



République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**

Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem

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**

Spécialité : Aménagement hydro Agricole

Thème

***Estimation du besoin en eau des cultures et d'irrigations par le
biais du logiciel CROPWAT 8.0" (cultures des haricots vert dans la
Région de sidi bel abbés).***

Présenté par : GUENDOZ Chahinaz

Devant le jury

Dr. Arbaoui Mohamed	Président	Université de Mostaganem
Dr. Boualem Abdelkader	Promoteur	Université de Mostaganem
Dr. Benguendouz Abdelnour	Examineur	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2025/2026

Remerciement

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux.

Louange à Dieu Tout-Puissant, qui m'a comblé de Sa grâce, accordé la réussite et guidé sur le chemin du travail assidu et de la persévérance jusqu'à l'achèvement de ce projet. À Lui soient louanges et remerciements, comme il sied à Sa Majesté et à Sa Grandeur.

Aux pionniers du savoir et à mon directeur de mémoire :

Dr Abdelkader Boualem : J'adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont soutenu et accompagné tout au long de mes recherches. Cher professeur, vous êtes, si Dieu le veut, un modèle de savoir et de dévouement. Je vous remercie du fond du cœur pour votre patience, vos précieux conseils et votre soutien indéfectible. Vos conseils avisés ont joué un rôle fondamental dans l'évaluation et l'enrichissement de cette recherche.

Que Dieu vous bénisse.

Au Dr Mohamed Arbaoui : Je vous exprime ma plus profonde gratitude pour avoir accepté de présider le jury de soutenance de thèse et d'évaluer ce travail. Votre présence à la tête de ce comité confère à ce travail une grande valeur académique, et c'est un honneur que je chéris. À

le Dr Benguendouz Abdelnour : je vous remercie sincèrement du temps et des efforts précieux que vous avez consacrés à la lecture et à l'évaluation de ce travail. Je tiens à souligner tout particulièrement vos précieux commentaires, qui renforcent la rigueur scientifique de cette mémoire.

En témoignage de reconnaissance pour vos efforts, je souhaite également exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui ont apporté leur aide, leurs conseils et leurs précieuses contributions à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

C'est avec une immense fierté, une gratitude infinie et tout mon amour que je dédie ce travail...

À mes chers parents, les piliers de ma vie : À mon tendre père, GUENDOZ Abdelkader, et à ma précieuse mère, BOUMEDIENE Fatima. À vous, qui avez fait de moi votre fille choyée et gâtée. Aujourd'hui, j'honore vos sacrifices et votre amour inconditionnel en vous offrant le titre de votre **première diplômée**. Que Dieu vous préserve.

À mes quatre chères sœurs : À vous, mes complices, dont je suis fière d'être la grande sœur. Que ce succès soit un modèle et une source d'inspiration pour vous toutes.

À la mémoire de mon regretté grand-père, BOUMEDIENE Mohamed (Miloud) : Que Dieu te fasse miséricorde. Tu as toujours été mon grand soutien, célébrant mes moindres réussites. Mon cœur aurait tellement voulu que tu sois là aujourd'hui pour voir où je suis arrivée, mais je sais que tu veilles sur moi.

À mon ami et précieux soutien, CHIBOUT Mohamed : À celui qui m'a accompagnée pas à pas durant ces cinq longues années d'études. Je te témoigne ma gratitude la plus profonde pour ton soutien indéfectible, tant psychologique que matériel, et pour ta présence constante à mes côtés. Merci d'avoir partagé mes doutes, d'avoir guidé mes pas dans chaque étape, et d'avoir cru en moi en tout temps. Ce succès est au

Si le tien.

À ma chère amie, BES SALAH Kahla Amel : Pour ton aide précieuse, ton soutien indéfectible et ton accompagnement tout au long de cette étape.

À tous ceux qui m'aiment sincèrement.

Guendouz Chahinaz.

Résumé

Pour une gestion efficace de l'irrigation, il est essentiel de bien comprendre les besoins en eau et leur adéquation avec les ressources disponibles. À Sidi Bel Abbès, nous avons choisi d'utiliser le logiciel CROPWAT 8.0. Après avoir collecté des données climatiques de référence sur une période de 15 ans (2010-2024), nous avons modélisé et mesuré l'évapotranspiration de référence et évalué les besoins en eau d'irrigation des cultures de haricot. L'intégration de ces données dans le logiciel CROPWAT 8.0 a permis de générer des programmes d'irrigation reflétant fidèlement les besoins en eau des cultures, en fonction des caractéristiques du sol, du climat et des plantes.

Mots-clés : ETo, ETc, ETi, haricot vert, Sidi Bel Abbès.

المخلص

من أجل إدارة فعالة للري، من الضروري فهم الاحتياجات المائية جيداً ومدى تلاؤمها مع الموارد المتاحة. في سيدي بلعباس، اخترنا استخدام برنامج CROPWAT 8.0 بعد جمع البيانات المناخية المرجعية على مدى فترة تمتد لـ 15 سنة (2010-2024)، قمنا بنمذجة وقياس البخر نتج المرجعي وتقييم الاحتياجات المائية للري لمحاصيل الفاصوليا. وقد أتاح دمج هذه البيانات في برنامج CROPWAT 8.0 توليد برامج ري تعكس بدقة الاحتياجات المائية للمحاصيل، بناءً على خصائص التربة، المناخ، والنباتات.

الكلمات المفتاحية: ETi، ETc، ETo، الفاصوليا، سيدي بلعباس.

Abstract

For effective irrigation management, it is essential to fully understand water requirements and their alignment with available resources. In Sidi Bel Abbès, we chose to use the CROPWAT 8.0 software. After collecting baseline climatic data over a 15-year period (2010-2024), we modeled and measured the reference evapotranspiration and evaluated the irrigation water requirements for bean crops. The integration of these data into the CROPWAT 8.0 software allowed the generation of irrigation schedules faithfully reflecting crop water requirements, based on soil, climate, and plant characteristics.

Keywords : ETo, ETc, ETi, bean, Sidi Bel Abbès.

List des figures

Figure 1: Localisation de la zone d'étude (carte de localisation de Sidi Bel Abbès).....	4
Figure 2: Découpage administratif de Sidi Bel Abbès	6
Figure. 3 : variation mensuelle de l'ETP en fonction de la température maximale (sidi BEL Abbès).....	13
Figure 4 : Schéma d'une plante de haricot vert nain	16
Figure 5: La domestication du haricot.....	17
Figure 6 : les graines du haricot verts (martin_hetto ;2023).....	21
Figure 7: le cycle de végétation du haricot	22
Figure 8 : Illustration de l'échelle BBCH pour les haricots. Syngenta (2015).	23
Figure 10 : Plante de Haricot attaqué par le tétranyque tisserand (<i>Tetranychus urticae</i>) (Mainassara et al., 2009).	25
Figure 11 : la présence de la bactérie <i>Pseudomonas syringae</i>	27
Figure 12 : calcul de ET_0	31
Figure 13: calcul des pluies efficaces	33
Figure 14: calcul des besoins en eau	34
Figure 15: une fenêtre de données du sol.....	35
Figure 16: présente un tableau des besoins en eau.....	35
Figure 17 : présente le tableau calendrier d'irrigation.....	36
Figure 18: Organigramme général du modèle CROPWAT (Andriamparany, 2018).....	37
Figure 19 : Feuille Microsoft Excel (Merzougui, 2019).	40
Figure 20 : ET_0 mensuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010- 2024).	42
Figure 21: ET_0 Annuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010- 2024).....	43
Figure 22: Précipitations efficaces Annuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15ans(2010- 2024).	44
Figure 23: Précipitations efficaces mensuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010-2024).....	44
Figure 24: Les besoins en eau de la culture ET_c mensuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).....	45
Figure 25: Les besoins en eau de la culture ET_c annuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).....	45

Figure 26: Les besoins d'irrigation ETi mensuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).....	46
Figure 27 : Les besoins d'irrigation ETi annuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).....	47
Figure 13: calcul des pluies efficaces	58
Figure 14: calcul des besoins en eau	58
Figure 15: une fenêtre de données du sol.....	59
Figure 16: présente un tableau des besoins en eau	59
Figure 17 : présente le tableau calendrier d'irrigation.....	61

Liste des tableaux

Tableau .1 : Organisation des Daïras et Communes de la Wilaya de Sidi Bel Abbès	5
Tableau. 2 : Humidités relatives mensuelles (2010-2024).....	10
Tableau. 3 : Les données d'évaporation (2010 -2024)	10
Tableau. 4 : Variation de l'insolation moyenne annuelle en heure.	11
Tableau. 5: Valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (Sidi Bel Abbès).....	12
Tableau. 6 : Relation entre la température maximale (Tmax) et l'évapotranspiration (ETP) .	12
Tableau. 7: Répartition générale des terres agricoles à Sidi Bel Abbès (ha)	14
Tableau. 8 : La composition chimique du haricot vert (Torres, 2004 ; Couplan, 1998).....	18
Tableau .9: Evapotranspiration ETo mensuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010-2024).....	Error! Bookmark not defined.
Tableau .10: Evapotranspiration ETo Annuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010-2024).....	Error! Bookmark not defined.
Tableau. 11: Précipitations efficaces annuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010-2024).....	Error! Bookmark not defined.
Tableau. 12: Précipitations efficaces mensuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010-2024).....	Error! Bookmark not defined.
Tableau. 13: Les besoins en eau de la culture ETc mensuelle (décadaire) dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).....	Error! Bookmark not defined.
Tableau. 14: Les besoins en eau de la culture ETc annuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).....	Error! Bookmark not defined.
Tableau .15: Les besoins d'irrigation ETi mensuelle (décadaire) dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).	Error! Bookmark not defined.
Tableau. 16: Les besoins d'irrigation ETi annuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).....	Error! Bookmark not defined.

Liste des abréviations

Δ : Pente de la courbe des pressions de vapeur

ANDI : Agence Nationale de développement de l'Investissement.

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Cu : cuivre

D : Drainage

DSA : Direction de Service Agricole

ETc : Evapotranspiration de culture.

ETi : les besoins en eau d'irrigation

ETM : Evapotranspiration maximale.

ETo : Evapotranspiration de référence.

ETP: Evapotranspiration potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

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

Fe : fer

G : Flux de chaleur échangé avec le sol

hab : habitants.

Irr : Apport de l'irrigation

Kc : Coefficient cultural

Ky : Coefficient de réponse du rendement

M.A.D.R.P : Ministère de l'Agriculture, Du Développement Rural et de La Pêche

Mn : manganèse

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ONM: Office National de la Météorologique

P : Tassement admissible

P : Phaseolus

Pe_{eff} : Précipitation efficace

P_{tot} : Précipitation totale

RFU : Réserve utile facilement disponible

R_i : Réserve en eau du sol au jour i

R_{i-1} : Réserve en eau du sol au jour i-1

RU : Réserve utile

SMD : Déficit de la réserve utile d'eau dans le sol

T : Température journalière à 2m d'altitude

TAM : Eau disponible totale

USDA : United States Département of Agriculture.

Y_a : Rendement réel

Y_m : Rendement maximal

Y_r : Diminution de rendement par rapport au rendement en condition optimale de culture

Z : Profondeur des racines

Zn: zinc

I_{r_{rq}}: irrigation requise

S : Tassement de la réserve du sol à la date i

S₋₁ : Tassement de la réserve du sol à la date

F : Eau contenue au maximum dans le champ

W : Eau contenue au point de flétrissement

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumé

الملخص

Abstract

IntroductionError! Bookmark not defined.

PREMIERE PARTIE BIBLIOGRAPHIE

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

1.1 Localisation	4
1.2. Géologie.....	6
1. 3. Les Sols (Pédologie)	7
1.4. Le climat.....	7
1.5. Température	7
1.6.Les précipitations.....	8
1.7.Le vent.....	8
1.9.L'évaporation.....	10
1.10.L'insolation	11
1.11.L'évapotranspiration (ETP).....	11
1.12.La salinité	12
1.13. Agriculture	13

Chapitre 2 Généralités sur la culture du Haricot vert

II. 1. Généralités sur le haricot vert	16
II. 2. Origine et domestication des haricots	17
II. 3. Composition et valeur nutritive des haricots verts :.....	18
II. 4. Importance de la culture des haricots	18
II. 5. Classification botanique des Haricots	18
II. 6. Exigences climatiques du haricot	19
II. 7. Description morphologique	19
III. 8. Le cycle de végétation.....	21
II. 9. Facteurs affectant le rendement et ses composantes	23
II. 10. Les ennemis du haricot	25
III. 11. Les moyens de lutte contre les ennemis du haricot	27

Etude Expérimentale

Matériel & Méthodes

1. Présentation du modèle :	30
1. 1 Modèle CROPWAT 8. 0 :	30
1.2. Description de CROPWAT 8. 0	30
1. 3 Composants du logiciel CROPWAT 8. 0 et leurs fonctionnalités	30
1. 4. Les résultats du modèle	39
1. 5. Excel:	40

TROISIEME PARTIE RESULTATS ET DISCUSSION

1. Calcul de l'ET_o pour la période (2010-2024)	42
2. Calcul des besoins en eau de la culture ET_c pour la période (2010-2024)	44
3. Calcul les besoins d'irrigation ET_i pour la période (2010-2024)	45
Conclusion générale	49
Références bibliographiques	51
Annexes	57

Introduction générale

L'eau constitue l'élément vital au cœur de tous les enjeux de développement durable, particulièrement dans le secteur agricole qui demeure le principal consommateur des ressources hydriques à l'échelle mondiale. En Algérie, face à un contexte climatique marqué par l'aridité et une récurrence sévère des périodes de sécheresse, la gestion rationnelle et l'optimisation de l'eau d'irrigation sont devenues des impératifs stratégiques pour garantir la sécurité alimentaire nationale **(Boukhalfa, 2014)**.

La région de Sidi Bel Abbés, pôle agricole majeur de l'Ouest algérien, se trouve aujourd'hui confrontée à ce défi de stress hydrique. La culture du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), bien qu'elle représente une filière à haute valeur nutritionnelle et économique pour la région, se distingue par sa grande sensibilité aux fluctuations des apports en eau. Une gestion imprécise de l'irrigation peut non seulement compromettre les rendements, mais aussi accentuer le gaspillage d'une ressource de plus en plus rare **(FAO, 2020)**.

Face à cette complexité, l'ingénierie agronomique moderne s'appuie désormais sur des outils de modélisation performants. Le logiciel CROPWAT 8.0, développé par la FAO, s'impose comme une référence incontournable permettant d'estimer avec une grande précision les besoins en eau des cultures (ETc). Ce modèle intègre des paramètres climatiques, pédologiques et physiologiques complexes pour simuler des calendriers d'irrigation adaptés aux réalités du terrain **(Smith, 1992)**.

L'objectif central de ce présent mémoire est de mener une étude quantitative pour estimer les besoins en eau et les besoins d'irrigation du haricot dans les conditions pédoclimatiques de la région de Sidi Bel Abbés via le logiciel CROPWAT 8.0.

Pour structurer notre démarche, ce travail est organisé autour de trois axes fondamentaux :

Le premier axe est dédié à la caractérisation du milieu physique et climatique de la zone d'étude (Sidi Bel Abbés).

Le deuxième axe expose les fondements biologiques et les exigences physiologiques de la culture du haricot.

Le troisième axe présente la simulation numérique sous CROPWAT 8.0, suivie d'une analyse des résultats pour définir une stratégie d'irrigation optimale.

PREMIERE PARTIE
BIBLIOGRAPHIE

Chapitre 1 :

Présentation de la

zone d'étude

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

1.1 Localisation

1.1.1. Limites géographiques

La wilaya de Sidi Bel Abbès a une superficie de 9 150,63 km² et se trouve dans une position importante au Nord-Ouest de l'Algérie. Elle est délimitée géographiquement comme suit (DPAT, 2023) :

Au Nord : par les wilayas d'Oran et d'Aïn Témouchent.

À l'Est : par les wilayas de Mascara et de Tiaret.

Au Sud : par les wilayas d'El Bayadh et de Naâma.

À l'Ouest : par la wilaya de Tlemcen.

La population de la province **était d'environ 604 744 habitants d'après** le recensement de 2008, avec une densité démographique moyenne de 66 habitants/km² (ONS, 2008).

