



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



Université Abdelhamid Ibn Badis

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Agronomie

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de
Master en Sciences Agronomiques

Spécialité: Aménagement hydro-agricole

Thème

Estimation du besoin en eau des cultures et
évapotranspiration de référence par le biais d'un logiciel
CROPWAT 8.0 (cultures de pommes de terre dans la
région de Mascara)

Présenté par: BOUKELLAL Rachida

Devant le jury

Président: M. Benguendouz Abdelnour MCA

Université Mostaganem

Promoteur: M. Boualem Abdelkader

MCA

Université de Mostaganem

Examineur: Mme. Hamadi Amina

MAA

Université de Mostaganem

Année universitaire: 2024/2025

Dédicaces

Louange à Dieu, pour chaque journée qu'Il nous accorde et pour la route qu'Il nous trace.

Je dédie ce travail avant tout à mes parents bien-aimés, pour leur amour, leur patience et leur soutien inconditionnel, sans lesquels ce chemin n'aurait pas été possible.

Je dédie également à une personne chère à mon cœur, pour sa présence précieuse et son appui constant.

À mes frères et sœurs, pour leur affection et leurs encouragements permanents.

À mes amis, pour leur sincérité, leur accompagnement et les moments partagés durant ces années.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Remerciement

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, source de toute sagesse et de toute force, pour m'avoir permis d'arriver au terme de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, Mr. Boualem Abdelkader, pour sa disponibilité, son accompagnement constant et la confiance qu'il m'a accordée tout au long de la réalisation de ce mémoire.

A Dr. Benguendouz Abdenour qui m'a fait un grand honneur en acceptant de présider le jury.

A Dr. Hamadi Amina d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également l'ensemble du corps enseignant du département d'agronomie pour la qualité de leur enseignement et leur engagement dans notre formation.

Je n'oublie pas mes camarades et amis, pour leur soutien moral, leur bonne humeur et les moments de partage qui ont rendu ce parcours plus agréable.

Enfin, une pensée toute particulière à ma famille, pour leur amour, leur patience, leurs encouragements constants et leur soutien moral et matériel tout au long de mes études.

À vous tous, merci du fond du cœur.

Résumé

La gestion rationnelle de l'eau d'irrigation nécessite une connaissance approfondie des besoins hydriques, afin de mieux ajuster la demande à l'offre disponible dans la wilaya de Mascara. Dans ce cadre, nous avons choisi d'utiliser le logiciel CROPWAT 8.0 sous Windows. Après l'introduction des données climatiques (2010-2024), nous avons évalué l'évaporation ainsi que les besoins en eau d'irrigation de la culture de pomme de terre. L'exploitation du logiciel a permis d'obtenir des calendriers d'irrigation et des tableaux illustrant de manière précise les besoins hydriques et l'évapotranspiration de référence de la pomme de terre, en tenant compte des caractéristiques du sol, du climat et de la plante. Enfin, une comparaison a été réalisée entre les résultats mensuels et annuels pour la même culture.

Mots clés : ETo, ETc, CROPWAT 8.0, pomme de terre, Mascara.

Abstract

Efficient management of irrigation water requires a thorough understanding of crop water needs, in order to better align demand with available supply in the Wilaya of Mascara. To achieve this, the CROPWAT 8.0 software (Windows version) was employed. After entering the climatic data (2010–2022), evaporation levels and irrigation water requirements for potato crops were reassessed. The software generated irrigation schedules and tables that accurately describe the crop's water requirements and reference evapotranspiration, taking into account soil, climatic, and plant characteristics. Finally, a comparison was carried out between the monthly and annual results for the same crop.

Keywords: ETo, ETc, CROPWAT 8.0, potato, Mascara.

المخلص

من أجل إدارة فعّالة للمياه الري، يجب علينا فهم الضروريات المائية للمحاصيل بشكل دقيق، وذلك ضمن تلبية

الطلب ودمجها بصورة أفضل مع الموارد المتاحة لتغيير لاية معسكر، ولهذا الغرض، تم اعتماد برنامج CROPWAT 8.0

(Windows) بعد إدخال البيانات المناخية الأساسية للفترة (2010-2024).

(2010) تمنا بقيا بعددنا لتبخّر وتحديد الاحتياجات المائية لمحصول البطاطا، بينما لنرنا ما سنحرا حجابا وللا يوجد اولر قمية تنبيّ بدقة الاحتياجات المائية والتبخّر -

التحليل لبطاطا، بالاعتماد على معطيات التربة والمناخ والنبات كما تم إجراء مقارنة بين النتائج الشهرية والنتائج السنوية لنفس المحصول.

الكلمات المفتاحية: ETo، ETc، CROPWAT 8.0، البطاطا، معسكر.



Table des matières

Table des matières

Introduction 01

Première partie: Généralités

Chapitre 01: Présentation de la zone d'étude

1. Localisation.....06

1.1.1. Limites géographiques06

1.1.2. Découpages administratifs de la wilaya de Mascara 06

1.2. Géologie08

1.2.1. Relief..... 10

1.2.2. Le Sol 11

1.3. Latopographie..... 11

1.4. Le climat 12

1.4.1. La température du sol 12

1.4.2. Les précipitations..... 12

1.4.3. L'humidité du sol 13

1.4.4. Vents..... 13

1.4.5. Le Brouillard 14

1.4.6. La température 15

1.4.7. Gelée 15

1.4.8. L'insolation 15

1.4.8. L'évaporation 16

1.4.9. Évapotranspiration potentielle (ETP), ET Réserve utile (RU) 17

1.4.10. Bilan hydrique de Mascara 17

1.5. La salinité 18

1.6. Le pH 19

Chapitre 02: Généralités sur la pomme de terre

1. Généralités sur la pomme de terre20

1.1. Origine et historique..... 20

Table des matières

1.2. Situation et importance économique	20
1.2.1. Dans le monde	20
1.2.2. En Algérie	21
2.2. Caractéristiques de la pomme de terre	21
2.2.1. Classification botanique.....	21
2.2.2. Taxonomie et origine	21
3. Description botanique.....	22
3.1. Description de l'appareil aérien.....	23
3.2. Description de l'appareil souterrain	23
4. Cycle de reproduction et physiologie	24
4.1. Cycle sexué	24
4.2. Cycle végétatif.....	24
5. Exigences de la plante	25
5.1. Exigences climatiques	25
5.2. Température.....	25
5.2.1. Lumière.....	25
5.2.2. Alimentation en eau	25
5.2.3. Exigences édaphiques	26
5.3. Exigences en éléments fertilisants.....	26
6. Problèmes phytosanitaires	27
6.1. Maladies.....	27
6.2. Nématodes.....	27
6.3. Ravageurs.....	27
7. Composition biochimique du tubercule.....	28
Deuxième partie: Matière et méthodes	
Chapitre 03: Présentation du modèle	
1.1. Présentation du modèle.....	30

Table des matières

<i>1.2. Description du logiciel</i>	30
<i>1.3. Rôle et avantages du logiciel</i>	30
1.4. Fonctionnement du modèle et données d'entrée...	30
<i>1.4.1. Structure du Programme</i>	32
<i>1.4.2. Modules et formules utilisées</i>	32
<i>1.5. Lessorties du modèle</i>	37
<i>1.5.1. Table climatique</i>	37
<i>1.5.2. Table des besoins en eau des cultures</i>	37
<i>1.5.3. Table du programme d'irrigation</i>	37
<i>1.6. Microsoft Excel</i>	37

Troisième partie: Résultat et discussion

Chapitre 04: Résultat et discussions

1. Précipitation efficace mensuelles	38
2. Calcul de l'ET₀ pour la période 2010-2015	38
3. Calcul des Précipitation efficace pour la période (2010–2024)	42
3.1. Calcul des Précipitation efficace annuelles	42
3.2. Besoins en eau de la culture (ET_c) annuels	43
3.3. Les besoins d'irrigation (ET_i) mensuels	44
3.5. Les besoins d'irrigation (ET_i) annuels	45
Conclusion	48
Références bibliographiques	50
Annexe	54



Listedesabréviations

Listedesabréviations

Listedesabréviations

Δ :Pentedelacourbedepressionsdevapeur

ANDI:AgenceNationaledeDéveloppementdel'Investissement BRGM

: Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Cu : Cuivre

D:Drainage

DSA:DirectiondesServicesAgricoles

ETc : Évapotranspiration de la culture

ETi : Besoins en eau d'irrigation

ETM : Évapotranspiration maximale

ETo:Évapotranspirationderéférence ETP

: Évapotranspiration potentielle ETR :

Évapotranspiration réelle

FAO:OrganisationdesNationsUniespourl'Alimentationetl'Agriculture Fe :

Fer

G:Fluxdechaleuréchangéaveclesol hab :

Habitants

Irr : Apport d'irrigation

Kc:Coefficientcultural

Ky:Coefficientderéponsedurendement

M.A.D.R.P:Ministèredel'Agriculture,duDéveloppementRuraletdelaPêche Mn :

Manganèse

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ONM:OfficeNationaldelaMétéorologie P :

Tarissement admissible

Pe_{eff}:Précipitationefficace P_{tot}

: Précipitation totale

RFU:Réserveutilefacilementdisponible Ri :

Réserve en eau du sol au jour i

Ri-1:Réserveeneaudusolaujouri-1 RU :

Réserve utile

SMD:Déficitdelaréserveutilede'eaudanslesol

Liste des abréviations

T: Température journalière à 2 m d'altitude TAM :

Eau disponible totale

USDA: United States Department of Agriculture Ya :

Rendement réel

Ym: Rendement maximal

Yr: Diminution de rendement par rapport au rendement en conditions optimales de culture Z :

Profondeur des racines

Zn: Zinc

Irr.req.: Irrigation requise

Rn: Rayonnement net à la surface de la culture Si:

Tarissement de la réserve du sol à la date i

Si-1: Tarissement de la réserve du sol à la date i-1

es-ea: Déficit de la pression de vapeur à saturation ea:

Pression réelle de la vapeur

es: Pression de la vapeur à saturation u2:

Vitesse du vent à 2 m d'altitude γ :

Constante psychrométrique

FC: Eau contenue au maximum dans le champ (Field Capacity)

WP: Eau contenue au point de flétrissement permanent (Wilting Point)



ListedesFigures

ListedesFigures

FigureN°01: Localisationdelazoned'étude.....	06
FigureN°02: cartedelocalisationdewilayadeMascara	08
FigureN° 03 : cartedelocalisation dewilayadeMascara	10
FigureN°04: PrécipitationmoyennemensuelleàMascara(1987à1997).....	13
FigureN°05: Courbedelavitesse moyennemensuelledu vent.....	14
FigureN°06: Variationdel'insolationmoyenneannuelle.....	16
Figure07: Caractéristiquesmorphologiquesdelapommedeterreetcyclevégétatif.....	22
FigureN°08: CycledeproductiondeSolanumtuberosumL.ssp.Tuberosum... ..	24
FigureN°09: Courbedebesoineneaud'uneculturedePDT	26
Figure N° 10 : Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de pomme de terre (Solanumtuberosum L.). Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la matière fraîche totale... ..	29
FigureN°11: calculdes pluiesefficaces.....	34
FigureN°12: Les données sur la culture de la pomme de terre	35
FigureN°13: lesdonnéesliéesau sol.....	36
FigureN°14: Organigrammeglobaledumodèle CROPWAT.....	38
FigureN°15: Lesprécipitationsefficacesmensuellesenregistréesdurantlapériode2010–2024 présententunemoyenneannuelletotalede292,06mm.....	39
FigureN°16: Evapotranspirationderéférence(ETo) mensuelleetannuelle(2010–(2024	41



Listedestableaux

Listedestableaux

TableauN°01: DécoupagesadministratifsdelarégionMascara	07
TableauN°02: Surfaceetpourcentagesdesclasseolithologique dansleplateaude Mascara	09
TableauN°03: Larépartitiondelasuperficiepar classesdes pentes	10
TableauN°04: TempératuremoyennemensuelledeMascarade(1988à1997)	12
TableauN°05: PrécipitationsmoyennesmensuelledeMascara(1987-88)à(1996-97).....	13
TableauN°06: Variationsdel'évolutiondelavitesse moyennemensuelle duvent(2000- 2015)...	14
TableauN°07: Nombredejoursdebrouillard(1997)	14
TableauN°08: NombredejoursdegeléeàMascara(1997)	15
TableauN°09: Variationsdel'insolationmoyenneannuelleenheure.....	15
TableauN°10: Lesdonnéesd'évaporation(2000-2015)	16
TableauN°11: LesdonnéeshydriqueàMascara(1988à1997)	18
TableauN°12: Précipitationsefficacesmensuellesdansla wilaya deMascara(2010– 2024)	39
TableauN°13: Evapotranspirationderéférence(ETo)mensuelleetannuelle(2010–2024)	40
TableauN° 14 : Évapotranspiration de référence (ETo) annuelle dans la wilaya de Mascaradurantlapériode2010–2024.....	41
TableauN°15: PrécipitationsefficacesannuellesdanslawilayadeMascaradurantlapériode 2010– 2024	42
TableauN°16: Besoinseneaudelaculture(ETc)annuels(2010–2024)	43
TableauN°17: Lesbesoinsd'irrigation(ETi)mensuelsdelaculture danslawilayade Mascaradurantlapériode2010–2024.....	44
Tableau N° 18 : Les besoins d'irrigation (ETi) annuels de la culture dans la wilaya de Mascara sur lapériode 2010-2024... ..	45



Introduction Générale

L'eau constitue l'élément vital par excellence, indispensable au maintien et au développement de toute forme de vie, qu'elle soit végétale, animale ou humaine. Elle n'est pas seulement un constituant biologique fondamental, mais également un facteur structurant des écosystèmes et un pilier incontournable du développement économique et social. L'importance de cette ressource s'illustre aussi bien à l'échelle planétaire qu'à l'échelle locale, notamment dans les régions arides et semi-arides où la disponibilité de l'eau conditionne directement la sécurité alimentaire et la stabilité des sociétés.

Selon les estimations globales, les ressources en eau de la planète représentent environ 1 380 millions de km³. Toutefois, cette quantité colossale se compose à 97,2% d'eau salée et à 2,15 % de glace, ce qui réduit considérablement la part réellement exploitable par l'humanité. En réalité, l'eau douce accessible – issue des ressources superficielles telles que les cours d'eau, les oueds et les crues, ainsi que des ressources souterraines comme les nappes phréatiques et profondes – ne représente que 0,07% du volume total, soit environ un million de km³. La répartition de cette eau est par ailleurs très inégale : une dizaine de pays détiennent à eux seuls 60 % des réserves mondiales, tandis qu'une trentaine d'États, principalement situés en Afrique et au Moyen-Orient, subissent une pénurie chronique. Les projections pour 2050 annoncent une situation encore plus préoccupante, puisque 2,5 milliards de personnes pourraient être confrontées à un manque sévère d'eau en raison de la croissance démographique et de l'augmentation des besoins en eau pour l'agriculture, l'industrie et la consommation domestique. **(DUBIEF J, 1953)**

Dans ce contexte mondial alarmant, les pays en voie de développement apparaissent particulièrement vulnérables. Le Maghreb, et plus spécifiquement l'Algérie, se trouvent directement concernés par cette problématique. L'Algérie figure en effet parmi les pays les plus pauvres en ressources hydriques, avec un potentiel inférieur au seuil théorique de rareté fixé à 1 000 m³ par habitant et par an. Les évaluations montrent qu'en moyenne, la disponibilité en eau par habitant est de l'ordre de 500 m³/an, un chiffre qui risque de chuter à 400 m³/an dans un futur proche, plaçant ainsi le pays parmi les zones les plus exposées au stress hydrique. À ces contraintes naturelles s'ajoutent des pressions anthropiques, liées à l'urbanisation, à l'industrialisation et surtout aux exigences croissantes du secteur agricole, qui demeure le principal consommateur d'eau.

