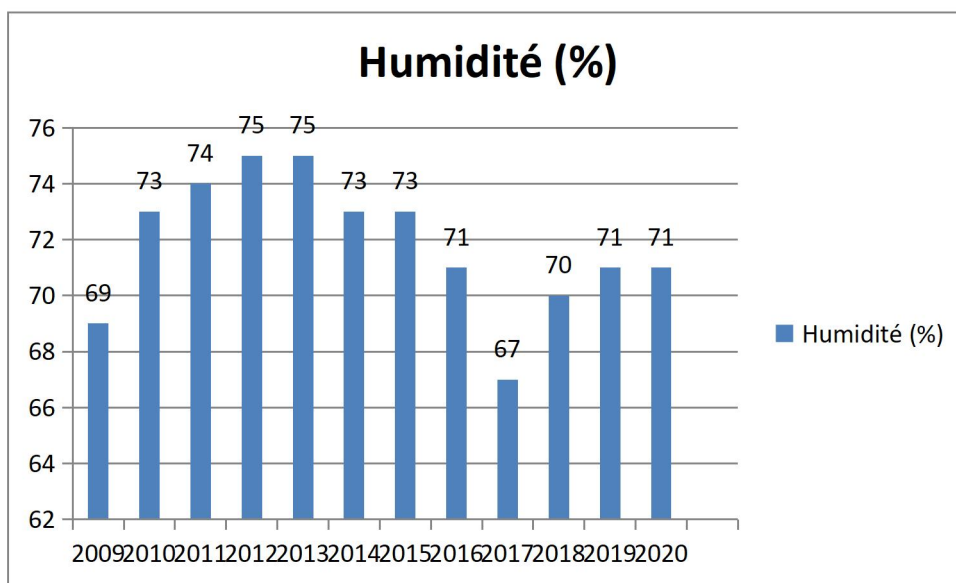


Figure 22: Humidité moyenne annuelle sur la période (2000-2020)

1.4. Insolation

La figure 23 illustre la variation de la durée d'ensoleillement durant la période d'étude, il est constaté que l'ensoleillement maximum est en 2009 (8h77) et la durée minimum est en 2010 (7h79).

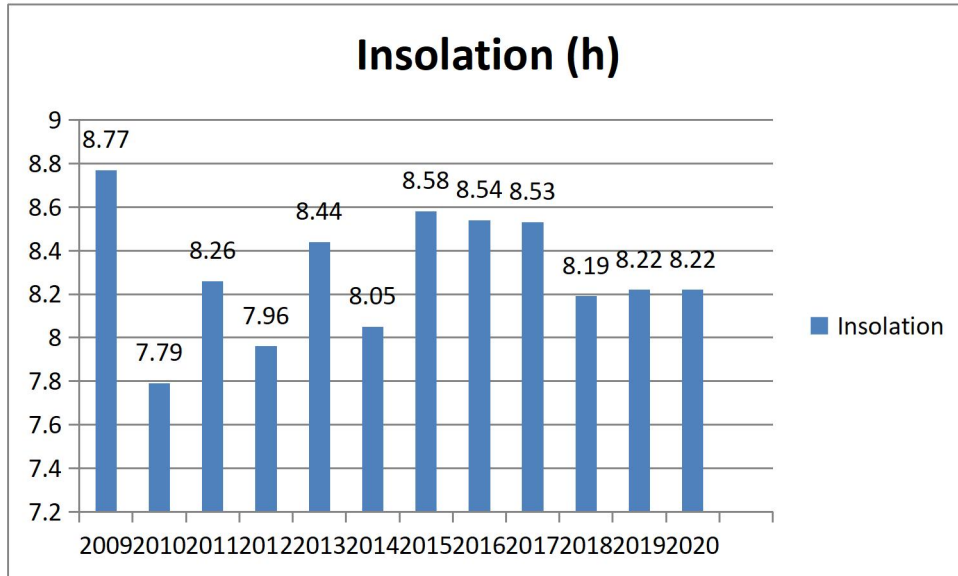


Figure 23 : Variation de la durée d'insolation pour la période (2009-2020)

1.5. Vitesse du vent

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

La figure 24 montre les tendances de la vitesse du vent, représentant la vitesse moyenne maximale du vent en 2009 (8,92 km/h) et la vitesse minimale étant la vitesse observée en 2015 (6,44 km/h).