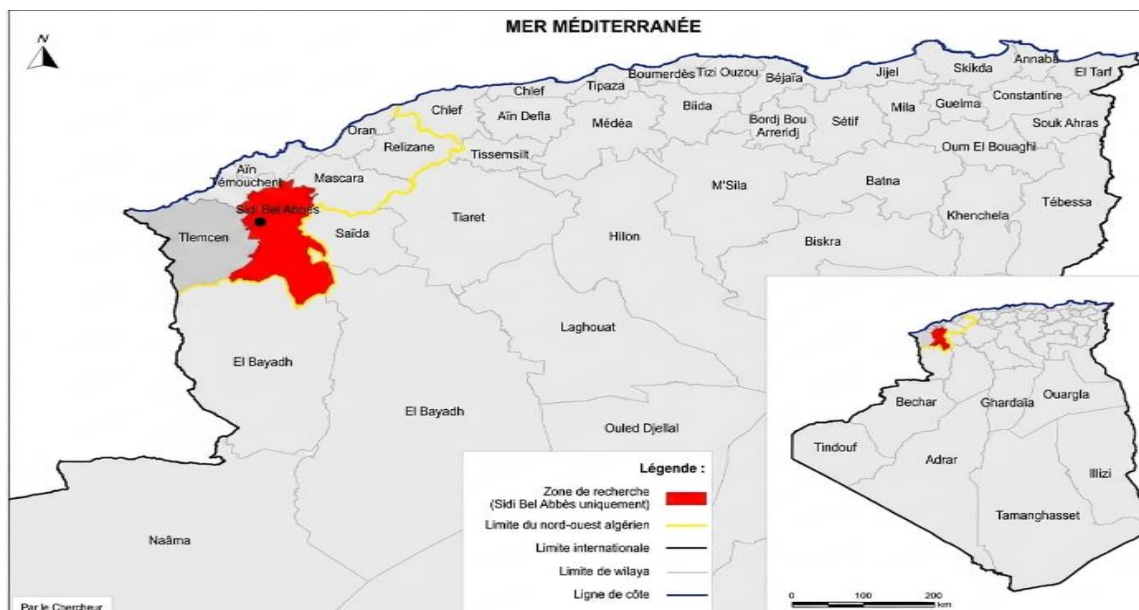


Figure 1: Localisation de la zone d'étude (carte de localisation de Sidi Bel Abbès)

1.1.2. Découpages administratifs de la région de Sidi Bel Abbès

Tableau 1 : Organisation des Daïras et Communes de la Wilaya de Sidi Bel Abbès

Daira	Communes
Sidi Bel Abbès	Sidi Bel Abbès
Tessala	Tessala, Ein Thrid, Sehala Thaoura
Sidi Ali Boussidi	Sidi Ali Boussidi, Lamtar, Sidi Daho, Amarnas
Mostéfa Ben Brahim	Mostéfa Ben Brahim, Tilmouni, Zerouala, Belarbi
Telagh	Telagh, Dhaya, Mezaourou, Teghalimet
Sidi Ali Benyoub	Sidi Ali Benyoub, Boukhanafis, Tabia
Ben Badis	Ben Badis, Badredine El Mokrani, Chetouane Belaila, Hassi Zahana
Marhoum	Marhoum, Bir El Hammam, Sidi Chaib
Sfisef	Sfisef, M'Cid, Boudjebaa El Bordj, Ain Adden

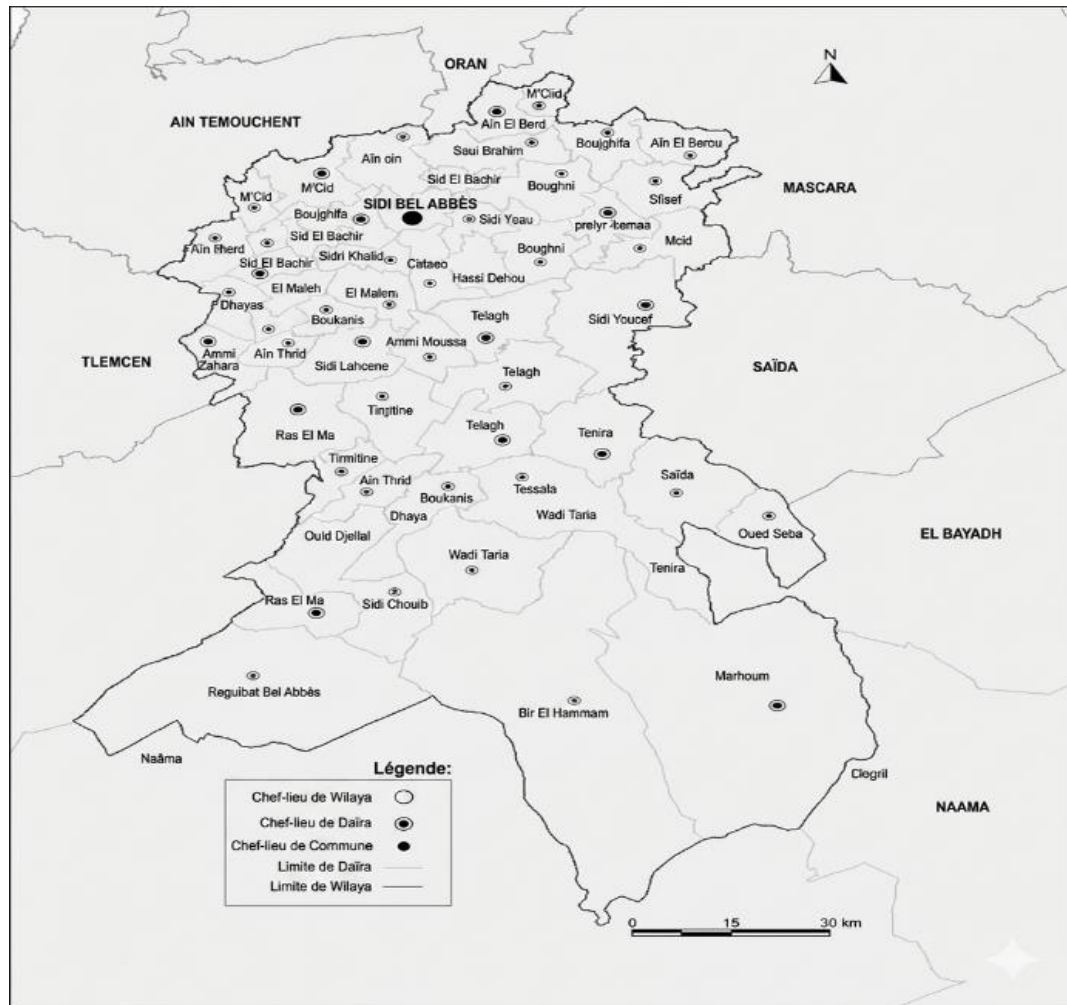


Figure. 2: Découpage administratif de Sidi Bel Abbès

1.2. Géologie

1. 2. 1. Géologie et Géomorphologie

Le socle géologique de la zone d'étude montre une variété de formations superficielles qui affectent l'hydratation des sols. On distingue principalement (**Anonyme, 2018**) :

Les Calcaires et marnes : formant la base de la plaine de la Mekerra et des monts de Tessala.

La carapace calcaire : roche compacte qui se trouve généralement à la base des massifs.

Les Alluvions : dépôts récents de l'oued Mekerra, constitués de galets, sables et argiles, importants pour la rétention d'eau.

1. 2.2. Relief et Topographie

La topographie de Sidi Bel Abbès présente un relief varié qui se divise en trois grandes unités morpho-structurales (**Bensaïd, 2015**)

Les Monts de Tessala au Nord : atteignant une altitude maximale de 1061 m.

La Plaine de la Mekerra au Centre : zone idéale pour la culture du haricot, à une altitude moyenne de 470 m.

Les Hautes Plaines Steppiques au Sud : zones de transition dépassant 1000 m d'altitude.

1. 3. Les Sols (Pédologie)

La nature des sols dans la région est le résultat d'une interaction complexe entre le climat semi-aride et la roche mère calcaire. Les principales classes de sols identifiées sont (**Halitim, 1988**) :

Sols bruns calcaires : prédominants dans les zones agricoles, offrant une bonne structure pour la culture des légumineuses.

Lithosols : sols peu développés présents sur les versants montagneux.

Sols hydromorphes : trouvés près de l'oued Mekerra, caractérisés par un excès d'eau temporaire.

1.3. La topographie

La région de Sidi Bel Abbès est située entre 0°26' et 0°50' de longitude Ouest. Le plateau central se caractérise par une cuvette allongée traversée par l'oued Mekerra. Au sud, le relief devient plus vigoureux avec l'Atlas Tellien qui sépare les plaines du Nord des zones steppiques du Sud.

1.4. Le climat

Le Climat de la région de Sidi Bel Abbès Le climat de l'Algérie, de type méditerranéen, se distingue par deux saisons bien marquées : une saison pluvieuse et une saison de sécheresse. L'influence des courants venant du Nord-Ouest apporte des masses d'air froides et humides, tandis que les courants en provenance du Sud sont associés à des masses d'air chaudes et sèches (**Aimé, 1991**).

Contrairement à la zone côtière de Mostaganem, la wilaya de Sidi Bel Abbès appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais. Elle est caractérisée par une continentalité marquée où les écarts thermiques sont importants entre le jour et la nuit, ainsi qu'entre l'été et l'hiver (**Smahi,**

2001).

1.5. Température

La température constitue un facteur écologique primordial pour le développement des cultures. Elle régule l'ensemble des processus métaboliques et influence la répartition des espèces au sein de la biosphère (Bernard, 2003). Pour la culture du haricot, la température est un facteur limitant, notamment lors des gelées printanières ou des fortes chaleurs estivales qui augmentent l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Aissa Abdi et al. 2021).

1.6. Les précipitations

Les précipitations sont le principal facteur affectant les conditions de vie et les cycles biologiques dans les zones semi-arides. Les mesures de pluie des stations de la région de Sidi Bel Abbès montrent une distribution saisonnière avec deux périodes différentes dans l'année. La première, qui s'étend généralement de septembre à mai, est marquée par des précipitations plus ou moins régulières sur une période de neuf mois. En revanche, la seconde période, beaucoup plus sèche, dure trois à quatre mois consécutifs, de juin à août ou septembre (Lahouel, 2014).

D'après Quézel (2000), il est crucial de ne pas négliger l'importance écologique de ces précipitations, en particulier en ce qui concerne les apports cachés comme la rosée. Bien que Sidi Bel Abbès soit une zone continentale, ces apports peuvent parfois délivrer des quantités d'eau significatives, aidant ainsi à maintenir l'équilibre hydrique du haricot, surtout pendant les phases critiques de son développement quand la plante est très vulnérable au stress hydrique.

Tableau.1 Précipitations moyennes mensuelles de Sidi Bel Abbès (2010 – 2024)

Mois	J	F	M	A	M2	J2	J3	A2	S	O	N	D	P.A(mm)
p(mm)	50,23	27,54	38,35	26,05	19,50	10,55	1,16	4,82	18,74	25,22	36,21	45,21	303,58

ONM, Sidi Bel Abbès (2024)

1.7. Le vent

Le vent joue un rôle déterminant dans la dynamique climatique de la région de Sidi Bel Abbès. Il contribue de manière significative, et souvent négative, à la définition du climat semi-aride, particulièrement durant la saison sèche et lors des épisodes orageux qui précèdent la saison des pluies,

lorsque les sols sont dénués de couverture végétale. Ces flux éoliens participent activement à l'altération des conditions de surface, accentuant la vulnérabilité des zones arides et semi-arides (**Thiombiano, 2000**).

L'impact des différents régimes de vent sur la culture du haricot se manifeste à deux niveaux complémentaires :

Sur le plan mécanique : les rafales peuvent provoquer des dommages physiques tels que la chute ou la séparation des feuilles et des fleurs, ce qui réduit directement le potentiel de rendement de la culture.

Sur le plan physiologique : le vent agit comme un facteur accélérateur de l'évapotranspiration (ETc), augmentant ainsi la demande en eau de la plante et provoquant un dessèchement plus rapide des tissus végétaux (**Balleux et Van Leberghe, 2001**).

Ce contexte climatique favorise une diminution rapide de l'humidité du sol et une réduction de la biomasse, ce qui accroît considérablement les risques d'érosion hydrique et souligne l'importance d'une planification rigoureuse de l'irrigation via le logiciel CROPWAT 8.0

Tableau.2 Variations de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent (2010 – 2024).

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D	Moy
V (km/jour)	120	130	130	173	173	130	130	130	130	173	173	173	148

Sidi Bel Abbès (2024)

1.8.L'humidité

L'humidité relative L'air n'est jamais totalement sec ; il renferme en permanence une quantité variable de vapeur d'eau. Cette composante est vitale pour le développement des végétaux car elle régule l'intensité de la transpiration et limite l'évaporation directe de l'eau du sol, permettant ainsi une meilleure absorption racinaire (**Autumn, 2006**). Dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, l'humidité relative est étroitement liée au caractère continental de la région. Contrairement aux zones littorales, on y observe une baisse significative de l'humidité durant la période estivale, ce qui accroît la demande évaporative de l'atmosphère. Selon les données météorologiques, l'humidité relative moyenne atteint son maximum en hiver (environ 80 % en janvier) et chute à ses niveaux les plus bas durant les mois les plus chauds, variant généralement entre 45 % et 60 % durant l'été (**Belarbi, 2017**). Le tableau suivant synthétise les variations de

l'humidité relative moyenne mensuelle pour la zone d'étude :Tableau N°3 : Humidités relatives moyennes mensuelles de la région de Sidi Bel Abbès (2010 – 2024)

Tableau 3 : Humidités relatives mensuelles (2010-2024)

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
H %	81	76	73	63	63	57	53	55	59	69	74	80

ONM, Sidi Bel Abbès (2024)

1.9. L'évaporation

L'évaporation représente le processus physique de transformation de l'eau en vapeur sous l'action d'un apport calorifique sur une surface liquide ou un milieu poreux humide (sol et végétation). Ce phénomène se produit à des températures nettement inférieures au point d'ébullition, comme l'indiquent de Parcevaux et al. (2007), cité dans Abdelouahab et al., 2012).

Dans le contexte climatique de Sidi Bel Abbès, la capacité de l'air à retenir la vapeur d'eau fluctue considérablement en fonction de la température. Les taux d'évaporation enregistrés sont ainsi beaucoup plus intenses durant la période estivale qu'en hiver (Zhongjia, 1985, cité dans (Abdelouahab et al. 2012).

Pour une culture sensible comme le haricot, une évaporation élevée, couplée à une faible humidité relative, accélère l'épuisement des réserves en eau du sol. Cette dynamique souligne la nécessité d'utiliser le modèle CROPWAT 8.0 pour quantifier précisément ces pertes et ajuster les apports d'irrigation en conséquence, garantissant ainsi un état hydrique optimal au niveau de la zone racinaire.

Tableau. 4 : Les données d'évaporation (2010-2024)

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
Ev(mm)	34,41	44,24	70,99	102,9	129,8	141	170,8	160,8	114,3	83,39	51,6	37,32

1.10. L'insolation

L'insolation représente un moteur énergétique fondamental pour l'activité photosynthétique et le bilan thermique des agro-systèmes. Il est impératif de souligner l'influence des conditions d'ensoleillement, car une forte insolation, lorsqu'elle est associée à des températures élevées, induit une baisse drastique de l'humidité relative de l'air, provoquant par conséquent une évaporation intense (**Deygout et Treboux, 2012**).

Dans la zone de Sidi Bel Abbès, la durée d'exposition solaire impacte directement la demande climatique. Pour la culture du haricot, un rayonnement excessif durant les phases de floraison et de nouaison peut engendrer un stress thermique majeur. L'intégration de ces données dans le logiciel CROPWAT 8.0 est donc cruciale pour estimer avec précision le rayonnement net et ajuster les besoins en irrigation afin de prévenir tout flétrissement physiologique.

Le tableau ci-dessous synthétise la variation de la durée d'insolation moyenne mensuelle enregistrée au niveau de la station d'étude :

Tableau 5 : Variation de l'insolation moyenne annuelle en heure.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vmax de la lumière	124	114	192	207	257	249	297	272	189	167	153	117

ONM, Sid Belabes (2024)

1.11. L'évapotranspiration (ETP)

L'évapotranspiration (ETP) constitue un facteur essentiel pour la détermination des besoins en eau des plantes et l'équilibre du bilan hydrologique dans la région de Sidi Bel Abbès.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) : Elle est définie comme étant la quantité maximale d'eau susceptible de s'évaporer sous forme de vapeur à partir d'un couvert végétal dans un climat donné (**Smahi, 2001**).

L'évapotranspiration réelle (ETR) : À l'échelle annuelle, la précipitation moyenne annuelle est souvent corrélée à l'évapotranspiration annuelle réelle.

La Réserve Utile (RU) : Elle représente la quantité d'eau présente dans le sol et utilisable par la plante. Pour la région de Sidi Bel Abbès, le calcul de la somme des valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle est synthétisé dans le tableau suivant :

Tableau 6: Valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (**Sidi Bel Abbès**)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ETP(mm)	34.4	44.2	70.9	102.9	129.8	141.0	170.8	160.8	114.3	83.3	51.6	37.8	1141.8

1.12. La salinité

1.12.1. La salinité de l'eau dans la zone de Sidi Bel Abbès change, étant fortement affectée par la composition des sols rencontrés (**Smahi, 2001**). Cette minéralisation, marquée par la dominance de cations comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}) et le calcium (Ca^{2+}), affecte directement la qualité des eaux souterraines, surtout celles utilisées pour l'irrigation (**Bensaoula, 2003**).

