



الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
جامعة البليدة 1
Université Blida 1



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

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique

Option

Agro-environnement et bio-indicateurs

Thème

**MODELISATION PAR UTILISATION DU LOGICIEL CROPWAT
POUR L'ADAPTATION AUX PRATIQUES D'IRRIGATION DE LA
PASTÈQUE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS ET D'ALEAS
CLIMATIQUES : ETUDE DE CAS DANS LA WILAYA D'ALGER**

Présenté par :

KREBBAZA RANIA

BAAHMED SABAH

YESSAD AMINA

Devant le jury :

Mme Houma Imen	MCB	USDB1	Présidente
Bendjoudi Djamel	Pr	USDB1	Examinateur
Grandi Mohamed	MCA	USDB1	Promoteur
Amirouche Mawhoub	MCA	USDB1	Co-promoteur

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions tout d'abord Dr. Grandi Mohamed, notre promoteur, pour sa disponibilité, ses orientations précieuses et son encadrement tout au long de ce travail.

Nos remerciements vont également à Dr. Amirouche Mawhoub, co-promoteur, pour ses conseils avisés et son accompagnement méthodologique.

Nous adressons toute notre reconnaissance à Pr. Bendjoudi Djamel, examinateur, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour ses remarques enrichissantes.

Nous remercions sincèrement Dr. Houma Imen, présidente du jury, pour sa présence, son intérêt et son rôle dans l'évaluation de ce mémoire.

Enfin, nous n'oublions pas d'exprimer notre reconnaissance à nos familles, nos collègues, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont soutenues moralement et scientifiquement durant cette période

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail :

À nos familles,

***Qui ont toujours été notre source de force, de soutien et d'encouragement.
Leur amour inconditionnel et leurs prières nous ont portées jusqu'à cet accomplissement.***

À nos parents,

Pour leurs sacrifices innombrables, leur patience et leur confiance en nous. Ce travail est avant tout le fruit de leur dévouement.

À nos frères et sœurs,

Pour leur affection, leur humour et leur présence rassurante dans les moments de doute.

À nos enseignantes et enseignants,

Pour la transmission du savoir et leur accompagnement durant tout notre parcours universitaire.

À nos collègues et amies,

Avec qui nous avons partagé tant d'efforts, de discussions, de défis et de réussites.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Merci du fond du cœur.

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le contexte de la gestion durable de l'eau en agriculture irriguée dans la plaine de la Mitidja, une région clé pour la production maraîchère en Algérie. Le travail porte sur l'estimation des besoins en eau de la pastèque (*Citrullus lanatus*) cultivée dans la commune de Mahelma, située à 30 km au sud-ouest d'Alger, durant la période 2006–2024. Dans un contexte de changement climatique et de raréfaction des ressources hydriques, une telle évaluation revêt un intérêt particulier pour améliorer l'efficacité de l'irrigation et rationaliser l'usage de l'eau. La méthodologie repose sur l'utilisation du modèle CROPWAT 8.0, développé par la FAO, pour simuler les besoins hydriques de la culture en se basant sur des données climatiques mensuelles (températures, précipitations, humidité relative, vent, radiation solaire) sur 19 ans. Des données édaphiques (profondeur racinaire, réserve utile, perméabilité) ainsi que des paramètres cultureux ont également été intégrées. En parallèle, une enquête de terrain a permis de mesurer les volumes réels d'eau apportés par un réseau d'irrigation goutte-à-goutte, en tenant compte du débit des goutteurs, du temps d'irrigation, et de la fréquence des apports. Les résultats montrent que le besoin net en eau estimé par CROPWAT est de 2 609 m³/ha, tandis que le besoin brut, corrigé par l'efficacité globale du système, s'élève à 3 727 m³/ha. En revanche, les mesures effectuées sur le terrain révèlent un besoin net réel de 8 820 m³/ha, soit plus de trois fois supérieur à l'estimation théorique, et un besoin brut de 12 600 m³/ha. Le taux de perte dans le réseau d'adduction est de 29,89 %, ce qui réduit considérablement l'efficacité globale du système. Ce travail recommande la modernisation des systèmes d'irrigation et l'usage d'outils de simulation pour optimiser la gestion de l'eau, notamment dans un cadre agroécologique durable.

Mots clés : Besoin en eau, Cropwat, Changement climatique, Efficacité d'irrigation, irrigation localisée,

Abstract

This study falls within the context of sustainable water management for irrigated agriculture in the Mitidja plain, a key region for vegetable production in Algeria. The research focuses on estimating the water requirements of watermelon (*Citrullus lanatus*) grown in the commune of Mahelma, located 30 km southwest of Algiers, during the period 2006–2024. In a context of climate change and increasing water scarcity, such an evaluation is of particular importance to enhance irrigation efficiency and rationalize water use. The methodology is based on the use of the CROPWAT 8.0 model, developed by the FAO, to simulate crop water requirements using monthly climatic data (temperature, precipitation, relative humidity, wind, solar radiation) over 19 years. Soil data (root depth, available water content, permeability) and crop parameters were also integrated. In parallel, a field survey was conducted to measure the actual volumes of water supplied through a drip irrigation system, taking into account emitter discharge rates, irrigation duration, and frequency.

The results show that the net water requirement estimated by CROPWAT is 2,609 m³/ha, while the gross requirement, adjusted by the overall system efficiency, reaches 3,727 m³/ha. However, field measurements reveal a real net water requirement of 8,820 m³/ha—more than three times higher than the theoretical estimate—and a gross requirement of 12,600 m³/ha. The loss rate in the conveyance network is 29.89%, significantly reducing the overall efficiency of the system. This work recommends modernizing irrigation systems and using simulation tools to optimize water management, especially within a sustainable agroecological framework.

Keywords: Water requirement, CROPWAT, Climate change, Irrigation efficiency, Drip irrigation

الملخص

تندرج هذه الدراسة في إطار الإدارة المستدامة للمياه في الزراعة المسقية في سهل المتيجة، وهي منطقة رئيسية لإنتاج الخضروات في الجزائر. يتناول العمل تقدير الاحتياجات المائية لنبات البطيخ الأحمر (*Citrullus lanatus*) المزروعة في بلدية المعالمة، التي تبعد 30 كلم جنوب غرب الجزائر العاصمة، خلال الفترة 2006-2024. وفي ظل التغير المناخي وندرة الموارد المائية، تكتسي هذه التقديرات أهمية خاصة لتحسين كفاءة الري وترشيد استخدام المياه. تعتمد المنهجية على استعمال نموذج CROPWAT 8.0، المطور من قبل منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، لمحاكاة احتياجات النبات من المياه بالاعتماد على بيانات مناخية شهرية (درجات الحرارة، التساقطات، الرطوبة النسبية، الرياح، الإشعاع الشمسي) على مدى 19 سنة. كما تم إدماج بيانات متعلقة بالتربة (عمق الجذور، الاحتياطي القابل للاستعمال، النفاذية) والمعطيات الزراعية. بالموازاة، تم إجراء تحقيق ميداني لقياس الكميات الحقيقية من المياه الموزعة بواسطة نظام الري بالتنقيط، اعتمادًا على صبيب النقاط، ومدة وفترات الري. أظهرت النتائج أن الحاجة الصافية للمياه المقدرة باستخدام CROPWAT تبلغ 2609 م³/هـ، بينما تبلغ الحاجة الإجمالية المصححة بكفاءة النظام 3727 م³/هـ. بالمقابل، كشفت القياسات الميدانية عن حاجة صافية فعلية تصل إلى 8820 م³/هـ، أي أكثر من ثلاثة أضعاف التقديرات النظرية، وحاجة إجمالية قدرها 12600 م³/هـ. وقد بلغ معدل الفاقد في شبكة التزويد 29.89%، ما يقلل من الكفاءة الكلية للنظام بشكل كبير. توصي هذه الدراسة بضرورة تحديث أنظمة الري واستعمال أدوات المحاكاة لتحسين إدارة المياه، خاصة ضمن إطار زراعي-بيئي مستدام.

الكلمات المفتاحية: الحاجة المائية، CROPWAT، التغير المناخي، كفاءة الري، الري الموضعي.

Listes des figures

Figure 01 : situation géographique de Mahelma

Figure 02 : Réseau d'irrigation goutte à goutte

Figure 03 : Localisation des points de mesures des débits

Figure 04 : Données climatiques exigés par Cropwat

Figure 05 : stades de croissance de la pastèque et coefficients K_c pour l'estimation des besoins en eau selon la FAO

Figure 06 : Paramètres pédologiques exigés par Cropwat

Figure 07 : Variabilité interannuelle de la pluie

Figure 08 : Variation interannuelle de la pluie efficace annuelle et saisonnière, période (2006-2024)

Figure 09 : Températures moyennes mensuelles (2006-2024)

Figure10: Vitesse du vent moyenne mensuelle pour la période d'étude

Figure11: Variation de la durée d'ensoleillement pour la période d'étude

Figure12: Humidités relatives moyennes mensuelles

Figure13: Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence , période (2006-2024)

Figure 14 : Variation interannuelle du besoin en eau de la culture de pastèque (ET_c) simulé par CROPWAT

Figure 15 : Variation interannuelle du besoin en eau d'irrigation (BEI) simulé par CROPWAT

Figure 16: Comparaison entre les besoins en eau d'irrigation simulés par CROPWAT et ceux mesurés sur le terrain pour la culture de la pastèque

Listes des tableaux

Tableau 01 : Position systématique de la pastèque

Tableau 02 : Les paramètres de sortie du modèle cropwat

Tableau 03 : Valeur du coefficient de distribution et appréciation de l'uniformité sur la parcelle

Liste des abréviations

h : heure

s : second

Kc: Coefficient cultural

ET0 : évapotranspiration de référence

ETP : évapotranspiration potentielle

ETc : besoin en eau des cultures

FAO: Food and Agriculture Organisation

ha: Hectare

Table des matières

Remerciement

Résumé

Introduction.....1

Synthese bibliographique

Chapitre 1 : Irrigation.....2

1. Irrigation de surface.....3

2. Irrigation par aspersion.....4

3. Irrigation au goutte-à-goutte.....4

Relation Eau-Sol-Plante.....4

- L'eau et la plante.....5

- Transpiration.....6

- L'eau et le sol.....7

Chapitre 2 : La culture de la pastèque.....8

Généralités sur la pastèque.....8

1. Définition.....8

2. Origine de la pastèque.....8

3. Position systématique.....8

4. Caractéristique botanique.....8

4.1 Aspect général.....9

4.2 Feuilles.....9

4.3 Fleurs.....10

4.3 Fruits.....	10
5. Maturation.....	10
6. Phénologie.....	10
7. Exigence climatiques et édaphique.....	10
7.1 Exigence climatiques.....	10
7.2 Exigence édaphique.....	11
Chapitre 3 : Modèle CROPWAT.....	11
1. Définition du modèle.....	11
2. Etapes de l'élaboration du modèle.....	11
2.1 Caractérisation.....	11
2.2 Identification.....	11
2.3 Vérification.....	11
2.4 Exploitation.....	11
3. Le logiciel CROPWAT 8.0.....	12
4. Paramétrage du modèle.....	12
5. Données météorologiques.....	12
6. Les paramètres de sortie.....	13
7. Avantages.....	13
8. Limitation.....	14
Matériel et méthode	
1.présentation de la zone d'étude.....	15
1.1.Localisation géographique.....	15
1.2.caractéristique climatique.....	15
2.Evaluation des indicateurs.....	16
2.1.Description du système.....	16

2.2.Détermination du débit.....	16
2.3.Détermination du débit en tête.....	16
2.4.Détermination les débits des goutteurs.....	17
2.5.Determination coefficient.....	18
2.6.Calcul de la dose.....	19
3.Estimation des besoins en eau.....	19
3.1.Présentation du modèle cropwat	19
3.2.Données climatique.....	20
Données liées à la culture.....	20
3.3.Données liées au sol.....	21
3.4.calcul de l'évapotranspiration.....	22
3.5.calcul de pluie efficace.....	23
3.6calcul les besoins en eau.....	24
3.7. Calcul les besoins en eau d'irrigation (BEI).....	25

Résultats et discussions

1. Analyse des paramètres climatiques.....	26
1.1. Pluie.....	26
1.2. Pluie efficace.....	27
1.3. Température.....	28
1.4. Le vent.....	29
1.5. Insolation.....	30
1.6. Humidité relative.....	31
1.7. Evapotranspiration de référence ET0.....	32
2. Évaluation hydraulique du réseau goutte-à-goutte.....	33
2.1. Évaluation de l'efficience de conduction.....	33
2.3. Coefficient d'uniformité (CU).....	35

2.4. Dose brute d'irrigation apportée.....	35
3. Evaluation des besoins en eau de la culture.....	36
4. Evaluation des besoins en eau d'irrigation.....	37
5. Comparaison dose simulée et apporté.....	39

Introduction

La gestion efficiente de l'eau en agriculture est aujourd'hui au cœur des préoccupations environnementales et économiques, notamment dans les régions méditerranéennes soumises à un climat semi-aride et à une forte pression sur les ressources hydriques (GIEC, 2021). En Algérie, la baisse de la pluviométrie, combinée à l'irrégularité des précipitations et à l'augmentation des températures, accentue les risques de déficit hydrique, en particulier pour les cultures maraîchères irriguées (Meddi et al., 2015). Ces changements appellent à une adaptation des systèmes de production agricole, en particulier par l'optimisation de l'irrigation.