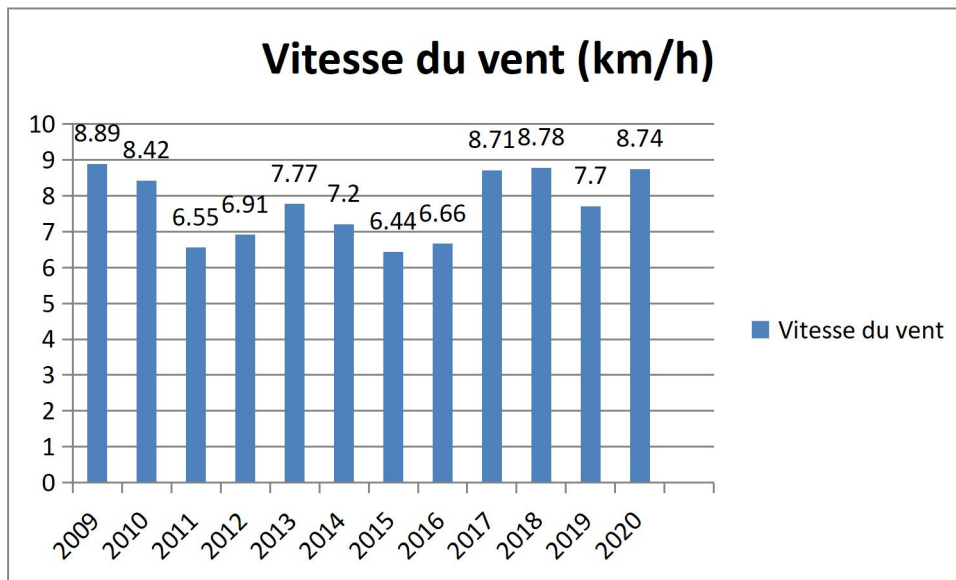


Figure 24 : Vitesse du vent moyenne annuelle pour la période d'étude (2009-2020)

2. Analyse l'Evapotranspiration

2.1. A l'échelle annuelle

L'évapotranspiration de référence (ET_0) a été calculé selon la méthode penman-monteith de la FAO (allen et al, 1998). 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 de vent à 2 mètres au-dessous du sol.

La Figure 25 illustre la variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence (ET_0) sur une période de 12 ans (2009-2020). Il est constaté que la moyenne annuelle de l' ET_0 est de l'ordre de 1266,3 mm.

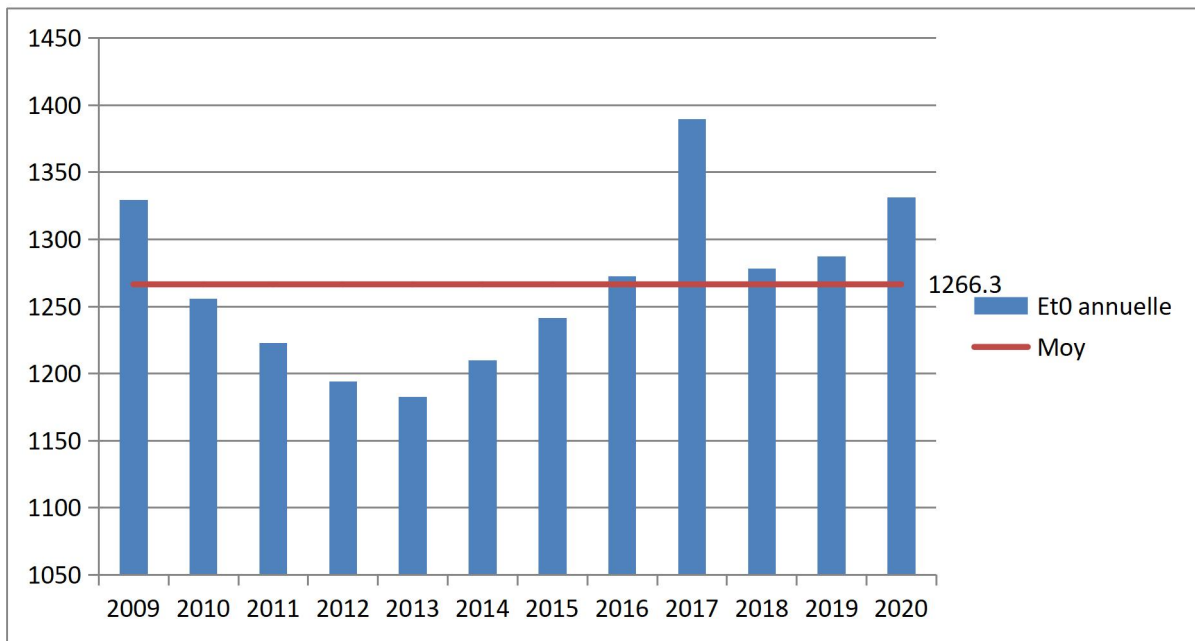


Figure 25 : Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence, période (2009-2020)

2.2. A l'échelle de la saison

La figure 26 illustre la variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence (ET0) à l'échelle de la saison de croissance de culture, sur une période de 12 ans (2009-2020). Il est constaté que les moyennes annuelle de l'ET0 de Tomate est de 707,33mm. L'évapotranspiration de référence (ET0) enregistrée durant la saison de culture de la tomate (avril – juillet) est plus élevé, car la saison de culture de la tomate coïncide avec la fin du printemps et début de l'été ou les températures ne cessent d'augmenter et les pluies sont négligeables.