1.12.2. Les données utilisées pour le graphique

Pour illustrer la corrélation entre la température et l'évapotranspiration dans la région de **Sidi Bel Abbès**, nous utilisons les variables suivantes :

Tableau. 7 : Relation entre la température maximale (Tmax) et l'évapotranspiration (ETP)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETP (mm)	34.4	44.2	70.9	102.9	129.8	141.0	170.8	160.8	114.3	83.3	51.6	37.8
T. Max (°C)	14,1	16,2	17,5	21	23,5	28,2	32,8	33,1	28,3	22,7	17,2	14,5

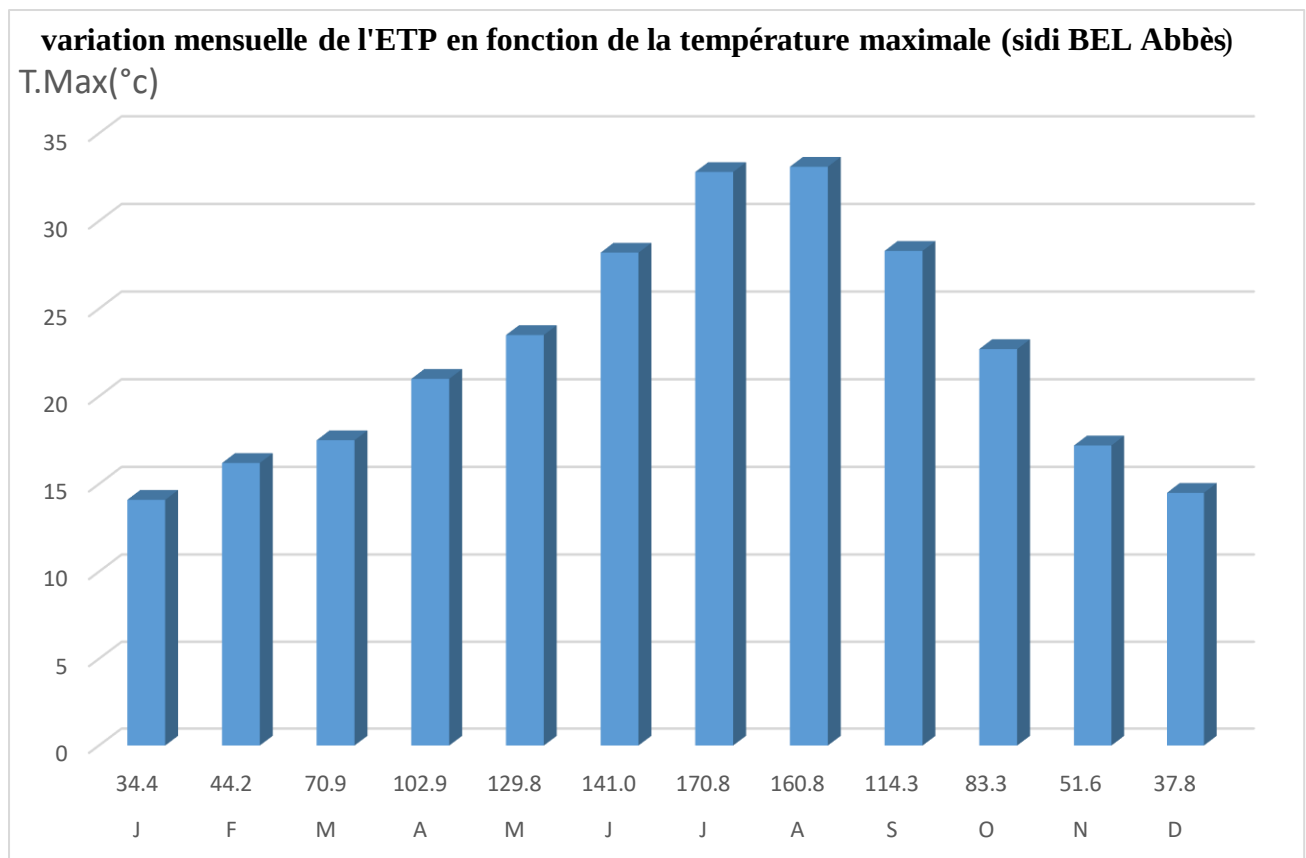


Figure. 3 : variation mensuelle de l'ETP en fonction de la température maximale (sidi BEL Abbès)

1.13. Agriculture

La wilaya de Sidi Bel Abbès, pôle agricole majeur de l'Ouest algérien, couvre une superficie totale de 915 063 hectares (**soit environ 9 150 km²**). L'analyse de l'occupation du sol met en évidence une vocation agricole dominante : la Surface Agricole Totale (SAT) s'élève à environ 450 423 hectares, dont la Surface Agricole Utile (SAU) représente environ 342 000 hectares. Cela signifie que l'activité agricole potentielle concerne près de 49 % du territoire global de la wilaya (**MADR, 2024**).

À l'inverse, les zones non exploitées, les parcours ou les terres improductives occupent une superficie d'environ 464 640 hectares, soit près de 51 % de l'espace total (incluant les zones forestières, steppiques et les agglomérations). Cette répartition spatiale confirme l'importance stratégique du secteur agricole dans la structure économique de la région, particulièrement marquée par la céréaliculture (avec plus de 136 000 hectares emblavés pour la campagne 2025-2026) et l'élevage bovin et ovin.

Tableau 2: Répartition générale des terres agricoles à Sidi Bel Abbès (ha)

Nature des Terres	Catégories	Campagne 2019/2020	Campagne 2020/2021
Terres Labourables	Cultures Herbacées (Céréales, etc.)	165 860	164 495
	Terres au Repos (Jachère)	37 450	40 853
Cultures Permanent	Vignobles	12 599	13 750
	Plantations d'Arbres Fruitiers	12 332	12 900
Total Global	Superficie Agricole Utile (S.A.U)	350 179	359 179

Source : Direction des Services Agricoles (DSA) de la Wilaya de Sidi Bel Abbès / Rapports statistiques (2021-2024).

Chapitre 2 Généralités sur la culture du Haricot vert

II. 1. Généralités .

Le haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) est une légumineuse de la famille des Fabaceae. Il vient principalement d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud, qui sont les principaux endroits où cette espèce a été domestiquée (Gepts, 1990 ; Lemma, 2003 ; Brigide et al., 2014). Sur le plan nutritionnel, le haricot vert est très important dans l'alimentation des humains. Il est une bonne source de protéines, de fibres, de vitamines et de minéraux, ce qui en fait un légume intéressant pour une alimentation équilibrée (Fortin, 1996). Comme d'autres légumineuses, *P. vulgaris* a la capacité de fixer l'azote de l'air, ce qui diminue l'utilisation d'engrais azotés chimiques. Cela est possible grâce à sa relation avec des bactéries du genre *Rhizobium*, dont la diversité et l'efficacité changent selon les conditions du sol et du climat. Des recherches récentes ont montré que des souches locales de *Rhizobium* peuvent améliorer la nodulation, la fixation de l'azote et le rendement du haricot vert (Koskey et al., 2017 ; Muñoz-Azcárate et al., 2016 ; Vásquez Lozano et al., 2025). En termes d'agroéconomie, le haricot vert est une culture clé à l'échelle mondiale. D'après les dernières statistiques de la FAOSTAT, la production mondiale de haricots verts était de 23,34 millions de tonnes en 2022, dont 18,06 millions de tonnes provenaient de Chine, ce qui représente près de 77,4 % de la production totale (FAOSTAT, 2022). En outre, la consommation de légumes frais, peu transformés et prêts à consommer augmente continuellement en raison de leur praticité, de leur valeur nutritive, et de la meilleure qualité perçue par les consommateurs (Baskaran et al. 2007).

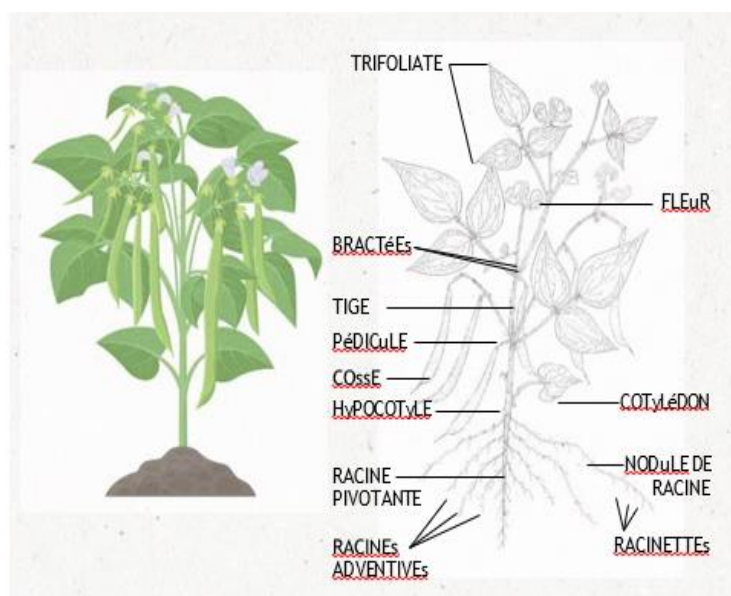


Figure 4 : Schéma d'une plante de haricot vert nain

Source : <http://34.250.91.188:8080/xmlui/handle/123456789/665>

II. 2. Origine et domestication.

La domestication du haricot commun aurait eu lieu dans deux régions distinctes, d'une part en Amérique centrale pour la variété *vulgaris*, et d'autre part en Amérique du Sud, dans la région andine pour la variété aborigènes. On peut différencier les variétés méso-américaines de celles des Andes, surtout en ce qui concerne la taille des graines, qui sont plus grandes pour les variétés andines (**Adamas et al. , 1985**).

L'introduction du haricot en Europe serait d'abord due à Christophe Colomb, qui l'aurait découvert à Nuevitas (Cuba) lors de son premier voyage en octobre 1492, puis d'autres explorateurs l'ont également trouvé en différents lieux en Amérique du Nord et du Sud. La diffusion de cette plante en Europe aurait été facilitée par le Vatican. Dès le XVI^e siècle, des marins portugais l'ont emmenée en Afrique et en Asie (**Adamas et al. , 1985**).

Quatre types de haricot d'origine américaine ont été domestiqués et cultivés par les humains : *Phaseolus vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus* et *P. acutifolius* var. *latifolius*. Cependant, seules les deux premières (*P. vulgaris*, connu comme le haricot commun, et *P. lunatus* appelé le haricot lima) ont réussi à devenir des cultures importantes et se sont étendues au-delà de leur continent d'origine. Ces espèces ont été parmi les premières à être élevées indépendamment en Amérique centrale et en Amérique du Sud.



Figure 5: La domestication du haricot

Chapitre 2 : Généralités sur la culture du Haricot

Source : Haricot - Origine et diffusion du haricot

II. 3. Composition et valeur nutritive:

Les haricots verts sont assez riches en vitamines, en fibres, en minéraux (surtout en iode) et en oligo-éléments, comme le montre Broughton et al. (2003). Ces éléments sont indiqués dans le tableau

Tableau 3 : La composition chimique du haricot vert (Torres, 2004 ; Couplan, 1998).

Composés	Minéraux (mg/100g)	Vitamines
Eau (90g/100g)	Iode, I (0.0320)	Vitamine A (170UI/100g)
Protides (8g/100g)	Zinc, Zn (0.1-0.2)	Vitamine B1 (0.53mg/100g)
Lipides (0.5g/100g)	Calcium, Ça (37)	Vitamine B2 (0.1mg/100g)
Glucides (21g/100g)	Phosphore, P (38)	Vitamine B9 (61µg/100g)
Carotène (170UI/100g)	Fer, Fe (1)	Vitamine C (2mg/100g)
Calories (120Kcal/100g)	Sodium, Na (6/100)	Vitamine E (2.5mg/100g)
Fibres (0.07g/100g)	Potassium, K (208/100)	Vitamine k (61,3 µg/100g)

II. 4. Importance de la culture .

Les haricots secs sont une bonne source de potassium et d'acide folique. Ils sont riches en magnésium et fer, et ont également du cuivre, phosphore, zinc, thiamine, niacine et vitamine B6. Le haricot frais a des propriétés diurétiques, dépuratives, toniques et anti-infectieuses (Baudoin et al. 2001).

II. 5. Classification botanique .

Le haricot commun, qui fait partie de la famille Fabaceae, a été d'abord nommé Smilax hortensis par les botanistes Tragus et Fuchs en 1542 (Admas et al., 1985). En 1753, Linné a proposé le nom binominal Phaseolus vulgaris pour définir cette espèce, il

a aussi regroupé d'autres haricots moins connus à son époque sous le genre *Phaseolus* (Baskran et al. , 2007).

Classification botanique du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta.

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Genre : *Phaseolus*

Espèce : *vulgaris*

II. 6. Exigences climatiques .

Le haricot est une plante qui a besoin de températures appropriées :

Il redoute le gel et a besoin de températures au-dessus de 10 – 12 °C pour croître, sa période de culture est donc uniquement estivale. L'eau est essentielle pour le rendement et la qualité de la récolte.

La plante n'a pas d'exigences spécifiques pour le type de sol mais un sol bien aéré aide le développement des nodosités, et elle réagit mal aux pH bas : ses valeurs optimales sont entre 6. 1 et 7. 4 (Renard et al. 2007).

II. 7. Description morphologique

II. 7. 1. Les racines

Le système racinaire de la plante de haricot se développe lentement après la germination. La première racine, provenant de la radicule, devient la racine principale (Chaux et Foury, 1994). De plus, cette racine principale peut être facilement stoppée par des obstacles dans le sol. Les racines latérales peuvent croître davantage que la racine principale (Guignar, 1998). Le système racinaire pivotant peut descendre jusqu'à 1. 2m, le plus grand nombre

de racines se trouve entre 0. 20 et 0. 25 m de profondeur **(Barreto, 1983)**.

II. 7. 2. La tige

Les tiges peuvent atteindre 2 à 3 mètres de longueur, mais la plante de haricot à tiges courtes mesure généralement 30 à 40 cm de hauteur ; ce type de haricot est appelé haricot nain **(Dupont & Guignard, 1989)**.

II. 7. 3. Les feuilles

Troisveines parcourent complètement la feuille d'une plante de haricot vert à partir de sa base. Cette plante a deux types de forme pour les feuilles, au deuxième nœud, deux des premières feuilles sont appelées feuilles primaires. Les feuilles typiques de cette plante commencent à apparaître à partir du troisième nœud. Les deux premières feuilles sont simples et se trouvent l'une en face de l'autre sur la tige, alors que les autres sont trifoliolées, mesurant entre 7. 5 et 14 cm de longueur et entre 5. 5 et 10 cm de largeur **(Gallais & Bennfort, 1992)**.

III. 7. 4. Les fleurs

La famille des Fabaceae se caractérise par des fleurs en grappes courtes, ayant de 4 à 10 fleurs **(Chaux et Foury, 1994)**. Chaque fleur fait environ 2 cm de long et montre différentes couleurs comme le rose, le blanc, le violet et le rouge **(Bell, 1994)**. Les fleurs de la plante de haricot vert sont de type papillon et comprennent : 5 sépales, 2 pétales, 9 étamines fusionnées à leur base et une détachée, un ovaire avec une loge contenant entre 4 et 8 ovules **(Bell, 1994)**.

III. 7. 5. Les fruits

D'après Hubert (1978), les fruits sont en gousses allongées souvent droites, plus ou moins larges et terminant en pointe. Ils mesurent entre 8 et 25 mm de large. En général, elles ont de 4 à 8 graines. Les faisceaux ligneux varient dans les parois de la gousse, aussi nommées cosses **(Goust et Seignobos, 1998)**.

III. 7. 6. Les graines

Les graines sont en forme de rein, arrondies à ovales légèrement allongées. Elles contiennent beaucoup d'amidon et de protéines. La forme ressemble à un rein et elles ont une marque ou hile

sur le côté concave (**Chaux et Foury, 1994**). Selon les variétés, le tégument peut être noir, blanc ou avoir différentes teintes de jaune, brun, rouge ou rose (**Peron, 2006**).



Figure 6 : les graines du haricot verts (martin_hetto ; 2023)

III. 8. Le cycle de végétation

III. 8. 1. Phase de germination

Le temps de germination des graines varie de 4 à 8 jours selon la température. Les cotylédons sortent du sol plus tard et la première paire de feuilles apparaît (**Hubert, 1978**).

III. 8. 2. Phase de croissance

Avant l'apparition de 3 à 4 jours, les cotylédons commencent à disparaître, et la première feuille trifoliée se montre environ 5 à 6 jours après (**Pitrat et Foury, 2003**). Entre 5 et 6 jours après l'émergence de la première feuille, la deuxième feuille trifoliée apparaît. Après un mois, la plante produit environ dix feuilles trifoliées et atteint une taille finale de 30 à 40 cm au-dessus du sol pour les variétés naines (**Dupont et Guinard, 1989**).

III. 8. 3. Phase de floraison

Selon Lecomte (1997), la période de floraison commence généralement entre trois semaines et un mois après le semis et dure un mois et demi, variant selon les conditions météo. La gousse jeune atteint généralement sa taille finale en environ douze jours.

III. 8. 4. Phase de maturation

D'après Lecomte (1997), le cycle complet de croissance du haricot est de 75 à 130 jours. Une fois la taille finale atteinte, la formation du fruit prend de 15 à 30 jours et environ 20 jours plus tard.

III.8.5. Récolte

La fréquence des récoltes dépend du type de haricot. Pour le haricot extra fin du Kenya, les récoltes ont lieu chaque jour. Pour la variété Bobby, il est conseillé de récolter tous les trois à quatre jours, tandis que pour le haricot filet, une récolte tous les deux jours est recommandée. Le respect de ces fréquences de récolte tout au long du processus de production est essentiel pour éviter d'avoir des impacts négatifs sur les rendements commerciaux en raison de grandes variations lors du tri. La récolte se fait à la main avec le pédoncule. La cueillette est réalisée le matin, à moins que les plantes soient très humides.