Dans la plaine de la Mitidja, zone agricole stratégique au nord du pays, les cultures comme la pastèque (*Citrullus lanatus*) occupent une place importante en saison estivale. Cependant, cette culture est fortement dépendante d'un apport régulier en eau, surtout pendant les phases sensibles du cycle végétatif, telles que la floraison et la nouaison (Fertilizantes y Abonos, s.d.). Une mauvaise estimation des besoins hydriques peut entraîner une réduction du rendement, une perte de qualité des fruits ou un gaspillage des ressources.

Pour répondre à cette problématique, des outils de simulation tels que le modèle CROPWAT, développé par la FAO (Allen et al., 1998), sont couramment utilisés. Ce logiciel permet d'estimer les besoins en eau d'une culture à partir de données climatiques, édaphiques et culturales. Toutefois, plusieurs études ont mis en évidence des écarts entre les doses théoriques simulées et les apports réels observés sur le terrain (Ewaid et al., 2019 ; Alobid & Szűcs, 2019).

La présente étude, conduite dans la commune de Mahelma (wilaya d'Alger), s'inscrit dans une démarche d'évaluation intégrée de la gestion de l'eau en agriculture irriguée, dans un contexte climatique de plus en plus contraignant. Elle a pour finalité principale d'améliorer la connaissance des besoins hydriques de la culture de la pastèque (*Citrullus lanatus*) dans les conditions agro-climatiques spécifiques de la Mitidja, à travers une double approche mêlant modélisation théorique et observations de terrain.

L'objectif général de ce travail est d'estimer les besoins en eau de la pastèque à l'échelle de la parcelle, en utilisant le logiciel CROPWAT 8.0, et de comparer ces estimations avec les volumes d'eau réellement apportés par les agriculteurs selon leurs pratiques culturales locales. Cette confrontation permettra de mettre en évidence les écarts éventuels entre l'irrigation théorique optimale et l'irrigation pratiquée, et d'identifier les leviers d'amélioration possibles.

Synthèse bibliographique

Chapitre 1. Irrigation

L'irrigation est définie comme étant l'application de l'eau au sol dont le but est d'assurer une humidité acceptable pour la croissance des plantes. Il est évident que les besoins en eau sont variables selon les cultures et leur implantation géographique. Ces besoins sont calculés en fonction des réserves d'eau dans le sol ainsi que les hauteurs de pluie tombées. Une fois que l'eau est appliquée il faut s'assurer que toutes les plantes en bénéficient uniformément.

Pour se faire on a intérêt à évaluer le rendement de l'irrigation en calculant son efficience d'application et son uniformité de distribution.

L'irrigation est généralement définie comme étant l'application de l'eau au sol dont le but d'assurer l'humidité essentielle pour la croissance de la plante. Toutefois, une définition large est que l'irrigation est l'application de l'eau au sol pour plusieurs objectifs :

Ajouter de l'eau au sol pour assurer l'humidité essentielle au développement de la plante

- Rafraichir le sol et l'atmosphère, de cette façon on assure un environnement favorable au développement de la plante
- Réduire le risque de la gelée
- Lessiver le sol
- Faciliter le labour du sol
- Remettre la fonction des bourgeons par évaporation rafraichissante

Le développement de l'irrigation est lié à la fois à la conception et la mise en place de grands équipements d'irrigation (barrages, lacs collinaires, bassins, forages, réseaux collectifs de distribution, etc.)

En 2013, trois cent vingt. Cinq millions d'hectares sont irrigués dans le monde. Trois millions viennent s'y ajouter chaque année. En effet par rapport aux surfaces consacrées chaque année à l'irrigation, l'eau est rare et son cout est très élevé pour une collectivité nationale. De ce fait, l'irrigation doit être efficace, opportune et économe grâce à une détermination aussi précise que possible des périodes et des volumes d'irrigation et à l'amélioration des pratique et méthodes d'irrigation.

Il est évident que les besoins en eau d'irrigation sont variables selon la nature des cultures ainsi que leur implantation géographique. Pour cette raison il faut calculer les besoins en eau des cultures. Ces besoins sont calculés en fonction des réserves d'eau stockées dans le sol

ainsi que les hauteurs de pluie tombées. Le type de sol a une grande influence sur le développement de la culture et par conséquent sur le mode de son approvisionnement en eau.

Une fois que l'eau est appliquée à l'échelle de la parcelle il faut s'assurer que toutes les plantes en bénéficient de la même manière. Pour se faire on a intérêt à évaluer le rendement de l'irrigation en calculant son efficience d'application ainsi que son uniformité de distribution.

La détermination de ces deux paramètres dépend évidemment du mode d'irrigation, a savoir : Irrigation de surface, irrigation par aspersion ou irrigation localisée.

1. Irrigation de surface

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches).

❖ Irrigation par bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers ; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre.

En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (e.g. 12.24 heures).

❖ Irrigation par sillons/a la raie

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltre dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain.

Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée (e.g. 12.24 heures).

Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée.

❖ Irrigation par planches

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

2. Irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle.

3. Irrigation au goutte-à-goutte

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC ; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de gouteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau. L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro irrigation.

Relations Eau.Sol.Plante

Les plantes poussent et croissent sur des sols qui leurs fournissent de l'eau et des nutriments. Généralement, elles absorbent l'eau à partir du sol par leurs racines et elles utilisent seulement entre 1,0 et 1,5 %, du volume d'eau absorbé, pour leur croissance végétative ainsi que l'exécution de certaines activités physiologiques et biochimiques. Le reste d'eau absorbée sera perdue par voie de transpiration.

Il existe cependant une relation très étroite entre l'eau, le sol et la plante. Cette relation doit être clairement compréhensible pour pouvoir décider le temps et dose d'irrigation opportuns et réaliser une utilisation efficace de l'eau d'irrigation conduisant ainsi à une bonne gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle.

Il existe cependant une relation très étroite entre l'eau, le sol et la plante. Cette relation doit être clairement compréhensible pour pouvoir décider le temps et dose d'irrigation opportuns et réaliser une utilisation efficace de l'eau d'irrigation conduisant ainsi à une bonne gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle.

Pour conduire une irrigation efficace et économe en eau, il convient de connaître les caractéristiques principales des relations de l'eau avec ces différents milieux. Ces caractéristiques sont décrites brièvement dans ce qui suit

L'eau et la plante

1.1. Utilisation de l'eau

La plante utilise l'eau de plusieurs façons à savoir :

- En l'accumulant en elle. Même, puisqu'elle forme de 60 à 95% du poids total.
Variant d'ailleurs avec la période de végétation. L'eau fait partie de la structure cellulaire
Elle. Même
- Comme véhicule des substances minérales qui servent à son alimentation.
L'eau sert à transporter les aliments, d'une part du sol vers les racines et d'autre part des tiges vers les feuilles
- Comme système de régulation de température, et d'évacuation de l'eau de végétation, par la transpiration
- Au niveau de la cellule, l'eau permet la transformation des substances nutritives absorbées
qui de passent toujours en milieu liquide. Elle entre directement dans certaines réactions,

c'est le cas par exemple de la photosynthèse qui permet aux végétation de produire, en présence de lumière, de la matière organique à partir du gaz carbonique (**co2**) de l'air.

On estime généralement que la production d'un gramme de matière sèche exige une consommation variant entre 300 et 800 gramme d'eau. Cette consommation est répartie de façon très inégale :

- La plus grande partie sert à assurer la transpiration et le transport des minéraux puisés dans le sol

- Une petite partie est stockée dans la plante
- Une très faible partie est utilisée pour la croissance, la formation des fruits, de graines etc.

1.1.2. Transpiration

Les rapports entre l'eau et la plante sont exprimés par la transpiration qui représente l'évaporation de l'eau à partir des feuilles vers l'atmosphère. L'eau ainsi transpirée ne provient pas des réserves de la plante, mais du sol dans lequel celle-ci puise par ses racines au fur et à mesure de ses besoins. Ceux-ci sont fixés par la demande d'évaporation de l'air, elle-même déterminée par la température, la sécheresse de l'air, le vent, etc. la transpiration, qui permet notamment à la plante exposée aux rayons du soleil d'être suffisamment refroidie, n'est donc qu'une étape dans la continuité de l'eau entre le sol et l'atmosphère.

Lorsque les conditions climatiques créent une demande d'évaporation plus forte que les possibilités d'absorption et donc de transpiration de la plante, celle-ci se protège, dans certaines limites, par la régulation stomatique. Il s'agit d'un mécanisme de fermeture progressive des orifices situés sous les feuilles, appelés stomates, par lesquels sort l'essentiel de l'eau transpirée.

Comme tous les échanges gazeux de la plante passent par ces stomates, leur fermeture ralentit aussi l'absorption du gaz carbonique de l'air que les plantes transforment en matière organique (phénomène de photosynthèse). Autrement dit, le déclenchement de la régulation stomatique

diminue la production végétale. Pour éviter cette régulation ou en réduire l'intensité et la durée, on doit donc chercher à augmenter les possibilités de transpiration de la plante et à diminuer la demande d'évaporation de l'air.

L'irrigation, en augmentant l'humidité du sol, facilite l'absorption de l'eau par les racines et par conséquent la transpiration des feuilles.

De ce point de vu, l'irrigation a un effet bénéfique sur les rendements des cultures.

2.2. L'eau et le sol

L'eau transpirée par les plantes provient naturellement des réserves que le sol stocke au moment des pluies. Sous climat méditerranéen, celles-ci sont généralement insuffisantes et dans tous les cas trop mal réparties pour assurer aux végétaux une alimentation en eau correcte. Dans ces conditions, pour augmenter et garantir les rendements il faut arroser de façon à reconstituer les réserves du sol lorsque la pluie est faible .

La culture de la pastèque

1. Généralité sur la pastèque

1.1 Définition

La pastèque est un produit important sur le marché mondial avec une production de plus de 90 million de tonne (FAO, 2021). En effet, La chine est le principal pays producteur de pastèque à l'échelle mondial avec plus de 60 tonnes enregistrés en 2021, suivi par la Turquie avec une production mondial égal à 4 millions de tonnes. L'Algérie arrive en cinquième position, avec une production mondiale égale à 2 095 757 tonnes (F.A.O, 2021). Vu l'intensification de la production fruitière en Algérie réalisée suite à la stratégie tracée par le Ministère de l'Agriculture Algérien, la wilaya d'In Salah était concernée par ce plan national. Des superficies considérables sont réservées aux cultures de pastèque dans cette région, ou elle constitue une activité lucrative intéressante. Cette culture doit faire l'objet de nombreuses recherches pour améliorer sa production ainsi que sa protection contre de nombreuses maladies et de nombreux insectes ravageurs qui conditionnent sa pérenni

1.2. Origine de la pastèque

La pastèque *Citrullus lanatus* (Thunb.1900), aussi appelée melon d'eau, est une espèce de plantes herbacées de la famille des Cucurbitacées, originaire d'Afrique de l'Ouest (Chomicki et Renner, 2016), largement cultivée pour ses gros fruits lisses, à chair rouge, jaune, verdâtre ou blanche et à graines noires ou rouges.

Bien que la pastèque soit originaire d'Afrique de l'Ouest, on a longtemps pensé que son origine était sud-africaine, en particulier de la région du Kalahari où plusieurs espèces du genre *Citrullus* poussent naturellement (Chomicki et Renner, 2016).

Les diverses espèces de pastèque sont toutes originaires des régions chaudes de l'ancien monde, ceci explique que ce fruit soit connu par l'homme depuis l'antiquité. La pastèque croît naturellement, s'y reproduit spontanément, elle s'étend depuis l'Afrique de l'Ouest, l'Asie jusqu'en Amérique (le nouveau monde)

1.3. position systématique

Selon Matsum et Nakai (1916), la pastèque est classée comme suit.

Tableau 01 : Position systématique de la pastèque

Classification classique	
Règne	Plantae
Sous.règne Division	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous.classe	Dilleniidae
Ordre	Violales
Famille	Cucurbitaceae
Genre	Cucumis
Nom binominal	Citrullus lanatus Matsum. & Nakai, 1916

4.caractéristiques botaniques

4.1. Aspect général

La pastèque est une plante annuelle à tiges rampantes, pourvues de longs poils blancs, pouvant atteindre trois mètres de long (Guide Clause, 2010).

4.2. Feuilles

Les feuilles, de forme généralement triangulaire, sont très découpées, avec des lobes arrondis, profondément incisés mais aux sinus également arrondis. Certaines sont transformées en vrilles permettant à la plante de s'accrocher et de grimper sur des supports variés.

4.3. Fleurs

Les fleurs, à corole jaune pâle sont, comme sur la plupart des cucurbitacées soit mâles, soit femelles, mais toutes sont présentes sur le même pied (plante monoïque).

4.4. Fruits

Les fruits sont des baies particulières, des péponides, de forme sphérique, plus ou moins oblongue, de couleur vert foncé souvent marbré de blanc.

Leur diamètre est de 30 à 60 cm et leur poids peut aller de 3 à 4 kg pour la variété Sugar Baby jusqu'à 40 kg pour la variété Yellow Belly. La chair de la pastèque à confiture est verdâtre et contient des graines rouges. Le melon d'eau contient jusqu'à 92,7 % d'eau (90,9 % en moyenne). La pastèque est un fruit est très désaltérant et peu calorique.