L'agriculture algérienne, pilier de la sécurité alimentaire nationale, dépend fortement de l'irrigation. Dans un climat marqué par l'aridité et l'irrégularité des précipitations, la maîtrise de l'eau devient une condition incontournable pour assurer des productions stables et suffisantes. Parmi les cultures stratégiques, la tomate et la pomme de terre occupent une place de choix. La tomate, En 2001, la production mondiale avoisinait déjà un million de tonnes sur une superficie estimée à 3,9 millions d'hectares. En Algérie, elle constitue une culture maraîchère majeure qui contribue à la satisfaction des besoins alimentaires et à la dynamique économique locale. De son côté, la pomme de terre fait partie des cinq cultures vivrières les plus importantes à l'échelle

planétaire, aux côtés du blé, du riz, du maïs et de l'orge. Sa valeur nutritionnelle, marquée notamment par une teneur en eau avoisinant les 80 %, en fait un aliment de base dans le régime alimentaire algérien. Cette importance explique l'accroissement continu des superficies qui lui sont consacrées, dans le but de répondre à la demande intérieure et de renforcer la sécurité alimentaire. **(Cemagref.Edition, 1990).**

Cependant, le développement de ces cultures exige une gestion optimale de l'eau, ressource rare et précieuse. L'irrigation doit être pilotée avec rigueur afin de maximiser l'efficacité d'utilisation de l'eau, c'est-à-dire la capacité à obtenir un rendement agricole élevé tout en minimisant les pertes hydriques. Dans cette optique, la connaissance précise des besoins en eau des cultures et de l'évapotranspiration de référence constitue une étape essentielle, **(MAILHOL et al, 1990a2004)** C'est dans ce cadre que s'inscrit l'utilisation de modèles et d'outils de simulation permettant d'évaluer ces paramètres.

Parmi les outils les plus utilisés au niveau international figure le logiciel CROPWAT 8.0, développé par la FAO. Ce programme permet de calculer les besoins en eau des cultures, de planifier l'irrigation et d'évaluer l'évapotranspiration de référence à partir de données climatiques, agronomiques et pédologiques. Sans entrer dans les détails techniques, il s'agit essentiellement d'un outil d'aide à la décision qui facilite la gestion rationnelle de l'eau en agriculture, particulièrement dans les régions soumises au stress hydrique. Grâce à lui, il devient possible d'établir des calendriers d'irrigation adaptés aux conditions locales et d'optimiser l'utilisation de l'eau afin de préserver cette ressource vitale tout en assurant une production agricole durable.

L'intérêt d'un tel outil est d'autant plus marqué dans un pays comme l'Algérie, où la rareté des ressources en eau et la dépendance de l'agriculture à l'irrigation imposent de recourir à des méthodes scientifiques pour garantir une gestion efficace. L'approche intégrée qui combine observation des réalités locales, modélisation et planification représente aujourd'hui une voie incontournable pour relever les défis liés à la sécurité hydrique et alimentaire. **(HALWART M.DAM A.A., 2010).**

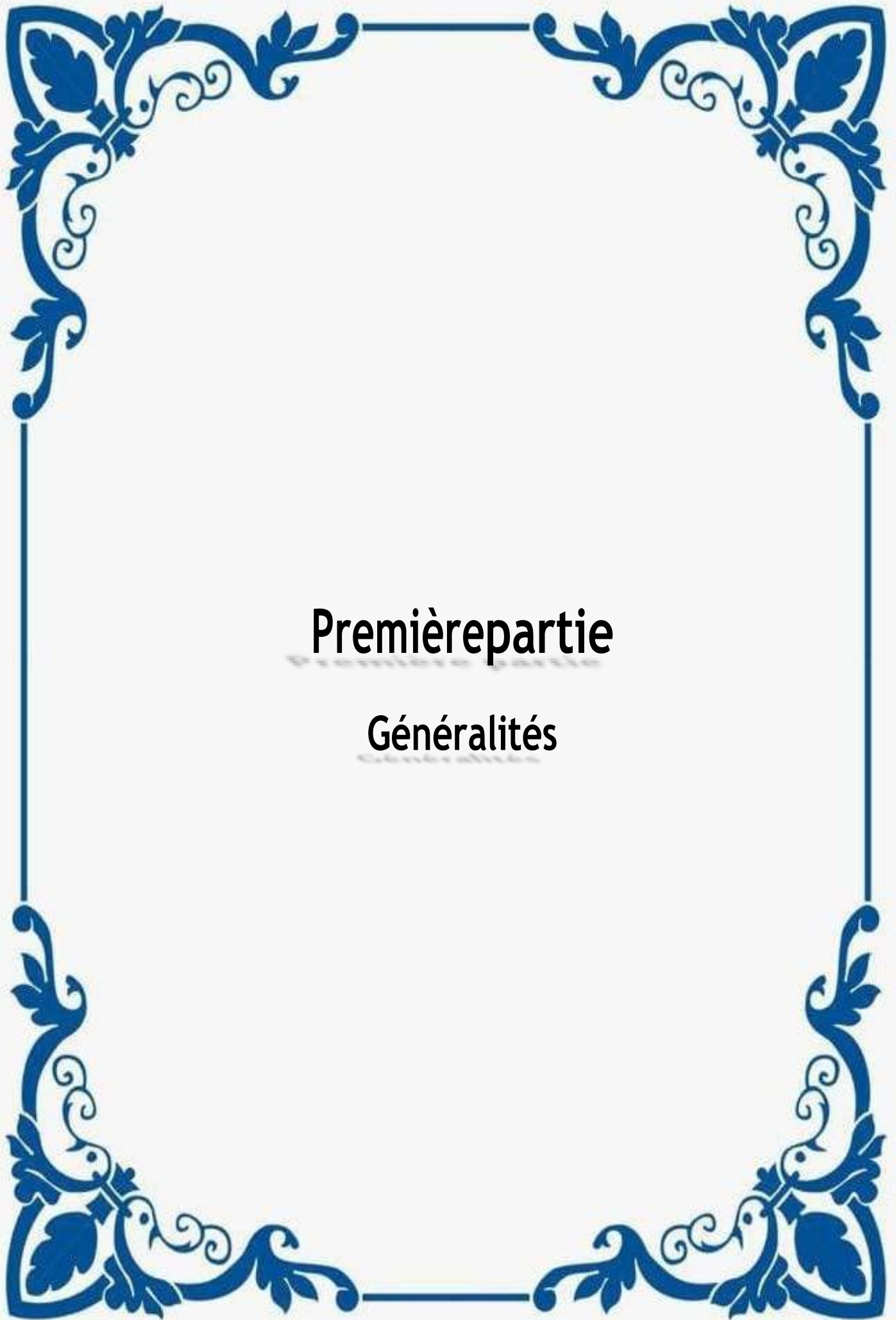
Ainsi, l'étude des besoins en eau de cultures stratégiques telles que la tomate et la pomme de terre, dans des régions agricoles emblématiques comme Mascara ou El Oued, s'inscrit pleinement dans cette dynamique. Elle répond à une double exigence : d'une part, comprendre et quantifier les besoins hydriques des plantes dans un contexte climatique difficile; d'autre part, contribuer à la mise en place de stratégies d'irrigation plus rationnelles et durables, capables d'assurer la pérennité de la production agricole tout en préservant les ressources en eau.

En somme, l'eau constitue aujourd'hui un enjeu central à l'échelle mondiale comme à l'échelle nationale. La pression démographique, la variabilité climatique et les besoins croissants en alimentation renforcent l'urgence d'une gestion durable et efficace. Le recours à des outils tels que CROPWAT 8.0, sans être une solution unique, constitue une réponse scientifique et pratique aux défis de l'agriculture irriguée en

Algérie. Notre travail s'inscrit dans cette perspective et vise à apporter une contribution à la réflexion sur l'utilisation rationnelle de l'eau dans le secteur agricole, en mettant en évidence l'importance de la planification et de la modélisation comme instruments de durabilité.

Pour ce faire, notre travail est structuré en trois grandes parties résumées ci-dessous :

La première partie est dédiée aux généralités concernant la zone d'étude ainsi que la culture de la pomme de terre. La deuxième partie traite de l'aspect méthodologique, incluant les données utilisées et la présentation du modèle. Enfin, la troisième partie présente les résultats obtenus à partir du modèle, suivis de leur interprétation et des discussions associées.



Premièrepartie

Généralités



Chapitre01

Présentationdelazoned'étude

1.1.1. Limitesgéographiques

La wilaya de Mascara est délimitée à l'est par les wilayas de Tiaret et Relizane, à l'ouest par celle de Sidi Bel Abbès, au nord par Oran et Mascara, et au sud par Saïda. Elle couvre une superficie de 5 848,15 km² et se compose de 47 communes réparties sur 16 daïras. (Fenet, 1975).

La région se distingue par une vocation agricole marquée, en raison de ses particularités naturelles et de la diversité de son relief, qui abrite près de 504 douars. Le territoire de la wilaya présente quatre unités morphologiques bien distinctes :

- la plaine de Habra Sig,
- les monts de Beni Chougrane,
- la plaine de Mascara–Gris,
- les monts de Saïda (Aoufs).

Parmi ces zones, les monts de Beni Chougrane et les monts de Saïda (Aoufs) sont considérés comme prioritaires dans le cadre du développement forestier et de la mise en valeur des terres de montagne, représentant à eux seuls 51 % de la superficie totale.

Au plan démographique, la population de la wilaya était estimée, au 1er janvier 2011, à 828 434 habitants, soit une densité moyenne de 161 habitants/km². Sur les 47 communes que compte Mascara, 32 sont classées comme communes rurales. (GROSCLAUDE, 1999)



Figure N°01: Localisation de la zone d'étude (Caïd, Chachoua et Berrichi 2019).

1.1.2. Découpages administratifs de la wilaya de Mascara

Sur le plan administratif, la wilaya de Mascara a été créée lors du premier découpage administratif du pays, conformément à l'ordonnance n°63-466 du 02 décembre 1963. À cette époque, elle était constituée de six (06) daïras—Mascara, Sidi

Ali, Relizane, Oued Rhiau, Mascara et Tighennif — et regroupait cinquante-cinq (55) communes.

Le deuxième découpage, intervenu en 1974 à la suite de l'ordonnance n°74-69 du 02 juillet 1974, a modifié la configuration initiale de la wilaya. Celle-ci comptait alors quatre (04) daïras — Mascara, Sidi Ali, Relizane et Oued Rhiau — et vingt-sept (27) communes (décret n°74-150 du 12 juillet 1974).

La structure actuelle de la wilaya résulte du troisième et dernier découpage administratif, réalisé en 1984 par la loi n°84-09 du 04 février 1984 et ses textes d'application. Depuis, la wilaya est composée de dix (10) daïras et de trente-deux (32) communes. (REJSEK .F, 2002).

Tableau N°01 : Découpages administratifs de la région Mascara.

Daïras	Communes
Mascara	Mascara–Bouhanifia–Guerdjoum– Ferraguig
Sig	Sig– Oggaz – BouHenni– Aouf
Gris	Gris – Froha–Nesmoth– Sehalia
Tighennif	Tighennif– Zahana–El Hachem– MoctaDouz
Tizi	Tizi–AinFares– Khalouia
Bouhanifia	Bouhanifia–Benian–Hacine
Aouf	Aouf– Ain Fekan – Tizi – Khalouia
Mesra	Mesra–Mansourah–Touahria–AinSidiCherif
El Ghomri	ElGhomri– AinFerah –MoctaDouz
Hachem	Hachem–SidiKada–Ain Fares
Oggaz	Oggaz–Sig–Bou Henni
Zahana	Zahana–Tighennif–Ferraguig
El Bordj	ElBordj– MoctaDouz –Guerdjoum
AinFekan	AinFekan–Tizi– Khalouia
Tighennif(agrandi)	Tighennif–Nesmoth–Sehalia–Froha
Maoussa	Maoussa–Mamounia–Bou Henni

Sidi Kada	SidiKada–ElHachem–Ain Fares
-----------	-----------------------------



FigureN°02:carte de localisation de wilaya de Mascara

1.2. Géologie

Lazoned'étudesesituesurleplateaude Mascara,quiconstituelabasedes formations superficielles. Ony distingue plusieurs types desubstrats géologiques:

Les formations calabriennes : ce sont des roches sédimentaires détritiques, composées à plus de 85 % de grains de quartz liés par une matrice caractéristique du grès. Elles représentent la principale composante lithologique de la région de Mascara.

Lacarapacecalcaire:ils'agitd'unerochesédimentairedétritiqueforméedegrains decarbonatesoudesulfates decalcium, constituant unemassecompacteetdurcie.Cette formation, souvent appelée dalle calcaire, est généralement zonée, de couleur blanchâtre, et affleure dans certaines zones montagneuses.

Les sables : matériaux meubles essentiellement constitués de grains de quartz, semblables à ceux présents sur les plages et les dunes. Leur accumulation résulte du transportparlesvagues,quidéposentd'importantesquantitésdesablelelongdulittoral (Razali& Abderrahmane, 2020).

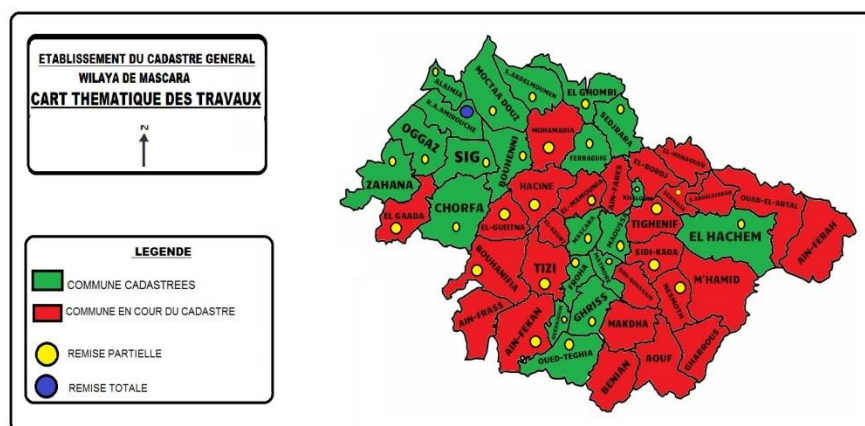
Les informations relatives à la lithosphère et aux roches mères proviennent des travauxduBureaudeRecherchesGéologiquesetMinières(BRGM,1959).Ces

données, établies à des échelles de 1/250 000 et 1/50 000 (lorsque disponible), ont été simplifiées en regroupant les principaux substrats. Cette simplification a tenu compte de quatre paramètres déterminants pour la végétation : la perméabilité des roches, la teneur en calcaire (distinguant acidité et alcalinité), la richesse en silice et en minéraux ferromagnésiens (caractéristiques des roches plutoniques), ainsi que la nature meuble ou consolidée des formations (**Kada&BaghdadiBenattia, 2023**).

Selon les travaux d'Ouabel (2012), les sables et les alluvions couvrent respectivement 47,37 % et 45,39 % de la surface totale du plateau. Ces alluvions, constituées de dépôts sédimentaires, proviennent de l'est du plateau et s'accumulent principalement dans les plaines occidentales, notamment dans la région de Mazagran. (**ABOURA .R, 2006**).

Tableau N°02: Surface et pourcentages des classes lithologiques dans le plateau de Mascara (Ouabel, 2012).

Classedessubstrats géologiques	Superficie(ha)	Pourcentage(%)
Alluvions	41986.85	37.98
Sables	43824.88	39.64
Sablesetlimons	290.58	0.26
Argilescalcaires	249.07	0.23
Marnesbleues	1123.79	1.02
Marnessombresetcalcaires	1224.58	1.11
Grésconglomératsetargile rouges	287.62	0.26
Gréset sables	750.18	0.68
Grésetlimonscontinentaux à Hélix	182.35	30.16
Grésmarins	1089.69	0.99
Calcairesàlithothamniées	474.42	0.43
TripolisEtArgilesà tripolis	151.22	0.14
GypsesEtArgiles gypseuses	298.00	0.27
Gypseset argiles	392.88	40.36
Calabrien	18235.66	16.49
Totaux	110561.78	100.00



FigureN°03:cartedelocalisationdewilayade Mascara

1.2.1. Relief

Le relief de la wilaya de Mascara se caractérise par la présence de quatre grandes unités morphologiques. La première est constituée par les basses plaines occidentales, quis'étendent sur une superficie d'environ 680 km² et se situent à une altitude comprise entre 0 et 100 mètres (Lahouel, 2014), La deuxième unité correspond au plateau de Mascara, d'une superficie de 560 km², dont l'altitude varie entre 100 et 350 mètres. Vient ensuite la zone montagneuse, couvrant 510 km², qui atteint son point culminant au mont Dahra avec 563 mètres d'altitude, tandis que son point le plus bas se situe à 14 mètres seulement au-dessus du niveau de la mer. Enfin, les plaines orientales occupent une superficie de 350 km² et présentent une altitude fluctuante entre 0 et 400 mètres (ANDI, 2013).

Dans l'ensemble, les pentes demeurent relativement faibles. L'analyse thématique du plan de pente révèle en effet que 66 % de la superficie totale appartient à une classe de pente comprise entre 0 et 3% (Megherbi, 2015). Ces données, exprimées en hectares et en pourcentages, sont récapitulées dans le tableau n° 3.

Tableau°03: La répartition de la superficie par classes des pentes (Megherbi, 2015).