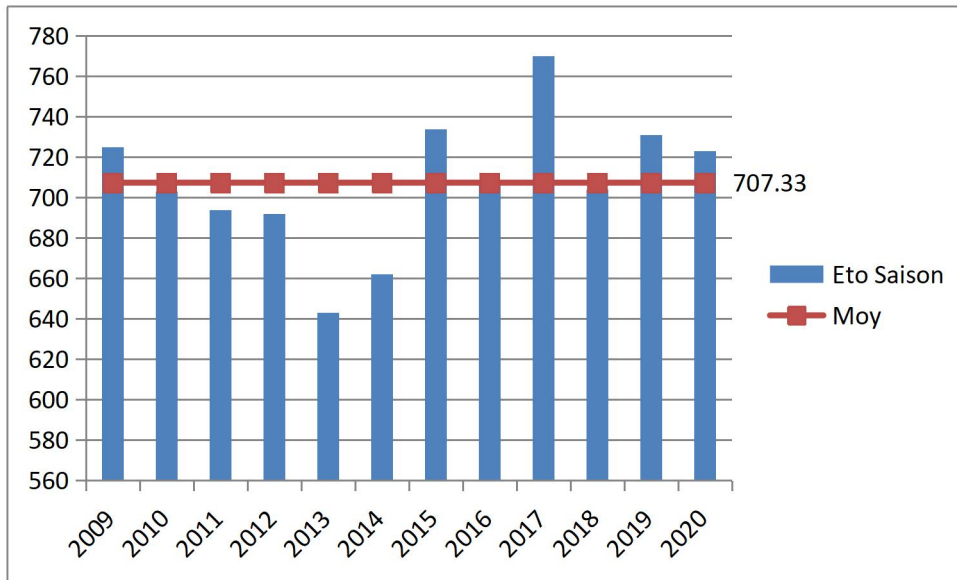


Figure 26 : Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence à l'échelle saisonnière, période (2009-2020).

3. Calcul les besoins en eau d'irrigation

Les besoins totaux en irrigation de la culture (BEI) de la Tomate estimés par le modèle AquaCrop sont illustrés par la figure 27. Il est constaté que lorsque la fertilisation azotée est utilisée en grand quantité (250kg N/ha), cela nécessite de grandes quantités d'eau d'irrigation pour aider à dissoudre l'azote, c'est ce que montre la figure suivante.

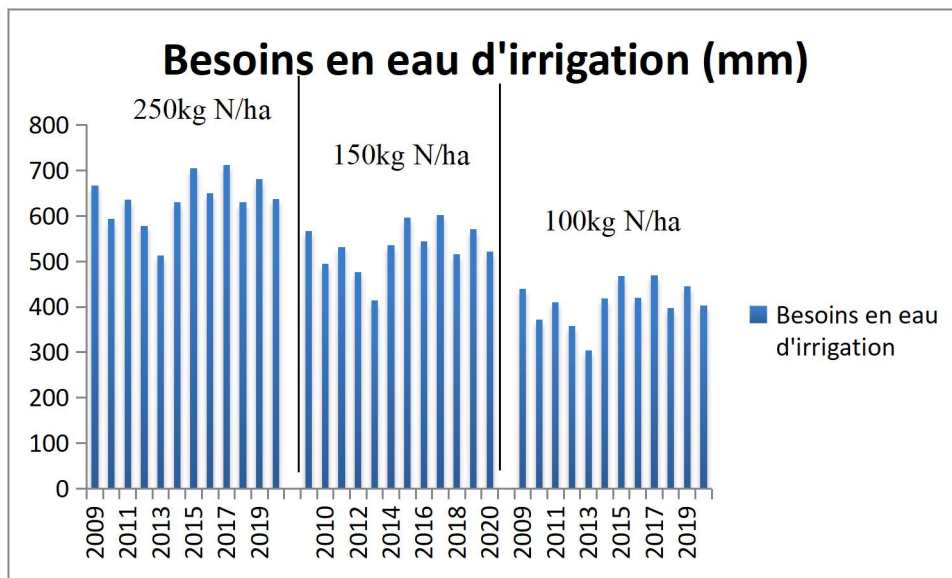


Figure 27 : Variation des besoins en eau d'irrigation (BEI) de la Tomate sous différents niveaux de fertilisation, période (2009-2020)

4. Analyse l'évaporation et la transpiration

4.1. Evaporation

L'évaporation se fait surtout à la surface du sol. La figure 28 montre la quantité d'eau évaporée sous différents niveaux de fertilisation (2009-2020). Il a été noté que la quantité évaporée augmente avec la diminution de la quantité d'engrais azotés, et cet indicateur statistique indique la présence de feuilles qui recouvrent complètement le sol, ce qui témoigne de la bonne croissance des tomates.