5. Maturation

La maturation commence dès la véraison (début de changement de couleur) et se poursuit jusqu'à complète maturité du fruit, pendant cette période, de nombreuses réactions cellulaires se mettent en place et sont à l'origine de transformations physico-chimiques majeures, telles que des modifications de couleur, de texture, de composition chimique et de saveur. De nombreuses synthèses se déroulent également pendant cette phase, témoignant d'une activité cellulaire intense et non d'une dégradation progressive des fruits (Guide Clause ,2010)

6. Phénologie

Les pastèques sont des plantes tropicales ou subtropicales et ont besoin de températures supérieures à 25 °C pour prospérer (C.T.I.F.L., 2006). À l'échelle du jardin, les graines sont généralement semées en godet au chaud et transplantées dans un sol sableux bien drainé avec un pH compris entre 5,5 et 7 et des niveaux moyens d'azote.

7. Exigence climatiques et édaphiques

7.1 Exigences climatiques

Le facteur restrictif lors de la culture de la pastèque reste le climat. La pastèque est originaire d'Afrique. C'est une plante extrêmement sensible aux basses températures et au gel. Elle a besoin, en moyenne, de températures de 18 à 35°C, alors que la température du sol ne doit pas descendre en-dessous de 18°C (Walali et Skiredj, 2003).

7.2. Exigences édaphiques

Les pastèques prospèrent mieux dans les sols riches et légèrement sablonneux dont le pH se situe entre 5,8 et 6,6. Elles n'aiment pas les sols détrempés. Il faut éviter les sols argileux lourds, avec un mauvais drainage et une mauvaise aération. La culture de la pastèque demande une préparation extensive du sol avant la plantation, pour être rentable et pour obtenir des rendements élevés (Walali et Skiredj, 2003)

CHAPITRE 03 : Modèle Cropwat

1. Définition du modèle

CROPWAT est un outil d'aide à la décision développé par la Division de la mise en valeur des terres et des eaux de la FAO. CROPWAT 8.0 pour Windows est un logiciel permettant de calculer les besoins en eau et en irrigation des cultures à partir de données pédologiques, climatiques et culturales. Il permet également d'élaborer des calendriers d'irrigation adaptés à différentes conditions de gestion et de calculer l'apport en eau des systèmes de production pour différents types de cultures. CROPWAT 8.0 permet également d'évaluer les pratiques d'irrigation des agriculteurs et d'estimer les performances des cultures en conditions pluviales et irriguées.(FAO)

2. Etapes de l'élaboration du modèle

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

2.1. Caractérisations

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.

2.2. 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.

2.3. La vérification

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

2.4. 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.

Dans notre étude, nous avons opté au modèle cropwat parce que c'est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation, il a été mis au point par la FAO en 1992, basé sur la formule de Penman . Monteith modifiée. Il permet le calcul des besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de différentes pratiques d'irrigation.

3. Le logiciel cropwat 8.0

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

4. Paramétrage du modèle

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

5. Données météorologiques, culturales et pédologiques

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

- La température de l'air moyenne en degré Celsius
- Le pourcentage d'humidité de l'air

- La vitesse du vent, en mètre par seconde
- Les précipitations, en millimètre par jour
- L'évapotranspiration, en millimètre par jour

6. Les paramètres de sortie du programme

Les paramètres de sortie du modèle Cropwat sont détaillés dans le tableau 02:

Paramètre	Définition
Besoin en eau de la culture	Besoin en eau de culture ; calculé comme étant la différence entre l'évapotranspiration de la culture sous des conditions standards (ETc) et les précipitations effectives
Planification de l'irrigation	La planification de l'irrigation permet d'assurer la croissance optimale de la plante ainsi qu'une utilisation efficace de l'eau . Elle pour but de déterminer l'approvisionnement en eau optimal nécessaire à une culture
Evaluation des pratiques d'irrigation	Permet l'évaluation des pratiques d'irrigation existantes ; en fonction d'une utilisation efficace de l'eau ; afin de développer une irrigation optimale de la culture
Déficit en eau du sol	Ce paramètre montre le statut du sol chaque jour et indique comment varie la teneur en eau du sol au fil de la saison 2 permet donc d'évaluer les conséquences d'un approvisionnement en eau limité sur une culture et de développer une planification alternative de l'irrigation ; en fonction de l'approvisionnement en eau limité.

7. Avantages

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

Le modèle a la capacité de calculer lui-même l'évapotranspiration de référence à partir des données climatiques (Vote et al., 2015).

8. Limitations

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

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Localisation géographique

La zone d'étude se situe dans la commune de Mahelma (figure 01), relevant de la wilaya d'Alger, au nord de l'Algérie. Elle se trouve à environ 30 kilomètres au sud-ouest de la capitale Alger, en plein cœur de la plaine de la Mitidja, réputée pour la richesse de ses terres agricoles. Mahelma bénéficie d'une bonne accessibilité, étant proche des grands axes routiers et des zones de production agricoles périurbaines.

Les coordonnées géographiques de la zone sont :

- Latitude : 36°41' Nord
- Longitude : 2°57' Est
- Altitude moyenne : environ 60 mètres au-dessus du niveau de la mer

Cette situation géographique place Mahelma dans un environnement à fort potentiel agro-productif, à proximité immédiate de zones urbaines, ce qui en fait une zone stratégique pour l'agriculture maraîchère irriguée.



Figure 01: situation géographique de Mahelma

1.2. Caractéristiques climatiques

La région d'Alger, située sur la bande littorale nord de l'Algérie, bénéficie d'un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. La température moyenne annuelle oscille généralement entre 17 °C et 19 °C, avec des maximales

estivales pouvant dépasser 35 °C durant les mois de juillet et août, et des minimales hivernales rarement en dessous de 6 °C. La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 600 et 800 mm, concentrée principalement entre les mois d'octobre et avril. L'été est marqué par une quasi-absence de précipitations, ce qui accentue le besoin en irrigation, notamment pour les cultures maraîchères sensibles comme la pastèque.

Par ailleurs, l'humidité relative est généralement élevée en hiver (70–80 %) et plus faible en été (40–50 %). La vitesse du vent reste modérée, avec une moyenne annuelle autour de 2 à 3 m/s, mais peut connaître des pics plus élevés pendant les épisodes de sirocco. Enfin, la radiation solaire est globalement favorable à la croissance des cultures, avec un ensoleillement dépassant 2 800 heures par an. Ces conditions climatiques rendent la région d'Alger propice à une agriculture irriguée, tout en soulignant la nécessité d'une gestion rationnelle de l'eau en période estivale.

2. Evaluation des indicateurs de performance du système d'irrigation

2.1. Description du système installé

Le système d'irrigation utilisé dans cette étude est un dispositif goutte à goutte, alimenté par une source d'eau souterraine issue d'un forage (figure 01). L'eau est acheminée depuis le forage jusqu'à la parcelle cultivée, située à une distance de 100 mètres, à travers une conduite principale en polyéthylène d'un diamètre de 60 mm. À partir de cette conduite, des conduites secondaires de 45 mm de diamètre assurent la distribution vers les différentes rampes. Chaque rampe est constituée d'un tuyau en PEHD (polyéthylène haute densité) équipé de goutteurs intégrés, et mesure 40 mètres de longueur. Le réseau est conçu pour assurer une distribution uniforme de l'eau en fonction des besoins hydriques de la pastèque, tout en optimisant les pertes et la pression.

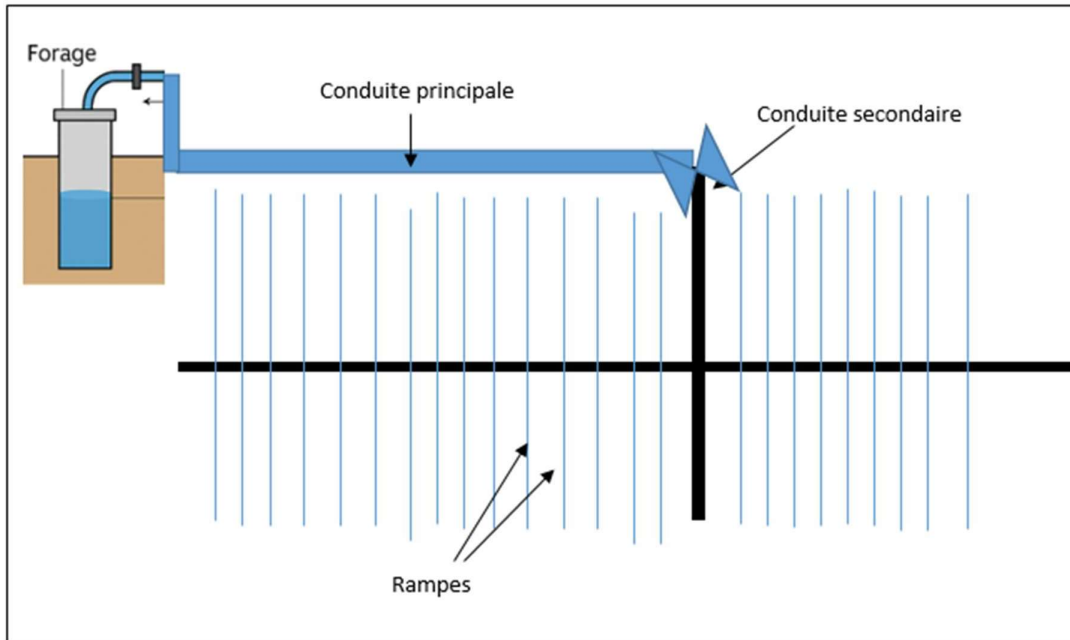


Figure 02: Réseau d'irrigation goutte à goutte

2.2. Détermination du débit en tête de réseau

Afin d'estimer le débit disponible à la sortie du forage, des mesures ont été réalisées sur le terrain à l'aide de la méthode du seau gradué. Un seau de 5 litres a été utilisé pour chronométrer le temps nécessaire au remplissage complet. Cette opération a été répétée dix fois consécutivement afin d'obtenir une moyenne représentative et limiter l'incertitude expérimentale. Le débit instantané (Q) a ensuite été calculé à partir de la formule suivante :

$$Q = V / t$$

Où :

- Q est le débit (en L/s),
- V est le volume du seau (L),
- t est le temps moyen de remplissage (en secondes).

2.3. Détermination du débit en tête de la parcelle

Pour évaluer les pertes hydrauliques dans le réseau d'adduction entre le forage et la parcelle cultivée, une deuxième série de mesures a été effectuée au niveau de l'entrée de la parcelle. La même méthode que précédemment a été utilisée, à savoir la méthode du seau de 5 litres, avec 10 répétitions afin de garantir la fiabilité des mesures.

La comparaison entre le débit en sortie du forage et le débit mesuré à l'entrée de la parcelle permet de déterminer les pertes d'eau dans la conduite principale (longue de 100 mètres), dues aux frottements, aux éventuelles fuites ou irrégularités dans le réseau. Le taux de perte (%) est ensuite estimé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de perte} = \left(\frac{Q_{\text{forage}} - Q_{\text{parcelle}}}{Q_{\text{forage}}} \right) * 100$$

2.4. Détermination des débits des goutteurs

La mesure des débits unitaires des goutteurs a été réalisée afin d'évaluer l'uniformité de distribution de l'eau au sein du système d'irrigation goutte à goutte. La procédure a consisté à mesurer le débit de 16 goutteurs répartis sur 4 rampes représentatives de la parcelle (Penadille, 1998 ; CEMAGREF, 2003). Les rampes sélectionnées sont les suivantes :

Rampe A : située en tête du réseau, la plus proche de l'alimentation,

Rampe B : située à 1/3 de la largeur de la parcelle,

Rampe C : située à 2/3 de la largeur,

Rampe D : dernière rampe, en bout de ligne.

Sur chaque rampe, 4 goutteurs ont été choisis (à différentes positions : début, milieu et fin de ligne), portant à 16 le nombre total de mesures. Un gobelet a été placé sous chaque goutteur, et le temps de remplissage a été chronométré à l'aide d'un chronomètre de précision.

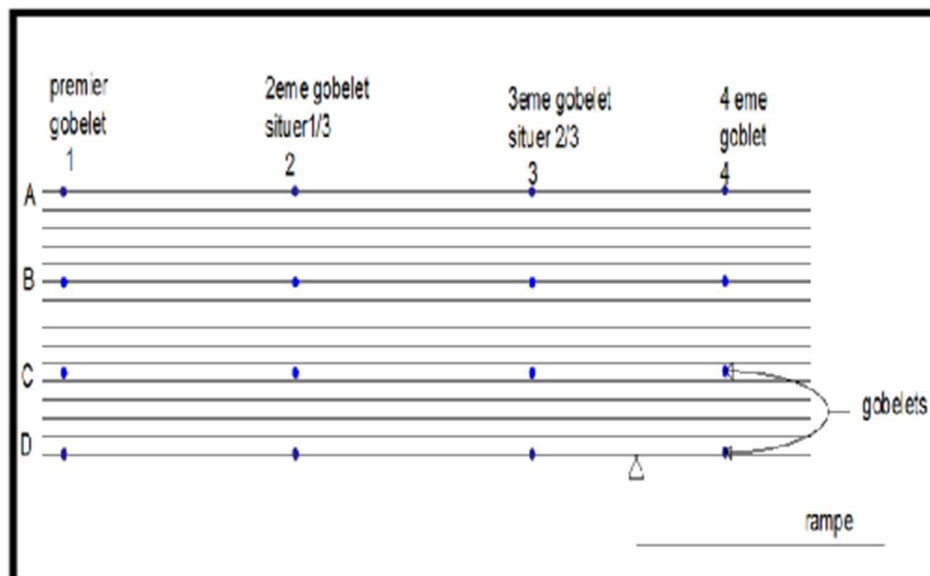


Figure 03: Localisation des points de mesures des débits

2.5. Détermination coefficient d'uniformité

L'étude de l'uniformité de la distribution de l'eau au niveau de la parcelle irriguée repose sur le coefficient d'uniformité (CU) de Keller et Karmeli (1974). Plus ce coefficient est élevé, meilleure et donc plus homogène est la distribution de l'eau.