Classes des pentes	0-3%	3-12%	12.5-25%	>25%	Totale
Ha	50.100	24.100	0	900	75.000
%	66	32	0	20	100

1.2.2. LeSol

Le sol constitue un facteur essentiel dans le développement des peuplements forestiers, dont la croissance dépend en grande partie de la nature, de la profondeur ainsi que des propriétés physico-chimiques du substrat. Élément fondamental de l'environnement, il résulte de l'action combinée du climat, des organismes vivants et de la végétation sur la roche mère. En agriculture comme en foresterie, il représente donc une ressource déterminante pour la production (**Belarbi, 2017**).

Selon la structure pédologique, trois grandes catégories de sols se distinguent dans la région :

Lessols alluvionnaires, localisés sur la bordure occidentale du plateau de Mascara.

Lessols dunaires, particulièrement présents dans la forêt littorale, où ils occupent près de 50 % de la superficie.

Lessols calcaires, largement répandus sur l'ensemble du territoire de la wilaya.

Ainsi, le sol apparaît comme le support fondamental du milieu, résultat direct de l'interaction entre le climat et les organismes vivants – animaux comme végétaux – sur le substratum rocheux. (**HARTANI, T, 2004**).

1.3. La topographie

Le plateau de Mascara s'étend entre les longitudes 0°6 Ouest et 0°26 Est, et les latitudes 35°40 et 36°01 Nord. Il repose sur un relief faiblement ondulé qui domine la plaine de l'Habra et le golfed'Arzew. Au sud-est, il est délimité par un alignement de reliefs boisés, correspondant aux forêts d'Ennaro et de l'Akboub, qui le sépare de la plaine de Relizane.

Dans sa partie centrale, le plateau présente un relief d'aspect tabulaire. Toutefois, certaines zones sont affectées par des ondulations marquées, orientées nord-est/sud-est, qui dessinent des cuvettes parfois marécageuses. L'altitude varie de 200 à 250 mètres dans le nord, de 150 à 200 mètres dans l'ouest, et de 300 à 350 mètres dans l'est, à proximité de la forêt domaniale d'Ennaro. (**GOLDBERGD. BORNATB et BAR-YOUSEF, 1971**).

L'analyse de la carte des pentes issue du Modèle Numérique de Terrain (MNT) met en évidence une prédominance des pentes comprises entre 3 % et 12 % sur l'ensemble du plateau, tandis que des valeurs plus fortes, de 12% à 25%, apparaissent sur les flancs septentrionaux qui surplombent la vallée du bas Chéelif. Par ailleurs, l'étude de la carte d'exposition révèle une orientation générale vers le nord.

Enfin, le cordon littoral constitue une zone homogène correspondant à la frange côtière de la wilaya. Il est formé de sables meubles, à l'origine des plages actuelles, ainsi que de formations dunaires, tantôt mobiles tantôt consolidées, qui jalonnent l'ensemble du littoral (**Razali & Abderrahmane, 2020**).

1.4. Le climat

Les conditions climatiques constituent un facteur déterminant dans le développement de la végétation et conditionnent, en amont, le fonctionnement écologique des milieux naturels. Le climat influence directement la répartition spatiale des espèces végétales.

En règle générale, les températures maximales moyennes enregistrées pendant la saison estivale avoisinent 30 °C, valeur mesurée à une hauteur standard de 1,50 m au niveau de l'abri météorologique. Cependant, l'échauffement est nettement plus marqué au contact direct du sol. Ainsi, sur les dunes mobiles, la température relevée à un centimètre de la surface sableuse peut dépasser les 50°C lors des heures les plus chaudes des journées d'été, entraînant une dessiccation rapide et importante des couches superficielles. (PAPADOPOULOS I. STYLIANOY, 1991).

1.4.1. La température du sol

La température du sol constitue l'un des principaux facteurs physiques influençant directement les besoins énergétiques des microorganismes, nécessaires à leur croissance, et indirectement la vitesse des transformations chimiques (Calvet, 2013). L'optimum thermique de la majorité des microorganismes du sol se situe autour de 25 °C (Kilian et Ferrer, 1943). Ainsi, lorsque la température matinale est inférieure à cette valeur, l'intensité respiratoire augmente progressivement avec l'élévation de la température, favorisant alors l'activité microbienne. En revanche, dès que la température dépasse ce seuil optimal, l'intensité respiratoire tend à diminuer (Kilian et Ferrer, 1943).

Tableau N°04: Température moyenne mensuelle de Mascara de (1988 à 1997) (Meghrebi, 2015).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Ju	Ao	Moyenne
M°C	28.5	24.3	20.5	17.3	16	16.66	18.6	20.2	20.1	27.4	31.4	23.3	23.1
M°C	17.5	14.2	10.4	7.3	5.7	6.3	8	9	12.5	16.1	19.1	20.3	12.2
M+m/2	13	19.3	15.5	12.3	10.9	11.5	13.3	14.6	18.3	21.8	25.3	26.3	17.65

1.4.2. Les précipitations

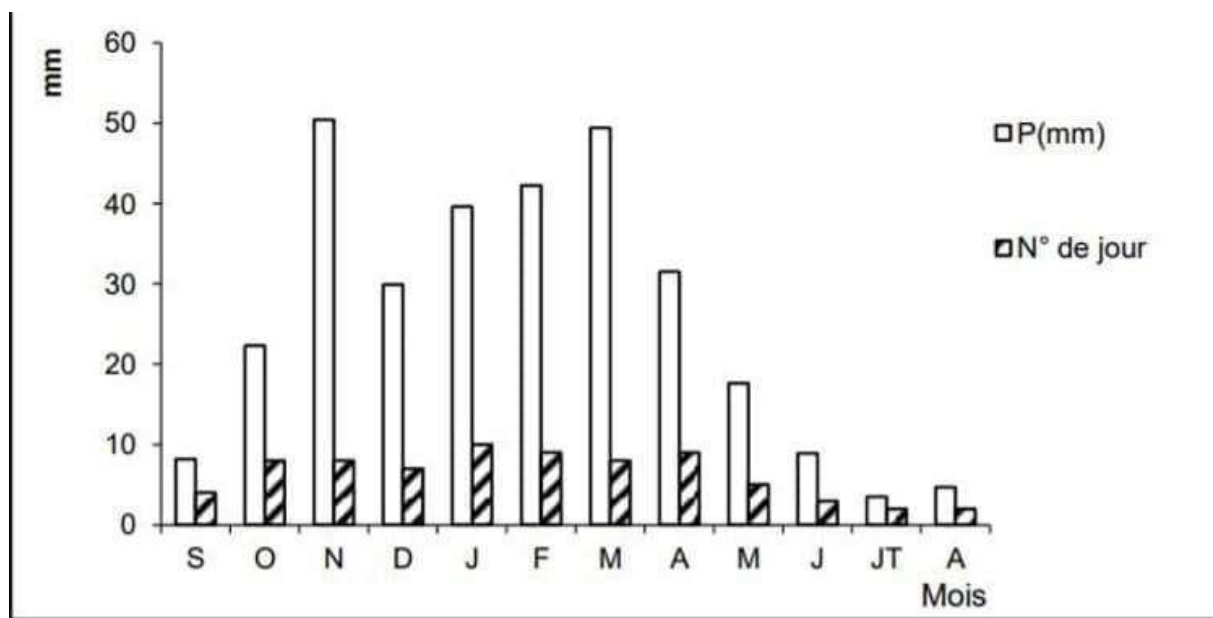
Les précipitations constituent la principale source d'eau pour la végétation naturelle des milieux terrestres et représentent l'un des facteurs essentiels définissant la sécheresse du climat (Houérou et al. 1977). Elles jouent un rôle déterminant dans les conditions de vie et la répartition de la végétation (Aimé, 1991). Djebaili (1978) souligne que la pluviosité influence directement le type de climat, en contribuant à la fois à la préservation du couvert végétal et à la dégradation du milieu naturel par l'érosion.

L'étude des données pluviométriques relevées au niveau des stations littorales de Mascara met en évidence deux grandes périodes : une saison pluvieuse qui s'étend de septembre à mai, et une saison sèche de trois mois correspondant à juin, juillet et août.

(Lahouel, 2014). Selon Daget (1977), l'été méditerranéen se caractérise par des températures élevées et une pluviométrie très faible. Cette aridité est partiellement atténuée par l'influence rafraîchissante de la brise marine. Quézel (2000) insiste enfin sur l'importance écologique des précipitations, qu'il convient de considérer en complément des apports secondaires tels que les rosées. (Manuel d'utilisation ,2003).

**TableauN°05:PrécipitationsmoyennesmensuelledeMascara(1987-88) à(1996-97)
(Meghrebs,2015).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Ju	Ao	Année
P(mm)	8.2	22.3	50.4	29.9	39.6	42.2	49.4	31.5	17.6	8.9	3.5	4.7	313.2
Jours	4	8	8	7	10	9	8	9	5	3	2	2	75



FigureN°04:Précipitationmoyennemensuelleà Mascara(1987à1997)(Megherbi,W. (2015).

1.4.3. L'humidité du sol

L'humidité du sol constitue un paramètre atmosphérique essentiel. Elle contribue à maintenir la capacité de l'air à évaporer l'eau en période de fortes chaleurs, jouant ainsi un rôle régulateur face au déficit hydrique.

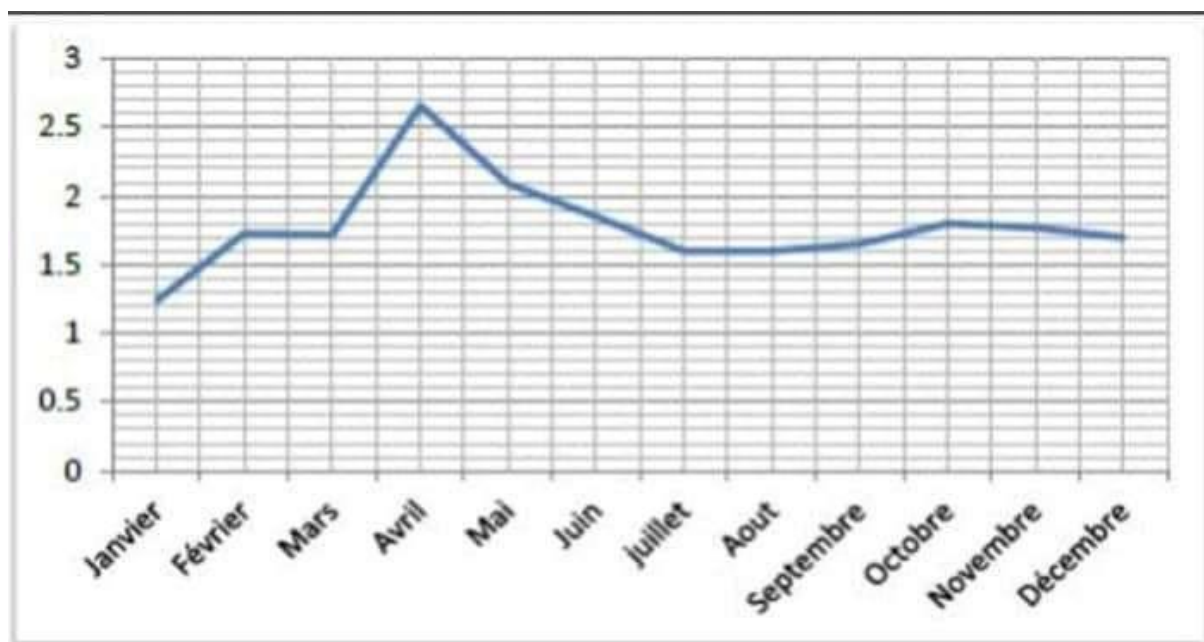
1.4.4. Vents

Durantlasaisonsèche,ainsiquelorsdestempêtesprécédantlapériodepluvieuse, les vents jouent un rôle souvent défavorable dans le cadre du climat méditerranéen, surtoutlorsquelessolssontdénudés.Leuractionsemanifesteparticulièrementdansles zones arides et semi-arides (Thiombiano, 2000). Les effets du vent s'exercent à plusieursniveaux:d'unepartsurleplanmécannique,enprovoquantlachuteou

l'arrachement des feuilles et des fleurs, et d'autre part sur le plan physiologique, en accentuant l'évapotranspiration (Balleux et Van Leberghe, 2001). Cette dynamique entraîne une baisse de l'humidité du sol, une diminution de la couverture végétale et, par conséquent, une augmentation des risques d'érosion hydrique.

TableauN°06: Variations de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent (2000- 2015) (Razali et Abderrahmane, 2020).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Vitesse (m/s)	1.24	1.73	1.72	2.66	2.09	1.85	1.6	1.6	1.65	1.8	1.77	1.7	1.73



FigureN°05: Courbe de la vitesse moyenne mensuelle du vent (Omrane et Zemmane, 2018).

1.4.5. Le Brouillard

Le brouillard est un phénomène présent tout au long de l'année, mais il reste peu fréquent, avec une moyenne de 1 à 3 jours par mois, soit environ 20 jours par an. Son intensité demeure généralement faible, et son occurrence atteint un maximum durant la saison des pluies, notamment en octobre où l'on enregistre le plus grand nombre de jours de brouillard (Aïssa Abdi et al., 2021 ; Bounihi, 2017). Ce phénomène contribue globalement à l'augmentation de l'humidité atmosphérique.

TableauN°07 : Nombre de jours de brouillard (1997) (Meghrebi, 2015).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Brouillard	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	21

1.4.6. Lateneureneau

La teneur en eau correspond au volume maximal d'eau qu'un sol est capable de retenir, et dépend directement des aporosités ainsi que de la perméabilité (Calvet, 2003). L'eau y joue un rôle déterminant. Dans le cas des sols dunaires, leur forte capacité de filtration leur confère la particularité de retenir l'eau en profondeur.

1.4.7. Gelée

Les épisodes de gelées sont enregistrés entre décembre et mars, période correspondant à la saison hivernale. Leur fréquence atteint un maximum en janvier avec environ quatre jours de gel (Aïssa Abdi et al. 2021). Ce phénomène constitue une contrainte majeure pour certaines cultures, en particulier les productions maraîchères. Toutefois, sur le littoral, où les températures hivernales restent relativement douces (en moyenne 8°C) et les altitudes n'excédant pas 600m, l'impact des gelées demeure limité.

Tableau N°08 : Nombre de jours de gelée à Mascara (1997) (Meghreb, 2015).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Jours	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10

1.4.8. L'insolation

Dans la région étudiée, le niveau d'ensoleillement varie en fonction de la couverture nuageuse, atteignant son maximum en été et son minimum en hiver (fig.05). Le mois de juillet enregistre la durée d'insolation la plus élevée, avec 322,15 heures cumulées, soit une moyenne quotidienne de 10,39 heures. À l'inverse, le mois de décembre présente la valeur la plus faible, avec seulement 175 heures d'ensoleillement, correspondant à une moyenne de 5,64 heures par jour (Douis, 2017).

Tableau N°09 : Variations de l'insolation moyenne annuelle en heure (Omran et Zemame, 2018).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V, max de la lumière	0	0	208.2	24.3	303	301.1	310	320.6	239.4	224	153.1	201.9



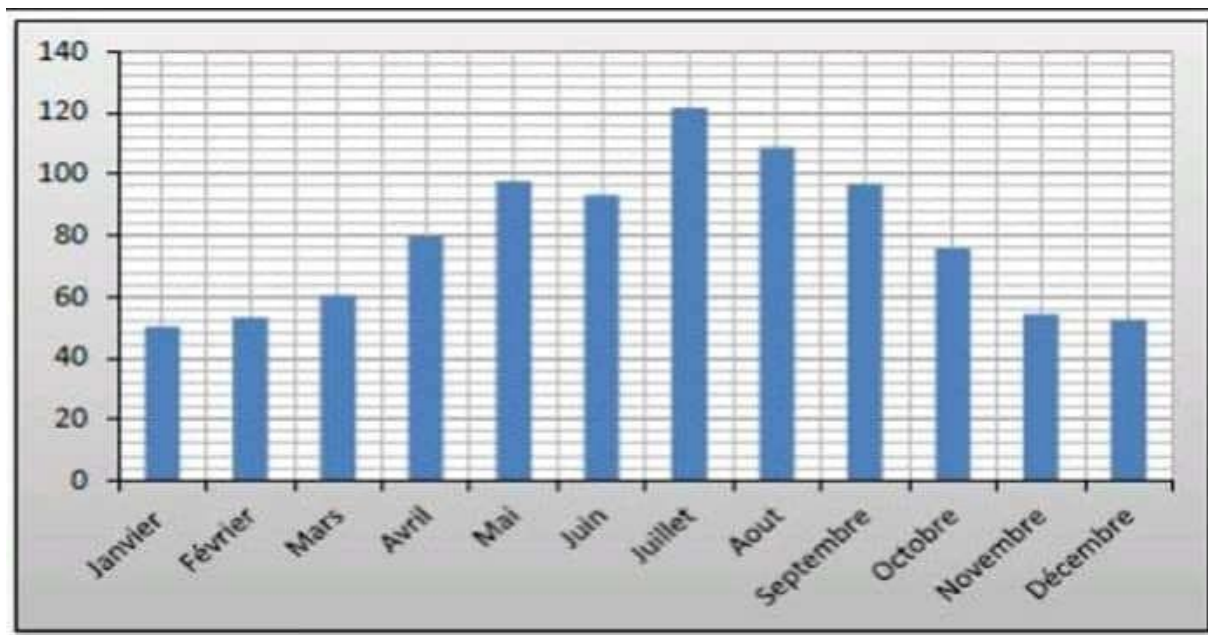
FigureN°06:Variationdel'insolationmoyenneannuelle(OmranetZemmame, 2018).