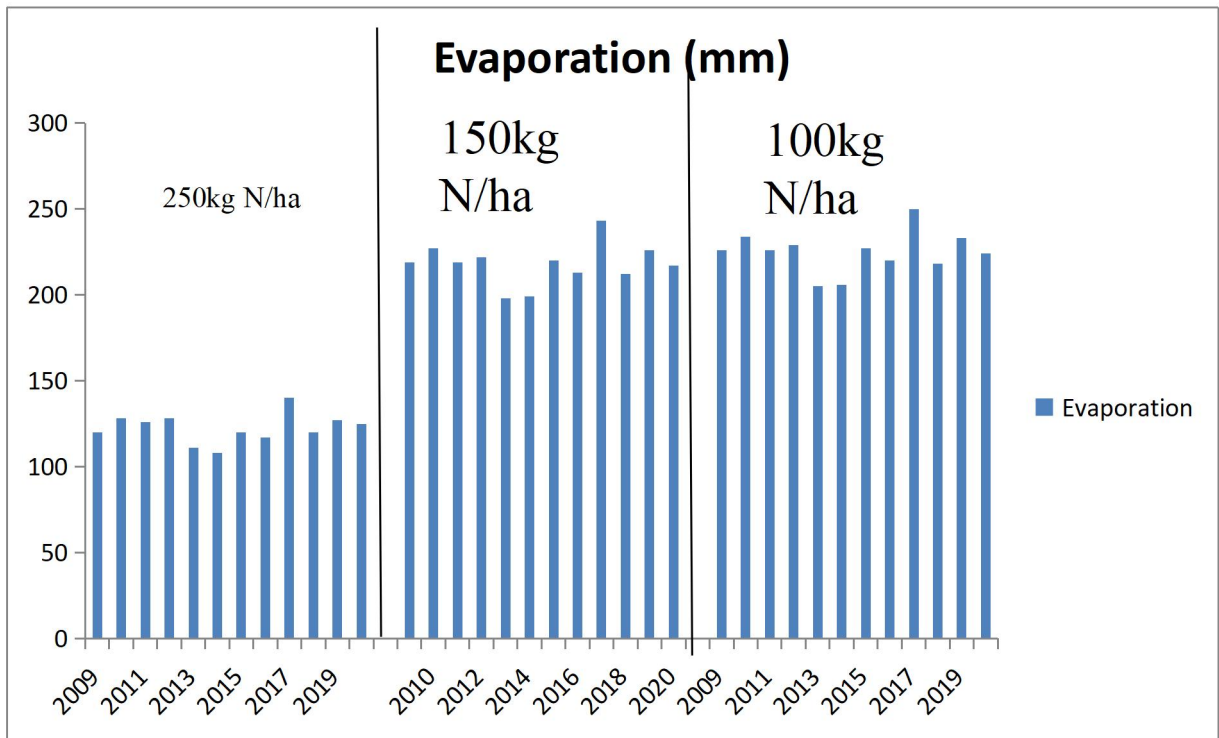


Figure 28 : Variation interannuelle de l'évaporation sous différents niveaux de fertilisation période (2009-2020)

4.2. Transpiration

La figure 29 montre la différence entre les années pour la transpiration dans la taille de la saison de croissance de la tomate respective sous différents niveaux de fertilisation (2009-2020). On observe que le taux de transpiration était plus élevé lors de l'utilisation de la dose 250kg N/ha, et l'utilisation de la plus grande quantité d'eau d'irrigation.