Le coefficient d'uniformité est déterminé sur la base des relations suivantes :

- La moyenne (q) des débits des 16 valeurs mesurées

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{16} q_u}{16}$$

Avec q_u : débit unitaire d'un goutteur

- La moyenne des débits (q_{min}) des 4 valeurs les plus faibles :

$$q_{min} = \frac{\sum_{i=1}^4 q_{u \text{ faibles}}}{4}$$

Avec

$q_{u \text{ faibles}}$: représente les quatre débits unitaires les plus faibles

- Le coefficient d'uniformité est alors donné par :

$$CU = \left(\frac{q_{min}}{q} \right) * 100$$

L'interprétation des résultats des calculs des différents coefficients d'uniformité de distribution de l'eau se fait sur la base des valeurs de référence du CU, permettant d'évaluer la qualité de l'uniformité de l'arrosage. Ces valeurs sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 03 : Valeur du coefficient de distribution et appréciation de l'uniformité sur la parcelle

Valeur de CU	Appréciation de l'uniformité
$CU > 90$	Excellente
$80 < CU \leq 90$	Satisfaisante
$70 < CU \leq 80$	Faible
$CU \leq 70$	Mauvaise (Réseau obstrué / bouché)

2.6. Calcul de la dose d'irrigation

La dose d'irrigation peut être déterminée de manière pratique à partir des caractéristiques du système d'irrigation localisée. Elle est calculée en multipliant le nombre total de goutteurs installés sur la parcelle par le débit moyen de chaque goutteur (exprimé en litres par heure), puis par la durée d'irrigation (en heures). La formule s'écrit ainsi :

$$D = N_g \cdot Q_{moy} \cdot T$$

Avec :

D : Dose d'irrigation

N_g : Nombre de goutteurs dans la parcelle

T : Durée d'irrigation (h)

Q_{moy} : Débit moyen des goutteurs (l/h).

3. Estimation des besoins en eau d'irrigation

3.1. Présentation du logiciel CROPWAT

Le logiciel CROPWAT, développé par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), constitue un outil stratégique pour la gestion durable de l'eau en agriculture, en particulier dans le cadre des approches agro écologiques. Il est spécialement conçu pour évaluer les besoins en eau des cultures et planifier les apports hydriques en fonction des paramètres climatiques, du sol, du système de culture et du type d'irrigation utilisé. CROPWAT permet de calculer l'évapotranspiration de référence (ET_0) selon la méthode de Penman-Monteith, préconisée par la FAO, et de déterminer l'évapotranspiration des cultures (ET_c) en appliquant les coefficients culturaux spécifiques (Allen et al., 1998). L'outil favorise une irrigation raisonnée et économe en eau, s'inscrivant pleinement dans les principes de l'agroécologie, qui visent à concilier productivité agricole, préservation des ressources naturelles et résilience face au changement climatique. Grâce à sa simplicité d'utilisation et à ses fonctionnalités avancées, CROPWAT est largement utilisé dans les pays en développement pour améliorer l'efficacité de l'eau à la parcelle, réduire les gaspillages et soutenir les transitions agroécologiques à l'échelle locale ou régionale (FAO, 1992 ; FAO, 2009).

3.2. Données climatiques

Les données climatiques nécessaires au fonctionnement des modèles de simulation agroclimatique CROPWAT comprennent les températures minimales et maximales (en °C), les précipitations (en mm), la vitesse du vent (en m/s) mesurée à 2 mètres au-dessus du sol, la radiation solaire (en W/m²) ainsi que l'humidité relative de l'air (en %) (figure 11). Ces paramètres sont indispensables pour l'estimation précise de l'évapotranspiration de référence (ET₀) et des besoins en eau des cultures. Les données utilisées dans cette étude ont été collectées à partir des bulletins climatologiques de l'Office National de la Météorologie (ONM), complétées par des enregistrements issus de sites météorologiques en ligne fiables. L'ensemble de ces données couvre une période de 19 ans, allant de 2006 à 2024, avec un pas de temps mensuel, ce qui permet de capter les tendances saisonnières et interannuelles utiles à la modélisation agroécologique.

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m²/jour	ET ₀ mm/jour
Janvier							
Février							
Mars							
Avril							
Mai							
Juin							
Juillet							
Août							
Septembre							
Octobre							
Novembre							
Décembre							
Moyenne							

Figure 04 :Données climatiques exigés par Cropwat

3.2. Données liées à la culture de la pastèque

Pour évaluer avec précision les besoins en eau d'une culture, le logiciel CROPWAT requiert l'introduction d'un ensemble de paramètres cultureux spécifiques. Ces données sont liées au cycle phénologique de la plante, et varient selon la localisation géographique et la période de

l'année. Ainsi, CROPWAT divise le développement de la culture en quatre phases principales : la phase initiale, la phase de développement, la mi-saison et la phase finale (ou arrière-saison). Pour chaque étape, il est nécessaire de renseigner la durée en jours ainsi que le coefficient cultural K_c correspondant. Ce coefficient représente le rapport entre l'évapotranspiration réelle d'une culture dans des conditions optimales et l'évapotranspiration de référence (ET_0) ; il reflète donc la capacité de la plante à extraire l'eau du sol à différents stades de croissance. Un autre paramètre fondamental est le coefficient de réponse au rendement K_y , qui permet d'estimer la perte de rendement potentielle en cas de stress hydrique. Ce facteur relie le déficit en eau à la réduction relative de la production, et constitue un indicateur clé dans les analyses de vulnérabilité des cultures face au changement climatique ou aux déficits d'irrigation (Langlois, 2006). Ces paramètres sont essentiels pour effectuer une simulation réaliste de la performance hydrique et agronomique d'un système de culture.

Les durées des stades de développement des cultures ont été établies à partir de l'Agricultural Handbook (USDA, 1997), tandis que les valeurs des coefficients culturaux K_c essentielles au calcul des besoins en eau, proviennent du document FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 (FAO, 1977).

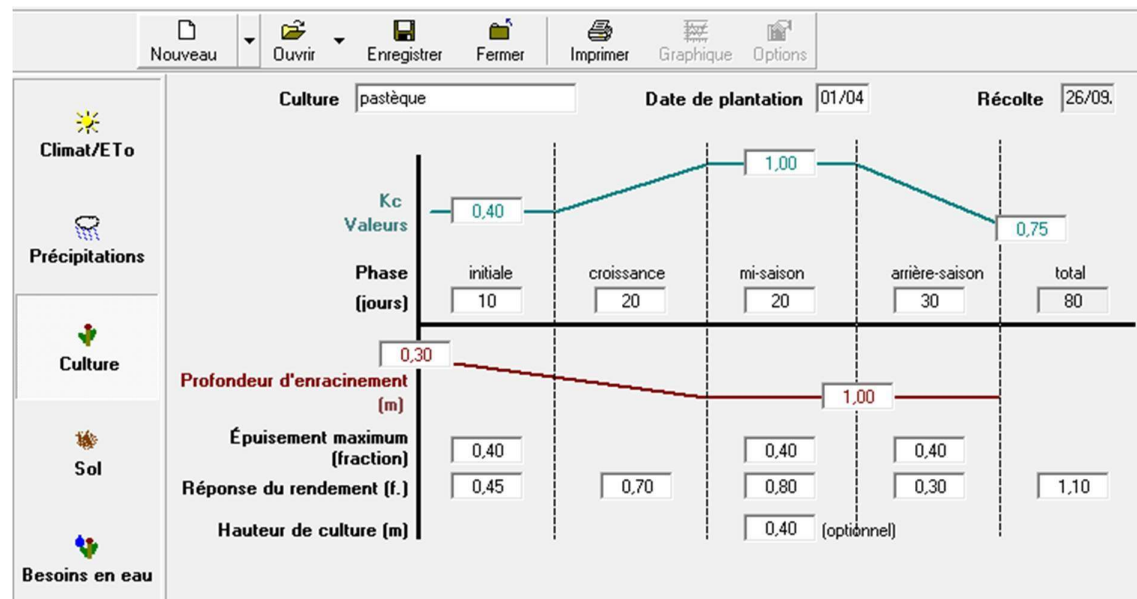
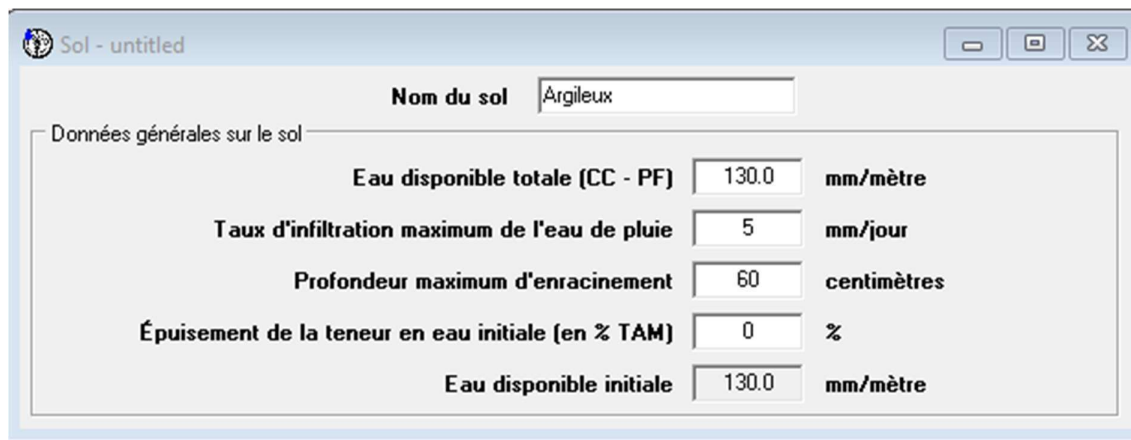


Figure 05: stades de croissance de la pastèque et coefficients K_c pour l'estimation des besoins en eau selon la FAO

3.3. Données liées au sol

Dans le cadre de la modélisation des besoins en eau des cultures, le logiciel CROPWAT développé par la FAO exige l'introduction de plusieurs paramètres pédologiques essentiels pour le calcul du bilan hydrique du sol (figure11). Parmi ces paramètres figurent la réserve utile (RU) du sol, qui représente la quantité d'eau effectivement disponible pour la plante entre les seuils de la capacité au champ et du point de flétrissement permanent ; la profondeur racinaire effective de la culture, qui conditionne le volume de sol exploré par les racines pour capter l'eau ; ainsi que la perméabilité du sol, qui détermine la vitesse d'infiltration et les risques de percolation ou d'accumulation en surface (FAO, 2009). Ces données sont indispensables pour estimer avec précision les apports hydriques nécessaires, établir un calendrier d'irrigation rationnel et optimiser l'utilisation de l'eau dans des systèmes agricoles.

La zone d'étude fait partie de la plaine de la Mitidja, Celle-ci est constituée en grande partie de Vertisols à texture argileuse (Ecrément, 1971). Ces sols présentent une capacité de rétention en eau élevée (RU), une perméabilité lente à modérée.



The screenshot shows the 'Sol - untitled' window of the CROPWAT software. The 'Nom du sol' field is set to 'Argileux'. Below this, the 'Données générales sur le sol' section contains the following parameters:

Paramètre	Valeur	Unité
Eau disponible totale (CC - PF)	130.0	mm/mètre
Taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie	5	mm/jour
Profondeur maximum d'enracinement	60	centimètres
Épuisement de la teneur en eau initiale (en % TAM)	0	%
Eau disponible initiale	130.0	mm/mètre

Figure 06 : Paramètres pédologiques exigés par Cropwat

3.4. Calcul de l'évapotranspiration de référence

Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_0), le modèle nécessite des données climatiques précises, notamment la température maximale et minimale, l'humidité relative, la durée d'ensoleillement et la vitesse du vent à 2 mètres au-dessus du sol. Ces paramètres sont essentiels pour évaluer la demande climatique en eau. La méthode recommandée par la FAO pour estimer l' ET_0 est la formule de Penman-Monteith, présentée dans le document de référence FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 (Allen et al., 1998). Cette méthode combine des facteurs énergétiques et aérodynamiques dans une équation intégrée, reconnue pour sa précision et son applicabilité dans divers contextes agroclimatiques.

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

Où :

- ET_0 : Évapotranspiration de référence (mm/jour)
- R_n : Rayonnement net à la surface de la culture (MJ/m²/jour)
- G : Flux de chaleur du sol (MJ/m²/jour)
- T : Température moyenne de l'air (°C)
- u_2 : Vitesse du vent à 2 m (m/s)
- e_s : Pression de vapeur saturante (kPa)
- e_a : Pression de vapeur réelle (kPa)
- Δ : Pente de la courbe de pression de vapeur (kPa/°C)
- γ : Constante psychrométrique (kPa/°C)

3.5. Calcul de la pluie efficace

La méthode USDA est empirique et largement utilisée dans les modèles d'irrigation, notamment dans CROPWAT. Elle dépend du niveau mensuel moyen de précipitations (P). La formule utilisée varie selon que la précipitation mensuelle est inférieure ou supérieure à 250 mm :

Si $P \leq 250$ mm : $P_{eff} = 0,6 * P - 10$

Si $P > 250$ mm : $P_{eff} = 125 + 0,1 * P$

3.6. Calcul des besoins en eau de la culture (ETc)

Les besoins en eau des cultures (BEC) représentent la quantité d'eau perdue par une parcelle cultivée à travers l'évapotranspiration (ET). Cette perte est généralement exprimée en millimètres par jour (mm/jour). Le BEC est estimé selon la relation suivante :

$$ETc = ET_0 * Kc$$

Où Kc est le coefficient cultural et ET₀ l'évapotranspiration de référence

Le coefficient Kc varie en fonction des stades phénologiques de la culture, ce qui reflète les besoins hydriques différents durant la phase initiale, la phase de développement, la mi-saison et la fin de saison. La planification de l'irrigation repose sur la détermination des moments

opportuns et des volumes adéquats d'eau à apporter, afin d'optimiser l'utilisation de la ressource tout en assurant un rendement optimal (Ewaïd et al., 2019).