1.4.8. L'évaporation

L'évaporation constitue un phénomène physique étroitement dépendant de la température, de l'aridité et de la dynamique des masses d'air (OMM, 2005). Dans la région de Mascara, elle atteint son maximum durant le mois d'août avec une valeur de 165,39 mm, tandis que son minimum est observé en janvier avec 49,98 mm. Ce processus devient particulièrement marqué durant la saison estivale, en raison des températures élevées qui accentuent les pertes en eau.

TableauN°10: Lesdonnéesd'évaporation(2000-2015)(OmranetZemmame,2018).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ev(mm)	50.18	53.08	60.56	79.63	97.63	93.13	121.13	108.75	96.71	75.71	54.21	52.44



FigureN°06:Histogrammedel'évaporationmoyennemensuelle (OmranetZemmame, 2018).

1.4.9. Évapotranspiration potentielle (ETP), ETR et réserve utile (RU)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à la quantité d'eau susceptible d'être perdue sous forme de vapeur par un couvert végétal, en fonction des conditions climatiques locales. Selon Smahi (2001), qui a étudié le bilan hydrique de la wilaya de Mascara entre 1988 et 1997, l'ETP demeure faible durant les périodes fraîches et humides, mais atteint son maximum pendant les saisons chaudes et sèches. Entre le mois de mai et la fin octobre, un déficit hydrique considérable est observé. L'ETP annuelle est estimée à 876,3 mm, un chiffre préoccupant qui accentue les risques de dynamique érosive. (BROUWER, C. PRINS, K. KAY, M & HEIBLOEM, M. (1990).

L'évapotranspiration réelle (ETR), quant à elle, correspond en moyenne annuelle aux précipitations reçues. La réserve utile (RU), définie comme la quantité d'eau stockée dans le sol et directement utilisable par les plantes, représente environ la moitié de la capacité de rétention du sol en eau. Elle est estimée à 50 mm pour la région (Smahi, 2001).

1.4.10. Bilan hydrique de Mascara

L'analyse du bilan hydrique de la région, basée sur les paramètres thermo-pluviométriques présentés précédemment, met en évidence certaines divergences selon les études réalisées (Bllal, 1998 ; Ismail, 1998 ; Smahi, 2001 ; Tidjani, 2000).

Toutefois, plusieurs points clés se dégagent :

Deux saisons caractérisent l'année hydrique :

- Une première phase de recharge en eau, allant de novembre à mars, durant laquelle les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol.
- Une seconde phase déficitaire, d'avril à octobre, où l'évapotranspiration potentielle mensuelle excède largement les précipitations (719,9 mm contre 96,7 mm).

Cette situation rend l'irrigation indispensable dès avril-mai, et elle devient particulièrement cruciale durant les mois d'été (juin à septembre), période où la capacité de stockage en eau du sol est fortement réduite. (HATI, A & BAOUA, L.M, 2022).

Le ruissellement est limité et s'observe principalement de novembre à mars, avec un maximum de 11,5 mm en février.

Enfin, les résultats indiquent que :

- 90,3% des précipitations s'évaporent.
- 4,8% s'écoulent par ruissellement.
- Seulement 4,5% s'infiltrent.

Cette répartition limite fortement le renouvellement des nappes phréatiques, notamment celle du plateau de Mascara, et accentue le transport des matériaux sableux du sol. (AZIZI, K & DEROUICHE, H.E.R, 2022).

Tableau N°11: Les données hydrique à Mascara (1988 à 1997) (Meghrebi, 2015).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Tot
P (mm)	8.2	22.3	50.4	29.9	39.6	47.2	49.4	31.5	17.6	8.9	3.5	4.7	313.2
ETP	105.4	71.9	42.6	27.5	22.5	24.3	38.5	48.3	81.3	112.2	150	151.8	876.3
P-ETP	-97.2	-49.6	7.8	2.4	17.1	22.9	10.9	-16.8	-63.7	-103.3	-146.5	-147.1	-
RU	0	0	7.8	10.2	27.3	50	50	33.2	0	0	0	0	-
DRU	0	0	7.8	2.4	17.1	22.7	0	-16.8	-33.2	0	0	0	-
ETR	8.2	22.3	42.6	27.5	22.5	24.5	38.5	48.3	50.8	8.9	3.5	4.7	302.1
E=P-ETR	0	0	7.8	2.4	17.1	22.9	10.9	0	0	0	0	0	-
R=S/2	0	0	3.9	1.2	8.6	11.5	5.5	0	0	0	0	0	-

1.5. Lasalinité

La salinité d'un sol est définie par la composition ionique du sable. Elle résulte d'un processus de salinisation, c'est-à-dire de l'accumulation de sels minéraux solubles constitués d'un mélange de cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et d'anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-) (Calvet, 2003). Un sol est considéré comme salin lorsque sa conductivité électrique (CE) dépasse 4 dS/m (Hillel, 2005). Dans les sols dunaires, la salinité diminue progressivement de la plage vers l'arrière-dune. La concentration en chlorure de sodium y est plus importante, du fait de l'apport de sels marins par les embruns, amplifié par une forte évaporation estivale. En hiver, ces sels sont rapidement lessivés en raison de

la grande porosité du sol. Généralement, l'accumulation saline se situe entre 20 et 60 cm de profondeur dans la dune mobile. **(BEKKOUCHE.N & LEBBA. S, (2020).**

1.6. LepH

Le pH joue un rôle déterminant sur le sol ainsi que sur plusieurs aspects de l'activité microbienne **(Davet, 1996)**. L'acidité exerce un effet direct sur les microorganismesàtraverslaprésencedeprotonsetd'éléments telsquel'aluminium,le manganèse ou le calcium. Elle agit également de façon indirecte en influençant les propriétés physico-chimiques du sable, ce qui impacte la biodisponibilité des éléments nutritifs. **(AWDAH IBRAHIM.A, 2019)**.



Chapitre02

Généralitéssurlapomme de
Terre

1. Généralitéssurlapommedeterre :

1.1. Origineethistorique

La pomme de terre trouve son origine dans la région andine, notamment sur le littoral péruvien, où elle était déjà cultivée il y a environ 8 000 à 9 000 ans avant J.-C. Les Incas la connaissaient sous le nom de papa, appellation qui demeure encore en usage dans plusieurs pays d'Amérique latine. Les zones les plus riches en espèces se situent principalement au centre du Mexique, avec un habitat s'étendant de 0 à 4 000 mètres d'altitude, englobant à la fois des espaces arbustifs et des prairies (**Anonyme, 2000**).

La date exacte de son introduction en Europe reste incertaine. À l'époque, nul ne pouvait imaginer l'importance qu'allait revêtir cette culture. Toutefois, il est généralement admis que la pomme de terre a été introduite sur le continent européen à la fin du XVI^e siècle par deux voies distinctes : l'Espagne vers 1570 et les îles Britanniques entre 1588 et 1593 (**Rousselle et al, 1996**).

En Algérie, la pomme de terre aurait été introduite une première fois au XVI^e siècle par les Maures andalous, qui avaient également diffusé d'autres cultures comme la tomate, le poivron, le maïs et le tabac. Tombée ensuite dans l'oubli faute d'intérêt, elle ne sera véritablement relancée qu'au XIX^e siècle par les colons européens qui la cultivaient pour leur propre consommation. Les Algériens, longtemps réticents malgré les famines successives, ne l'adopteront massivement qu'à la suite de la grande disette des années 1930-1940 (**Meziane, 1991**).

1.2. Situation et importance économique

1.2.1. Dans le monde

Depuis les années 1990, la production mondiale de pomme de terre a connu une expansion considérable, notamment en Asie, en Afrique et en Amérique latine, passant de moins de 80 millions de tonnes en 1990 à plus de 340 millions de tonnes en 2011.

Cette année-là, la Chine occupait le premier rang mondial avec 883 502 220 tonnes, suivie par l'Inde (423 394 000 tonnes) et les États-Unis (193 615 000 tonnes) (**FAO, 2013**). Les pays développés restent les principaux consommateurs, absorbant près de 80 % de la production mondiale (**Dubois et Duvauchelle, 2007**). On estime également que plus d'un milliard de personnes à travers le monde consomment quotidiennement la pomme de terre (**Mullins et al. 2006**).

Sur le plan économique, cette culture joue un rôle crucial en tant que source d'alimentation, d'emploi et de revenus, particulièrement dans les pays en développement où la production a plus que doublé au cours des quinze dernières années (**FAO, 2008**). Grâce à sa forte valeur énergétique et à la relative simplicité de sa culture, la pomme de terre est devenue un produit de rente essentiel, notamment dans l'agriculture urbaine qui assure emplois et sécurité alimentaire à près de 800 millions de personnes (**FAO, 2008**).

Ainsi, la pomme de terre mérite une attention particulière, car elle contribue de manière significative au développement des zones rurales et constitue un atout important dans la lutte contre la faim à l'échelle mondiale (**Bellahcen et al., 2009**).

1.2.2. En Algérie

En Algérie, la pomme de terre occupe la deuxième place parmi les cultures vivrières, juste après le blé (**Nouaniet Mekimene, 2008**). Parmi l'ensemble des espèces maraîchères, c'est indéniablement la culture qui a connu la croissance la plus marquée et la plus régulière depuis l'indépendance, s'imposant progressivement dans les systèmes agricoles du pays (**Chehat, 2008**).

À l'échelle du monde arabe, l'Algérie se positionne comme le deuxième producteur de pomme de terre après l'Égypte, et le quatrième en Afrique (**ONUAA, 2009**). Cette dynamique s'explique principalement par les politiques publiques mises en œuvre dans le cadre du Plan National de Développement Agricole (PNDA), qui ont favorisé l'expansion de cette culture (**Kessaci, 2006**).

Entre le début des années 2000 et 2008, la superficie consacrée à la pomme de terre oscillait entre 75 000 et 95 000 hectares, avec une production annuelle variant entre 1,5 et 2 millions de tonnes. À partir de 2009, une progression notable est enregistrée, atteignant un volume de 3,9 millions de tonnes en 2011 (**FAO, 2013**).

2.2. Caractéristiques de la pomme de terre

2.2.1. Classification botanique

La pomme de terre, connue sous le nom de *Solanum tuberosum* et décrite par Linné en 1753, appartient à la famille des Solanacées qui renferme des genres aussi variés que *Nicotiana* L., *Lycopersicon* Mill., *Capsicum* L., etc. (Tab. 01). *Solanum tuberosum* L. est une espèce tétraploïde ($2n=4x=48$), tout comme la plupart des espèces tubéreuses cultivées (**Swiontek, 2003**).

2.2.2. Taxonomie et origine

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) appartient à la famille des Solanacées, genre *Solanum* (**Quézelet Santa, 1963**). Ce genre comprend environ 1 000 espèces, dont plus de 200 sont tubéreuses (**Doré et al., 2006 ; Hawkes, 1990**).

On pensait autrefois que la pomme de terre était issue d'une plante sauvage unique, *S. tuberosum*. Dès 1929, les botanistes avaient montré que cette origine était plus complexe et que l'on retrouvait, parmi les ancêtres des espèces cultivées, différentes plantes sauvages (**Rousselle et al.**).

L'espèce cultivée dans nos régions, *Solanum tuberosum* L. subsp. *tuberosum*, comprend plusieurs centaines de variétés différenciant par la forme, la couleur, la texture ou encore par le contenu en amidon des tubercules.

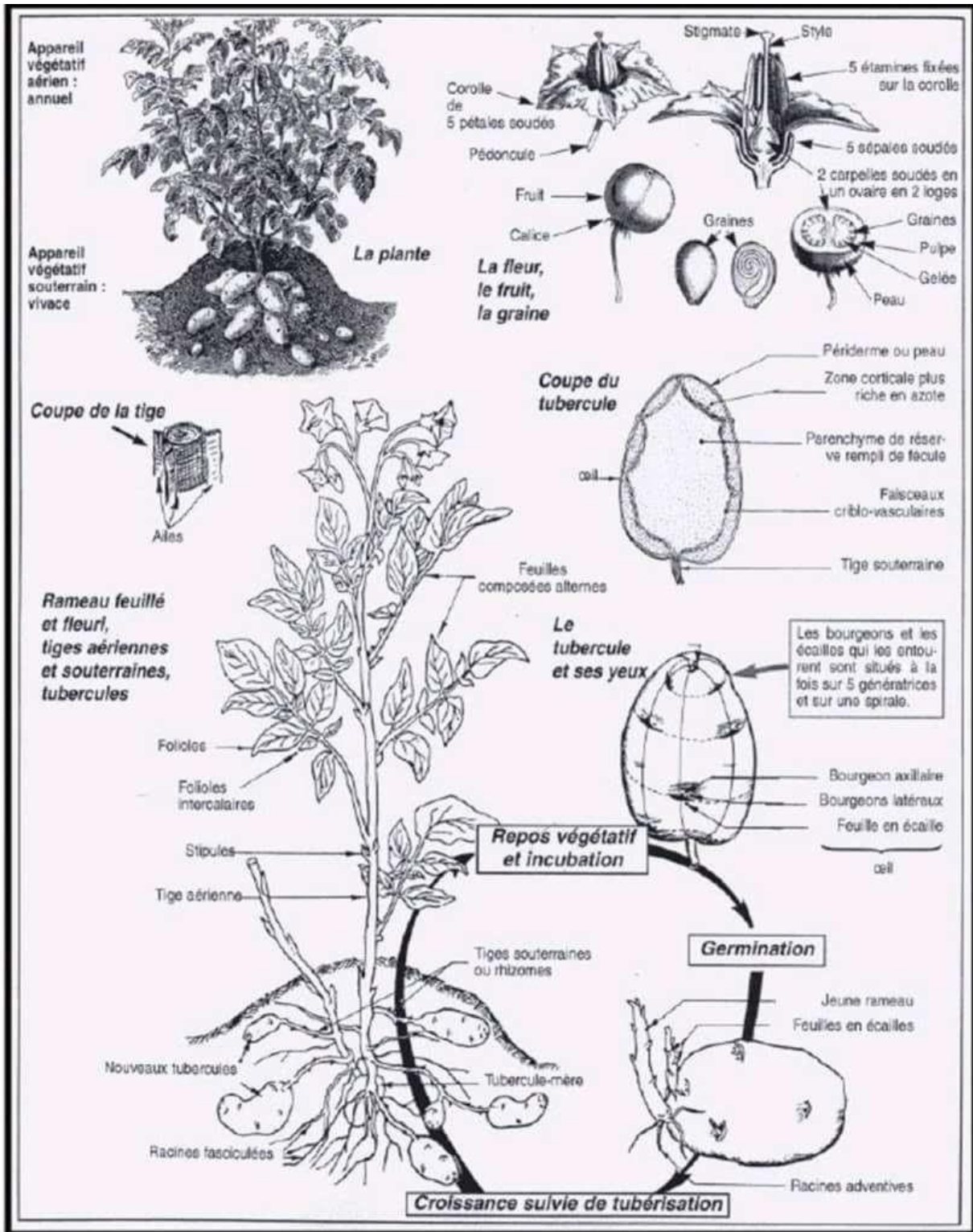


Figure N°7:Caractéristiques morphologiquesde la pommedeterreetcyclevégétatif.
(SOLTNER,2005)

3. Descriptionbotanique

Lapommedeterreestuneespèceherbacéevivaceparsest tubercules,mais cultivée en culture annuelle (Rousselle et al. 1996).

La plante comporte à la fois des tiges aériennes et des tiges souterraines (**Darpoux et Debelley, 1967**).

Environ un tiers des variétés présentent des mâles stériles. Les fruits sont des baies pouvant contenir jusqu'à 200 graines.

Les tubercules constituent à la fois l'organe de multiplication et l'organe de consommation.

L'ensemble des caractères morphologiques est très variable et représente une caractéristique variétale, plus ou moins influencée par le milieu (**Gallais et Bannerot, 1992**).