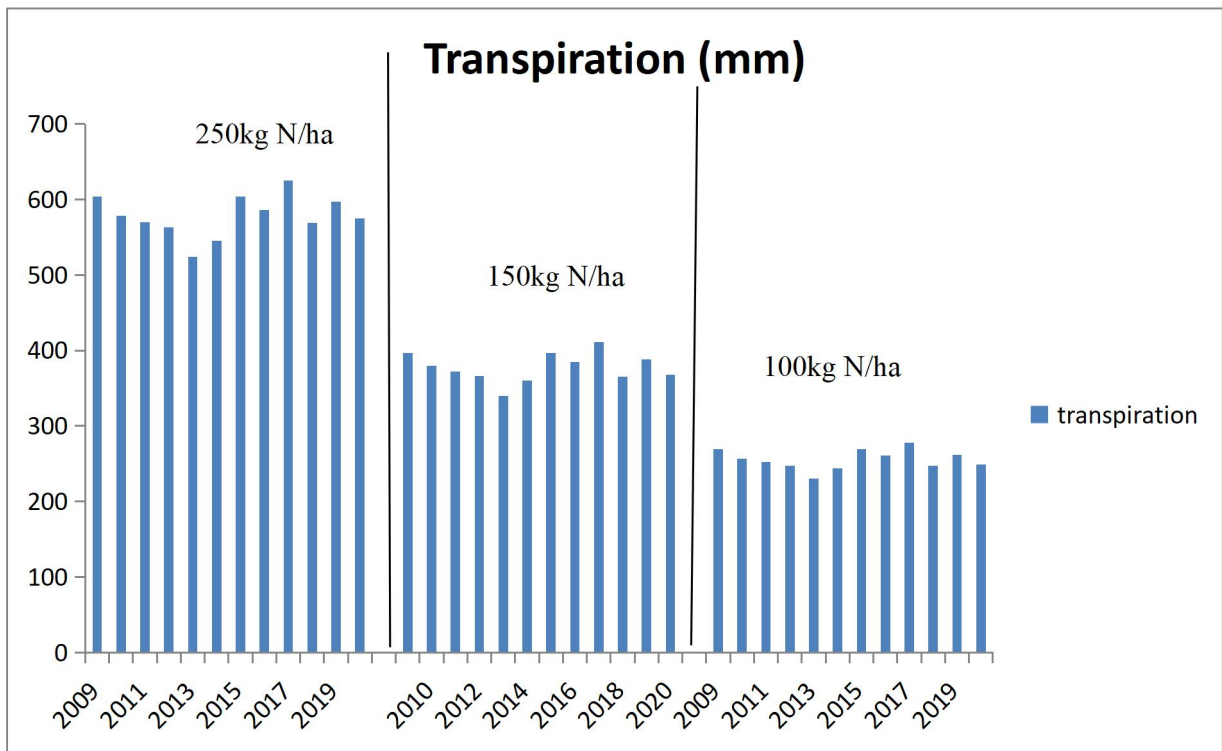


Figure 29 : Variation interannuelle de la transpiration sous différents niveaux de fertilisation période (2009-2020)

5. Analyse la biomasse aérienne

La production de biomasse est très élevée lors de l'utilisation de la dose de 250 kg N/ha, il diminue avec la diminution de l'azote utilisé, c'est ce que montre la figure 30. Cette évolution est appuyée par l'analyse de la variance, qui a montré, un effet très hautement significatif de la biomasse, en relation avec l'augmentation des doses d'azotes apportées. Un maximum de biomasse est atteint à la dose de 250 kg N/ha. Les résultats obtenue, suggèrent que l'application d'azote à raison de 250 kg N / ha, peut être suffisante pour couvrir les besoins en N de la culture de tomate.

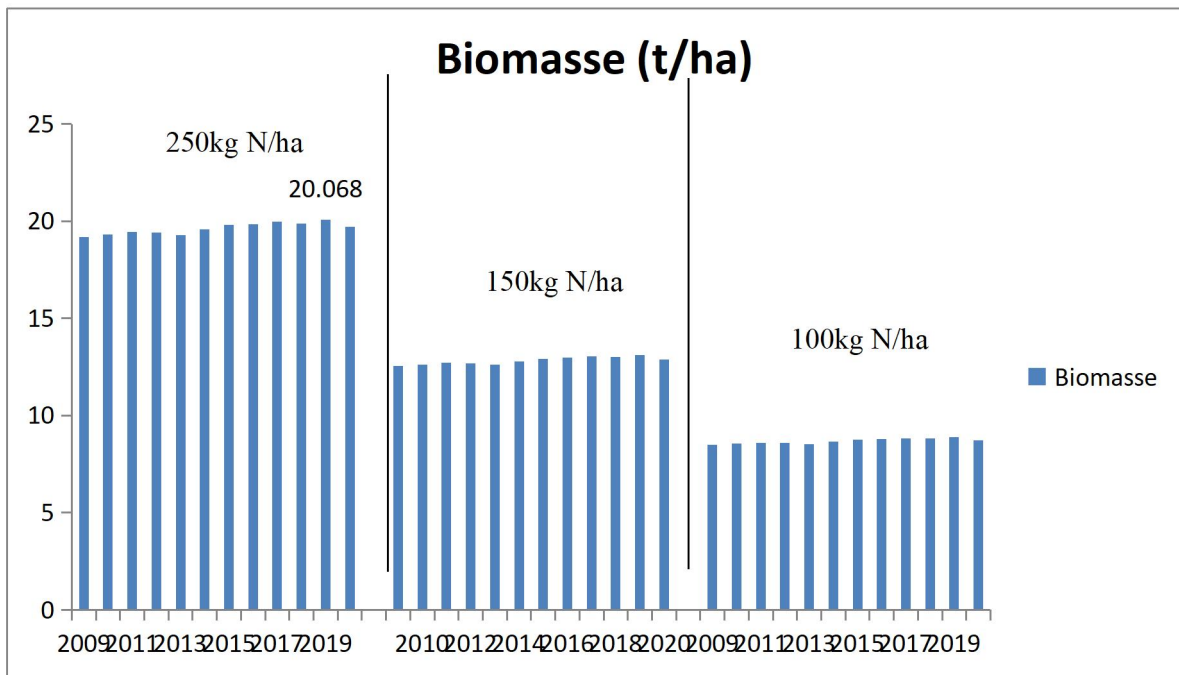


Figure 30 : Effet de différents niveaux de fertilisation sur la biomasse a l'échelle saisonnière de la tomate, période (2009-2020)

6. Calcul les rendements

La figure 31 illustre les rendements de tomate en fonction des doses d'azotes appliquées. En effet, le graphique montre que, lors de l'utilisation des trois doses 100kg 150kg 250kg N/ha, les rendements de tomate les plus élevés, sont obtenus en appliquant la dose de 250kg N/ha.