3.7. Calcul les besoins en eau d'irrigation (BEI)

Le besoin en irrigation (BEI) constitue un paramètre fondamental dans la planification, la conception et la gestion des systèmes d'irrigation et de ressources en eau (Savva & Frenken, 2002). Il joue un rôle clé dans l'allocation optimale des ressources hydriques, notamment pour les décideurs et gestionnaires intervenant dans l'exploitation des infrastructures agricoles. Une mauvaise estimation ou une gestion inadéquate des besoins en irrigation peut entraîner de multiples conséquences négatives : des capacités de stockage mal dimensionnées, une baisse de l'efficacité d'utilisation de l'eau, une réduction des superficies irriguées, voire une augmentation des coûts de développement des aménagements hydrauliques (Savva & Frenken, 2002). Pour cette raison, l'irrigation nette requise est généralement déterminée à partir de l'écart entre les besoins totaux en eau des cultures (ETc) et les apports en eau naturels (précipitations efficaces), selon la formule suivante :

$$BEI = ETc - P_{eff}$$

1. Analyse des paramètres climatiques

1.1. Pluie

La figure 07 montre l'évolution des précipitations annuelles totales dans la wilaya d'Alger sur une période de 19 ans, de 2006 à 2024. La moyenne interannuelle est de l'ordre de 629,64 mm, tandis que les hauteurs de pluie varient fortement d'une année à l'autre. Certaines années se distinguent par une pluviométrie excédentaire, notamment 2007, 2013, 2014, 2015 et 2016, où les précipitations dépassent les 800 mm, avec un pic en 2014 avoisinant les 900 mm. En revanche, des années comme 2019, 2020 et 2021 affichent des déficits notables, avec moins de 500 mm, ce qui confirme la tendance à l'irrégularité climatique croissante. Cette variabilité est typique du climat méditerranéen, soumis à des alternances entre sécheresses hydriques et épisodes pluvieux concentrés (Meddi et al., 2010). D'un point de vue agricole, cette instabilité rend la planification des cultures plus complexe, en particulier pour les espèces sensibles à l'eau comme la pastèque. En effet, même si la moyenne semble suffisante pour satisfaire les besoins d'une culture annuelle, la distribution intra-annuelle et l'efficacité de la pluie (pluie réellement utilisable par les plantes) restent insuffisantes pour couvrir les besoins hydriques pendant la saison culturale du printemps (avril-juin), comme le confirment les faibles valeurs de pluie efficace dans d'autres figures. Cela souligne l'importance de recourir à l'irrigation contrôlée pour assurer un rendement régulier malgré la variabilité pluviométrique.

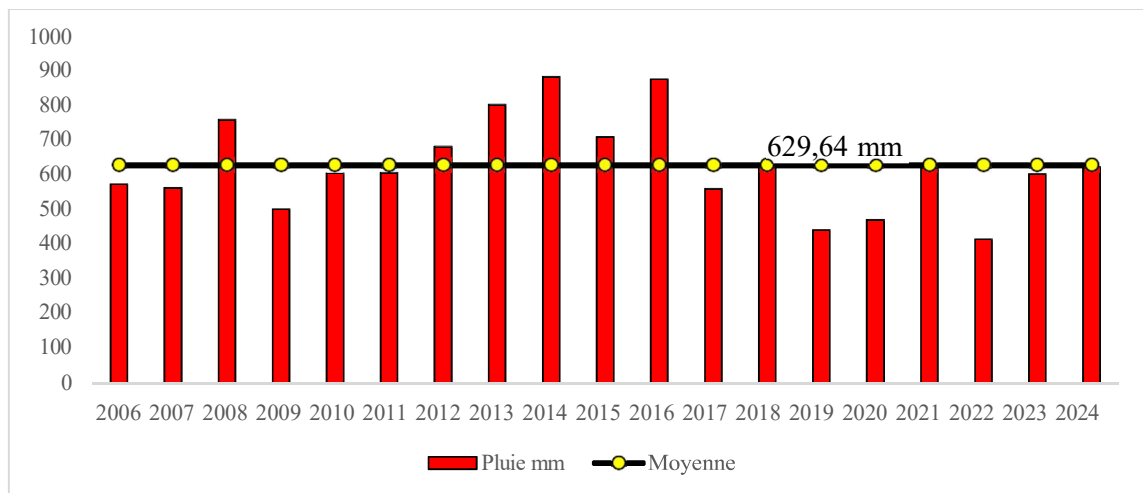


Figure 07 : Variabilité interannuelle de la pluie

1.2. Pluie efficace

La figure 08 illustre l'évolution des pluies efficaces annuelles et saisonnières entre 2006 et 2024. Il ressort que, malgré une variabilité interannuelle marquée des précipitations totales, les pluies efficaces annuelles suivent une tendance globalement cohérente, oscillant entre environ 400 mm et plus de 700 mm selon les années.

Cette variation est directement influencée par le volume des précipitations totales, mais également par leur répartition dans le temps, l'évaporation, et la capacité du sol à retenir l'eau. Les années 2012, 2014 et 2016 se distinguent par des pics de pluie efficace annuelle dépassant 700 mm, suggérant des campagnes plus favorables à la recharge hydrique. L'élément le plus critique de la figure réside dans l'évolution des pluies efficaces saisonnières, qui correspondent à la période agricole de la pastèque (avril à juin). Sur l'ensemble de la période étudiée, la pluie efficace durant cette fenêtre reste très faible, généralement inférieure à 150 mm, et souvent autour de 60 à 100 mm. Ce niveau est très en dessous des besoins hydriques de la pastèque, qui selon l'ITCMI (2022), nécessite entre 400 mm d'eau pour un cycle complet. Ainsi, même dans les années les plus pluvieuses, comme 2014 ou 2016, la contribution des précipitations à l'alimentation en eau de la culture reste insuffisante. En années sèches (2017, 2018, 2019, 2021), cette contribution devient presque négligeable, exposant la culture à un stress hydrique majeur si l'irrigation n'est pas adéquatement assurée. Cela est cohérent avec les observations de Meddi et al. (2010), qui soulignent une baisse tendancielle de la pluie utile dans le nord de l'Algérie depuis les années 1980, aggravée par le réchauffement climatique.

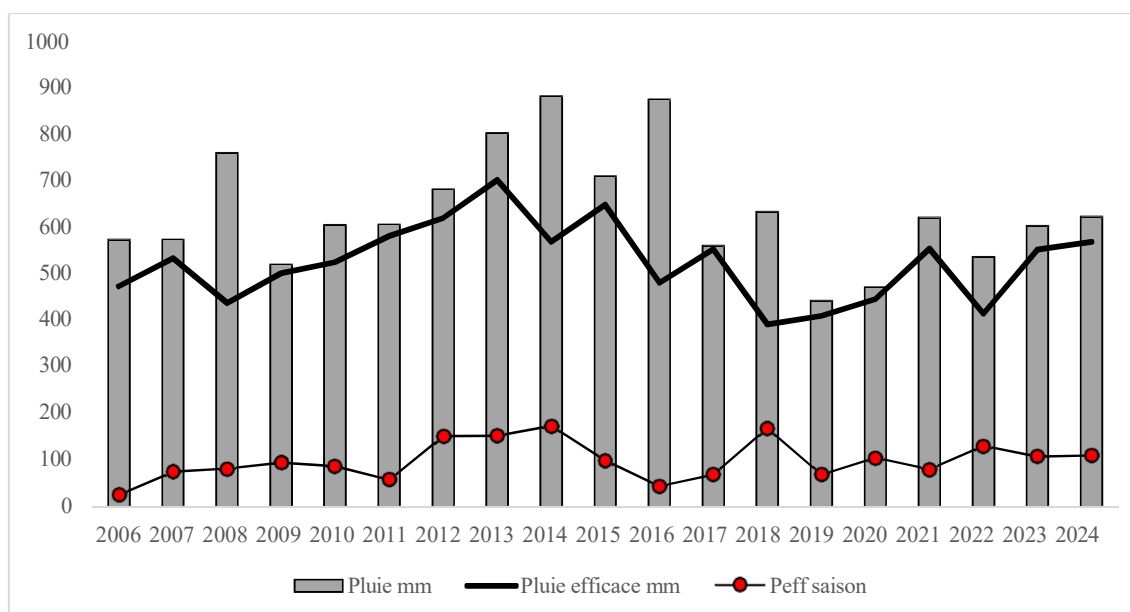


Figure08: Variation interannuelle de la pluie efficace annuelle et saisonnière, période (2006-2024)

1.3. Température

L'analyse des températures mensuelles moyennes sur une période de 19 ans (2006–2024) dans la wilaya d'Alger met en évidence un régime climatique typiquement méditerranéen, caractérisé par des hivers doux et des étés chauds et secs. Les températures maximales (T_{max}) varient entre 17 °C en janvier et 33 °C en juillet, tandis que les minimales (T_{min}) évoluent entre 5 °C et 21 °C, avec une température moyenne annuelle estimée autour de 19 à 20 °C. Cette stabilité thermique d'une année à l'autre confirme la pertinence de la période culturale de la pastèque entre avril et juin, durant laquelle les températures moyennes varient entre 16 °C et 25 °C, et les maximales dépassent les 25 °C. Ces conditions sont conformes aux exigences thermiques optimales de la culture de la pastèque, généralement situées entre 22 °C et 28 °C selon la FAO (Allen et al., 1998). Toutefois, cette période coïncide également avec une augmentation notable de l'évapotranspiration de référence (ET_o), justifiant une attention particulière à l'irrigation, afin de compenser les pertes en eau liées aux températures élevées.

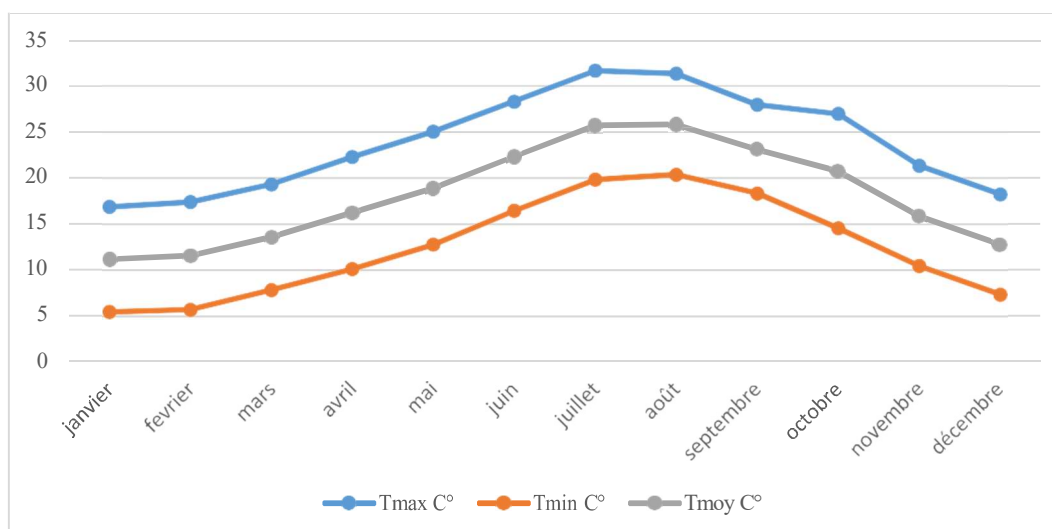


Figure09 :Températures moyennes mensuelles (2006-2024)

1.4. Le vent

L'étude de la vitesse moyenne mensuelle du vent sur la période 2006–2024 dans la wilaya d'Alger révèle des valeurs comprises entre 2,2 et 3,2 m/s. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées au printemps, notamment en mars et avril (jusqu'à 3,2 m/s), tandis que les mois d'octobre et novembre présentent les valeurs les plus faibles (<2,5 m/s). Cette dynamique est typique du climat méditerranéen côtier, où les régimes de brises marines et de vents d'ouest se renforcent au printemps. Sur le plan agronomique, une vitesse de vent modérée entre 2 et 3 m/s peut avoir un effet bénéfique sur la régulation thermique des cultures, mais elle contribue également à augmenter l'évapotranspiration et donc les besoins en irrigation, surtout durant les périodes chaudes. Selon Allen et al. (1998), la vitesse du vent est l'un des facteurs influençant directement l' ET_0 dans la méthode Penman-Monteith, et des vitesses supérieures à 2 m/s peuvent accentuer la demande atmosphérique en eau, notamment lorsqu'elles sont combinées à un ensoleillement élevé. Ainsi, la hausse de la vitesse du vent observée entre mars et mai constitue un facteur aggravant du déficit hydrique durant la phase critique de la culture de la pastèque, nécessitant une gestion plus rigoureuse des apports d'eau.