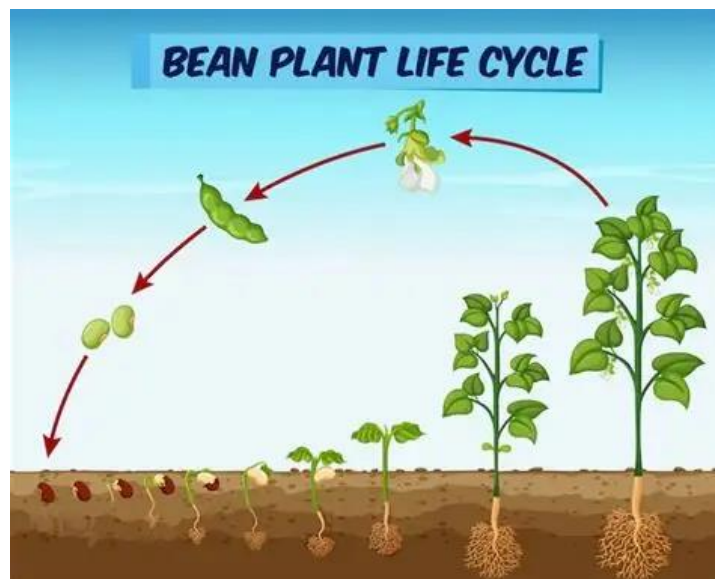


Figure. 7: le cycle de végétation

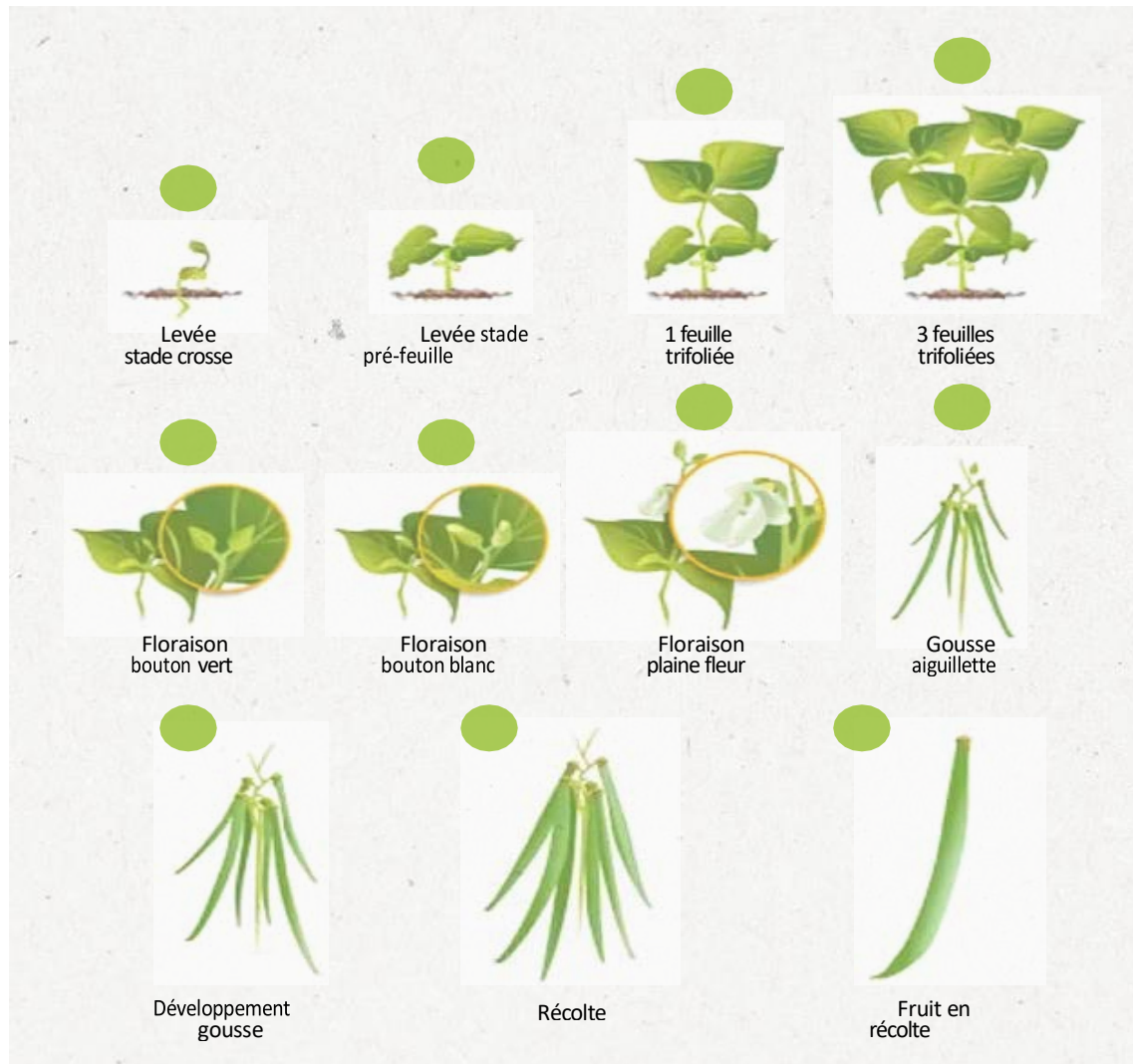


Figure. 8 : Illustration de l'échelle BBCH pour les haricots. Syngenta (2015).

Source : <https://www.syngenta.fr/agriculture-durable/reglementation/dossier-bbch/article/echelle-bbch-haricot>

II. 9. Facteurs affectant le rendement et ses composantes

Selon Amanullah et al. (2002), choisir une date de semis parfaite et une variété de qualité est essentiel pour assurer un rendement potentiel à l'hectare. D'après Essubalew Getachew (2014), le poids moyen des gousses individuelles est influencé par l'interaction de deux facteurs : le type de variété et la date de semis choisie. De plus, il existe une variation significative concernant le nombre de gousses par plante, la longueur des gousses, le poids total des gousses par plante et la taille de la plante. Toutes ces variations pourraient aussi être dues à des différences dans les traits génétiques des diverses variétés d'haricots verts.

III. 9. 1. Hauteur de la tige

D'après Samih (2008), des rendements plus élevés ont été notés chez les populations à tige élevée par rapport aux populations à tige basse. Effectivement, même si ces variétés prennent généralement plus de temps à mûrir que les types à tige courte, elles tendent à offrir de meilleurs rendements.

III. 9. 2. Date de semis

Selon Yoldas et Esiyok (2007), les semis du haricot vert faits tôt ont montré une meilleure performance et croissance, même si leur diamètre de gousse, teneur en matière sèche et longueur de gousses étaient plus faibles comparés à ceux semés plus tard. Selon Escalante et al. , (1989), le semis précoce produit un plus grand nombre de gousses par rapport au semis tardif. Il crée une hauteur de plante plus élevée (**Yoldas & Esiyok, 2007**)

En revanche, le diamètre de gousse le plus élevé a été noté lors d'une plantation tardive, contrairement à une semence précoce. Cela pourrait être dû à une meilleure disponibilité d'humidité au moment du semis, aidant ainsi le développement des plantes. Cela pourrait expliquer le diamètre plus important et la récolte plus généreuse. Le rapport entre le diamètre de la gousse, la matière sèche et la longueur de la gousse dépend de la date de semis tardif (**Yoldas & Esiyok, 2007**). Ce fait est aussi rapporté par Marlene et al (**2008**), qui ont vu un diamètre de gousse plus large lors du semis tardif par rapport au semis précoce.

III. 9. 3. Dose de semis

Selon Pawar et al (2007), une augmentation importante du poids sec des haricots verts a été notée avec un espacement plus large des lignes de semis à environ 30 cm, comparé à un espacement plus étroit comme 22,5 cm. Ainsi, une masse plus élevée des gousses a été aperçue lorsque les graines étaient semées à des densités inférieures, comparées à des densités plus élevées (**Samih, 2008**).

III. 9. 4. Stress hydrique

Les cultures de haricot vert, que ce soit en plein champ ou sous serre, subissent une forte baisse de leurs rendements à cause du stress hydrique. Cela inclut

une baisse significative du poids des gousses et/ou un manque de maturation, ainsi qu'une réduction importante du nombre de gousses par plante (**Petropoulos et al. 2020**).

III. 9. 5. Stress thermique

Il y a une relation claire entre le stress causé par des températures élevées et la baisse des rendements des cultures de haricot vert (**Omae et al, 2005**) en raison de sa forte connexion avec la diminution de l'eau d'irrigation disponible pour les cultures.

III. 9. 6. Ph du sol

Selon Colead (2023), le pH idéal du sol pour cultiver des haricots verts est entre 6,0 et 7,5.

II. 10. Les ennemis du haricot

Les plantations de haricots peuvent être touchées par divers nuisibles et maladies qui peuvent causer des dommages considérables sans des méthodes de contrôle appropriées. On estime qu'en Afrique tropicale, plus de la moitié de la production est perdue chaque année (**Admas, 1985**).

II. 10. 1 Les nuisibles

Beaucoup de nuisibles peuvent mettre en danger les cultures de haricots et les graines entreposées, y compris des limaces, des insectes, des acariens et des nématodes



Figure 9 : Plante de Haricot attaqué par le tétranyque tisserand (*Tetranychus urticae*) (**Mainassara et al, 2009**).

II. 10. 2. Les maladies

Les cultures de haricots peuvent être touchées par différentes maladies causées par des

agents fongiques, bactériens ou viraux :

III. 10. 2. 1. Les maladies cryptogamiques

Une des maladies principales des cultures de haricots est le botrytis. Elle n'apparaît qu'à la période de floraison. *Botrytis cinerea*, le champignon responsable, est présent de manière naturelle dans le sol. Il cause des taches circulaires, molles et de couleur grise sur les tiges et les gousses, souvent à partir des pétales desséchés. Les effets peuvent être graves : réduction de la production due à l'avortement et à la pourriture des gousses (Broughton, 2003).

Il existe d'autres types de champignons qui peuvent infecter les cultures de haricots, tels que la rouille du haricot, causée par *Uromyces appendiculatus* ; la sclérotiniose, connue également sous le nom de pourriture blanche provoquée par *Sclerotinia sclerotiorum*, la maladie du pied du haricot causée par *Fusarium phaseoli* et l'oïdium américain du haricot engendré par *Erysiphe polygoni*, qui se l'imite aux zones tempérées chaudes (Admas, 1985).

III. 10. 2. 2. Les maladies bactériennes

On remarque parfois des taches grasses sur la plante de haricot causées par des bactéries, transmises par les semences : Graisse à *Pseudomonas* ; Graisse à *Xanthomonas* et Brown spot, aussi connue sous le nom de graisse bactérienne (Broughton, 2003). L'infection se montre par l'apparition de taches huileuses jaunes ou orange sur les feuilles, les gousses et les graines (Admas, 1985).



Figure 10 :la présence de la bactérie *Pseudomonas syringae*

Source : Haricot - Graisse bactérienne | Iriis

III. 10. 2. 3. Les maladies virales

Ces maladies sont dues à la contamination par des virus, via les graines infectées et les pucerons. Cela concerne surtout la mosaïque commune du haricot qui entraîne un motif vert sombre sur les feuilles, semblable à une mosaïque. Les plantes montrent une diminution de leur taille, un dérèglement de leur floraison et une déformation des gousses (**Broughton, 2003**). La maladie virale de la mosaïque jaune du haricot est aussi une infection virale, mais elle apparaît moins fréquemment que la précédente (**Admas, 1985**).

III. 11. Les moyens de lutte contre les ennemis du haricot

La lutte contre les nuisibles et les maladies repose sur plusieurs techniques :

- L'utilisation de variétés de haricots résistantes et de semences sans germes pathogènes, ou traitées avec des fongicides ;
- La rotation de cultures de haricots et d'autres légumineuses sur le même terrain empêche l'apparition d'infections.
- Une gestion précise et modérée de l'irrigation ainsi que l'utilisation de fongicides et d'insecticides appropriés (**Admas, 1985**).

Etude Expérimentale

Matériel & Méthodes

Partie II : Matériels et méthodes

1. Présentation du modèle :

1.1 Modèle CROPWAT 8.0 :

CROPWAT est un logiciel créé pour simplifier la gestion de l'irrigation, développé par la FAO en 1992, en utilisant une version modifiée de la formule de Penman-Monteith. Il aide à évaluer les besoins en eau des cultures et les quantités d'eau nécessaires pour l'irrigation ; basé sur les Bulletins de drainage et d'irrigation FAO-24 et 33. Il propose également de créer un plan d'arrosage selon différentes méthodes agricoles, ainsi que d'évaluer l'effet du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de diverses techniques d'irrigation (**Boudjelal et Bommoun, 2006**). CROPWAT 8.0 pour Windows est un logiciel d'analyse de données créé pour calculer la demande en eau des cultures et les besoins en irrigation, à partir d'informations sur le sol, le climat et l'agriculture. En outre, le programme permet de concevoir des plans d'irrigation selon différentes situations de gestion et de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour les différentes cultures. CROPWAT 8.0 peut aussi être utilisé pour examiner les pratiques d'irrigation des agriculteurs et pour estimer la performance des cultures dans des conditions irriguées ou en sec (**FAO**).

1.2. Description de CROPWAT 8.0 :

- Saisie mensuelle, par décennie et quotidienne de données climatiques pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET_o)
- Compatibilité avec les anciennes versions pour utiliser les données du système CLIMWAT
- Estimation des données climatiques en l'absence de valeurs mesurées
- Calcul des besoins en eau des cultures par décennie et quotidiennement basé sur des algorithmes mis à jour, y compris l'ajustement des coefficients culturaux
- Calcul des besoins en eau des cultures et programme d'irrigation pour le riz paddy et le riz pluvial, utilisant une nouvelle méthode qui inclut la préparation des terres
- Programmes d'irrigation interactifs pouvant être modifiés par l'utilisateur
- Tableaux des bilans hydriques quotidiens du sol
- Sauvegarde et récupération aisées des sessions et des programmes d'irrigation personnalisés
- Représentations graphiques des données d'entrée, des besoins en eau et des programmes d'irrigation
- Import/export simple des données et des graphiques via le presse-papiers ou des fichiers texte ASCII

Partie II : Matériels et méthodes

- Fonctions d'impression diverses, compatibles avec toutes les imprimantes Windows
- Aide contextuelle disponible

1. 3 Composants du logiciel CROPWAT 8. 0 et leurs fonctionnalités :

a) Climat

Ce module permet d'entrer les données climatiques requises pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (ET₀).

Données nécessaires :

Température maximale et minimale (°C) Humidité relative (%)

Vitesse du vent (km/j)

Rayonnement solaire ou temps d'ensoleillement (heures/j) Fonction principale :

Calculer l'évapotranspiration de référence (ET₀) avec la méthode de Penman-Monteith.

Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ET ₀
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m²/jour	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

Figure 11 : calcul d'ET₀

Dans CROPWAT 8, l'ET₀ (évapotranspiration de référence) est calculée automatiquement à partir des données climatiques, en utilisant la formule de Penman-Monteith de la FAO, considérée comme la méthode standard.

Voici la formule FAO Penman-Monteith :

Partie II : Matériels et méthodes

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

Explication des symboles :

ET_o : Évapotranspiration de référence (mm/jour)

Δ : Pente de la courbe de pression de vapeur saturante (kPa/°C)

R_n : Rayonnement net à la surface de la culture (MJ/m²/jour)

G : Flux de chaleur dans le sol (MJ/m²/jour) – souvent ignoré (≈ 0) sur base quotidienne

γ (gamma) : Constante psychrométrique (kPa/°C)

T : Température moyenne de l'air (°C) à 2 mètres

U₂ : Vitesse du vent à 2 mètres (m/s)

e_s : Pression de vapeur saturante (kPa)

e_a : Pression de vapeur réelle (kPa)

(e_s - e_a) : Déficit de pression de vapeur (kPa), indication du besoin en eau de l'air

b) Pluviométrie :

Ce module est pour entrer les données de précipitations mensuelles ou journalières. Il sert aussi à calculer la précipitation efficace, c'est-à-dire la portion des précipitations vraiment utilisable par la plante.

Fonction principale :

Savoir la quantité d'eau effectivement disponible pour les cultures grâce aux précipitations.