3.1. Description de l'appareil aérien

L'appareil aérien est constitué de plusieurs tiges principales, souvent ailées, la plante adoptant avec l'âge un port plus ou moins étalé, ce qui constitue une caractéristique variétale.

Les feuilles sont alternes, composées imparipennées et comportent de 7 à 15 grandes folioles latérales primaires, flanquées de folioles secondaires, de folioles intercalaires et de foliolules se distinguant par leur mode d'insertion sur le rachis (**Rousselle et al., 1996**).

Les fleurs sont souvent stériles, ce qui rend la production de fruits (baies sphériques) généralement rare.

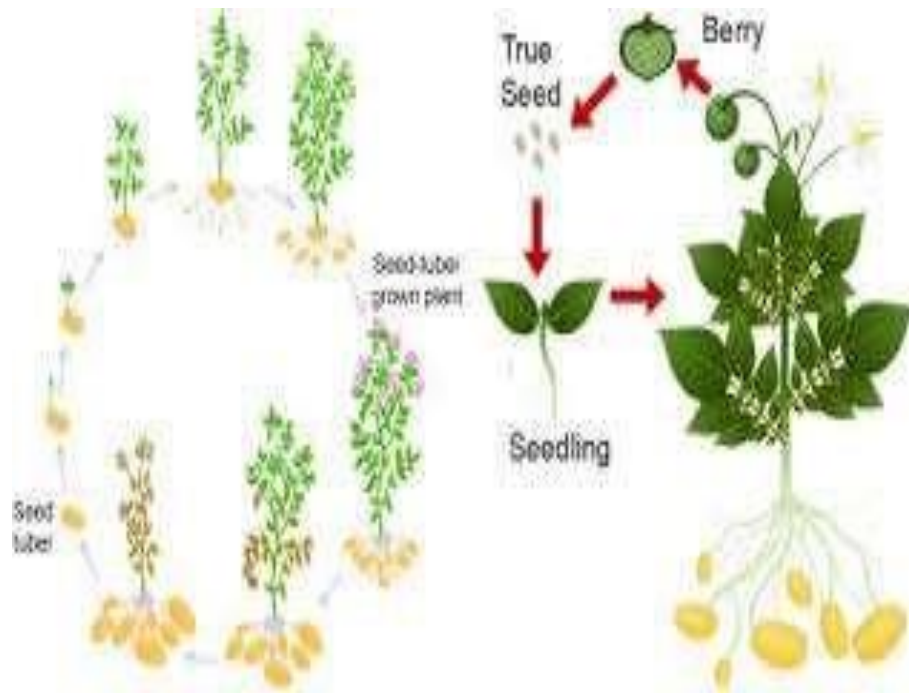
3.2. Description de l'appareil souterrain

L'appareil souterrain comprend :

- Le tubercule mère desséché,
- Les stolons (tiges souterraines diagéotropes) portant éventuellement des tubercules fils dans leur région subapicale, ainsi que des racines adventives (**Rousselle et al., 1996**).

Il représente la partie la plus importante de la plante puisqu'on y trouve les tubercules, qui confèrent à la pomme de terre sa valeur alimentaire.

Cultivé pour la consommation, la transformation ou comme semence, le tubercule représente environ 75 à 85 % de la matière sèche totale de la plante (**Rousselle et al., 1996**).



FigureN°08:CycledeproductiondeSolanumtuberosumL.ssp. Tuberosum.
(DELAPLACE,2007).

4. Cycledereproductionetphysiologie

4.1. Cyclesexué

Le fruit de la pomme de terre est une baie sphérique ou ovoïde, mesurant de 1 à 3 cm de diamètre. Il contient généralement plusieurs dizaines de graines (Bernhards, 1998), et peut parfois en renfermer jusqu'à 200 (Rousselle et al., 1992).

En pratique agricole, la pomme de terre est rarement multipliée par graines. Toutefois, celles-ci constituent l'outil fondamental de création variétale (Soltner, 2005a).

Lagermination est de type épigée : les cotylédons sont portés au-dessus du sol par l'allongement de l'hypocotyle. Dans des conditions favorables, lorsque la plante atteint seulement quelques centimètres de hauteur, les stolons commencent à se développer, d'abord au niveau des cotylédons, puis aux aisselles situées au-dessus. Ils s'enfoncent ensuite dans le sol et donnent naissance aux tubercules (Bernhards, 1998).

4.2. Cycle végétatif

Le tubercule n'est pas seulement un organe de réserve, mais aussi un organe de multiplication végétative. Ce cycle comprend quatre étapes principales :

- **La dormance:** Période de repos végétatif pendant laquelle le tubercule ne germe pas, même dans des conditions favorables.
- **Lagermination:** Apparition des germes à partir des yeux du tubercule.
- **Lacroissance:** Développement de la plante aérienne et souterraine.

- **La tubérisation:** Formation et grossissement des tubercules qui serviront soit à la consommation, soit comme semence.

5. Exigences de la plante

5.1. Exigences climatiques

La pomme de terre est cultivée avec succès jusqu'à une altitude de 1000 m. Son aire d'adaptation s'étend des régions subtropicales aux zones plus froides, avec une meilleure résistance sous des climats tempérés, humides et brumeux (**Laumonnier, 1979**).

5.2. Température

La température est un facteur décisif pour la croissance et la tubérisation:

- **Températures basses :** elles ralentissent la croissance des plantes tout en favorisant l'induction de la tubérisation.
- **Températures élevées:** elles stimulent la croissance végétative mais retardent ou perturbent la tubérisation.

Les seuils critiques sont les suivants:

- **Zéro de végétation:** entre 5°C et 7°C.
- **Température optimale de tubérisation:** environ 18°C.
- **Températures élevées (~29°C):** perturbent la tubérisation et favorisent la repousse.
- **Risque de gel :** en dessous de -2°C, les tubercules peuvent être détruits. (**MAAROUF.A et LAYAIDA.I & CHEKARA BOUZIANI.M, 2021**).

5.2.1. Lumière

La lumière agit à deux niveaux:

- **Effet photopériodique :** les jours courts favorisent la tubérisation, tandis que les jours longs stimulent la croissance végétative.
- **Effet de l'intensité lumineuse :** elle conditionne l'activité photosynthétique.

La plupart des cultivars utilisés dans les régions tempérées ont une photopériode critique comprise entre 13 et 16 heures (**Rousselle et al., 1996**).

5.2.2. Alimentation en eau

Les besoins hydriques de la pomme de terre varient au cours du cycle:

- Faibles au début de la végétation,
- Très élevés lors de la croissance foliaire et de la tubérisation, moment où l'eau conditionne fortement le rendement.

- Un stress hydrique au stade de l'initiation des tubercules peut réduire le nombre de stolons et, par conséquent, la quantité de tubercules produits (**Rousselle et al. 1996**).
- L'irrigation joue donc un rôle essentiel, car la plante évapore beaucoup et consomme de grandes quantités d'eau. Dans les meilleures conditions, elle utilise environ 300 g d'eau pour produire 1 g de matière sèche (**Soltner, 1990**).

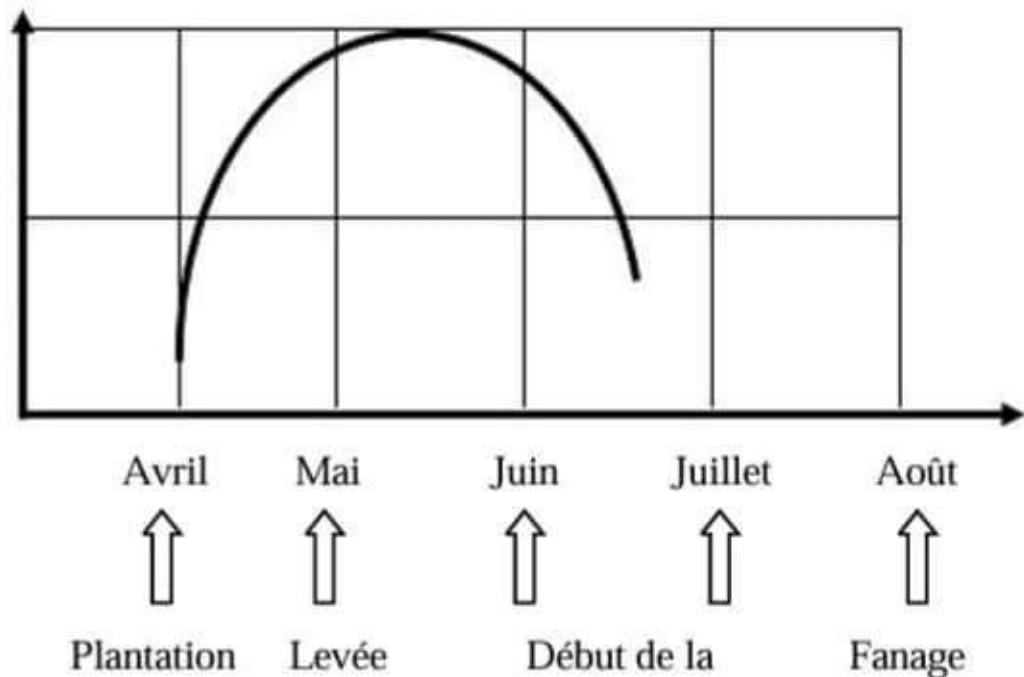


Figure N° 09 : Courbe de besoin en eau d'une culture de PDT. (**ROUSSELLE et al., 1996**).

5.2.3. Exigences édaphiques

Lapomme de terre se développe mieux dans les sols siliceux ou silico-argileux, de texture légère, assez fraîche et profonde. Elle s'adapte relativement bien aux terres acides, avec un pH compris entre 5,5 et 6.

En revanche, certains types de sols sont défavorables :

- Les sols très argileux, froids et humides au printemps et en automne
- Secs et compacts en été.
- Ainsi que les sols tropicaux.

Ces conditions limitent la croissance et le rendement de la culture (**Gauthier, 1991**).

5.3. Exigences en éléments fertilisants

Lapomme de terre figure parmi les plantes les plus exigeantes en éléments nutritifs, notamment en :

- **Azote(N)**: indispensable pour assurer la croissance végétative et le développement foliaire,
- **Phosphore(P)**: essentiel pour le développement racinaire et la tubérisation,
- **Potassium (K)** : joue un rôle majeur dans la qualité des tubercules, leur teneur en amidon et leur conservation.

Une fertilisation équilibrée est donc un facteur déterminant pour optimiser à la fois le rendement et la qualité de la production. (BEN MOUSSA.O.K, 2013.)

6. Problèmes phytosanitaires

En Algérie, les rendements moyens de la culture de pomme de terre avoisinent les 200 q/ha, soit presque la moitié des rendements moyens obtenus au niveau mondial. Cette limitation est en grande partie liée aux problèmes phytosanitaires, qui regroupent à la fois :

- **Les stress biotiques**: maladies et ravageurs,
- **Les stress abiotiques**: maladies physiologiques et accidents climatiques (Aitouada et al., 2008).

6.1. Maladies

La pomme de terre est l'hôte d'un large éventail d'agents pathogènes. Selon Jellis et Boulton (1984) cités par Rousselle et al. (1996), près de 160 maladies sont recensées :

- 30% causées par des champignons,
- 20% par des virus,
- 10% par des bactéries.

Ces maladies peuvent provoquer des pertes à différents stades : pendant la végétation, lors de la récolte et même durant le stockage des tubercules (Kaur et Mukerdji, 2004).

6.2. Nématodes

Les nématodes sont également des ennemis redoutables de la culture de pomme de terre. Parmi les principales espèces signalées :

- **Nématodes à kystes**: *Globoderarostochiensis* et *Globoderapallida*,
- **Nématodes à galles**: *Meloidogyne chitwoodi*, *Meloidogyne incognita*, *Ditylenchus destructor* et *Pratylenchus* spp. (Coyne et al., 2010).

En Algérie, ce sont surtout les nématodes à galles qui représentent une menace sérieuse pour les cultures maraîchères (Sellami et al, 1999).

6.3. Ravageurs

Les parties aériennes et souterraines de la pomme de terre peuvent être attaquées par de nombreux insectes ravageurs (**Polese, 2006**). Plusieurs auteurs (**Lambion et al, 2006 ; Ait Ouada et al, 2008 ; Rieckmann, 1991**) ont identifié les principaux responsables :

- La teigne de la pomme de terre (*Phthorimaea operculella* Zeller), un microlépidoptère de la famille des Gelechiidae,
- Le doryphore (*Leptinotarsa decemlineata*), redoutable ravageur pouvant entraîner des pertes allant jusqu'à 70 %,
- Les pucerons : quatre espèces prioritaires d'un point de vue économique, à savoir *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aulacorthum solani* et *Aphis nasturtii*.

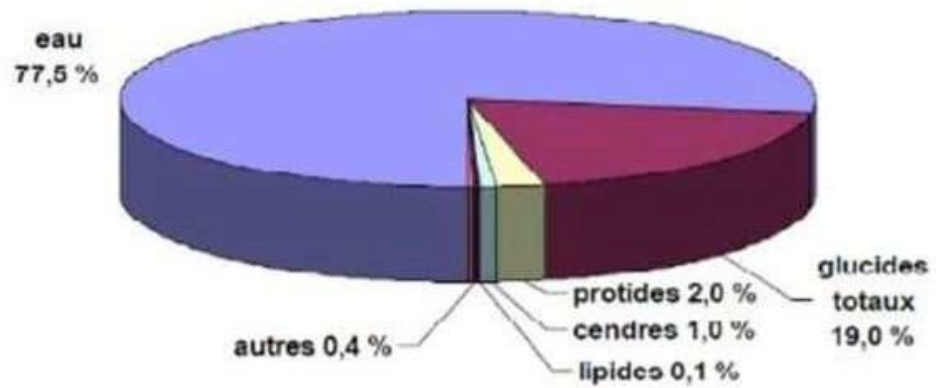
7. Composition biochimique du tubercule

Les caractéristiques morphologiques, chimiques et biochimiques du tubercule de pomme de terre varient principalement en fonction de la variété, mais dépendent également des techniques culturales, des conditions climatiques et de l'âge physiologique de la plante. Les pourcentages présentés correspondent à des valeurs moyennes, la composition biochimique étant influencée par les différents paramètres précités (Fig. 6).

Le tubercule de pomme de terre est un organe de stockage contenant, à maturité, une moyenne de 77,5 % d'eau. La matière sèche, exprimée en pourcentage de la matière fraîche, se répartit globalement comme suit :

- 19,4% de glucides totaux (principalement amidon, saccharose, glucose, fructose, cellulose brute et substances pectiques).
- 2,0% de protéides (protéines, acides aminés libres et bases azotées).
- 1,0% de cendres (majoritairement du potassium).
- 0,1% de lipides.

Par ailleurs, des acides organiques (acides citrique et ascorbique, entre autres), ainsi que des substances phénoliques (acides chlorogénique et caféique, pigments, etc.), complètent cette composition, bien qu'ils ne soient présents qu'en faible quantité dans le tubercule (**Rousselle et al. 1996 ; Mattila et Hellström, 2007**).