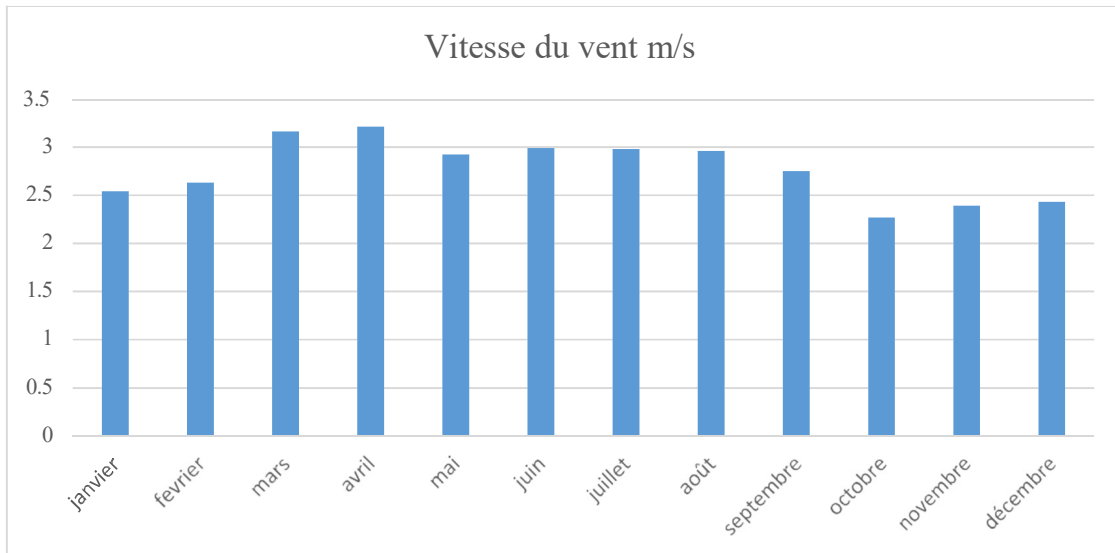


Figure10: Vitesse du vent moyenne mensuelle pour la période d'étude

1.5. Insolation

L'analyse de l'insolation mensuelle sur la période 2006–2024 dans la wilaya d'Alger montre une variation significative de la durée quotidienne d'ensoleillement au cours de l'année. Les valeurs les plus faibles sont observées en hiver, avec environ 6 à 7 heures de soleil par jour en janvier et décembre, tandis que les valeurs culminent entre juin et août, atteignant en moyenne plus de 10,5 heures par jour. Cette répartition est typique d'un climat méditerranéen, marqué par une forte radiation solaire estivale. Sur le plan agroclimatique, l'insolation est un facteur déterminant de la photosynthèse et de la croissance des cultures, mais elle influe également directement sur l'évapotranspiration de référence (ET_0). En effet, selon Allen et al. (1998), l'augmentation de la durée et de l'intensité du rayonnement solaire intensifie les pertes en eau par évaporation du sol et transpiration des plantes. Cette tendance est particulièrement significative pour la culture de la pastèque, qui coïncide avec une période de forte insolation (avril–juin), contribuant à l'élévation des besoins en irrigation. Une insolation quotidienne dépassant les 9 heures, comme observée dès le mois de mai, accentue donc la demande hydrique de la culture, ce qui justifie un ajustement précis des apports d'eau pour compenser les pertes potentielles.

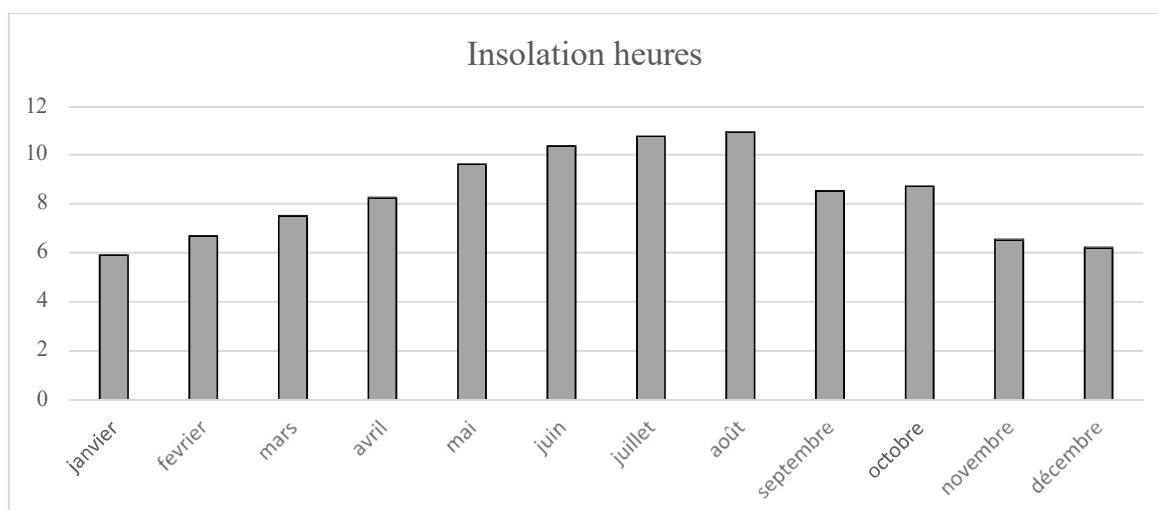


Figure11: Variation de la durée d'ensoleillement pour la période d'étude

1.6. Humidité relative

L'évolution mensuelle de l'humidité relative sur la période 2006–2024 à Alger met en évidence une variation saisonnière nette, caractéristique du climat méditerranéen. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en hiver, notamment en janvier ($\approx 78\%$) et décembre ($\approx 77\%$), alors que les valeurs les plus basses apparaissent durant l'été, en juillet et août, où l'humidité descend à environ 65% . Cette tendance traduit l'effet combiné de la baisse des précipitations et de l'augmentation des températures et de l'insolation durant la saison estivale. Sur le plan agronomique, une humidité relative faible accroît l'évaporation de l'eau contenue dans le sol ainsi que la transpiration des plantes, ce qui augmente l'évapotranspiration de référence (ET_0) et par conséquent les besoins en irrigation (Allen et al., 1998). Cela est particulièrement crucial pour la culture de la pastèque, implantée entre avril et juin, période où l'humidité relative commence à chuter sensiblement (de 73% en avril à 67% en juin). Ce déficit hygrométrique, combiné à une insolation intense et des températures élevées, renforce la demande hydrique de la culture. La maîtrise de ces conditions climatiques est donc indispensable pour planifier les apports d'eau et anticiper les situations de stress hydrique.

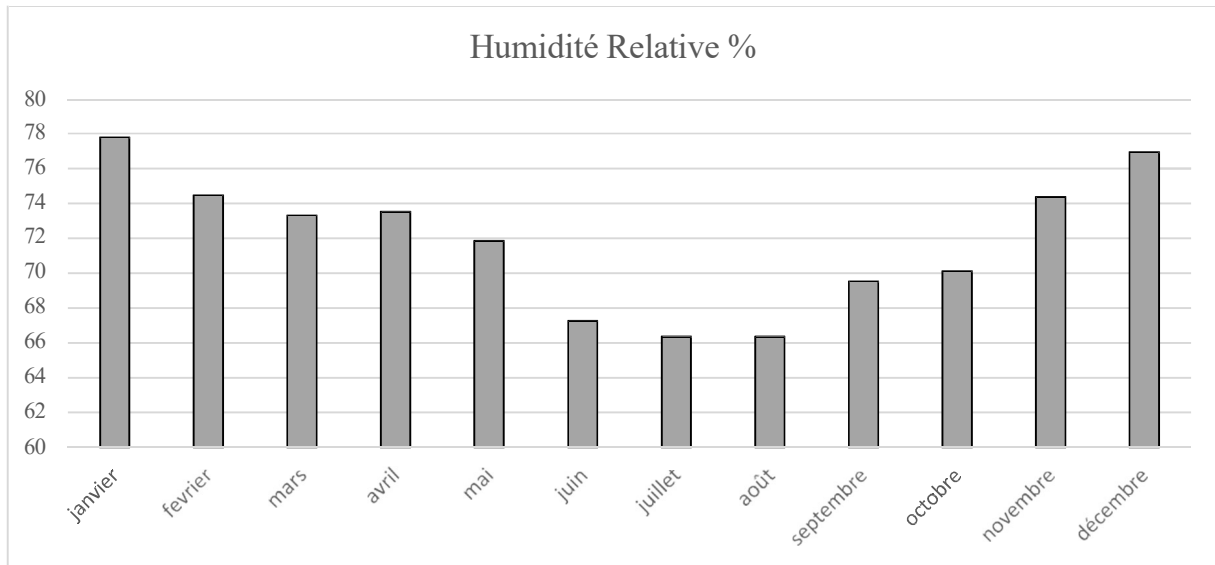


Figure12: Humidités relatives moyennes mensuelles

1.7. Evapotranspiration de référence ET_0

La figure montre l'évolution annuelle de l'évapotranspiration de référence (ET_0) dans la wilaya d'Alger sur la période 2006 à 2024. L' ET_0 , exprimée en mm/jour. Elle constitue une base essentielle pour estimer les besoins en eau des cultures (ET_c), conformément à la méthode Penman-Monteith normalisée par la FAO (Allen et al., 1998).

Sur l'ensemble de la période, la moyenne annuelle d' ET_0 est estimée à 3,61 mm/j, ce qui est conforme aux normes pour les régions côtières du climat méditerranéen (INPV, 2018). Les valeurs observées varient globalement entre 3,2 mm/j (années 2008, 2009, 2014) et 4,0 mm/j (années 2019 et 2020), indiquant une certaine stabilité globale, mais avec des pics importants qui traduisent une intensification de la demande atmosphérique en eau durant certaines années.

La période entre 2017 et 2020 présente des valeurs supérieures à la moyenne, ce qui peut être attribué à une combinaison de hausses de température, de baisse de l'humidité relative et d'ensoleillement prolongé, trois facteurs déterminants dans l'augmentation de l' ET_0 (Djaman et al., 2017 ; Meddi et al., 2015). Ces données sont cohérentes avec les rapports climatiques de l'ONM (2020), qui montrent un réchauffement modéré mais continu dans le nord de l'Algérie depuis le début des années 2000.

Il convient de souligner que l' ET_0 est particulièrement élevée durant les mois d'avril à juin, qui correspondent à la période de culture de la pastèque dans la région. Selon Fertilizantes y Abonos (s.d.), cette culture est très sensible au déficit hydrique, avec des besoins quotidiens en eau qui

peuvent atteindre 5 à 6 mm/j en conditions chaudes. La prise en compte de l' ET_0 dans la planification de l'irrigation est indispensable pour optimiser les apports en eau, économiser la ressource, et assurer un bon rendement, en particulier pour les cultures exigeantes comme la pastèque. À l'ère du changement climatique, cette donnée constitue un indicateur stratégique pour l'agriculture durable (GIEC, 2021).

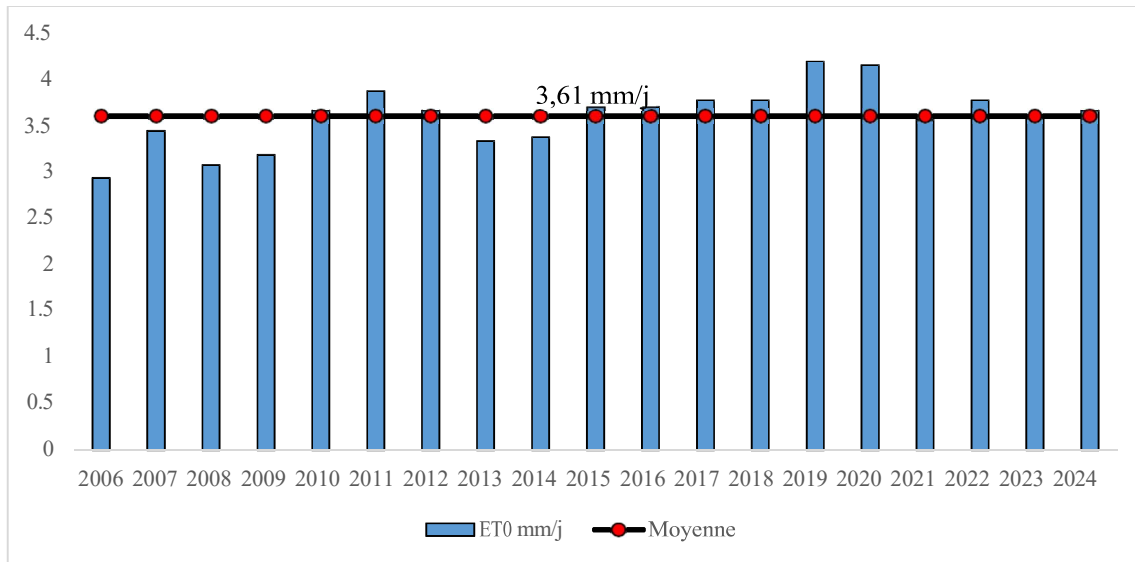


Figure13: Variation interannuelle de l'évapotranspiration de référence, période (2006-2024)

2. Évaluation hydraulique du réseau goutte-à-goutte

2.1. Évaluation de l'efficacité de conduction

L'analyse comparative entre le débit mesuré à la sortie du forage et celui relevé à l'entrée de la parcelle (Annexe 1) a permis de quantifier le taux de perte hydraulique dans le réseau d'adduction (tableau 03). Les résultats obtenus montrent un taux de perte moyen de 29,89 %, ce qui représente une proportion significative de la ressource hydrique initialement mobilisée. Cette perte peut être attribuée à plusieurs facteurs techniques, tels que :

- Des fuites le long des conduites principales ou secondaires,
- Un mauvais raccordement des éléments du réseau (manchons, vannes),
- Des pertes de charge dues à un mauvais dimensionnement des tuyauteries
- Une absence de système de contrôle du débit (débitmètres, vannes de régulation).