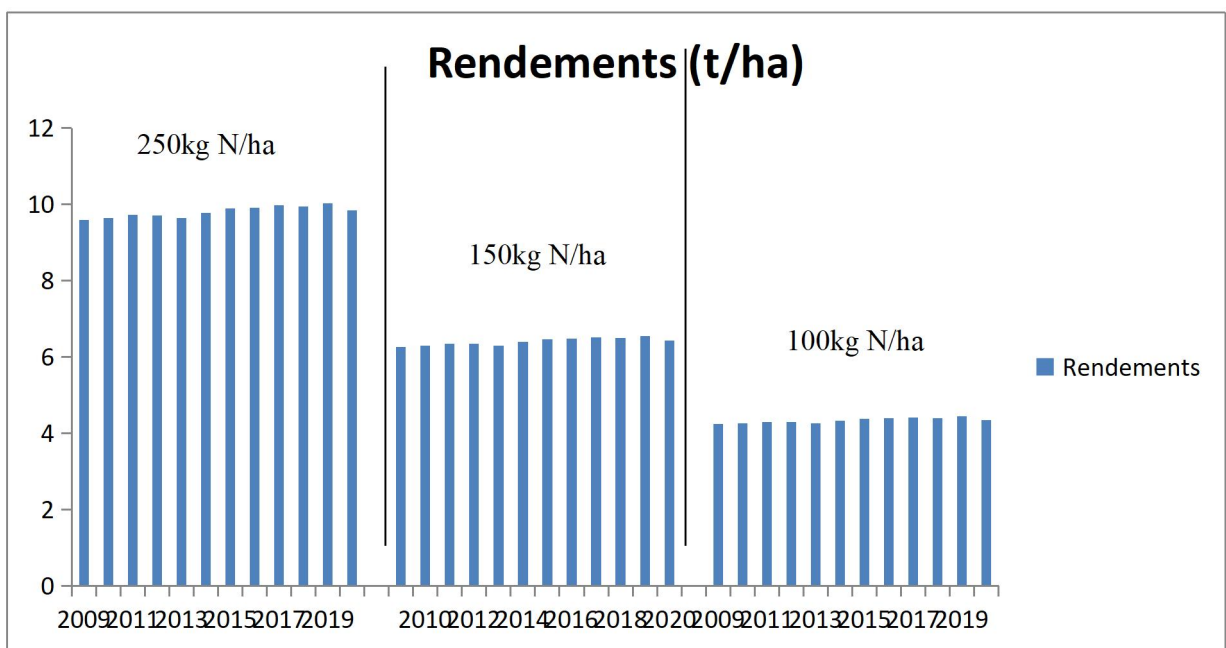


Figure 31 : Rendements simulés et observés de la tomate sous différents niveaux de fertilisations, période (2009-2020)

7. Analyse la productivité de l'eau

La figure 32 montre, la variation de la productivité de l'eau (WP) de la tomate sous différents niveaux de fertilisation. L'analyse de la variance a montré un effet très hautement significatif de la productivité de l'eau en relation avec l'augmentation des doses d'azote apportées. Les valeurs maximales de WP sont atteintes à la dose de 250kg N/ha (WP = 1,52kg/m³), parallèlement les valeurs minimales de WP sont atteintes à la dose de 100kg N/ha (WP =0.85kg/m³).

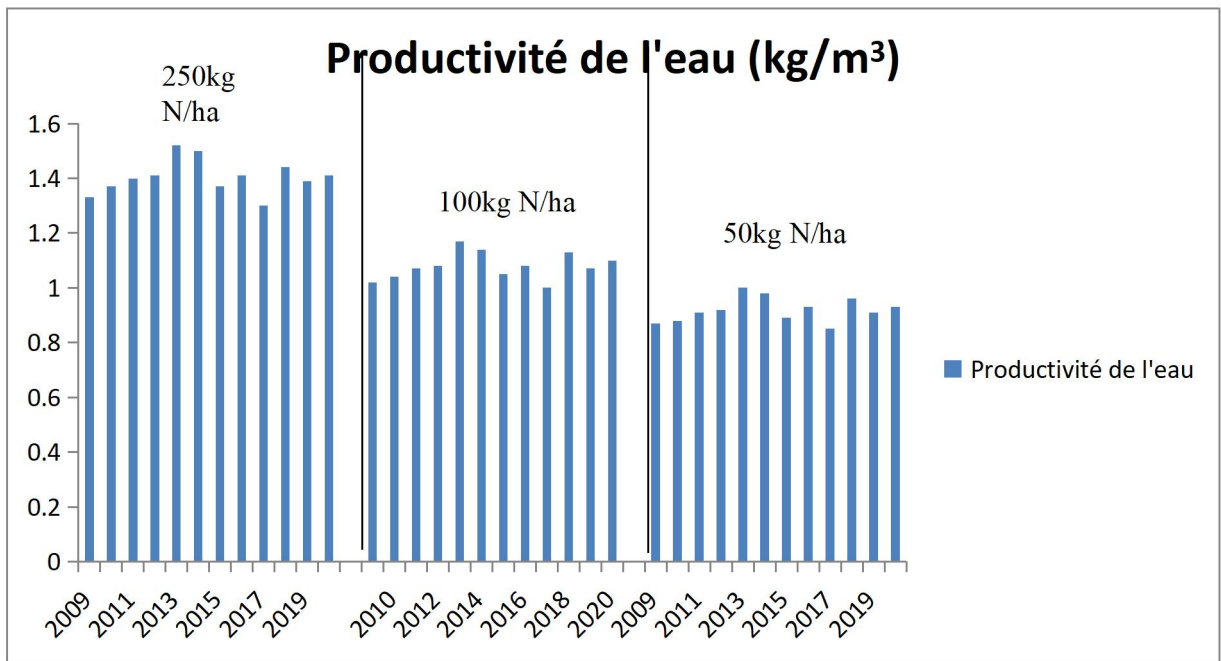


Figure 32 : Variation de la productivité de l'eau de la tomate sous différents niveaux de fertilisation. (2009-2020)