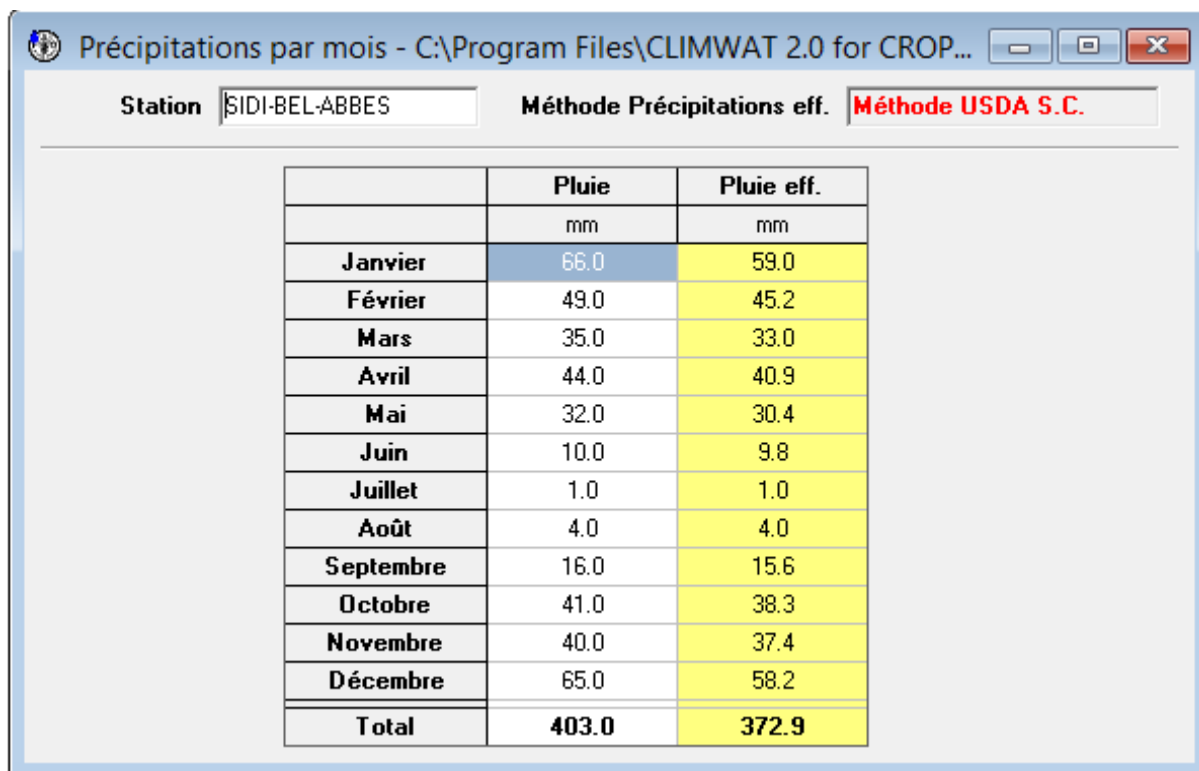
s (m/s)

e_s : Pression de vapeur saturante (kPa)

e_a : Pression de vapeur réelle (kPa)

(e_s - e_a) : Déficit de pression de vapeur (kPa), indication du besoin en eau de l'air

Partie II : Matériels et méthodes



	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	66.0	59.0
Février	49.0	45.2
Mars	35.0	33.0
Avril	44.0	40.9
Mai	32.0	30.4
Juin	10.0	9.8
Juillet	1.0	1.0
Août	4.0	4.0
Septembre	16.0	15.6
Octobre	41.0	38.3
Novembre	40.0	37.4
Décembre	65.0	58.2
Total	403.0	372.9

Figure 12: calcul des pluies efficaces

Le calcul des précipitations utiles (Pe) dans CROPWAT 8.0, selon la méthode utilisée par l'USDA - SCS (Soil Conservation Service, maintenant NRCS), se base sur une méthode simple qui s'appuie uniquement sur les données de pluie mensuelles (P). Voici la formule :

$$Pe = P * (125 - 0.2 * P) / 125 \text{ si } P \leq 125 \text{ mm}$$

$$Pe = 125 + 0.1 * P \text{ si } P > 125 \text{ mm}$$

Pe : Précipitation utile (en mm/mois)

P : Précipitation totale (en mm/mois)

c) Culture :

Ce composant sert à définir les caractéristiques spécifiques de la culture concernée. Paramètres à entrer : Durée des stades de croissance (début, développement, mi-saison, maturation) Coefficients culturaux (Kc) pour chaque stade Profondeur maximale des racines Sensibilité de la culture au stress d'eau

Fonction principale :

Partie II : Matériels et méthodes

Calculer les besoins en eau de la culture (ETc) selon l'ET_o et les Kc.

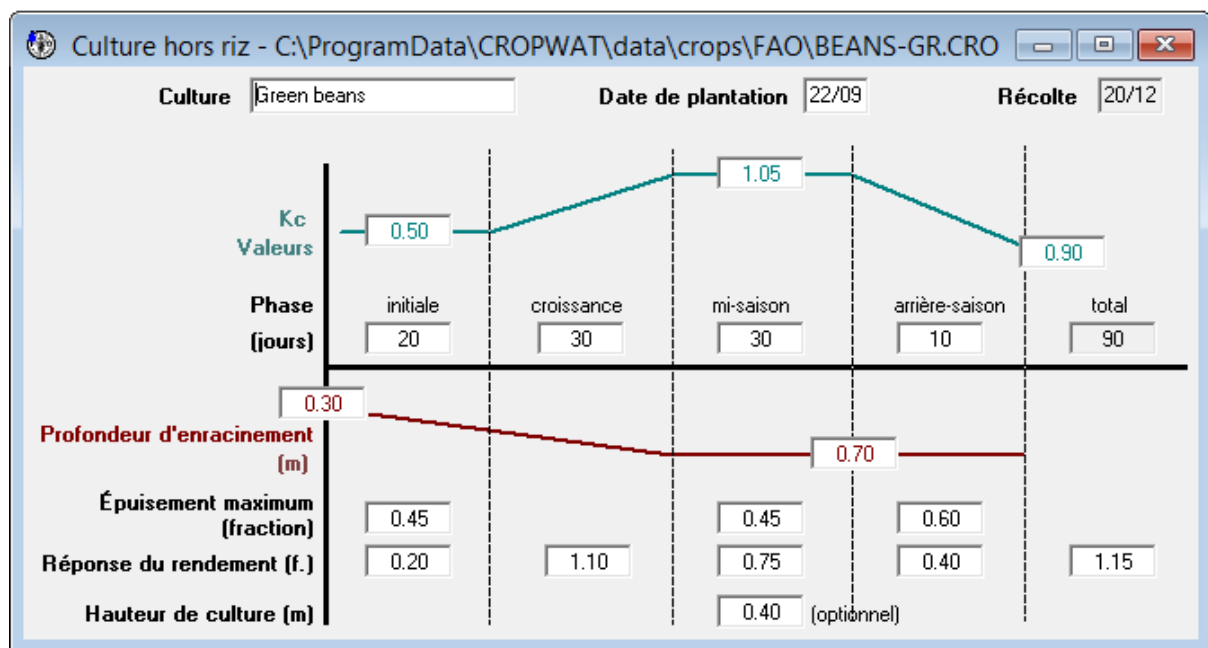


Figure 13: calcul des besoins en eau

d) Sol :

Module Sol

Ce module sert à établir les caractéristiques hydrodynamiques du sol nécessaires pour le calcul du bilan hydrique dans CROPWAT. Il est accessible via l'icône « Sol » ou le menu « Nouveau ».

Données requises :

Capacité au champ et Point de flétrissement : Pour fixer les niveaux de rétention d'eau.

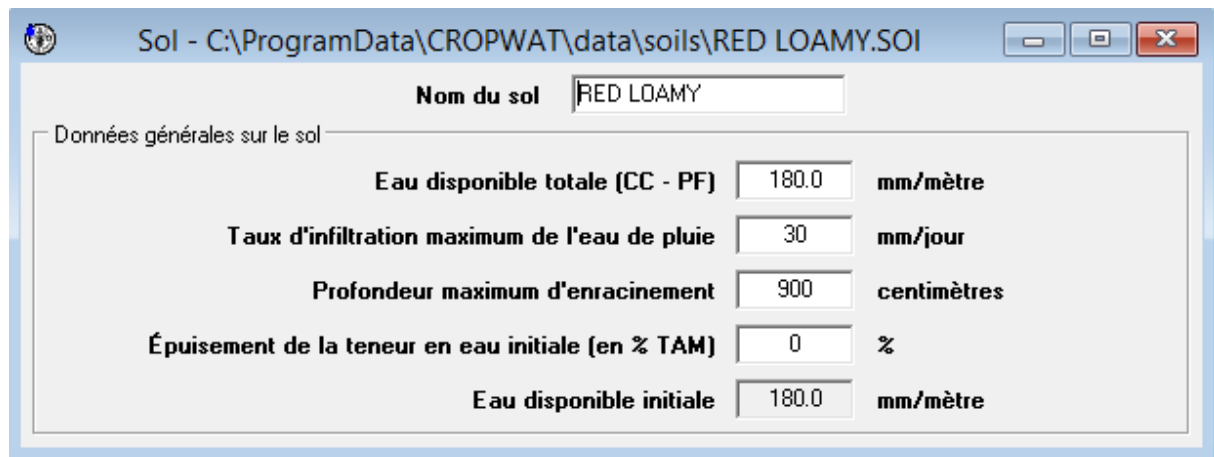
TAM (Eau disponible totale) : Mesurée en mm/m.

Infiltration maximale : Pour gérer l'absorption des eaux (mm/j)

Profondeur d'enracinement : Limite d'exploration racinaire (cm).

État initial : Niveau d'épuisement de l'eau au début de l'étude (%).

Partie II : Matériels et méthodes



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

Nom du sol RED LOAMY

Données générales sur le sol

Eau disponible totale (CC - PF) 180.0 mm/mètre

Taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie 30 mm/jour

Profondeur maximum d'enracinement 900 centimètres

Épuisement de la teneur en eau initiale (en % TAM) 0 %

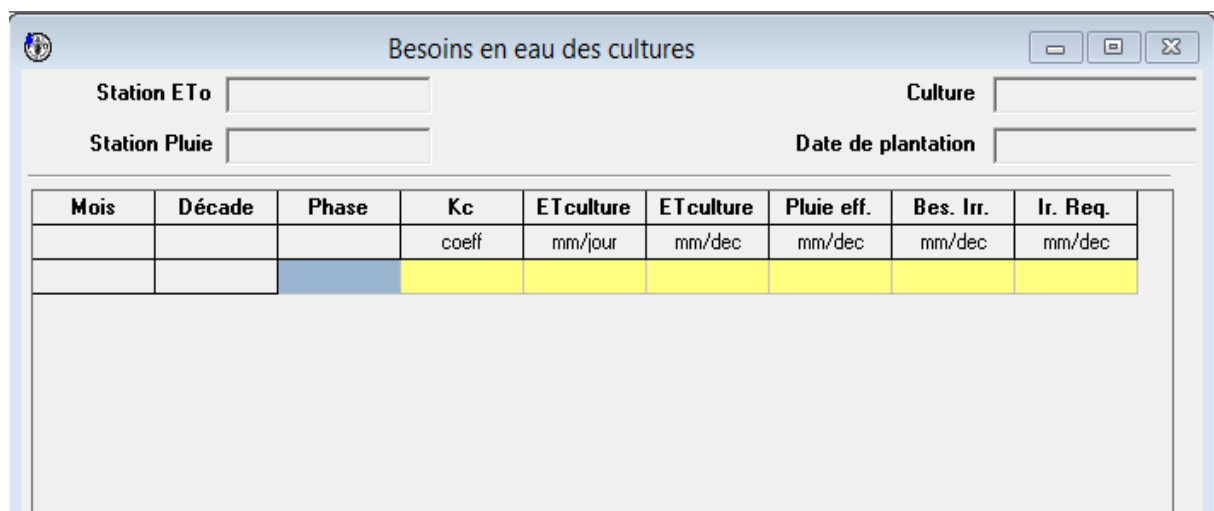
Eau disponible initiale 180.0 mm/mètre

Figure 14: une fenêtre de données du sol

e) Besoins en eau

Fonction : Évaluer les besoins en eau (ETc) selon la culture, le climat et le sol.

Sortie : Tableau des besoins quotidiens ou mensuels en eau pour chaque phase de développement.



Besoins en eau des cultures

Station ETo Station Pluie Culture Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETculture	ETculture	Pluie eff.	Bes. Irr.	Ir. Req.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec

Figure 15: présente un tableau des besoins en eau

La formule utilisée dans CROPWAT 8. 0 pour déterminer le besoin en eau de la culture est la suivante :

$$ETc = ETo \times Kc$$

Explication des symboles :

ETc : Besoin en eau de la culture (évapotranspiration de la culture) en mm/jour ou mm/période

ETo : Évapotranspiration de référence (mm/jour), calculée selon la méthode de Penman-

Partie II : Matériels et méthodes

Monteith FAO

Kc : Coefficient culturel (varie selon la culture et son stade de développement)

f) Calendrier

On peut activer ce module en choisissant l'icône « Calendrier » dans la barre Modules à gauche de la fenêtre principale de CROPWAT. Le module « Calendrier » est surtout fait de calculs, qui montrent le bilan hydrique du sol chaque jour. Cela aide à :

- Améliorer la gestion de l'eau en créant des calendriers d'irrigation utiles ;
- Évaluer les méthodes d'irrigation actuelles et les rendements en eau des cultures ;
- Évaluer la productivité des cultures en eau de pluie et examiner la possibilité d'un arrosage supplémentaire ;
- Créer des programmes de distribution d'eau alternatifs en cas de pénurie d'eau.

Calendrier d'irrigation des cultures

Station ET0 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

Utilisation potentielle d'eau par culture mm

Besoins en eau réels mm

Efficiences calendrier d'irrigation %

Efficiences des précipitations %

Inefficacités calendrier d'irrigation %

Baisses du rendement

Phase	A	B	C	D	Saison
Baisses de l'ETc					%
Facteur Réponse du rendement					%
Baisse du rendement					%
Baisses cumulées du rendement					%

Figure 16 : présente le tableau calendrier d'irrigation

Assolement :

En cliquant sur l'icône Assolement de la barre Modules située à gauche de la fenêtre principale de CROPWAT, vous pouvez choisir le module Assolement. En d'autres termes, vous pouvez utiliser la liste déroulante du bouton Nouveau dans la barre d'outils ou le bouton Nouveau dans le menu Fichier.

- Le fichier Culture : CROPWAT 8.0 inclut des informations

Partie II : Matériels et méthodes

sur plusieurs cultures communes, comme celles provenant des publications FAO (les Bulletins d'Irrigation et de Drainage No. 56 "Évapotranspiration des cultures" et No. 33 "Réponse du rendement à l'eau"). Ces liens nécessitent une connexion Internet. Néanmoins, les informations agricoles les plus fiables sont celles collectées dans les stations de recherche agricoles locales.

- La date de plantation est généralement affectée par les conditions climatiques et les méthodes agricoles locales. La date de mise en culture des cultures concerne notamment celles qui couvrent de grandes surfaces ou qui nécessitent beaucoup d'eau. Pour rendre l'analyse plus simple, vous pouvez diviser la culture dans CROPWAT en plusieurs unités culturales avec des périodes de plantation de 10 à 15 jours. Ce processus est utile pour étudier différentes sources d'eau et calculer les programmes d'approvisionnement en eau pour diverses zones. On calcule automatiquement la date de récolte en fonction de la date de plantation ou du développement de la plante et de la durée totale du cycle de culture.

- La "Surface" désigne l'espace attribué à chaque type de culture, exprimé en pourcentage de la totalité de la zone cultivée.

Il est important de s'assurer que la somme des différentes cultures ne dépasse jamais 100% de la superficie totale du périmètre à aucun moment (Andriamparany, 2018).

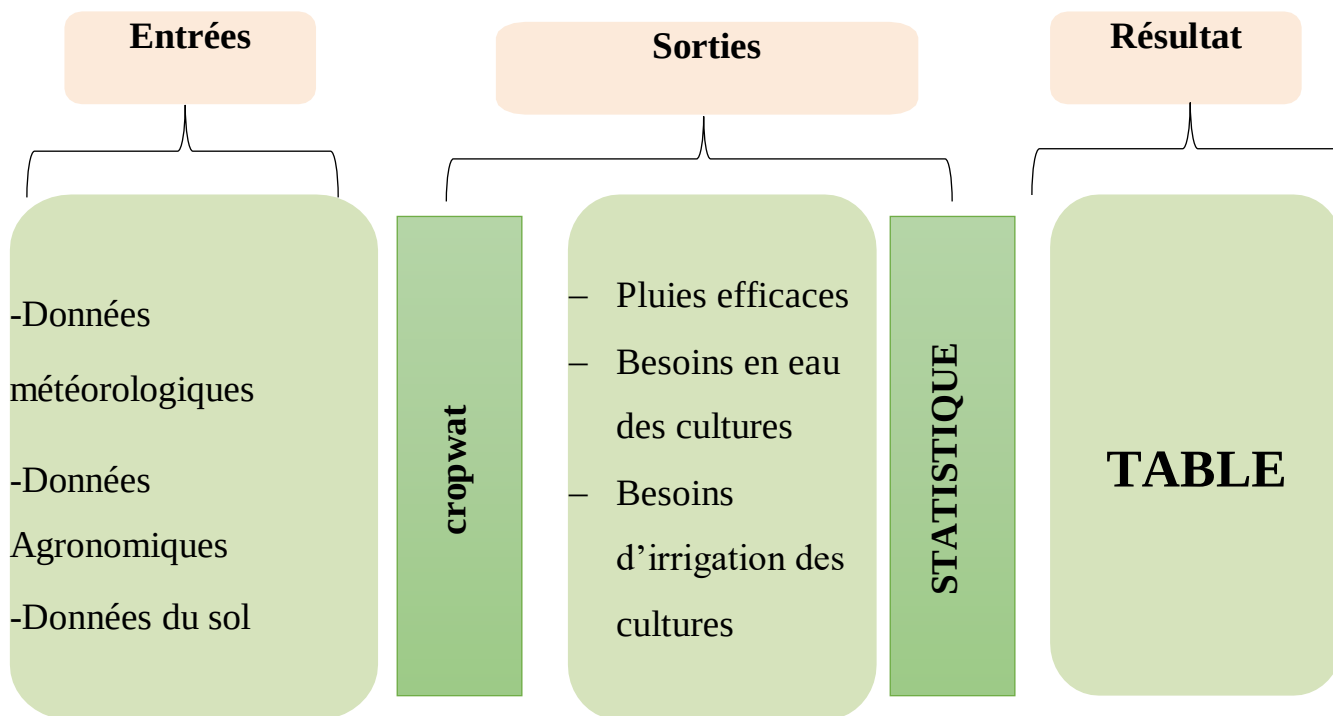


Figure 17: Organigramme général du modèle CROPWAT (Andriamparany, 2018).