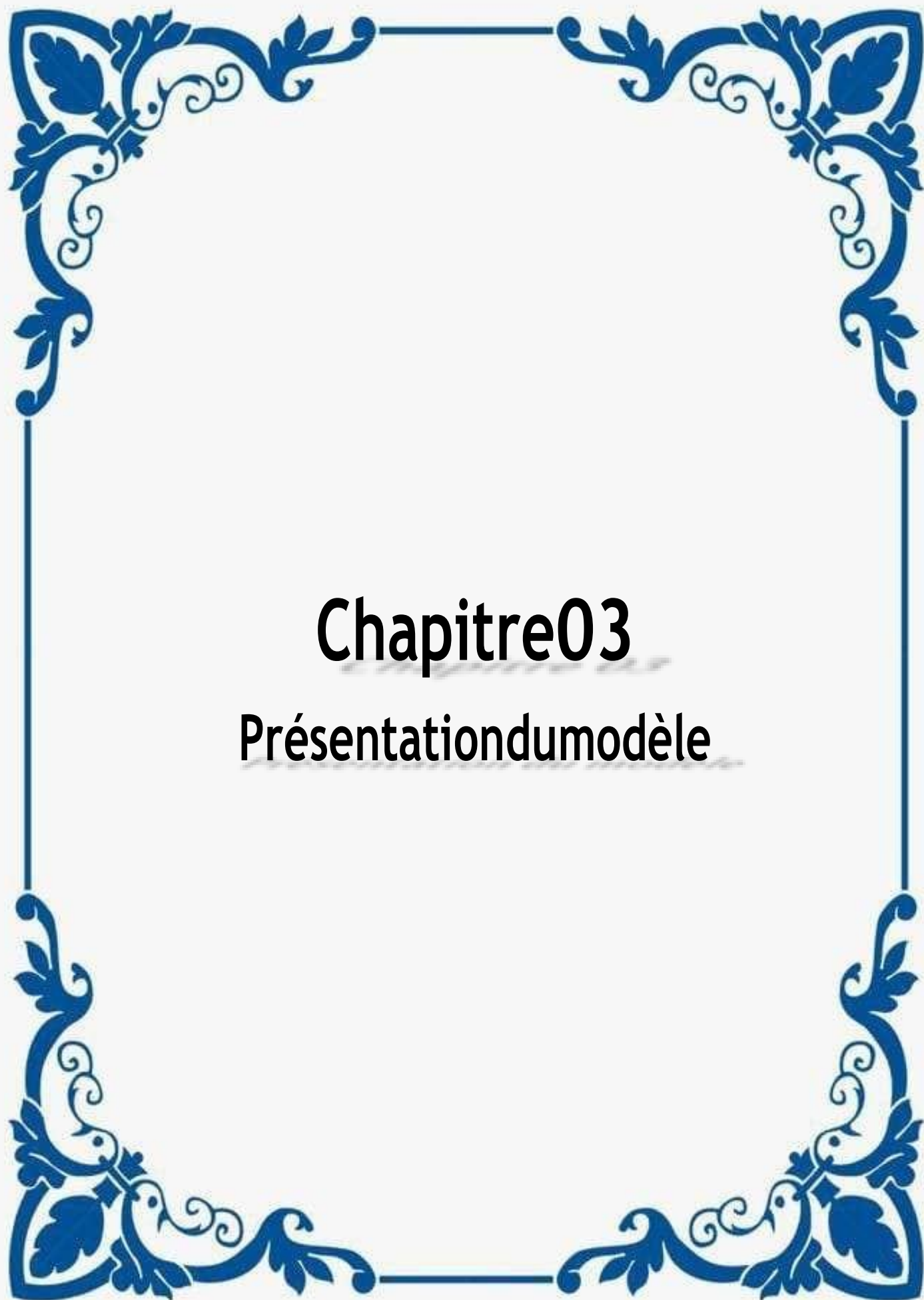


FigureN°10: Représentation graphique de la composition biochimique moyennée d'un tubercule de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la matière fraîche totale.



Deuxième partie

Matériel et méthodes



Chapitre03

Présentationdumodèle

1.1. Présentation dumodèle

CROPWAT8.0 est un logiciel développé par la FAO en 1992 basé sur la formule modifiée de Penman-Monteith. Il permet de calculer les besoins en eau des cultures et les quantités d'irrigation nécessaires à partir des bulletins FAO-24 et FAO-33. L'outil offre aussi la possibilité de concevoir des calendriers d'irrigation adaptés à différentes méthodes de culture et d'évaluer l'impact d'un déficit hydrique sur le rendement (**Boudjelal & Bommoun, 2006**).

CROPWAT 8.0 fonctionne sous Windows et utilise des données climatiques et agricoles récentes ou archivées pour déterminer les besoins hydriques. Il facilite également l'élaboration de programmes d'irrigation adaptés à divers contextes de gestion (**Henanou Kamir, 2018**).

1.2. Description du logiciel

L'interface du logiciel se compose de quatre éléments principaux :

- Une barre de menu principale.
- Une barre d'icônes placée juste en dessous.
- Une barre de raccourcis regroupant les options nécessaires pour estimer les besoins en eau et organiser l'irrigation.
- Une barre de résumé affichant les fichiers de données utilisés.

1.3. Rôle et avantages du logiciel

CROPWAT permet d'analyser des données climatiques et pluviométriques pour un large éventail de cultures, saisonnières ou annuelles, sans exiger de connaissances approfondies en physiologie végétale. Il s'adapte aux systèmes de production traditionnels comme modernes.

Il offre aussi une grande flexibilité grâce à l'importation et l'exportation de données vers des formats variés (Excel, Word, Notepad, PDF), ce qui facilite son utilisation dans la recherche et la gestion agricole. (**Lahouel, N. (2014)**).

1.4. Fonctionnement du modèle et données d'entrée

Le logiciel repose sur le bilan hydrique, exprimé par l'équation :

$$R_i = R_{i-1} + P_{eff} + I_{rr} - D - ET_m$$

Avec :

R_i : réserve en eau du sol au jour i (mm)

R_{i-1} : réserve en eau au jour précédent (mm) P_{eff} :

précipitation efficace (mm)

Irr:apportd'irrigation (mm)

D:drainage(souventnégligédanslemodèle)

ET_m : évapotranspiration maximale, équivalente au besoin en eau de la culture (CWR).

1.4.1. Structure du Programme

Le logiciel CROPWAT est organisé en huit modules, dont cinq pour la saisie des données et trois pour les calculs. Ces modules sont accessibles via le menu principal ou plus directement par la barre latérale, ce qui facilite l'intégration des informations climatiques, agricoles et pédologiques afin d'évaluer les besoins en eau, d'établir des calendriers d'irrigation et de gérer l'approvisionnement.

Modules d'entrée :

- Climat/ET_o : insertion des données climatiques ou ET_o mesurées pour le calcul de Penman-Monteith.
- Précipitations: enregistrement et calcul des précipitations efficaces.
- Culture: données relatives aux cultures et aux dates de plantation.
- Sol: caractéristiques du sol (essentielles pour le calendrier d'irrigation).
- Assolement: données nécessaires aux calculs d'approvisionnement du périmètre

Modules de calcul:

- Besoins en eau: estimation des besoins hydriques des cultures.
- Calendrier: élaboration des calendriers d'irrigation.
- Périmètre : calcul de l'approvisionnement en eau à l'échelle du périmètre selon l'assolement.

1.4.2. Modules et formules utilisés

Climat/ET_o

Ce module est accessible via l'icône Climat/ET_o dans la barre latérale de CROPWAT. L'utilisateur peut choisir différents formats de données (mensuel, décadaire ou journalier), soit pour l'ET_o Penman-Monteith, soit pour l'ET_o mesurée.

L'introduction des données requiert:

- Informations de la station météorologique (pays, nom, altitude, latitude et longitude).
- Données climatiques (température, et éventuellement humidité, vent et insolation).
- Le modèle applique la formule FAO Penman-Monteith, utilisée pour estimer le rayonnement et l'évapotranspiration. (LAYEB.L, 2018).

Formule de Penman-Monteith

L'évapotranspiration de référence (ETo) est calculée selon la formule Penman-Monteith:

$$ET = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Avec:

ETo : évapotranspiration de référence (mm/j)

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

G : flux de chaleur du sol (MJ/m²/j)

T : température moyenne journalière à 2m (°C) u_2 :

vitesse du vent à 2 m (m/s)

e_s : pression de vapeur à saturation (kPa) e_a :

pression réelle de vapeur (kPa)

$e_s - e_a$: déficit de saturation (kPa)

Δ : pente de la courbe de pression de vapeur (kPa/°C) γ :

constante psychrométrique (kPa/°C)

Module Précipitations

Ce module, accessible via l'icône Précipitations, permet l'enregistrement et l'analyse des données pluviométriques.

Les données peuvent être saisies selon trois formats:

- Mensuel
- Décadaire
- Journalier

Il sert principalement à introduire les valeurs de pluie observées. Le module intègre aussi des méthodes de calcul pour estimer les précipitations efficaces, indispensables à l'évaluation du bilan hydrique.

	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	9,6	9,5
February	31,8	30,2
March	22,4	21,6
April	0,2	0,2
May	1,2	1,2
June	6,0	5,9
July	3,4	3,4
August	2,8	2,8
September	3,8	3,8
October	13,6	13,3
November	43,2	40,2
December	3,2	3,2
Total	141,2	135,2

FigureN°11: calculdes pluiesefficaces.

CalculdesprécipitationsefficacesdansCROPWAT8.0

Le logiciel propose plusieurs méthodes, dont celle de l'USDA-SCS.

Cas1: précipitations < 250mm

$${}_{\text{eff}}P = \frac{P_{\text{tot}}(125 - 0.2P_{\text{tot}})}{125}$$

précipitation totale (mm)

Cas2: précipitations > 250mm

$${}_{\text{eff}}P = {}_{\text{tot}}0.1P + 125$$

Module Culture

Permet d'entrer les données relatives aux cultures (stades de développement, durée du cycle, etc.).

Les données sont saisies via un format standard mais peuvent être adaptées selon les besoins. (Fritsch. R.M. & Friesen. N, 2002)

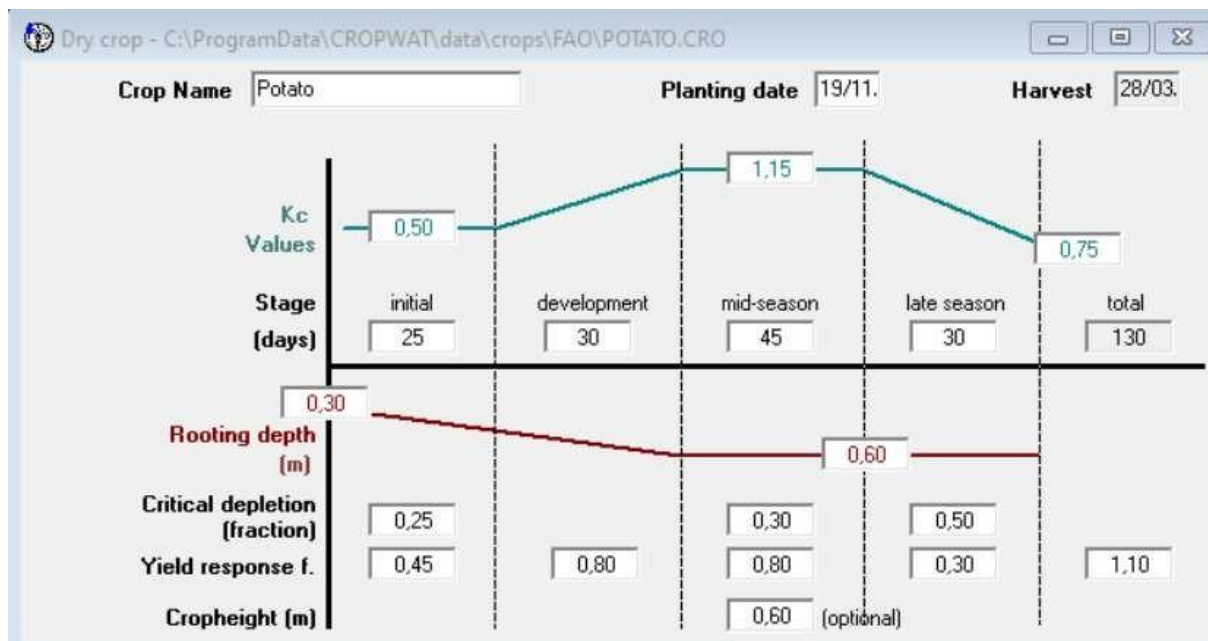


Figure N°12: Les données sur la culture de la pomme de terre.

Module Sol

Sert à enregistrer les caractéristiques pédologiques nécessaires aux calculs.

Principaux paramètres:

TAM: teneur en eau disponible totale (mm/m) Infiltration

max (mm/jour)

Profondeur maximale d'enracinement (cm) Épuisement

initial en eau du sol (%)

Ce module fournit également la teneur en eau initiale du sol.

General soil data		
Total available soil moisture (FC - WP)	180,0	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	30	mm/day
Maximum rooting depth	900	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	0	%
Initial available soil moisture	180,0	mm/meter

FigureN°13:les donnéesliéesau sol

ModuleBesoinseneaudescultures

- Calculelesbesoinsenirrigationàl'échelledécairepourtoutelasaison.
- Résultatsobtenus encomparantl'évapotranspiration et lesprécipitations efficaces.
- Lesrésultatspeuventêtr'affichéssousformedegraphiques.

ModuleCalendrier

Produitunbilanhydriquejournalierdusol.

Applicationsprincipales:

- Élaborationdecaldriersd'irrigationindicatifs
- Évaluationdesméthodesd'irrigationetdeleurrendementeneau
- Estimationdelaproductivitéenculturespluvialesetirrigationd'appoint
- Simulationdeprogrammesd'irrigationenconditionsdepénuriéed'eau

ModuleAsselement

Utilisépourorganiserlesdonnéesliéesàlaplanificationculturelle.

Principauxéléments:

- BasededonnéesintégréedelafaO(Bulletins33et 56)
- Datedeplantationinfluencéeparlesconditionslocales
- Possibilité de diviser les cultures en unités de 10 à 15 jours pour affiner les calculs
- Calcul automatique de la date de récolte selon la plantation et la durée ducycle
- Saisiedelasurface cultivée(%),aveccontrainte denejamaisdépasser 100 %dupérimètre

Module Périmètre

Effectue des calculs relatifs à l'ensemble de la zone irriguée. (**Sani. D. O. Irrigation de l'oignon**).

Résultats fournis :

- Besoins nets en irrigation par culture
- Irrigation globale du périmètre
- Surface irriguée (en %) par rapport à la surface totale
- Répartition de l'eau selon les différentes cultures

1.5. Les sorties du modèle

1.5.1. Table climatique

Cette table regroupe les données climatiques, la radiation solaire et l'évapotranspiration de référence (ET_o). Une seule valeur est calculée par mois.

1.5.2. Table des besoins en eau des cultures

Elle présente les informations liées aux cultures et aux précipitations. On y retrouve :

- L'évapotranspiration de référence (ET_o),
- La proportion de surface occupée par chaque culture,
- L'évolution du coefficient cultural (K_c) selon les dates. (**BENNACER.M & BOUDERBALA.A, 2016**).

1.5.3. Table du programme d'irrigation

Cette table concerne les paramètres du sol et de la plante :

- Réserve utile (RU) : quantité maximale d'eau disponible pour la plante.
- Réserve facilement utilisable (RFU) : part de l'eau réellement accessible.
- Pluviométrie.

ET_c : évapotranspiration réelle de la culture. Le rapport ET_c/ET_m indique le niveau de stress hydrique :

100% → conditions optimales,

<100% → stress hydrique croissant.

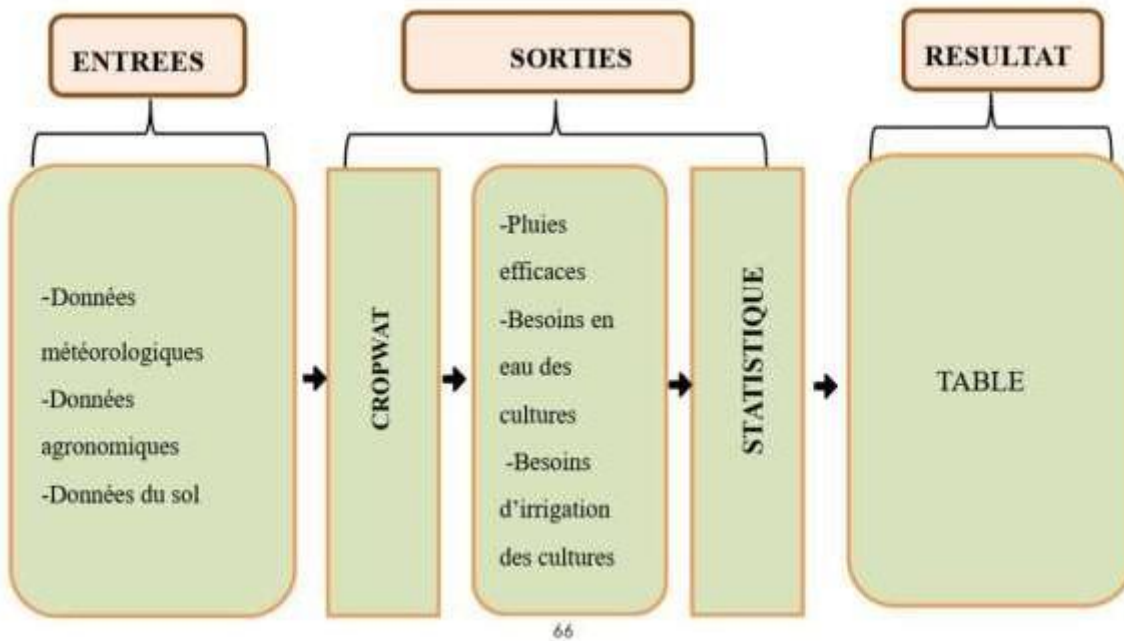
SMD : déficit en eau du sol (Soil Moisture Deficit).

1.6. Microsoft Excel

Excel est un tableur électronique développé par Microsoft, compatible avec Windows et Mac OS. Il permet de créer des documents professionnels tout en réalisant des calculs rapides et précis (**MAMMERI.K & LAIB.M, 2019**).