Conclusion

générale

Conclusion générale

La fertilisation joue un rôle important car elle permet le bon fonctionnement des différentes activités de la plante et peut être ajustée par l'agriculteur pour assurer un rendement et une qualité élevés des produits cultivés. L'efficacité de l'utilisation de l'eau et des engrais azotés en agriculture, cas de la tomate, sont avérés à travers les résultats obtenus par la simulation du modèle AquaCrop. L'évapotranspiration moyenne annuelle de référence (ET_0) pour la région de Mostaganem a été estimée à 707,33mm.

Dans cette étude comparant trois régimes de fertirrigation azotée en conditions réelles que celles dans les mêmes caractéristiques morphologiques et qui évoluent sous un même type de climat et de sol. Il est important de souligner que la fertilisation azotée, permet un bon développement de la culture, à partir de la dose minimale de 100 kg N/ha. Le taux d'engrais azoté, influence significativement, l'évolution de la biomasse aérienne et le rendement de la tomate. La dose de 250 kg N/ha peut aboutir à un rendement plus élevé par rapport aux autres doses apportées.

Le partitionnement de l'évapotranspiration, devrait être mesuré davantage, en liaison avec des ressources en eau de plus en plus limitées, combinés à la pression démographique en croissance, continue. La partition de l'ET peut être utilisée pour séparer les flux productifs (transpiration) et non productifs (évaporation); d'une part, pour une meilleure évaluation des pertes et des quantités d'eaux utilisées, nécessaires pour la transpiration des plantes; d'autre part, pour pouvoir établir des scénarios climatiques pour une amélioration des pratiques de gestion de l'eau agricole.

La capacité du modèle AquaCrop pour simuler la teneur en eau du sol, la couverture de la canopée et le rendement de tomate, ont été évaluées sous différents niveaux de fertilisation.

Enfin, Les résultats obtenus montrent que le modèle AquaCrop pourrait être recommandé comme un outil pratique pour mieux gérer les pratiques agricoles notamment, l'irrigation et la fertilisation. Par conséquent, permettra aux agents de vulgarisation locaux d'évaluer la productivité de l'eau et le rendement des cultures.

Conclusion générale

Les résultats sur l'ETc et BEI ont fourni une évaluation pratique pour la programmation de l'irrigation de la culture dans les milieux semi-aride. Ces résultats peuvent être utilisés pour une utilisation plus efficace de l'eau et pour optimiser la production de la tomate dans les régions arides et semi-arides

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdssalam .A, 2012 : contribution à l'étude de l'impact d'un boom a cyanobactérie toxiques sur la croissance de la tomate industrielle lycopersicum esculentum L (variété 61.08).Mémoire de magister. « Agriculture et fonctionnement des écosystèmes ».centre universitaire d'El Taref .p :50.51.64.
- Agromisa et CTA, Wageningen, Agrodok 17, 105p.
- Amirouche.M thèse de doctorat 2019 : modelisation de l'évapotranspiration sous différents niveaux de fertilisation en utilisant la technique isotopique.
- Anonyme, 2003 : Cultures horticoles. Programme National de Transfert et Technologies en Agriculture (PNTTA). 9p.
- B.N.E.D.E.R. 1996. Projet de mise en valeur en montagne : la Wilaya de Tlemcen. Rap. Inédit, 184 p. 54 fig. 7 pl.
- Béatrice Perron, Mémoire : Impact de la nutrition azotée sur l'activité microbienne du milieu de culture et sur la qualité de la tomate et du concombre biologiques de serre
- Benchalaal, 1983 : Généralités sur la tomate, production végétale, production céréalière et fourragère. Aurès agronome. P : 2-6.
- Bensadok potentialites hydriques
- Bentvelsen .C.L.M, 1980 : Réponse des rendements à l'eau. Ed. Dunod. 235p.
- Blancard, D. 2009. Les maladies de la tomate, identifier connaître maîtriser, Quae edition, Paris.
- Chaux. C.L et Foury .C.L, 1994 : Cultures légumières et maraichères. Tome III :légumineuses potagères, légumes fruit .Ed Tec et Doc Lavoisier. Paris. 563p.
- Chougar. S, 2011 : Bioécologie de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de tizi-ouzou. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.98p.
- Cronquist A., 1981. An integrated system of classification of flowering plants.Colombia University , 125p.
- Doorenbos. J, 1975 : Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. Station Agrométéorologie. 20p.
- Dore. C et Varoqaux. F, 2006 : Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. INRA. Paris. 698p.