Partie II : Matériels et méthodes

g) Périmètre

En cliquant sur l'icône Périmètre de la barre Modules à gauche de la fenêtre principale de CROPWAT, vous pouvez choisir le module Approvisionnement du périmètre. Le module Périmètre est principalement composé de calculs, offrant :

- Les besoins d'irrigation pour chaque culture dans le périmètre ;
- L'irrigation du périmètre a des besoins nets ;
- La surface irriguée en pourcentage de la surface totale ;
- Les besoins en irrigation pour chaque surface existante.

Calcul de l'irrigation requise

L'irrigation requise est la différence entre l'évapotranspiration réelle et les précipitations utiles.

$$I_{g \text{ req}} = ETP_{\text{max}} - P_e$$

Avec

$I_{g \text{ req}}$: irrigation requise (mm)

ETP_{max} : Evapotranspiration maximale (mm)

P_e : Précipitation efficace (mm)

Calcul de la réserve utile (TAM ou RU)

$$RU = 1000 \times (C - P) \times Z$$

Avec

RU : Réserve utile (mm)

C : Eau maximale dans le champ (m³ /m³)

P : Eau au point de flétrissement (m³ /m³)

Z : Profondeur des racines (m)

Le point de flétrissement est la quantité d'eau dans le sol en dessous de laquelle les plantes commencent à se flétrir.

Calcul de la réserve facilement utilisable (RAM)

$$RFU = RU \times P$$

Avec

RFU : Réserve utile facilement disponible (mm)

RU : Réserve totale disponible (mm)

Partie II : Matériels et méthodes

P : Tarissement autorisé

Calcul du déficit de la réserve utile dans le sol (SMD)

$$M = M-1 - Pe - I_{\text{req}} + T$$

Avec

M : Tarissement de la réserve du sol à la date i (mm)

$M-1$: Tarissement de la réserve du sol à la date $i-1$ (mm)

Pe : Précipitation efficace à la date i (mm) Irr : Irrigation (mm)

ETc : Evapotranspiration de la culture à la date i (mm)

1. 4. Les résultats du modèle

1. 4. 1. Tableau climatique

Ce tableau contient toutes les données climatiques, y compris les valeurs de radiation solaire et d'évapotranspirations standard ou ET_o calculées par le logiciel. Il est important de noter qu'une seule valeur est calculée chaque mois.

1. 4. 2. Tableau des besoins en eau des cultures

Ce tableau compile toutes les informations sur les cultures et les précipitations. Les valeurs d'évapotranspiration standard, le rappel de la part de surface occupée par le type de culture et l'évolution du K_c selon la date sont également sur ce tableau.

1.4. 3. Tableau du programme d'irrigation

Ce tableau rassemble toutes les caractéristiques du sol :

- La réserve utile (RU) indique le maximum d'eau théorique disponible pour la plante.
- La réserve facilement utilisable (RFU) indique la quantité d'eau théorique accessible dans le sol pour la plante.
- La pluviométrie
- Le logiciel calcule l'évapotranspiration réelle de la plante, appelée ET_c . Le rapport entre ET_c et ET_m permet de vérifier si la plante subit un stress hydrique. Lorsque ce rapport atteint 100%, la plante est en conditions de croissance optimales. En revanche, à mesure que le stress hydrique augmente, cette valeur diminue.
- Le manque de réserve d'eau utile dans le sol (SMD).

Partie II : Matériels et méthodes

1. 5. Excel

Microsoft Excel est un logiciel de tableur qui fonctionne sur Windows et Mac OS. Un tableur est un outil qui aide à créer des documents professionnels tout en réalisant des calculs exacts et rapides. Ces calculs se mettent à jour

à chaque modification (Merzougui, 2019).

Excel offre de nombreux avantages, parmi lesquels :

- Saisie rapide et précise des données.
- Recalcule facile des données.
- Évaluation des hypothèses
- Ajustement de la présentation des données
- Création de graphiques

À l'ouverture de Microsoft Excel (Démarrer / Programmes / Microsoft Excel).

La fenêtre Excel apparaît comme montré dans la figure ci-dessous :

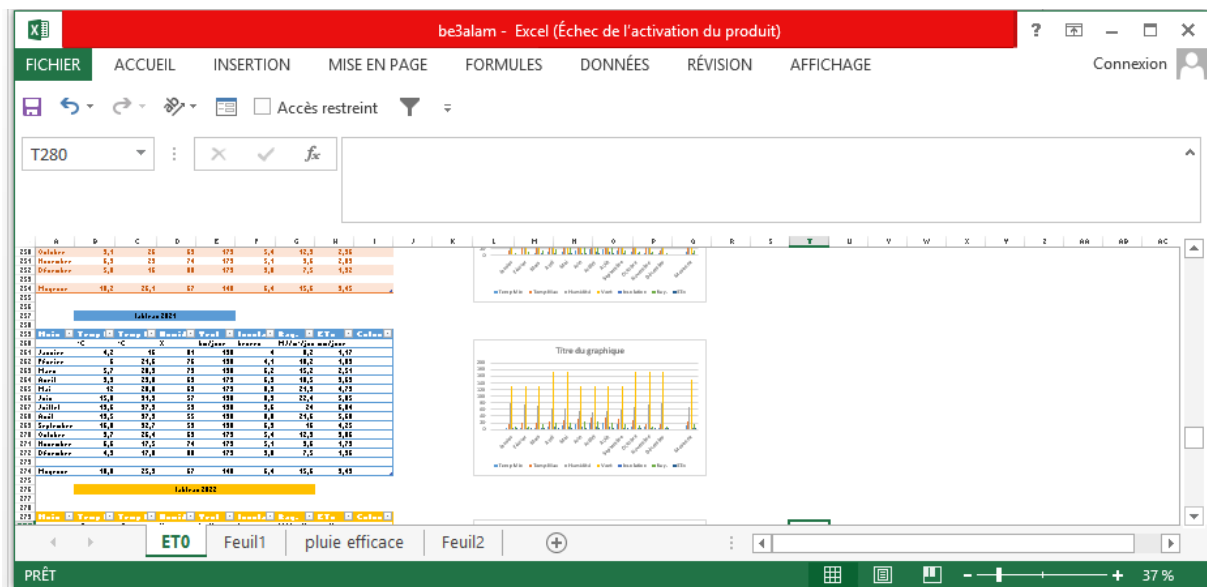


Figure 18 : Feuille Microsoft Excel (Merzougui, 2019).

TROISIEME PARTIE
RESULTATS ET
DISCUSSION

Partie III : Résultats et discussion

Dans cette section, nous montrons et évaluons les résultats. Nous commençons par calculer l'évapotranspiration mensuelle (ETo), les besoins en eau des cultures (ETc), les précipitations efficaces (Peff) et les besoins en irrigation (ETi). Nous comparons après ces résultats aux valeurs annuelles de l'évapotranspiration (ETo), des besoins en eau des cultures (ETc), des précipitations efficaces (Peff) et des besoins en irrigation (ETi) pour les haricots cultivés dans la région de Sidi Bel Abbès, à l'aide du logiciel (FAO) (CROPWAT 8. 0), pour la période 2010-2024.

1. Calcul de l'ETo pour la période (2010-2024)

. Calcul de l'ETo pour la période (2010-2024) les figures 20 et 21 montrent que l'évapotranspiration ETo moyenne par mois, calculée sur une période de 15 ans (2010-2024), est de 301,44 mm/mois, tandis que la valeur annuelle moyenne de l'ETo est de 50,68 mm/jour. La valeur mensuelle maximale de l'ETo est notée en janvier avec 50,23 mm/jour, et la valeur mensuelle minimale est de 1,16 mm/jour en juillet pour la période (2010-2024). De plus, la valeur maximale de l'ETo annuelle est de 3,48 mm/jour, enregistrée en 2024, et la valeur minimale de l'ETo annuelle est de 3,23 mm/jour, notée en 2013

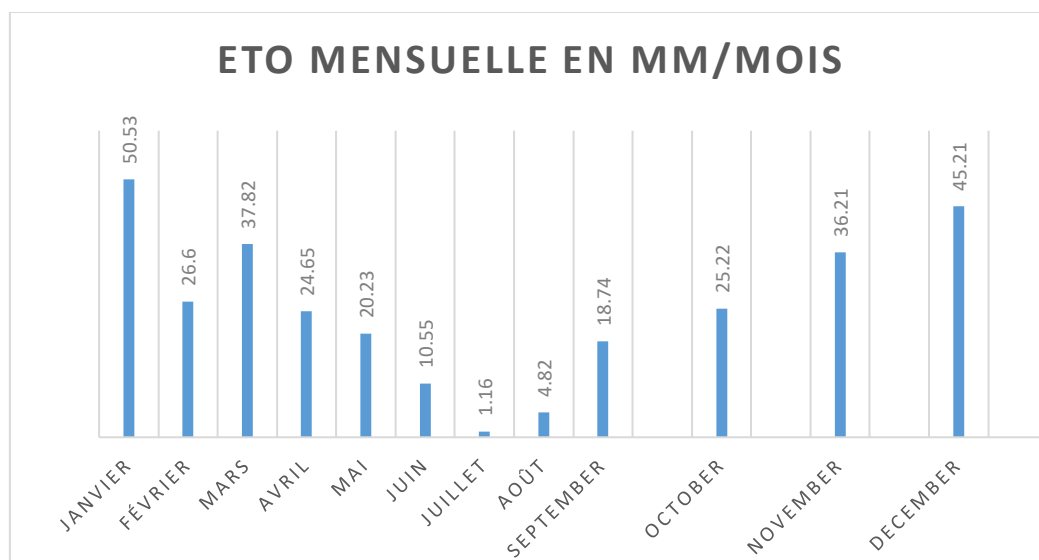


Figure 19 : ETo mensuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010- 2024).

Partie III : Résultats et discussion

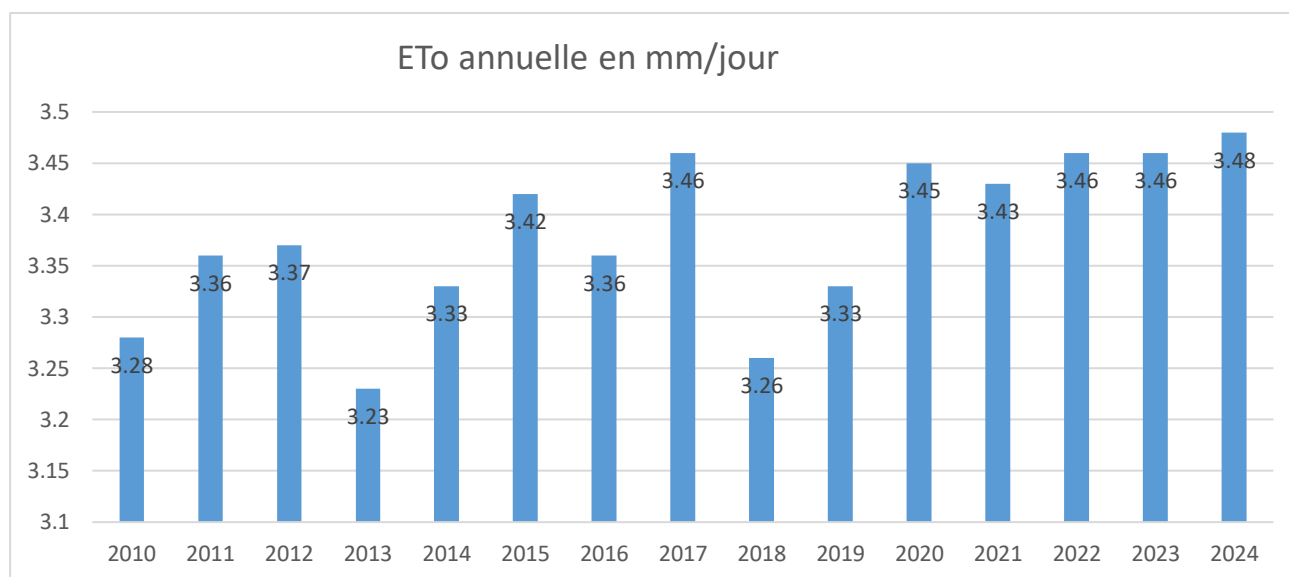


Figure 20 : ETo Annuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010- 2024).

1. Calcul des Précipitations efficaces pour la période (2010-2024)

Selon les figures 22 et 23, la moyenne mensuelle des précipitations efficaces (peff) calculée sur 15 ans (2010-2024) est de 276,6 mm.

La précipitation efficace mensuelle la plus élevée (peff) a été notée en janvier (44,5 mm) et la plus basse en juillet (1,2 mm) pour la période 2010-2024. La précipitation efficace annuelle la plus élevée (peff) a été constatée en 2018 (414,2 mm) et la plus basse en 2012 (158,1 mm) pour la période 2010-2024.

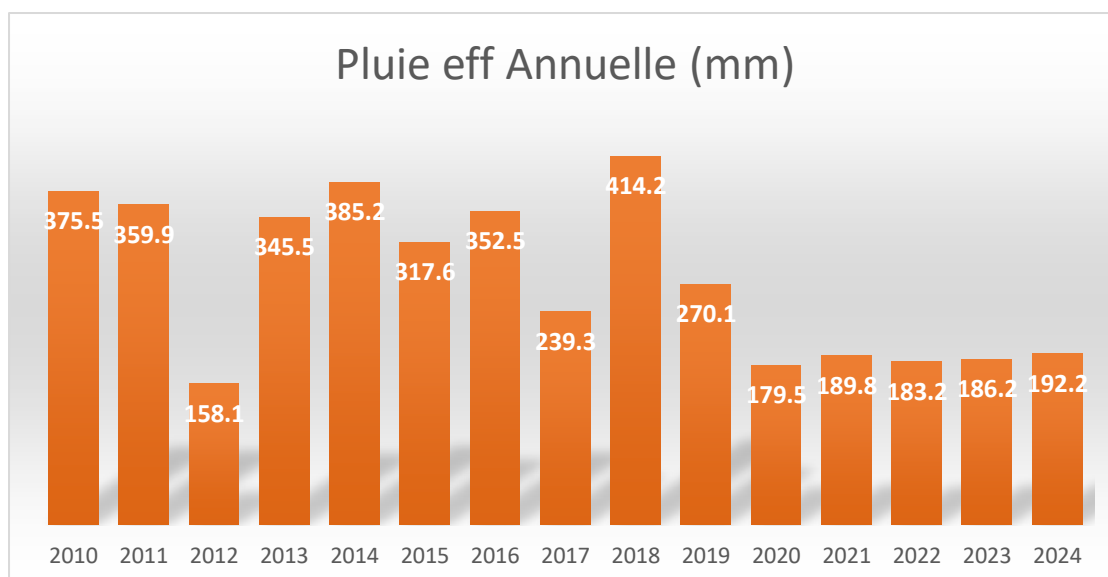


Figure 21: Précipitations efficaces Annuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15ans (2010-2024).

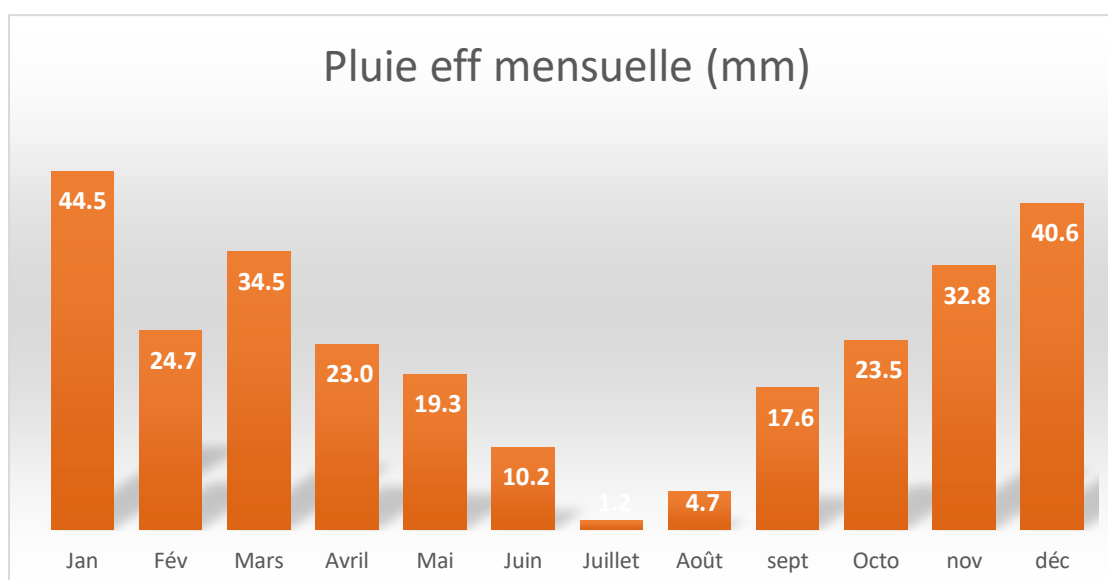


Figure 22: Précipitations efficaces mensuelle dans la wilaya de sidi bel abbés durant 15 ans (2010-2024).

2. Calcul des besoins en eau de la culture ETc pour la période (2010-2024)

Selon figures 24 et 25, on note que les besoins en eau de la culture ETc moyenne mensuelle (décadaire cumulative) calculés sur une durée de 15 ans (2010-2024) sont de 422,0 mm/déc, alors que les besoins en eau de la culture ETc moyenne annuelle cumulée sur cette période d'analyse sont de 6330,0 mm/déc.

Les besoins en eau de la culture ETc atteignent une valeur mensuelle maximale (décadaire) de 81,6 mm/déc pour le mois de juillet durant la phase de mi-saison (Mi-sais), tandis que la

Partie III : Résultats et discussion

valeur mensuelle minimale (décadaire) est de 8,9 mm/déc pour la dernière décade du mois de mai dans la phase initiale (Init) pour les années (2010 à 2024).