Un taux de perte supérieur à 20 % est généralement considéré comme excessif en irrigation localisée (CEMAGREF, 2003), et il affecte directement l'efficacité du système d'irrigation, ainsi que la distribution uniforme de l'eau au niveau des goutteurs. Cette inefficacité peut également conduire à une sous-irrigation de certaines zones de la parcelle, impactant négativement la croissance des cultures. Il devient donc nécessaire d'envisager des mesures correctives, telles que le renforcement de la maintenance préventive, l'amélioration de la conception hydraulique, et l'introduction de dispositifs de surveillance en continu pour minimiser ces pertes.

Tableau 04: Taux de perte dans le réseau d'adduction

Répétitions	Débit à la sortie du forage L/s	Débit à l'entrée de la parcelle L/s	Taux de perte
1	0,12	0,08	31,67
2	0,11	0,07	40,00
3	0,10	0,08	15,25
4	0,12	0,07	35,82
5	0,10	0,09	15,79
6	0,11	0,08	25,40
7	0,12	0,07	40,58
8	0,11	0,07	35,71
9	0,11	0,07	35,21
10	0,10	0,08	23,44
		Moyenne	29,89

Sur cette base, l'efficacité d'adduction (E_a), qui correspond à la part de l'eau effectivement transportée jusqu'à la parcelle, a été calculée selon la formule :

$$E_a = 100 \% - \text{Taux de perte} = 100 - 29,89 = 70,11 \%$$

Cette valeur indique que seulement 70,11 % de l'eau pompée parvient réellement jusqu'à la parcelle cultivée. Un tel niveau de perte souligne la nécessité d'une amélioration des infrastructures d'adduction, notamment par la maintenance préventive des conduites et la vérification régulière de l'étanchéité des installations, afin d'optimiser l'utilisation de la ressource en eau et de garantir une irrigation durable, particulièrement en contexte de stress hydrique.

2.3. Coefficient d'uniformité (CU)

L'analyse statistique des débits mesurés au niveau des goutteurs (annexe 2) a permis d'évaluer la qualité de distribution de l'eau dans le système d'irrigation goutte à goutte. Les débits, initialement exprimés en litres par seconde, ont été convertis en litres par minute (L/min), avec une valeur moyenne de 0,01626 L/min et un écart-type de 0,00076 L/min, traduisant une faible dispersion autour de la moyenne. Le coefficient d'uniformité (CU), calculé selon la formule de Christiansen (1942), s'élève à 94,46 %. Ce résultat est largement supérieur au seuil de 90 % recommandé par les normes internationales (CEMAGREF, 2003 ; FAO, 1989), ce qui indique une uniformité excellente de la distribution de l'eau à travers les goutteurs. Une telle performance reflète un bon dimensionnement du réseau, une pression stable et une absence de colmatage significatif, garantissant ainsi une efficacité hydraulique optimale.

Tableau 05: calcul le Coefficient d'uniformité

$q = \frac{\sum_{i=1}^{16} q_i}{16}$	$q_{min} = \frac{\sum_{i=1}^4 q_i \text{ faibles}}{4}$	$CU = \left(\frac{q_{min}}{q} \right) * 100$
0,000271 L/s	0,000256 L/s	94,46 %

2.4. Dose brute d'irrigation apportée

La dose d'irrigation apportée par l'agriculteur a été déterminée à partir des caractéristiques techniques du système d'irrigation utilisé et des pratiques culturales observées. La parcelle de pastèque considérée couvre une superficie d'un hectare (100 m × 100 m), avec une densité de plantation de 6 250 plants/ha, résultant d'un espacement de 2 m entre les lignes et de 0,8 m entre les plants sur le rang. Le système d'irrigation goutte à goutte installé comporte une densité de 50 000 goutteurs/ha, avec un espacement de 0,1 m entre chaque goutteur (Tableau 05).

Tableau 06: Les différentes caractéristiques de la parcelle choisie

Culture	Superficie	Largeur et longueur de la parcelle	Interligne (m)	Inter plant (m)	Densité de plantation	Inter goutteur (m)	Densité des goutteurs
Pastèque	1 ha	100 m * 100 m	2	0,8	6250 plants	0,1	50 000

Selon les informations collectées auprès de l'agriculteur, l'irrigation est réalisée pendant une durée de **4 heures** tous les deux jours, soit une fréquence d'irrigation d'un jour sur deux, de

18h00 à 22h00. Le débit moyen d'un goutteur est estimé à **0,9756 litres par heure**, ce qui permet de calculer la dose d'eau apportée à chaque irrigation (Tableau 06)

Tableau 07 : Calcul de la dose apportée par l'agriculteur

Durée d'irrigation en heures	Débit moyen des goutteurs l/h	Nombre de goutteurs	Dose apportée litres	Dose apportée m³/ha
4	0,9756	50 000	196 000	196

Sur la base d'un cycle cultural de **90 jours** pour la pastèque, et d'une irrigation effectuée un jour sur deux, on compte **45 irrigations** au total durant le cycle. Le volume total d'eau apporté est alors de :

$$\text{Volume total} = 196 \text{ m}^3/\text{ha} \times 45 = 8\,820 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Ce calcul permet d'évaluer avec précision la quantité d'eau réellement appliquée à la culture durant son cycle, et constitue une base de comparaison avec les besoins théoriques déterminés à l'aide de modèles comme **CROPWAT**. Ce type d'analyse est essentiel pour apprécier l'efficacité de la stratégie d'irrigation adoptée sur le terrain.

3. Evaluation des besoins en eau de la culture

La figure présentée illustre l'évolution annuelle des besoins en eau de la culture de la pastèque (ETc) sur une période de 19 ans, de 2006 à 2024. Les barres grises indiquent les valeurs d'ETc en mm, tandis que la ligne rouge marque la moyenne globale, estimée à environ 436 mm pour l'ensemble de la période. L'interprétation de cette série révèle une variabilité interannuelle modérée, directement influencée par les conditions climatiques (température, évapotranspiration de référence, humidité et insolation).

Nous avons observé que certaines années comme 2011, 2015, 2018, 2019 et 2020 présentent des pics importants (>480 mm), traduisant une demande accrue en eau liée à des conditions climatiques plus chaudes. À l'inverse, des années comme 2006, 2009, 2014 affichent des besoins plus faibles (<400 mm), probablement en lien avec une pluviométrie plus favorable ou une ETo moins élevée. Cette tendance est en cohérence avec les données de l'Office National de la Météorologie (ONM, 2020), qui souligne une augmentation des températures et une baisse de l'humidité relative durant cette période.

Comparativement aux données issues de la littérature scientifique, les valeurs observées ici s'inscrivent dans la norme. Hembram et al. (2020) ont estimé le besoin en eau de la pastèque à

343 mm dans une région semi-humide d'Inde. En revanche, Alobid et Szűcs (2019), dans une étude conduite dans la région méditerranéenne semi-aride des Pouilles en Italie, ont estimé l'ETc de la pastèque à 413,9 mm. Egalement, l'étude de Gebeyhu & Hatiye (2024) réalisée en Éthiopie sur une zone semi-aride méditerranéenne, a évalué le besoin en eau de la pastèque à 4 529 m³/ha, soit l'équivalent de 452,9 mm. Ces valeurs sont proches de celles observées à Alger, confirmant que les besoins en eau de la pastèque dans un climat méditerranéen sont généralement compris entre 400 et 450 mm selon les années et les conditions locales.

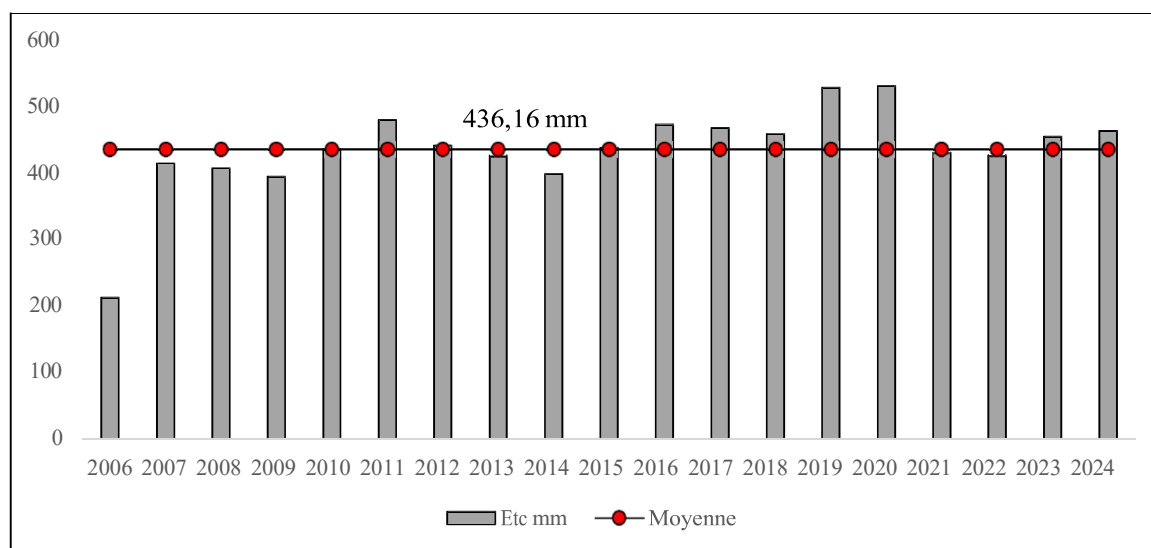


Figure 14 : Variation interannuelle du besoin en eau de la culture de pastèque (ETc) simulé par CROPWAT

4. Evaluation des besoins en eau d'irrigation

La figure représente l'évolution des besoins nets en eau d'irrigation (en mm) de la pastèque dans la wilaya d'Alger sur une période de 19 ans. Chaque barre bleue correspond au besoin annuel calculé après déduction de la pluie efficace, tandis que la ligne rouge indique la moyenne globale, estimée à environ 357 mm/an. Cette valeur correspond au volume d'eau supplémentaire devant être apporté artificiellement pour compenser le déficit hydrique de la culture entre avril et juin, période durant laquelle les précipitations sont structurellement faibles dans le climat méditerranéen d'Alger.

Les besoins varient entre 270 mm (2006) et plus de 460 mm (2020), révélant une grande sensibilité du système aux variations climatiques annuelles, notamment la pluviométrie printanière et l'évapotranspiration de référence (ET₀). L'accroissement des besoins sur certaines

années, comme 2016, 2019 et 2020, est vraisemblablement lié à des périodes de fortes températures, faible humidité relative et ensoleillement intense, augmentant l'ET₀ et donc les pertes par évapotranspiration.

Ces résultats sont en accord avec des études menées dans des contextes agro-climatiques comparables :

En Inde, Hembram et al. (2020) ont déterminé, via un logiciel basé sur les données FAO, que le besoin en irrigation de la pastèque était de 271 mm dans la zone de Keonjhar (Odisha). Cette région semi-humide bénéficie d'une pluie efficace plus importante, ce qui explique un besoin plus modeste que celui observé à Alger.

En Italie du Sud, Alobid et Szűcs (2019) ont estimé les besoins nets en irrigation à 327,4 mm pour la pastèque en climat méditerranéen, avec un besoin brut de 363,8 mm en tenant compte d'une efficacité d'irrigation de 90 %. Ces chiffres correspondent presque exactement à la moyenne observée à Alger, validant ainsi les méthodes de calcul et l'ordre de grandeur des besoins mesurés.

En Éthiopie, dans une étude intégrant des projections climatiques, Gebeyhu et Hatiye (2024) ont quantifié le besoin total de la pastèque à 4 529 m³/ha, soit 452,9 mm/cycle. Cette valeur représente le besoin total sans apport de pluie. Par conséquent, si l'on déduit une pluie efficace moyenne de 90–100 mm, le besoin net en irrigation devient équivalent à environ 350–360 mm, ce qui confirme les résultats obtenus pour Alger.

Selon FAO-56 (Allen et al., 1998), les besoins en eau des cultures de pastèque varient entre 400 et 600 mm/cycle selon la durée de la culture, le climat et les pratiques agricoles. Le besoin en irrigation dépend donc fortement de la pluie efficace locale, confirmant la pertinence d'une analyse intégrée climat–sol–pluie.