Références bibliographiques

- FAO, 2003. *Statistical database*.
<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>
- FAO, 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture. Managing systems at risk. *Synthesis Report*, Rome: FAO.
- FAO, 2019. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>
- FAO. (2018). No Title. Retrieved from <http://www.fao.org/aquacrop/fr/>
- Farndon, J., 1999. Nitrogen. Marshall Cavendish Corporation, New York.
- Gallais. A, et Bannerot . H, 1992 : Amélioration des espèces végétales cultivées objectif et critères de sélection. INRA, Paris. 765p.
- Heller .R, 1981 : Physiologie végétale. Tome I : nutrition. 2èmeEdition Masson.346p.
- Hsiao T. C., Heng L., Steduto P., Rojas-Lara B., Raes D., Fereres E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101 (3): 448–459.
<https://lesoiralgerie.com/regions/apport-de-54-millions-de-m3-pour-les-barrages-70750>
- Kinet . B, 1985 : Contrôle du développement de l’inflorescence de la tomate par les facteurs de l’environnement et les régulateurs de croissance. Rev, Hort, n°200. P : 30-36.
- Kolev.N. 1976 : Les cultures maraichères en Algérie .Tome I .Légumes fruits .Ed. Ministre del’Agriculture et des Reformes Agricoles. 52p.
- Laumonier .R, 1979 : Cultures légumières et maraichère. Tome III. Ed. Bailliere, Paris. 279p.
- Mortensen, L.M., 2000. Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day greenhouse species. *Scientia Horticulturae* 86, 299-310.
- Mouhouche. B, 1983 : Essai des rationnements de l’eau sur tomate, recherche de production optimale et valorisation de l’eau. Thèse de magistère INA, Alger .170p.
- N’Dayegamiye, A., 2007. La contribution en azote du sol liée à la minéralisation de la MO: facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d’azote,in: CRAAQ (Ed.), Drummundville, pp. 1-12.
- Naika .S, De Jeud .J.V.L,De Jeffau ,M. Hilmi. M Et Vandam .B, 2005 : La culture de tomate,production, transformation et commercialisation. Ed. Wageningen, Pays-Bas. 105p.

Références bibliographiques

- Naika S., Lidt De Jeude V. J., Goffau De M., Hilmi M. et Van Dam B., 2005. La culture de la tomate: production, transformation et commercialisation, Fondation
- Nicot, P. C., and A. Baille. 1996. Integrated control of *Botrytis Cinerea* on greenhouse tomatoes. Pages 169-189 in *Aerial Plant Surface Microbiology*.
- Pesson. P et Louveaux .J, 1984 : Pollinisation et production végétales. Ed. INRA. 663p.
- Polese J.M .2007.La culture de la tomate. Ed Artémis .95p.
- Publishers. B, 2004 : Ressources végétales de l'Afrique tropicale. Tome 2 : Légumes. Ed. Dunod. 736p.
- Raemaekers. R, 2001 : Agriculture en Afrique tropicale. Direction Générale de la Coopération Internationale (D-2001/02/0218/1).
- Raes D., Paquale S. T., Hsiao C. and Fereres E., 2012. Contributions of the AquaCrop Network, Reference manual. FAO, Land and Water Division, Rome, Italy, 178p.
- Ramel, J. M. 2008. Tuta absoluta,Éléments de reconnaissance. ANITTA 13.
- Rey. Y, et Costes .C, 1965 : La physiologie de la tomate, étude bibliographique.INRA.111p.
- Sbih, M., Dayegamiye, A.N., Karam, A., 2003. Evaluation of carbon and nitrogen mineralization rates in meadow soils from dairy farms under transit to biological cropping systems. *Canadian Journal of Soil Science*, 2003, 83(1), 25-33.
- SPOONER D. M., ANDERSON G. J., et JANSEN R. K., 1993, "Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes, and pepinos (Solanaceae)," *American Journal of Botany*, vol. 80, (6) 676-688,
- SPOONER D. M., PERALTA I. E., et KNAPP S., 2005, "Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes *Solanum L.* section *Lycopersicon* (Mill.) Wettst," *Taxon*, vol. 54, (1) 43-61
- Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., Fereres E., 2009. AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101: 426–437.
- Steduto P., Hsiao, T.C., Raes D. and Fereres E. (2009). Aqua Crop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426-437

Références bibliographiques

- Van Halsema G.E. and Vincent L., 2012. Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism *versus* general absolutism”. *Agricultural Water Management*, 108: 9-15.
- Von Liebig, J. 1862. Les lois naturelles de l'agriculture: Traduit d'après la dernière édition Allemande par Ad. Scheler. Vol. 1. Librairie Polytechnique.
- Wellens, J. (2016). Introduction à AquaCrop: élaboration de calendriers d'irrigation (expériences au Burkina Faso). 20 Octobre 2016, Marrakech., 18 p.
- Wopereis Marco C.S, Toon Defoer, Philip Idinoba, Salif Diack et Marie-Jo Dugué 2008 ; Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APR