Avantagesprincipaux:

- Saisierapideetfiabledesdonnées,
- Recalculautomatiquedesrésultats,
- Possibilitédetesterdifférenteshypothèses,
- Adaptationflexibledelaprésentation,
- Créationdegraphiquesclairsetvariés(Merzougui,2019).



FigureN°14:OrganigrammeglobaledumodèleCROPWAT (Andriamparany,2018).



Troisième partie

Résultat et discussion



Chapitre04

Résultatsetdiscussions

Les besoins en eau de la culture (ETc), de la précipitation efficace (Peff) ainsi que des besoins en irrigation (ETi) sont exposés sur une base mensuelle et annuelle. Ensuite, ces résultats ont été comparés avec les mêmes paramètres établis sur une base annuelle pour la culture de la pomme de terre dans la wilaya de Mascara, à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 développé par la FAO, et ce sur la période 2010– 2024.

1. Précipitation efficace mensuelles

Tableau N°12: Précipitation efficace mensuelles dans la wilaya de Mascara (2010– 2024)

Colonne1	Colonne2
mois	P _{eff} (mm)
J	42,18
F	27,41
M	30,77
A	31
Ma	17,17
J	16,62
Ju	3,37
A	7,74
S	17,84
O	21,9
N	41,93
D	34,13
total	292,06

On remarque une répartition très saisonnière :

- Les valeurs maximales sont relevées en janvier (42,18 mm) et novembre (41,93 mm), suivies de décembre (34,13 mm). Cela confirme que la période hivernale représente la principale source d'apport en eau.
- Les valeurs minimales apparaissent en juillet (3,37 mm) et août (7,74 mm), traduisant un déficit hydrique marqué en été, période critique pour les cultures sans irrigation.
- Les mois de transition comme mars (30,77 mm), avril (31 mm) et octobre (21,9 mm) présentent des précipitations modérées, participant au soutien hydrique des sols avant et après la saison sèche.

Globalement, ce tableau illustre une forte irrégularité intra-annuelle des précipitations dans la wilaya de Mascara, avec une concentration marquée en automne-hiver et un assèchement net en été. Cette situation met en évidence la nécessité d'un recours à l'irrigation complémentaire pour couvrir les besoins hydriques des cultures, notamment la pomme de terre.

2. Calcul de l'ET pour la période 2010 - 2024

Tableau N°13: Evapotranspiration de référence (ET₀) mensuelle et annuelle (2010–2024)

Colonne1	Colonne2
Mois	ET ₀ (mm/jr)
Jan	1,2
Fev	1,61
Mar	2,44
avr	3,67
May	4,65
juin	5,21
Jul	6,11
Au	5,34
Sep	4,17
Oct	3,11
Nov	1,94
Déc	1,34
total	40,79

La valeur moyenne mensuelle de l'évapotranspiration de référence (ET_0) est de 3.39mm/jour.

La valeur maximale est enregistrée en juillet (6,11 mm/jour), traduisant une demande climatique très élevée en été, tandis que la valeur minimale est observée en janvier (1,2 mm/jour), correspondant à la saison la plus fraîche et humide.

À l'échelle annuelle, la moyenne la plus élevée est notée en 2024 (3,54mm/jour), et la plus faible en 2018 (3,31 mm/jour), ce qui reflète une variabilité interannuelle limitée mais régulière.

Tableau14:Évapotranspirationderéférence(ET_0)annuelledanslawilayadeMascara durant la période 2010–2024

Colonne1	Colonne2
années	ET_0 (mm/jr)
2010	3,43
2011	3,4
2012	3,42
2013	3,33
2014	3,39
2015	3,45
2016	3,4
2017	3,51
2018	3,31
2019	3,39
2020	3,5

2021	3,48
2022	3,5
2023	3,51
2024	3,54
total	51,56

Les résultats montrent que la moyenne annuelle de l'ETo sur 15 ans est de 3,44 mm/jour, avec un cumul global de 51,56 mm/jour pour l'ensemble de la période.

La valeur maximale est enregistrée en 2024 (3,54 mm/jour) suivie de 2023 et 2017 (3,51 mm/jour). Cela reflète une tendance récente à l'augmentation de la demande évaporative.

La valeur minimale est notée en 2018 (3,31 mm/jour), suivie de 2013 (3,33 mm/jour), traduisant une demande hydrique plus faible ces années-là.

Entre 2010 et 2016, les valeurs restent relativement stables, variant entre 3,39 et 3,45 mm/jour.

À partir de 2017, on observe une légère hausse progressive, culminant en 2024, ce qui pourrait être lié à des changements climatiques régionaux (hausse de température, baisse d'humidité).

Globalement, les résultats indiquent une stabilité relative de l'ETo annuelle, mais avec une tendance croissante sur les dernières années, ce qui renforce la nécessité d'une gestion rigoureuse de l'eau agricole afin de compenser cette augmentation de la demande évaporative.

3. Calcul des Précipitations efficaces pour la période (2010–2024)

3.1. Calcul des Précipitations efficaces annuelles

Tableau 15: Précipitations efficaces annuelles dans la wilaya de Mascara durant la période 2010–2024

Années	Pff (mm)
2010	397,5
2011	376,3
2012	173,7
2013	377,7
2014	398,3
2015	407,1
2016	404,4
2017	330,6
2018	447,9
2019	263,7
2020	200
2021	173,7
2022	147,2

2023	147,2
2024	135,2
total	4380,5

Les résultats montrent que le cumul des précipitations efficaces sur 15 ans atteint 4380,5 mm, avec une moyenne annuelle d'environ 292 mm.

La valeur maximale est observée en 2018 (447,9 mm), traduisant une année particulièrement favorable en termes de disponibilité hydrique.

La valeur minimale est notée en 2024 (135,2 mm), suivie de 2022 et 2023 (147,2 mm), ce qui reflète une forte sécheresse dans la région sur les dernières années.

On observe une forte variabilité interannuelle : certaines années comme 2012 (173,7 mm), 2020 (200 mm), et 2021 (173,7 mm) affichent des valeurs très basses, contrastant avec des années plus humides (2014, 2015, 2016 dépassant 400 mm).

La tendance générale sur la période 2010–2024 est à la baisse, surtout après 2018 où les précipitations efficaces chutent de manière marquée et restent faibles jusqu'en 2024.

Cette irrégularité et diminution progressive des précipitations efficaces démontre une vulnérabilité climatique accrue, accentuant les risques de déficit hydrique pour les cultures dans la wilaya de Mascara, notamment la pomme de terre qui est fortement exigeante en eau.

3.2. Besoins en eau de la culture (Etc) annuels

Tableau 16: Besoins en eau de la culture (Etc) annuels (2010–2024)

Colonne1	Colonne2
Année	Etc(mm/dec)
2010	190
2011	190
2012	184,9
2013	184,8
2014	184,8
2015	187,3
2016	193,9
2017	192,4
2018	187
2019	186,1
2020	208,1
2021	201,2
2022	203,6
2023	198,1

2024	212,2
Total	2904,4

Les résultats indiquent que le cumul des besoins en eau de la culture sur 15 ans atteint 2904,4 mm, avec une moyenne annuelle d'environ 193,6 mm.

Les valeurs les plus basses sont enregistrées en 2012 (184,9 mm), 2013 (184,8 mm) et 2014 (184,8 mm), traduisant une période où les besoins hydriques étaient relativement modérés.

Les valeurs les plus élevées apparaissent en 2024 (212,2 mm) et en 2020 (208,1 mm), suivies de près par 2022 (203,6 mm) et 2021 (201,2 mm), ce qui montre une augmentation récente des besoins hydriques.

La variation annuelle reste globalement faible à modérée, avec des écarts d'environ 27 mm entre les années minimales et maximales.

On remarque une tendance légèrement croissante des besoins hydriques à partir de 2019, ce qui peut être lié à une élévation progressive de températures et à une diminution des précipitations efficaces dans la région.

Cette analyse met en évidence que la culture de la pomme de terre dans la wilaya de Mascara exige en moyenne près de 194 mm/an, et que les dernières années montrent une hausse significative de ces besoins, accentuant l'importance d'une gestion rigoureuse de l'irrigation.

3.3. Les besoins d'irrigation (ETi) mensuels

Tableau 17: Les besoins d'irrigation (ETi) mensuels de la culture dans la wilaya de Mascara durant la période 2010–2024

Mois	Phases	Eti (mm/dec)
Nov	Initiale	28,8
Nov	Initiale	129,1
Dec	Initiale	115,4
Dec	Développement	112,3
Dec	Développement	165,6
Jan	Développement	186,8
Jan	Mi-saison	204,2
Jan	Mi-saison	250,2
Feb	Mi-saison	271,5
Feb	Mi-saison	273,1
Feb	Arrière-saison	255,4
Mar	Arrière-saison	311,5
Mar	Arrière-saison	332,6
Mar		268,5
total		2905

Lecumul total des besoins d'irrigation sur la période considérée est de 1180,9 mm, ce qui correspond à une moyenne d'environ 84,35 mm par mois répartis sur les différentes phases du cycle de culture.

Durant la phase initiale (Novembre–Décembre), les besoins restent relativement faibles, variant entre 11,1 mm et 28,8 mm, ce qui traduit une demande hydrique limitée au début du cycle.

Au stade de développement (Décembre–Janvier), la demande augmente progressivement, atteignant 46 mm en Décembre et 39 mm en Janvier, signe d'une croissance active nécessitant plus d'eau.

Au stade intermédiaire (Janvier–Février), les besoins en irrigation connaissent un pic marqué, atteignant 93,7 mm en Janvier puis culminant à 125 mm en Février, qui représente la période de demande hydrique maximale.

En phase finale (Mars), les besoins restent encore très élevés, notamment avec 184,8 mm et 185,9 mm, avant de diminuer légèrement à 115 mm, traduisant la fin du cycle avec une consommation encore significative.

Globalement, les résultats montrent que la période critique pour l'irrigation se situe entre Janvier et Mars, où les besoins sont les plus intenses. Une gestion rigoureuse de l'eau à ce stade est essentielle pour assurer un rendement optimal de la culture.

3.5. Les besoins d'irrigation (ETi) annuels

Tableau 18: Les besoins d'irrigation (ETi) annuels de la culture dans la wilaya de Mascara sur la période 2010–2024

Mois	phases	Besoin en eau d'irrigation (mm/dec)
Nov	Initiale	28,8
Nov	Initiale	11,1
Dec	Initiale	17,9
Dec	Développement	31,7
Dec	Développement	46
Jan	Développement	39
Jan	Mi- saison	56,2
Jan	Mi-saison	93,7
Feb	Mi- saison	124
Feb	Mi- saison	125
Feb	Arrière-saison	121,8
Mar	Arrière-saison	184,8
Mar	Arrière-saison	185,9
Mar	Arrière-saison	115
	total	1180,9

Le cumul total des besoins d'irrigation sur les quinze années étudiées est de 1206,9 mm, soit une moyenne annuelle d'environ 80,46 mm.

On observe de fortes fluctuations interannuelles:

La valeur minimale est enregistrée en 2010 (22,8 mm), ce qui reflète probablement une pluviométrie favorable ayant réduit les besoins en irrigation.

La valeur maximale est observée en 2024 (138 mm), indiquant une année à forte demande hydrique, possiblement liée à un déficit pluviométrique ou à des conditions climatiques plus chaudes et sèches.

Entre 2011 et 2016, les besoins en irrigation restent modérés, oscillant entre 23,8 mm et 91,3 mm, traduisant une certaine stabilité climatique.

À partir de 2017, une tendance haussière se dessine, marquée par des pics importants en 2019 (112,8 mm), 2020 (134,5 mm), 2021 (120,5 mm) et surtout en 2024 (138 mm).

Globalement, les résultats montrent que la demande en irrigation a augmenté durant la dernière décennie, ce qui pourrait indiquer un impact du changement climatique ou une variabilité pluviométrique accrue dans la région de Mascara.



Conclusion Générale

Conclusion

L'objectif principal de ce travail était d'évaluer les besoins en eau et l'évapotranspiration de référence de la pomme de terre dans la wilaya de Mascara en utilisant le logiciel CROPWAT 8.0. Pour ce faire, nous avons exploité les données climatiques (température, précipitations, humidité relative, vitesse du vent, insolation) sur une période de 15 ans (2010–2024).

Les principaux résultats obtenus sont que :

- L'ET_o moyenne mensuelle sur la période étudiée est de 40,79 mm/jour, tandis que la valeur annuelle moyenne atteint 3,45 mm/jour.
- Les précipitations efficaces moyennes mensuelles sont de 292,06 mm, avec une valeur annuelle cumulée de 15 ans (4380,5 mm).
- Les besoins en eau de la culture (ET_c) sont estimés en moyenne cumulée à 2905 mm/déc sur la période de 15 ans, avec une moyenne annuelle de 193,6 mm/déc.
- Les besoins d'irrigation (ET_i) s'élèvent en moyenne cumulée à 1180,9 mm/déc mensuels et à environ 1206,9 mm/déc sur l'année.

Ces résultats traduisent l'importance des besoins hydriques de la pomme de terre dans un contexte semi-aride comme celui de Mascara. La confrontation entre les apports naturels (pluviométrie) et les besoins de la culture met en évidence un déficit hydrique significatif, justifiant le recours à l'irrigation pour assurer de bons rendements.

En perspective, cette étude pourrait être approfondie avec des scénarios climatiques futurs réalisés en collaboration avec d'autres chercheurs pour affiner les coefficients culturaux (K_c) et mieux adapter les calendriers d'irrigation à la réalité locale. L'intégration de techniques d'irrigation plus performantes permettrait également de mieux répondre aux besoins en eau de la pomme de terre tout en préservant les ressources hydriques disponibles.



Listedesréférences

Aboura .R, 2006. Comparaison phytoécologique DES ATRIPLEXAIES situées au nord et au sud de Tlemcen. Thèse de Magistère en Biologie Option: EV, Université Tlemcen, 2,64.

Aissa Abdi, S., & Harmouch, N. E. H. (2021). Notes Sur Quelques Genres De Plantes Déterminants Le Long Du Littoral Mostaganémois. Synthèse Bibliographique Et Appui Avec Quelques Sorties [Mémoire, Université De Mostaganem].

[Http://eBiblio.Univ-Mosta.Dz/Handle/123456789/19481](http://eBiblio.Univ-Mosta.Dz/Handle/123456789/19481) ANDI.

Awdah Ibrahim .A,2019. Laculturedupalmieretlaqualitédesdattesentre facteurs environnementaux et programmes de services et soins.

Azizi,K&Derouiche,H.E.R,2022. Déterminationdesbesoinsdequelques cultures irriguées au «Goutte-à-goutte» avec les eaux épurées de la station d'épuration de Sidi KHOULED (Ouargla) (Doctoral dissertation, Université KASDI-MERBAH Ouargla).

Bekkouche.N&Lebba. S, (2020). Contribution à l'étude de quelques caractéristiquesdupollendePalmierDattier(PhoenixdactyliferaL.)danslarégiond'El Oued.

Belarbi,Y.(2017). Déterminationde la StructureduPeuplementForestieret propositions d'amélioration de La Forêt De Cap-Ivi (Wilaya de Mostaganem) .

Bellal.S.A (1998): LesRessources eneauetleur utilisationdansleplateau de Mostaganem, Thèse de Magister. Univ. Es.Senia–Oran.

Benmoussa, O.K, (2013). L'effet de la conduite de l'irrigation sur la productivité du palmier dattier au niveau des palmerais D'OUED RIGH.

Bennacer.M&Bouderbal. A, (2016). Etude du désherbage (chimique et manuel)enpépinièresurlacultured'oignonA.cepa.(DeuxhybridesF1etunevariété population).

Brouwer, C.Prins,K.Kay,M&Heibloem,M.(1990). Méthodes d'irrigation.FAO,ITALY.

Cemagref.Eddition,(1990). Guidepratiquedel'irrigation.

Doré, C., & Varoquaux, F. (2006). Histoire et amélioration de cinquante Plantes cultivées. Ed. Inra, Paris. 698 p.

Douis, D. (2017). Étude de la qualité des eaux souterraines (Région Sud-Ouest) duplateaudeMostaganem[MémoiredeMaster,UniversitédeMostaganem].Récupéré

de <http://ebiblio.univmosta.dz/bitstream/handle/123456789/4440/Mimo%20dihad%202020Master.pdf?sequence=1> .

DUBIEF J, 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de météorologie et de physique du Globe de l'Algérie Service des Etudes scientifiques : Alger, Algérie.

FAO.(2008). Cropevapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

FAO.(2013). CROPWAT 8.0 (Outils documents FAO relatifs à CROPWAT). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Fritsch.R.M.&Friesen.N, (2002). Evolution, domestication and taxonomy. In

Rabinowitch H.D. and Currah L. Allium Crop Science: Recent advances, Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing, New York, USA, 5-30.