Les besoins en eau de la culture ETc ont atteint une valeur annuelle maximale de 434,6 mm/déc en 2024 à cause des températures élevées, et une valeur annuelle minimale de 395,2 mm/déc en 2013 pour la période (2010 à 2024).

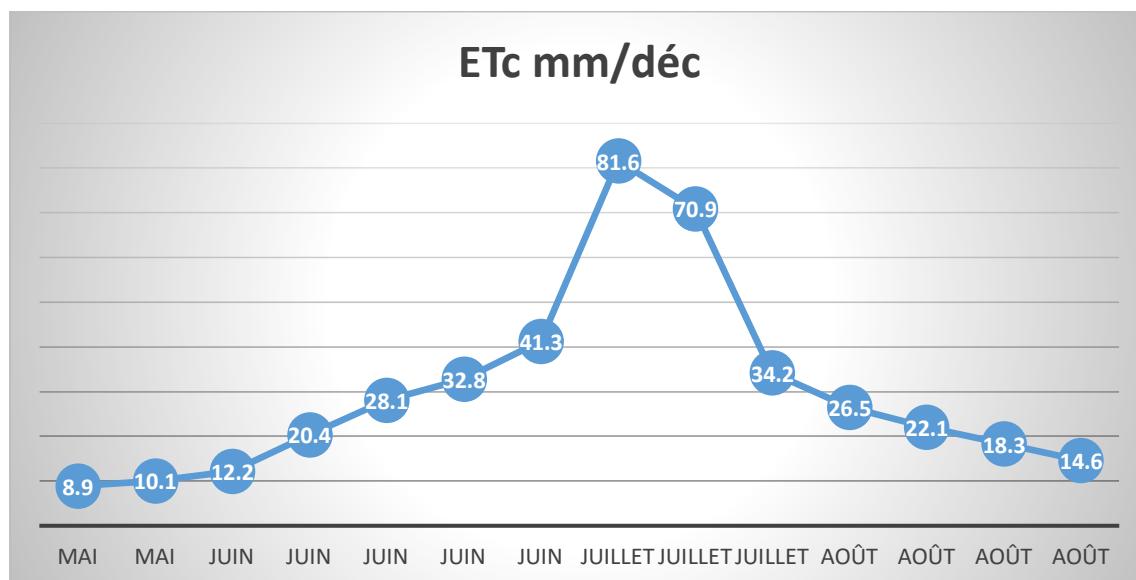


Figure 23: Les besoins en eau de la culture ETc mensuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).

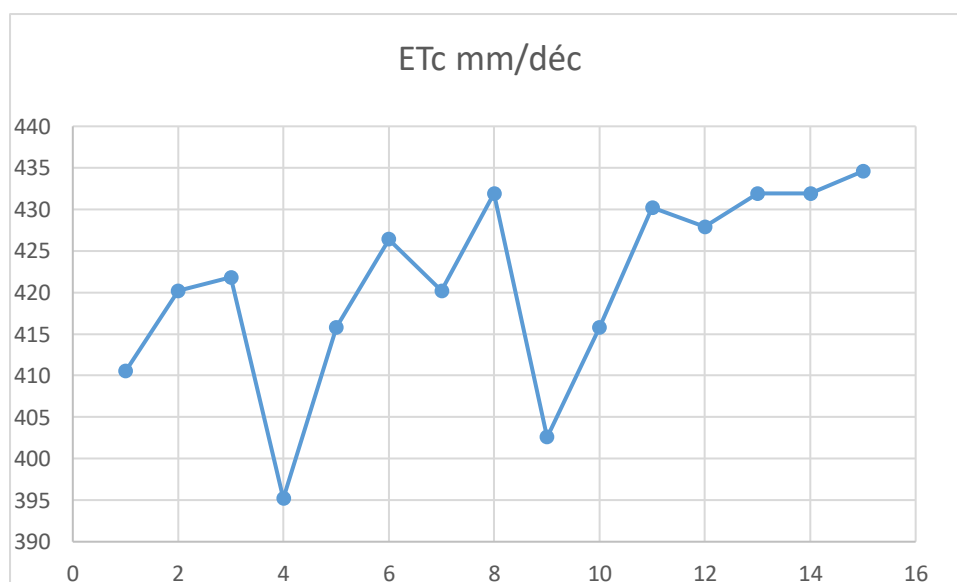


Figure 24: Les besoins en eau de la culture ETc annuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).

3. Calcul les besoins d'irrigation ETi pour la période (2010-2024)

Partie III : Résultats et discussion

D'après les figures 26 et 27, on constate que les besoins d'irrigation ETi moyenne mensuelle estimés sur une période de 15 ans (2010-2024) sont de 405,1 mm/déc, tandis que les besoins d'irrigation ETi moyenne annuelle totale sont de 6076,5 mm/déc. Les besoins d'irrigation ETi atteignent un maximum mensuel (décadaire) de 81,2 mm/déc pour le mois de juillet pendant la phase de mi-saison (Mi-sais), tandis que le minimum mensuel (décadaire) est de 5,1 mm/déc pour le mois de mai durant la phase initiale (Init) pour la période (2010 à 2024).

Les besoins d'irrigation ETi ont atteint un maximum annuel de 424,4 mm/déc en 2012 (année la plus sèche en précipitations efficaces) et un minimum annuel de 372,1 mm/déc en 2018 (année la plus pluvieuse) pour la période (2010 à 2024).

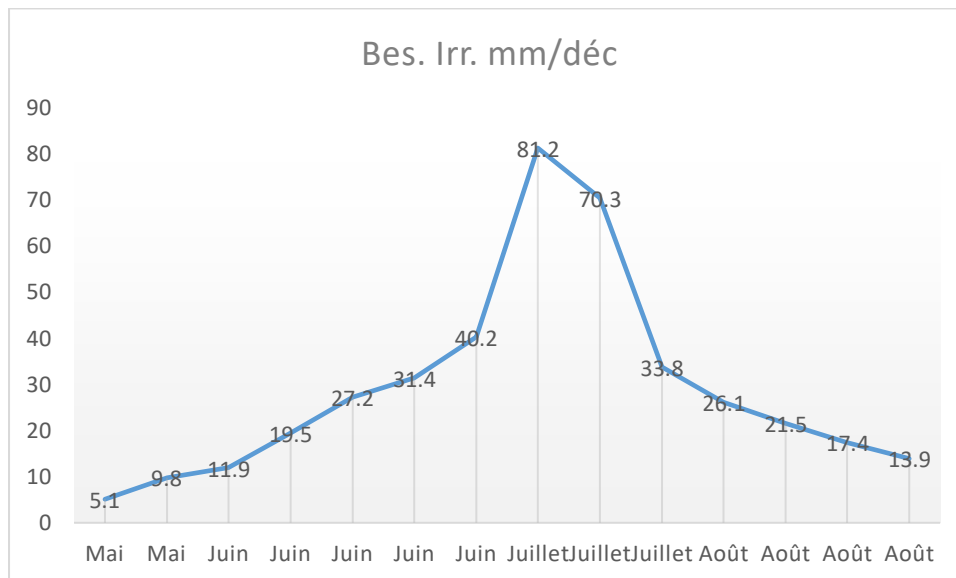


Figure 25: Les besoins d'irrigation ETi mensuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).

Partie III : Résultats et discussion

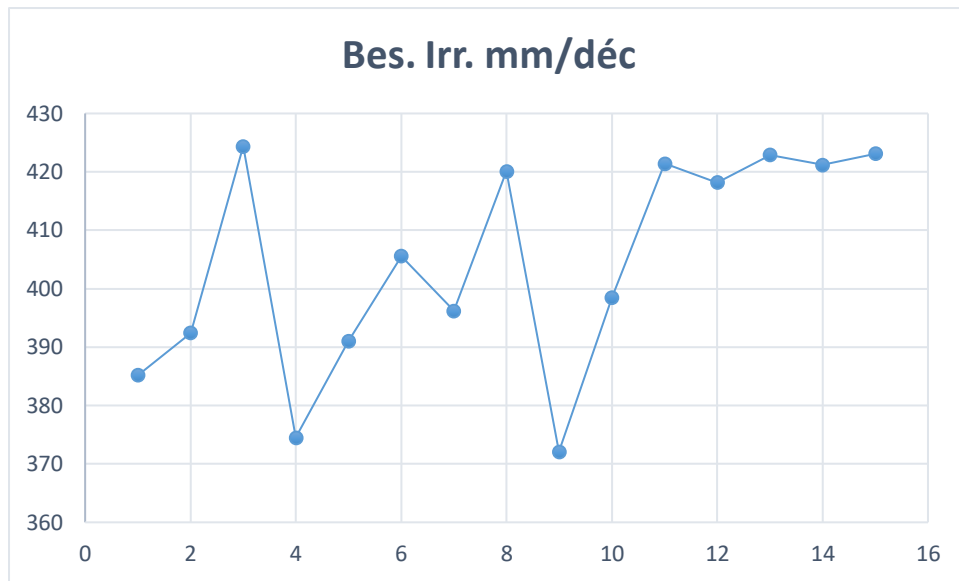


Figure 26 : Les besoins d'irrigation ETi annuelle dans la wilaya de Sidi Bel Abbès durant 15 ans (2010-2024).

Conclusion

Conclusion

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude consistait à déterminer les besoins en eau et ceux en irrigation pour le cultive du haricot (*Phaseolus vulgaris L.*) dans des conditions pédoclimatiques de la région de Sidi Bel Abbès à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0. La présente recherche s'inscrit dans la problématique de gestion optimale des ressources hydriques dans la région semi-aride, au cours de laquelle l'agriculture doit prendre en considération, outre l'intensité de la production, aussi sa responsabilité vis-à-vis d'une ressource de plus en plus rare.

De l'analyse des données climatiques (2010-2024) peuvent être conclu que la région de Sidi Bel Abbès est caractérisée par un climat semi-aride avec l'hiver frais, où les valeurs annuelles de la référence évapotranspiration (ET_o) s'établissent à 50,68 mm/jour, alors que la précipitation effective cumulée s'élève à 4148,8 mm. Les précipitations efficaces sont relativement faibles et peu régulières, avec le maximum d'accumulations tombées en janvier (44,5 mm), et le minimum – en juillet (1,2 mm). Cette répartition défavorable des précipitations, combinée aux températures élevées de l'été (jusqu'à 33,1 °C en août), entraîne une forte évaporation de l'atmosphère.

La modélisation sous CROPWAT 8.0 a permis d'évaluer exactement le besoin de l'eau par hectare en fonction des deux indicateurs suivants : besoin en eau total de la culture (ET_c) et besoins nets d'irrigation (ET_i). Au cours de la période de quinze ans examinés, le besoin en eau total de la culture atteignait en moyenne 422 mm/ mois, soit 6330 mm/ an en cumul. Il s'établissait également au niveau maximal à hauteur de 81,6 mm/mois durant la phase de mi-saison (juillet). Le besoin en irrigation est estimé à 405,1 mm/ mois, avec des écarts assez considérables annuellement : son maxime atteint 424,4 mm/ mois en 2012 (année très sèche), alors que sa minime s'apprécie à 372,1 mm/ mois en 2018 (année assez humide).

Cette mauvaise répartition des précipitations ainsi que des températures élevées pendant la saison d'été (les températures peuvent atteindre 33,1°C en Août), provoquent une importante évaporation atmosphérique.

Modéliser avec CROPWAT 8.0 nous permettra de quantifier exactement la demande d'eau par hectare pour chaque mois grâce aux deux indicateurs suivants : l'Evapotranspiration total de la culture (ET_c) et Evapotranspiration irrigation (ET_i). Au cours de cette période de 15 ans, l'évapotranspiration totale de la culture s'élevait au cours des mois à 422 mm/mois, soit une valeur maximale totale de 6330 mm/an pour l'année de production. L'Evapotranspiration irrigation est de 405,1 mm/ mois, et varie fortement d'une année sur l'autre ; en effet son

Conclusion

maximum est de 424,4 mm/mois en 2012 (année extrêmement sèche), tandis que son minimum est de 372,1 mm/mois en 2018 (année assez humide).

Ainsi, ce mémoire a prouvé que la culture du haricot dans la wilaya de Sidi Bel Abbès est une pratique qui doit être irriguée très rigoureusement, et que des outils comme CROPWAT 8.0 peuvent grandement aider cette démarche.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abdi, A., et al.** (2021). *Impact des risques climatiques sur les cultures maraîchères (Phaseolus vulgaris L.) et dynamique de l'évapotranspiration*. Journal des Sciences Agronomiques, 15(2), 112-125.
2. **Abdelouahab, K., et al.** (2012). *Modélisation des paramètres climatiques et estimation de l'évaporation en zones semi-arides*. Revue d'Écologie et d'Environnement, 8(1), 45-58.
3. **Adams, M. W., et al.** (1985). *Common Bean : Breeding for Improvement*. In : Genetic Improvement of Vegetable Crops, Academic Press, pp. 67-92.
4. **Aimé, S.** (1991). *Climatologie générale et dynamique des masses d'air en Algérie*. Éditions OPU, Alger.
5. **Amanullah, M., et al.** (2002). *Influence of sowing dates and varietal selection on the yield and agronomic traits of common bean (Phaseolus vulgaris L.)*. Journal of Agricultural Science, 39(4), 312-320.
6. **Andriamparany, R.** (2018). *Guide méthodologique d'utilisation du logiciel CROPWAT 8.0 pour la gestion de l'irrigation*. Rapport technique, FAO/Génie Rural.
7. **Anonyme** (2018). *Étude géologique et pédologique de la plaine de Sidi Bel Abbès*. Direction des Services Agricoles (DSA), Rapport Interne.
8. **Autumn, R.** (2006). *Plant Physiology: Relative Humidity, Transpiration, and Root Absorption Dynamics*. Academic Press, New York.
9. **Balleux, P., & Van Leberghe, H.** (2001). *Action mécanique du vent sur les couverts végétaux et conséquences physiologiques*. Physiologie Végétale Appliquée, 14(3), 201-215.
10. **Barreto, A.** (1983). *Root system development and depth distribution in common bean varieties*. Crop Science Journal, 23(5), 789-795.
11. **Baskaran, V., et al.** (2007). *Nutritional evaluation and botanical classification of fresh legumes*. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 58(2), 145-156.
12. **Baudoin, J. P., et al.** (2001). *Phaseolus vulgaris L. (Haricot commun)*. In : Plantes maraîchères, PROTA (Plantes Ressources de l'Afrique Tropicale), Wageningen, Pays-Bas, pp. 85-102.
13. **Belarbi, M.** (2017). *Variabilité de la humidité relative et des extrêmes thermiques dans les régions continentales de l'Ouest Algérien*. Réseau Climatologique National, Bulletin N°42.

Références bibliographiques

14. **Bell, A.** (1994). *Plant Form: An Illustrated Guide to Flowering Plant Morphology*. Oxford University Press, London.
15. **Bensaïd, A.** (2015). *Analyse topographique et cartographie des reliefs par SIG : Cas de la région de Sidi Bel Abbès*. Revue de Géographie Algérienne, 3(2), 77-89.
16. **Bensaoula, F.** (2003). *Qualité physico-chimique des eaux souterraines et aptitude à l'irrigation dans l'Ouest Algérien*. Thèse de Doctorat, Université d'Oran.
17. **Bernard, F.** (2003). *La température comme facteur écologique majeur dans le développement des agrosystèmes*. Éditions Dunod, Paris.
18. **Boudjelal, A., & Bommoun, S.** (2006). *Application des modèles F.A.O (CROPWAT) pour l'optimisation des calendriers d'irrigation*. Revue des Sciences de l'Eau, 19(4), 305-318.
19. **Boukhalfa, H.** (2014). *Gestion de l'eau et sécurité alimentaire face aux changements climatiques en Afrique du Nord*. Maghreb Agriculture, 22(1), 12-25.
20. **Brigide, P., et al.** (2014). *Nutritional value and origin of common bean (Phaseolus vulgaris L.)*. Food Chemistry, 151, 562-570.
21. **Broughton, W. J., et al.** (2003). *Beans (Phaseolus spp.) - Model food legumes*. Plant and Soil, 252(1), 55-128.
22. **Chaux, C., & Foury, C.** (1994). *Productions légumières : Tome 3, Légumineuses et légumes-fruits*. Lavoisier Tec & Doc, Paris.
23. **Colead** (2023). *Guide de bonnes pratiques phytosanitaires et culturales pour le haricot commun (Phaseolus vulgaris)*. Comité de Liaison Europe-Afrique-Caraïbes-Pacifique, Bruxelles.
24. **Couplan, F.** (1998). *Encyclopédie des plantes comestibles d'Europe*. Éditions Delachaux et Nestlé, Lausanne.
25. **Deygout, G., & Treboux, J.** (2012). *Rayonnement solaire et bilan énergétique des sols agricoles*. Éditions Lavoisier, Paris.
26. **DPAT** (2023). *Rapport de la Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPAT) de la Wilaya de Sidi Bel Abbès*. Annuaire Statistique Officiel.
27. **Dupont, F., & Guignard, J. L.** (1989). *Botanique : Les grandes lignes de l'évolution des végétaux*. Masson, Paris.
28. **Escalante, J. A., et al.** (1989). *Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of common bean*. Field Crops Research, 22(3), 175-186.