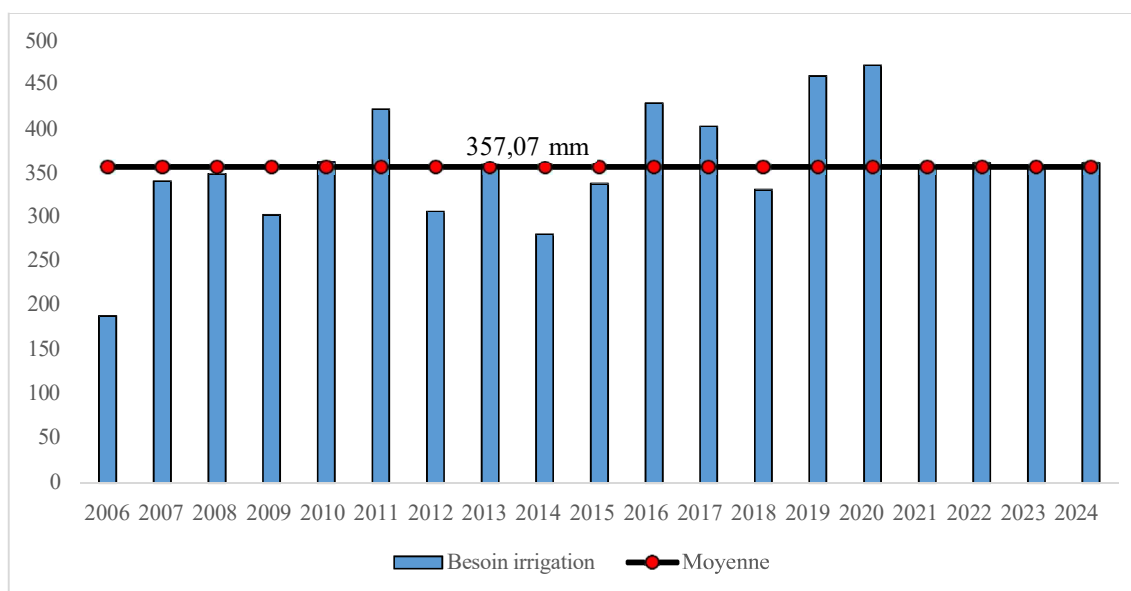


Figure 15 : Variation interannuelle du besoin en eau d'irrigation (BEI) simulé par CROPWAT

5. Comparaison dose simulée et apporté

La figure ci-dessus illustre les résultats de comparaison entre les besoins en eau d'irrigation de la culture de la pastèque, tels que simulés par le modèle CROPWAT et ceux calculés empiriquement sur le terrain à partir des pratiques réelles de l'agriculteur. Les résultats révèlent une différence notable entre les deux approches, tant au niveau du besoin net que du besoin brut.

Selon la simulation CROPWAT, le besoin net en eau est estimé à 2 609 m³/ha, tandis que le besoin brut s'élève à 3 727 m³/ha, en tenant compte des pertes dans le système d'irrigation (efficacité globale). En revanche, les mesures effectuées sur le terrain, basées sur la fréquence, la durée d'irrigation et le nombre de goutteurs, indiquent un besoin net réel de 8 820 m³/ha, soit plus de trois fois supérieur à l'estimation de CROPWAT, et un besoin brut de 12 600 m³/ha.

Cette divergence peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

Des pertes importantes dans le réseau d'adduction (estimées à 29,89 %),

Et un manque d'ajustement du modèle CROPWAT aux conditions locales spécifiques du terrain, telles que la texture du sol, la profondeur racinaire ou l'efficacité réelle du système goutte-à-goutte.

Cette comparaison souligne l'importance d'un suivi technique rigoureux sur le terrain, ainsi que l'intérêt de combiner les résultats issus de la modélisation avec les observations empiriques pour une gestion plus efficace et durable de l'eau en agriculture.

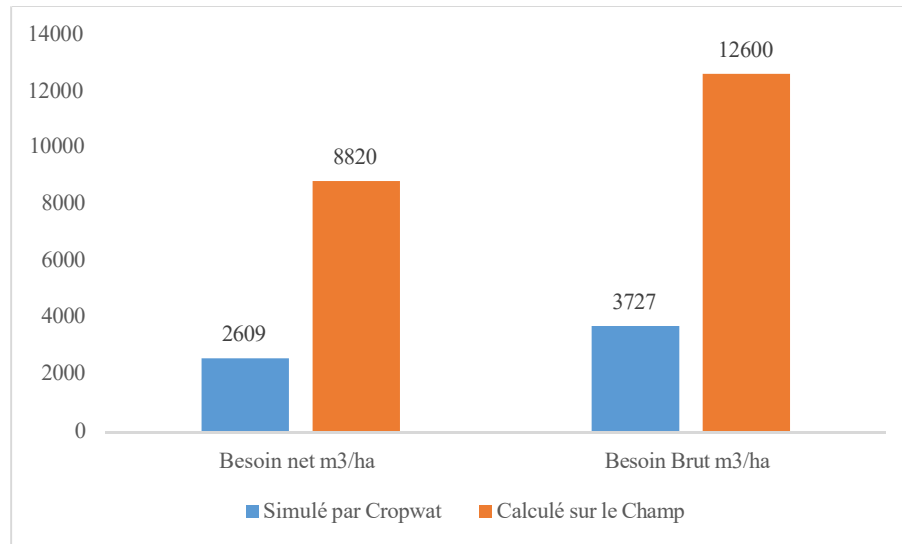


Figure 16: Comparaison entre les besoins en eau d'irrigation simulés par CROPWAT et ceux mesurés sur le terrain pour la culture de la pastèque

Conclusion

L'étude menée dans la commune de Mahelma, au sein de la plaine de la Mitidja, s'est inscrite dans une problématique centrale : celle de l'optimisation de la gestion de l'eau en agriculture irriguée dans un contexte de raréfaction croissante des ressources hydriques. En ciblant la culture de la pastèque (*Citrullus lanatus*), largement répandue dans la région durant la saison estivale, ce travail a permis d'évaluer les besoins en eau de manière comparative entre les estimations fournies par le modèle CROPWAT 8.0 et les pratiques d'irrigation réelles observées sur le terrain.

Les résultats ont mis en évidence des écarts significatifs entre la modélisation et la réalité. Le besoin net en eau de la pastèque, tel qu'estimé par CROPWAT, est de 2 609 m³/ha, tandis que le besoin brut s'élève à 3 727 m³/ha après prise en compte de l'efficacité du système. En revanche, les données collectées sur le terrain révèlent des valeurs nettement plus élevées, avec un besoin net réel de 8 820 m³/ha et un besoin brut atteignant 12 600 m³/ha. Ces écarts, supérieurs à un facteur de trois, traduisent une tendance marquée à la sur-irrigation, en grande partie liée à l'absence d'un encadrement technique, à l'application empirique des doses d'eau, et à un manque de connaissance des besoins réels des cultures.

Par ailleurs, l'analyse du système d'irrigation goutte à goutte a révélé un taux de perte de 29,89 % dans le réseau d'adduction, ce qui limite l'efficacité globale à 70,11 %. Ces pertes, combinées à la surévaluation des apports, ont des conséquences majeures tant sur le plan économique que sur la durabilité des ressources. Elles soulignent l'importance d'une gestion rationnelle et maîtrisée de l'eau à la parcelle. Le recours à des outils de simulation comme CROPWAT offre un potentiel intéressant pour piloter les pratiques d'irrigation, mais nécessite une adaptation aux conditions locales et une bonne appropriation par les usagers.

Face à ces constats, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être envisagées. Sur le plan technique, l'intégration de capteurs d'humidité du sol, de débitmètres intelligents et d'outils de télédétection permettrait un suivi plus précis de l'état hydrique des cultures, et donc un ajustement fin des apports en fonction des besoins réels. L'utilisation conjointe de modèles comme AquaCrop, qui intègre mieux les interactions sol-plante-atmosphère, pourrait également compléter les estimations fournies par CROPWAT, notamment dans un contexte de changement climatique.

Conclusion

Sur le plan opérationnel, la formation et la sensibilisation des agriculteurs à la gestion raisonnée de l'irrigation s'imposent comme une priorité. Des programmes d'accompagnement, en collaboration avec les instituts techniques et les services agricoles, doivent être renforcés pour encourager une utilisation plus efficiente de l'eau. Il est également essentiel de moderniser les réseaux d'adduction et de distribution, et de développer des stratégies de maintenance préventive pour réduire les pertes.

Enfin, sur le plan scientifique, des études complémentaires pourraient porter sur l'impact économique de la sur-irrigation, la modélisation prospective des besoins hydriques à l'horizon 2050 dans le contexte du changement climatique, ou encore l'analyse de l'empreinte hydrique des cultures maraîchères dans la Mitidja. Ces travaux contribueraient à bâtir une agriculture plus résiliente, mieux adaptée aux contraintes climatiques, et ancrée dans une logique agroécologique durable

Al-Najar, H. (2011). Intégration du modèle FAO-CropWat et des techniques SIG pour l'estimation des besoins en eau d'irrigation et son application dans la bande de Gaza. *Natural Resources, 2*(3), 146-154. <https://doi.org/10.4236/nr.2011.23020>

Al-Qadisiyah Journal for Agriculture Sciences (QJAS). (2023). *Al-Qadisiyah Journal for Agriculture Sciences*, 13(1), 50–58. <https://jouagr.qu.edu.iq>

Biocivam de l'Aude. (2004, 2^e semestre). *Bulletin Semences et Plants Bio en Languedoc-Roussillon* (n° 5). Biocivam de l'Aude.

CHOMICKI G et RENNER S, 2016. « Watermelon origin solved with molecular phylogenetics including Linnaean material: another example of museomics », *New Phytologist*, vol. 205, :526–532 (ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/nph.13163)

CTIFL, 2006. Production fruitières : la pastèque. Edition Lavoisier 7p

Ingénieurs Assistance Internationale – Ingénieurs sans Frontières. (2003). *Mémento de l'irrigation* (Collection « Manuels techniques ») (Pierre-Emile Van Laere, éd.). Bruxelles – Belgique : Ingénieurs Assistance Internationale. Récupéré de <http://www.isf-iai.be>

Mincu, F. I., Carmello, V., Zaharia, L., & Ioana-Toroimac, G. (2017, juillet). *Estimation de l'évapotranspiration pour différents types de cultures agricoles, par le modèle CROPWAT : études de cas en Roumanie et au Brésil* [Communication présentée au XXX^e colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Sfax, Tunisie, 3–6 juillet 2017].

https://www.researchgate.net/profile/Vinicius-Carmello/publication/318406031_ESTIMATION_DE_L%27EVAPOTRANSPIRATION_POUR_DIFFERENTS_TYPERES_DE_CULTURES_AGRICOLES_PAR_LE_MODELE_CROPWAT_ETUDES_DE_CAS_EN_ROUMANIE_ET_AU_BRESIL/links/5968048b0f7e9b809185916b/ESTIMATION-DE-LEVAPOTRANSPIRATION-POUR-DIFFERENTS-TYPES-DE-CULTURES-AGRICOLES-PAR-LE-MODELE_CROPWAT_ETUDES-DE-CAS-EN-ROUMANIE_ET_AU-BRESIL.pdf

Sallenave, F. A. (2001). *Les cucurbitacées en Méditerranée. De Babylone à aujourd'hui : le cas de la courgette et d'al-faqqus*. Boccone, 13, 239–250. Récupéré de [Les cucurbitacées eD Méditerranée. De Babylone à aujourd'hui: le cas de la courgette et d'al-faqqus](#)

Skhiri, A. (2019). *Les bases de l'irrigation : Calcul des besoins en eau*. Saarbrücken, Allemagne : Editions Universitaires Européennes. ISBN 978-620-2-26993-3. <https://www.researchgate.net/publication/332233446>

Toni, H., Djossa, B. A., Tekla, O., & Yédomonhan, H. (2020, janvier). *Abeilles pollinisatrices et production de la pastèque (Citrullus lanatus) dans la Commune de Kétou au Sud Bénin*. Université d'Abomey-Calavi. https://www.researchgate.net/profile/Hermann-Toni/publication/339042024_Abeilles_pollinisatrices_et_production_de_la_pasteque_Citrullus_lanatus_dans_la_Commune_de_Ketou_au_Sud_Benin/links/5e3a56eea6fdccd96587f66d/Abeilles-pollinisatrices-et-production-de-la-pasteque-Citrullus-lanatus-dans-la-Commune-de-Ketou-au-Sud-Benin.pdf

Vote, C., Oeurng, C., Sok, T., Phongpacith, C., Inthavong, T., Seng, V., Eberbach, P., & Hornbuckle, J. (2015). *A comparison of three empirical models for assessing cropping options in a data-sparse environment, with reference to Laos and Cambodia*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Canberra

WALALY LOUDYI D.E.L., SKIREDJ A., HASSAN E., 2003. Le bananier, la vigne et les agrumes. Transfert de technologie en agriculture N°109. pp 1-4

Yanogo P. I., Sanogo S., & Yaméogo J. (2021, juin 15). La pastèque (Citrullus lanatus), une opportunité pour les acteurs de la commercialisation dans la ville de Koudougou (Burkina Faso). *Riges*, 10(1), 50-58. <https://hal.science/hal-04529307/>

Zanguila, A. (2021). *Étude préliminaire sur les invertébrés présents sur culture de pastèque (Citrullus lanatus Thunb), dans la région d'In Salah (Algérie)*. (Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou). 39 p. + CD-ROM)



الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
جامعة البليدة 1
Université Blida 1



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

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique

Option

Agro-environnement et bio-indicateurs

Thème

MODELISATION PAR UTILISATION DU LOGICIEL CROPWAT
POUR L'ADAPTATION AUX PRATIQUES D'IRRIGATION DE LA
PASTEQUE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS ET D'ALEAS
CLIMATIQUES : ETUDE DE CAS DANS LA WILAYA D'ALGER

Présenté par :

KREBBAZA RANIA

BAAHMED SABAH

YESSAD AMINA

Devant le jury :

Mme Houma Imen	MCB	USDB1	Présidente
Bendjoudi Djamel	Pr	USDB1	Examineur
Grandi Mohamed	MCA	USDB1	Promoteur
Amirouche Mawhoub	MCA	USDB1	Co-promoteur

Handwritten signature: R. Djamel Bendjoudi
Handwritten date: 13.09.2025

2024/2025