Gallais, A., & Bannerot, H. (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées: Objectifs et critères de sélection. Paris: Inra. 765 p.

Goldberg et al, (1971). Distribution of roots, water and minerals as a result of trickle irrigation. J. Am. Soc. ort. Sci., 96:645-648.

Grousclaude, (1999). Milieu naturel, maîtrise. Editions Quae-204.p.

Halwart. M. Dam A.A., (2010). Intégration de l'irrigation et l'aquaculture en Afrique de l'Ouest : concepts, pratiques et perspectives d'avenir. FAO, Rom, 199.p.

Hartani. T, (2004). La réutilisation des eaux usées en irrigation: cas de la Mitidja en Algérie. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, 11-p.

Hati, A & Baoua, L.M, (2022). Analyse et Diagnostic de l'irrigation par ruissellement à l'aide des eaux épurées de la STEP de Ouargla et détermination de la dose reçue (Doctoral dissertation, Université KASDI-MERBAH Ouargla).

Houerou, H.N., Claudin, J., Et Pouget, M., (1977). Étude bioclimatique des steppes Algériennes.

Kada, A., & Baghdad Benattia, R. (2023). Cartographie et caractérisation de l'indice topographique et de Végétation du Plateau de Mostaganem (Mémoire De Master, Université De Mostaganem.

Lahouel, N. (2014). Caractérisation Édapho-Floristique dans les Écosystèmes

forestiers dans la Région du Littoral Mostaganémois (Oranie-Algérie). Thèse De Doctorat En Écologie Végétale. 17p

Laumonnier, R. (1979). Cultures Légumières Et Maraîchères. Tome Iii. Paris: Éditions Baillière. 279 p.

Maarouf.AetLayaida.I&ChekaraBouziანი .M, (2021).

Contribution à l'étude de la diversité génétique de palmiers dattiers (*Phoenix dactylifera* L.) de la zone de TOLGA (Biskra) par le marqueur moléculaire ISSR-PCR.

Mailholetal, (2004). Guide pratique de l'irrigation.

Mammeri .K & Laib.M, (2019). Amélioration du Sol Agraire Saharien par l'Addition d'Hydrogel dans la Culture des oignons-cas OUED SOUF.

Manuel d'utilisation, (2003). Irrigation avec des eaux usées traitées » ;

Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture; Bureau Régional pour le Proche orient et Bureau sous régional pour l'Afrique du Nord Septembre.

Megherbi, W.(2015). L'ensablement, un risque négligé en zone tellienne littorale Cas de la région Mostaganem. Université d'Oran 2 Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister en Géographie et Aménagement du Territoire

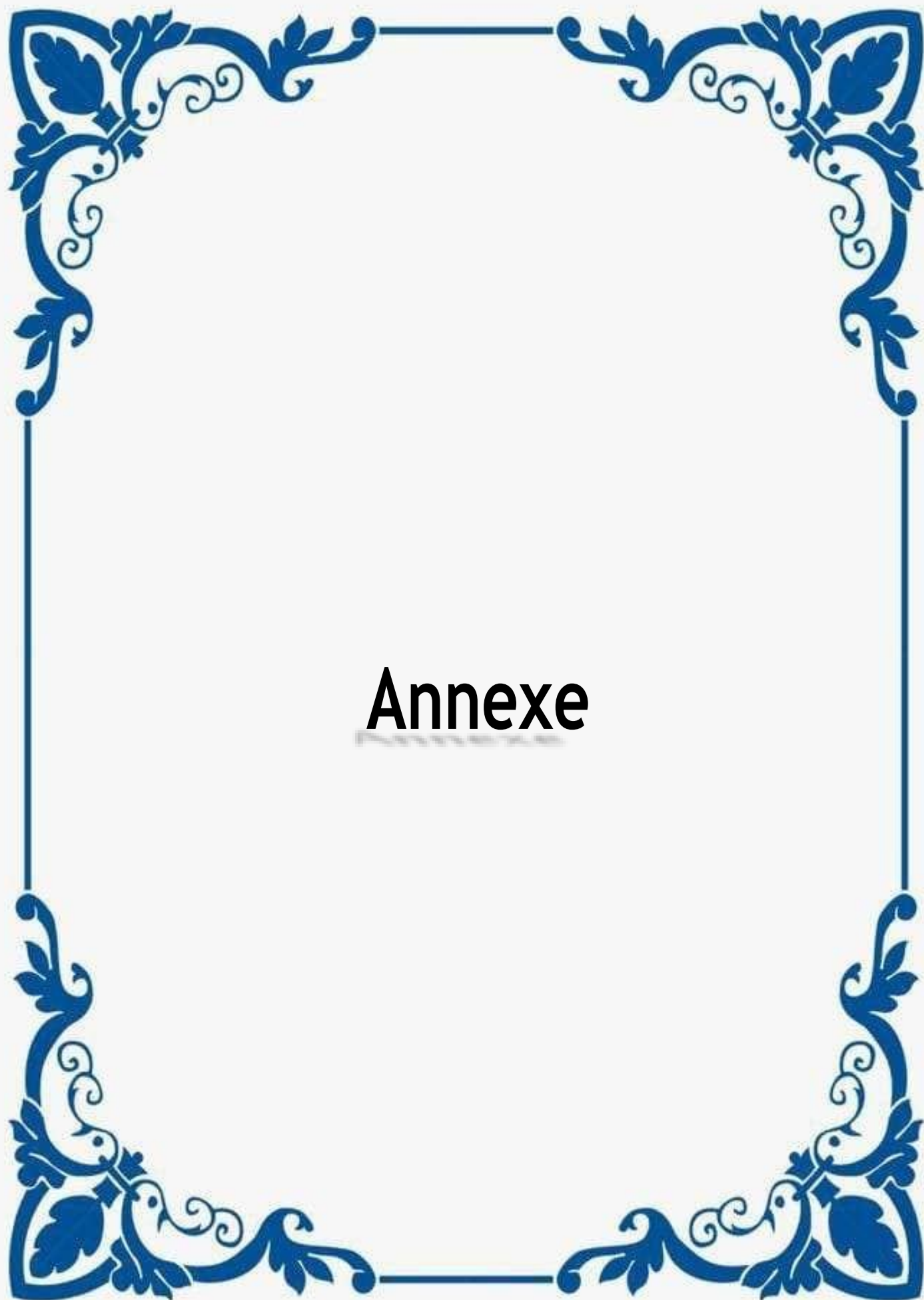
Merzougui, R. (2019). Estimation des Besoins en Eau de la Phoeniciculture Par deux méthodes (Penman-Monteith Par Logiciel cropwaT 8.0 durant La Période (1998/2018) Dans La Région De Ziban (Biskra) (Mémoire de Master). Université de Biskra.

Omrane, S., & Zemmame, R. (2018). Aménagements antiérosif des terres agricoles des Piémonts Nord-Ouest Du Dahra (W. Mostaganem) [Mémoire, Université De Mostaganem].

Papadopoulos. I; Stylianouy, (1991). Trickle irrigation of sunflower with municipal waste water. Agric. Water management. 19:67-75

Rejsek.F, (2002). Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP, Aquitaine. France.

Sani.D.O. Irrigation de l'oignon (*Allium cepa*) dans la basse vallée de la TARKA.



Annexe

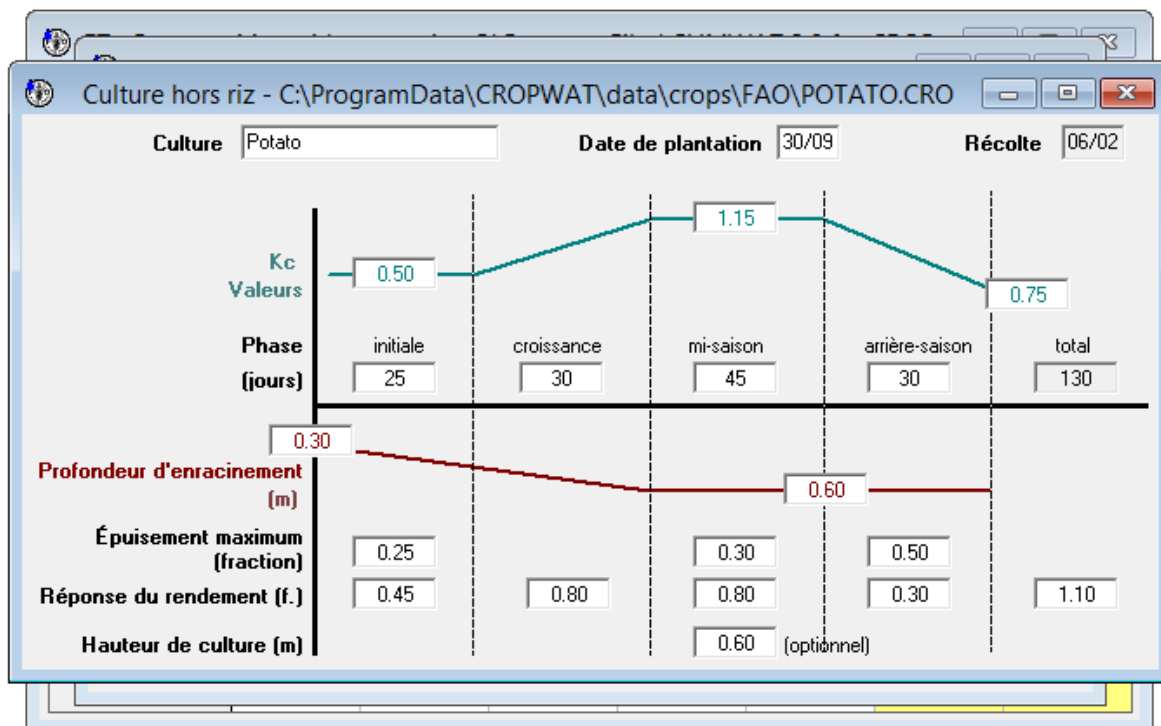
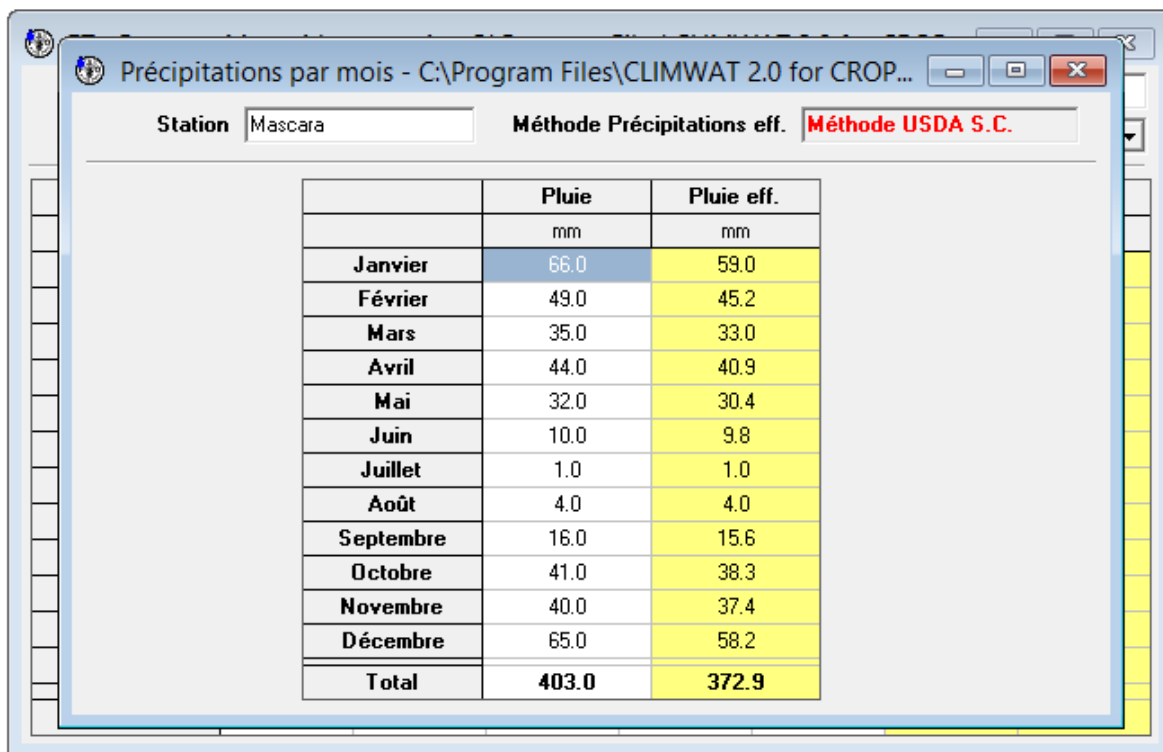
L'ETopourlapériode de (2010-2024) delapomme de terre

ETo Penman-Monteith par mois - C:\Program Files\CLIMWAT 2.0 for CROP...

Pays: Location 13 Station: Mascara

Altitude: 450 m. Latitude: 35.18 °N Longitude: 0.63 °O

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m ² /jour	ETo mm/jour
Janvier	1.8	14.1	81	130	4.0	8.2	1.11
Février	3.7	16.2	76	130	4.1	10.2	1.58
Mars	4.3	17.5	73	130	6.2	15.2	2.29
Avril	6.3	21.0	63	173	6.9	18.5	3.43
Mai	9.1	23.5	63	173	8.3	21.9	4.19
Juin	12.3	28.2	57	130	8.3	22.4	4.70
Juillet	15.0	32.8	53	130	9.6	24.0	5.51
Août	15.6	33.1	55	130	8.8	21.6	5.19
Septembre	13.7	28.3	59	130	6.3	16.0	3.81
Octobre	9.7	22.7	69	173	5.4	12.3	2.69
Novembre	6.5	17.2	74	173	5.1	9.6	1.72
Décembre	3.1	14.5	80	173	3.8	7.5	1.22
Moyenne	8.4	22.4	67	148	6.4	15.6	3.12



Culture hors riz - C:\ProgramData\CROPWAT\data\crops\FAO\POTATO.CRO

Culture Date de plantation Récolte

Sol - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\RED LOAMY.SOI

Nom du sol

Données générales sur le sol

Eau disponible totale (CC - PF)	<input type="text" value="180.0"/>	mm/mètre
Taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie	<input type="text" value="30"/>	mm/jour
Profondeur maximum d'enracinement	<input type="text" value="900"/>	centimètres
Épuisement de la teneur en eau initiale (en % TAM)	<input type="text" value="0"/>	%
Eau disponible initiale	<input type="text" value="180.0"/>	mm/mètre

Réponse du rendement (f.)

Hauteur de culture (m) (optionnel)

Les besoins d'irrigation ET pour la période (2010-2024) de la pomme de terre

Besoins en eau des cultures							
Station ETo			Mascara		Culture		Potato
Station Pluie			Mascara		Date de plantation		30/09
Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Sep	3	Init	0.50	1.72	1.7	0.7	1.7
Oct	1	Init	0.50	1.53	15.3	11.0	4.3
Oct	2	Init	0.50	1.35	13.5	13.9	0.0
Oct	3	Crois	0.55	1.31	14.4	13.4	1.0
Nov	1	Crois	0.77	1.57	15.7	11.9	3.8
Nov	2	Crois	0.98	1.69	16.9	11.5	5.4
Nov	3	Mi-sais	1.14	1.76	17.6	14.1	3.5
Déc	1	Mi-sais	1.15	1.58	15.8	17.7	0.0
Déc	2	Mi-sais	1.15	1.39	13.9	20.3	0.0
Déc	3	Mi-sais	1.15	1.35	14.9	20.1	0.0
Jan	1	Arr-sais	1.14	1.30	13.0	20.0	0.0
Jan	2	Arr-sais	1.03	1.15	11.5	20.3	0.0
Jan	3	Arr-sais	0.89	1.13	12.4	18.6	0.0
Fév	1	Arr-sais	0.78	1.11	6.6	9.9	0.0
					183.4	203.5	19.8

Calendrier d'irrigation des cultures

Station ETo **Culture** **Date de plantation** **Baisse Rdt**

Station Pluie **Sol** **Date de récolte**

Format Tableau
 Calendrier irrigation
 Bilan hydrique journalier

Échéance: [Irriguer à l'épuisement maximum](#)
Apport: [Recharger sol à la capacité au champ](#)
Eff. au champ 70 %

Date	Jour	Phase	Pluie	Ks	Etr	Épuis.	Irr. Net.	Déficit	Perte	Irr. Brut.	Débit
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
6 Fév	Fin	Fin	0.0	1.00	0	3					

Utilisation potentielle d'eau par culture	182.3	mm	Besoins en eau réels	3.3	mm
Efficienc e calendrier d'irrigation	-	%	Efficienc e des précipitations	81.0	%