Références bibliographiques

29. **FAO** (2020). *L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.
30. **FAOSTAT** (2022). *Base de données statistiques mondiales de la FAO sur la production agricole*. Disponible en ligne : <http://www.fao.org/faostat>.
31. **Fortin, J.** (1996). *L'Encyclopédie visuelle des aliments*. Éditions Québec Amérique, Montréal.
32. **Gallais, A., & Bannerot, H.** (1992). *Amélioration des espèces végétales cultivées : Objectifs et critères de sélection*. INRA Éditions, Paris.
33. **Gepts, P.** (1990). *Biochemical evidence bearing on the domestication of Phaseolus (Fabaceae) beans*. *Economic Botany*, 44(3), 28-38.
34. **Getachew, E.** (2014). *Genetic variability and correlation studies of yield and yield attributes in common bean (Phaseolus vulgaris L.)*. *International Journal of Plant Breeding*, 8(2), 99-107.
35. **Goust, J., & Seignobos, C.** (1998). *Atlas morphologique des plantes potagères*. Éditions Actes Sud, Arles.
36. **Guignard, J. L.** (1998). *Botanique : Systématique végétale*. 10ème Édition, Masson, Paris.
37. **Halitim, A.** (1988). *Sols des régions arides et semi-arides d'Algérie : Genèse, propriétés et aptitudes*. Éditions OPU, Alger.
38. **Hubert, G.** (1978). *Biologie de la reproduction et phases de germination des Légumineuses*. Presses Universitaires de France (PUF), Paris.
39. **Koskey, G., et al.** (2017). *Potential of native rhizobia in enhancing nitrogen fixation and yields of common bean (Phaseolus vulgaris L.)*. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1341.
40. **Lahouel, M.** (2014). *Analyse de la pluviosité et des régimes saisonniers dans le bassin de la Macta (Ouest Algérien)*. *Hydrological Sciences Journal*, 59(3), 412-426.
41. **Lecomte, A.** (1997). *Le guide des cultures maraîchères : Cycles de développement et conduite du haricot*. Éditions Rustica, Paris.
42. **Lemma, H.** (2003). *Origin, dispersal, and ecological adaptation of Phaseolus vulgaris L. in Northeastern Africa*. *African Crop Science Journal*, 11(2), 85-94.
43. **MADR** (2024). *Statistiques agricoles de l'utilisation des sols et des superficies cultivées*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Algérie.

Références bibliographiques

44. **Mainassara, M. M., et al.** (2009). *Suivi des ravageurs des cultures maraîchères et impact des acariens (Tetranychus spp.) en zones semi-arides*. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 3(5), 1022-1035.
45. **Martin-Hetto** (2023). *Morphologie et banque d'images des semences des Fabaceae*. Consulté en ligne (Base de données iconographique).
46. **Merzougui, T.** (2019). *Outils informatiques et gestion des bases de données climatiques : Optimisation sous Microsoft Excel*. Revue des Technologies de l'Information Agricole, 6(1), 18-29.
47. **Muñoz-Azcárate, O., et al.** (2016). *Rhizobium-legume symbiosis: Nitrogen fixation efficiency in Phaseolus vulgaris under environmental stress*. Symbiosis, 69(2), 89-101.
48. **Omae, H., et al.** (2005). *Influence of high temperature on water relations and yield of snap bean (Phaseolus vulgaris L.)*. Plant Production Science, 8(4), 447-454.
49. **ONS** (2008). *Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH 2008) : Démographie et répartition de la population de la wilaya de Sidi Bel Abbès*. Office National des Statistiques, Algérie.
50. **Pawar, S. U., et al.** (2007). *Effect of plant density and row spacing on growth and yield of French bean*. Journal of Maharashtra Agricultural Universities, 32(2), 254-256.
51. **Péron, J. Y.** (2006). *Répertoire des variétés de légumes : Histoire, botanique et diversité du haricot*. Lavoisier Tec & Doc, Paris.
52. **Petropoulos, S. A., et al.** (2020). *The effects of water deficit on growth, yield, and quality of common bean*. Agricultural Water Management, 230, 105953.
53. **Pitrat, M., & Foury, C.** (2003). *Histoires de légumes : Des origines à l'orée du XXI^e siècle*. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris.
54. **Quézel, P.** (2000). *Réflexions sur l'importance écologique des précipitations occultes en région méditerranéenne*. Écologia Mediterranea, 26(1), 15-24.
55. **Renard, C., et al.** (2007). *Traité d'Agronomie Tropicale : Exigences pédoclimatiques des cultures légumières*. Éditions CIRAD, Montpellier.
56. **Samih, M.** (2008). *Effet de la densité de semis et de l'architecture de la plante sur le rendement du haricot vert*. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques, 28(2), 101-110.
57. **Smahi, A.** (2001). *Caractérisation bioclimatique et dynamique de la salinité dans la plaine de Sidi Bel Abbès*. Mémoire de Magister, Université de Tlemcen.

Références bibliographiques

58. **Smith, R.** (1992). *Crop Water Requirements and Irrigation Management*. Cambridge University Press, Cambridge.
59. **Syngenta** (2015). *Stades phénologiques des cultures : Échelle BBCH du Haricot (Phaseolus vulgaris L.)*. Guide technique de protection des cultures, Syngenta Agro.
60. **Thiombiano, A.** (2000). *Dynamique éolienne, dégradation des sols et impact sur la végétation en zones sahéliennes et semi-arides*. Sécheresse, 11(3), 165-174.
61. **Torres, M.** (2004). *Table de composition nutritionnelle des légumes frescos*. Centre National de la Recherche Nutritionnelle, Madrid.
62. **Vásquez Lozano, M., et al.** (2025). *Rhizobial inoculation and biological nitrogen fixation in common bean: A review of recent field trials*. Soil Biology and Biochemistry, 188, 109-122.
63. **Yoldas, F., & Esiyok, D.** (2007). *The effects of different sowing dates on yield and quality of processing dry bean (Phaseolus vulgaris L.)*. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(11), 1891-1895.

Annexes

Annexes

Annexe 1 :

Précipitations par mois - C:\Program Files\CLIMWAT 2.0 for CROP...

Station: SIDI-BEL-ABBES Méthode Précipitations eff. **Méthode USDA S.C.**

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
Janvier	66.0	59.0
Février	49.0	45.2
Mars	35.0	33.0
Avril	44.0	40.9
Mai	32.0	30.4
Juin	10.0	9.8
Juillet	1.0	1.0
Août	4.0	4.0
Septembre	16.0	15.6
Octobre	41.0	38.3
Novembre	40.0	37.4
Décembre	65.0	58.2
Total	403.0	372.9

Figure 27: calcul des pluies efficaces

Annexe 2 :

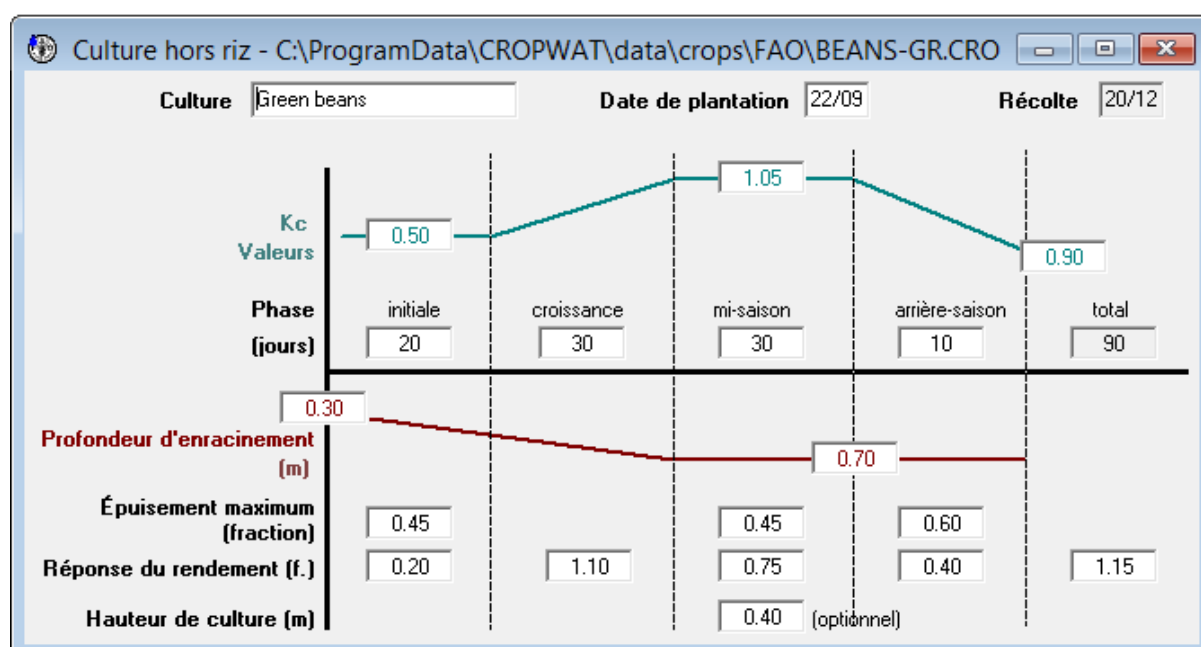
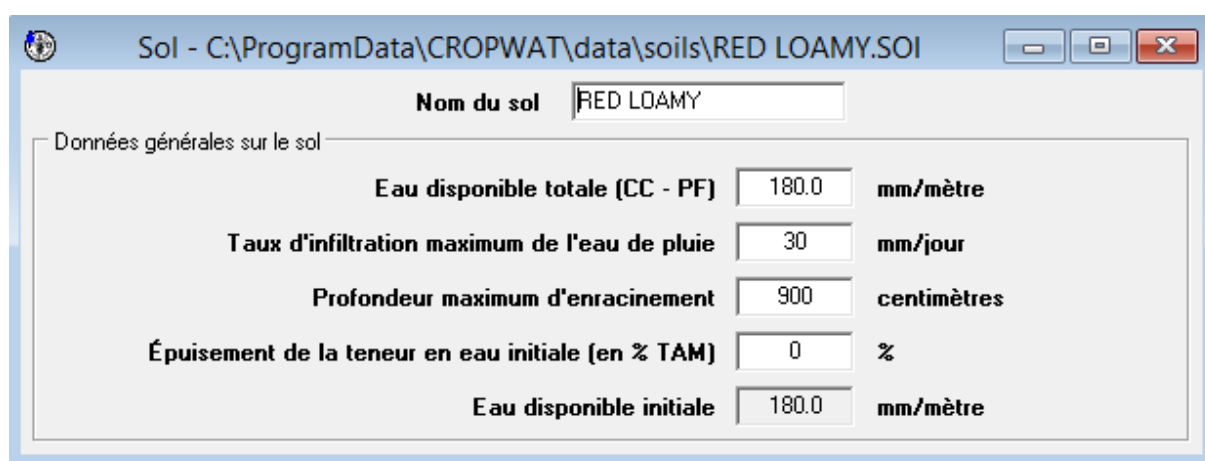


Figure 28: calcul des besoins en eau

Annexes

Annexe 3 :



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

Nom du sol

Données générales sur le sol

Eau disponible totale (CC - PF) mm/mètre

Taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie mm/jour

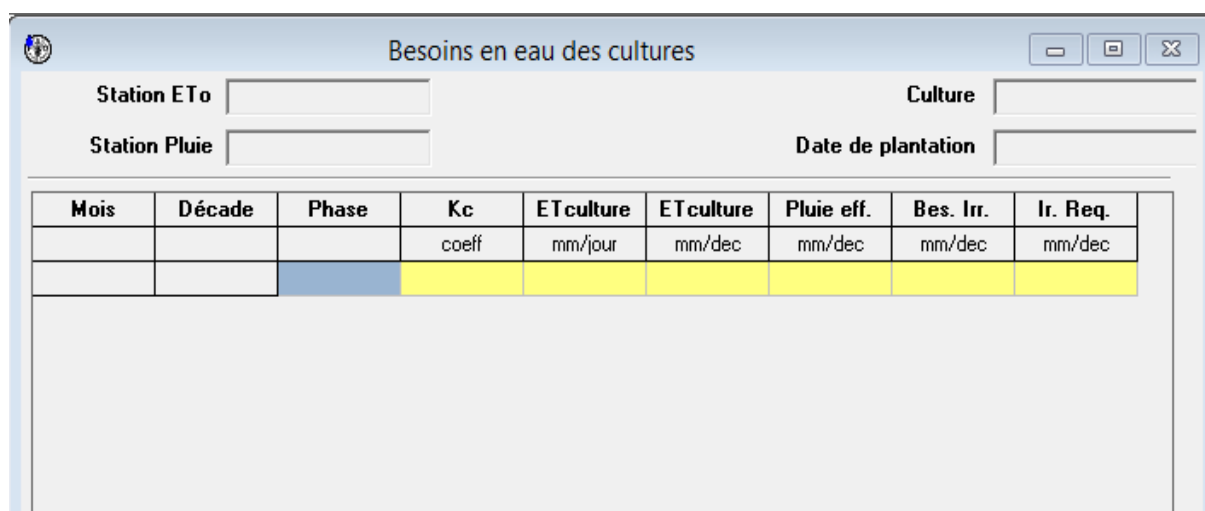
Profondeur maximum d'enracinement centimètres

Épuisement de la teneur en eau initiale (en % TAM) %

Eau disponible initiale mm/mètre

Figure 29: une fenêtre de données du sol

Annexe 4 :



Besoins en eau des cultures

Station ETo

Station Pluie

Culture

Date de plantation

Mois	Décade	Phase	Kc	ETculture	ETculture	Pluie eff.	Bes. Irr.	Ir. Req.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec	mm/dec

Figure 30: présente un tableau des besoins en eau

Annexes

Annexe 5 :

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

Utilisation potentielle d'eau par culture mm Besoins en eau réels mm
 Efficacité calendrier d'irrigation % Efficacité des précipitations %
 Inefficacité calendrier d'irrigation %

Baisses du rendement

Phase	A	B	C	D	Saison
Baisses de l'ETc					%
Facteur Réponse du rendement					%
Baisse du rendement					%
Baisse cumulée du rendement					%

Besoins en eau des cultures

Station ETo SIDI-BEL-ABBES Culture Green beans
 Station Pluie SIDI-BEL-ABBES Date de plantation 29/05

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mai	3	Init	0.50	2.37	7.1	2.2	7.1
Jui	1	Init	0.50	2.45	24.5	5.2	19.3
Jui	2	Crois	0.51	2.59	25.9	2.8	23.1
Jui	3	Crois	0.66	3.53	35.3	2.0	33.3
Jui	1	Crois	0.85	4.84	48.4	0.8	47.6
Jui	2	Mi-sais	1.02	6.18	61.8	0.0	61.8
Jui	3	Mi-sais	1.06	6.26	68.9	0.3	68.5
Aoû	1	Mi-sais	1.06	6.14	61.4	0.8	60.6
Aoû	2	Arr-sais	1.05	5.96	59.6	1.0	58.7
Aoû	3	Arr-sais	0.95	4.90	29.4	1.3	28.2
					422.3	16.4	408.2

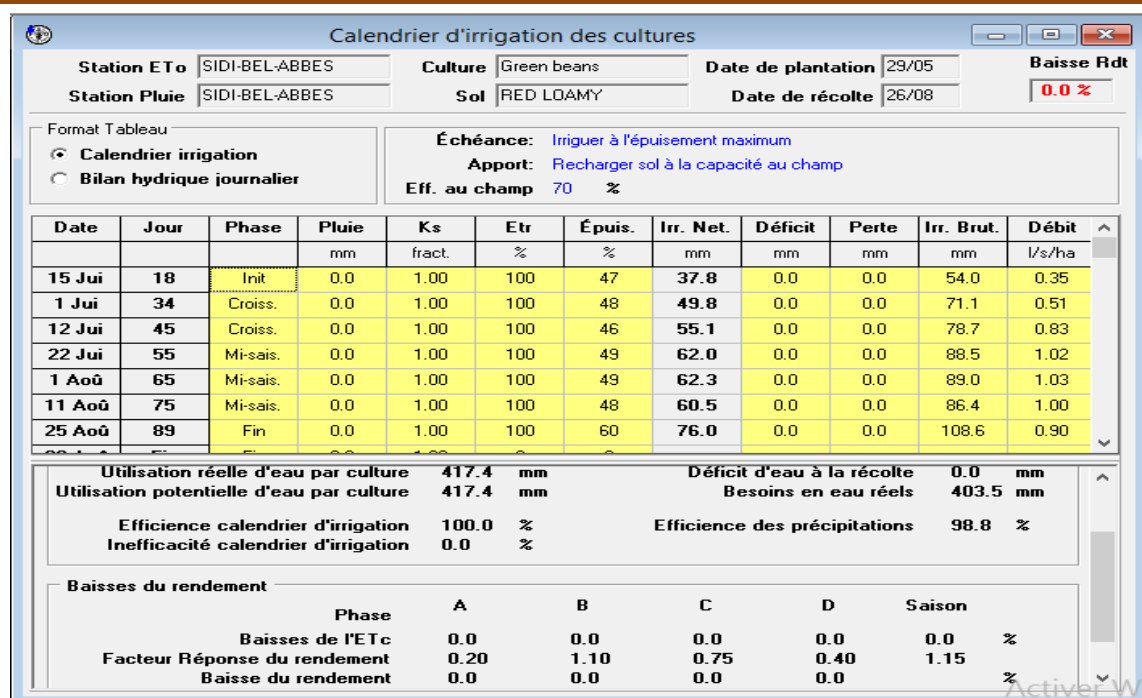


Figure 31 : présente le tableau calendrier d'irrigation