

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master
Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : agronomie

Spécialité : amélioration des plantes

Intitulé :

*Etude de l'efficacité de la variation de la date de semis des
céréales comme stratégie d'adaptation aux changements
climatique en zones semis arides*

Présenté par :

HAMZAOUI Rania

SATOURI Khaoula

Soutenu le 25 / 06/ 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mme BELKAASMI F	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	Mr MAAMRI K	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	Mme KELALECHE H	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2022/2023

Remerciement

On remercie avant tout ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage durant nos années d'étude, la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement Dr MAAMRI Khelifa, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciement s'adresse à Dr BELGUERRI Hemza et Dr BOUREGAA Tarek pour nous aide et de nous conseiller.

Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

Je remercie les personnes qui ont, de près ou de loin, contribués à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

*A mes chers parents mon père Mohamed Allah yarhîmou et ma mère
Nasira pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encourage-
ments*

Et qui m'ont toujours souhaité la réussite et qui

M'ont permis d'atteindre mes

Objectifs dans mes études et dans

Ma vie.

*A mon mari Amer pour m'encourager et m'a apporté un soutien mo-
ral et intellectuel tout au long*

De ce travail.

A mon frère et mes sœurs (Yasser, Nassima, Widad)

Et leurs enfants (Ishak, Wail, Meriem, amani, Riyad, hachem)

A mon binôme Khaoula

À mes chers amis (Meriem, Fatima, Hayat, Rahil, Siham, Amel)

J'espère que mon travail serait utile pour les prochaines générations.

RANIA

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail
A mes chers parents djeloule rahimaho Allah et Naïma
Je suis la grâce à leur
Sacrifice, soutient, confiance, compréhension et amour
Je n'ai pas pu exprimer ce que je ressens, je n'ai pas trouvé
les mots pour exprimer mon estime pour vous.
Mon affection et ma profonde reconnaissance à mon cher
époux housseem, pour son soutien sans faille, sa grande in-
dulgence, et sa compréhension.
A la prunelle des yeux, mon petit-fils amir
A mes chers frères : abd elaadim et ziyade
A mes chères sœurs : Soumia, Kanza, Inaam, Aya
Et sans oublier ma deuxième mère (la mère de mon mari)
Houria
Qui a été mon courage, ma force pour finir ce travail
Et à mes chères amies : Hadjer, Meriem, Chaïma, Rachà,
Rahil
Je dédie aussi mon binôme Hamzaoui Rania pour sa com-
préhension
Et ses offerts tout long de ce mémoire
A tous les personnes que je connais et je n'ai pas cites.*

Khaoula

Sommaire

Liste des Abréviations

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction	1
I: Matériel et Méthodes	3
I.1. But de l'expérimentation :.....	3
I.2. Le site expérimentale :.....	3
I.3. Caractéristiques climatiques	4
I.4. Nature du sol de l'exploitation.....	6
I.5. Matériel végétal.....	6
I.5.1. Les Dates de semis.....	7
I.6. Paramètres étudiés :.....	7
I.6.1. Biomasse aérienne ou Rendement biologique (BIO) en g / m ²	7
I.6.2. L'indice de récolte (HI %)......	7
I.7. Le model AQUA-CROP	8
II. Résultats et discussions :.....	12
II.1. Rendements et composantes du rendement :.....	12
II.1.1. Rendement :.....	12
II.1.2. Biomasse :.....	14
II.1.3. Indice de récolte :.....	16
CONCLUSION	19
Références Bibliographiques	
Annexe	
Résumé	

Liste des Abréviations :

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

Km : kilomètre

Mm : millimètre

ONM : Office National de Météorologie

°C : Degré Celsius

TMin : température minimale

TMax : température maximale

TMoy : température moyenne

Ph : potentiel hydrogène

BIO : Biomasse : rendement biologique

HI : l'indice de récolte

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

ET0 : Evapotranspiration

q/ha : quintaux par hectare

CO2 : Dioxyde de carbone

D : date

CV : Coefficient de variation

r : coefficient de corrélation

Liste des tableaux :

N°	Tableaux	Pages
01	Moyenne mensuelle des précipitations pour la région de Sétif durant la campagne 2021/ 2022 (ONM de Sétif, 2022).	04
02	Températures minimale, maximale et moyenne mensuelles pour la région de Sétif durant la campagne 2021- 2022 (ONM de Sétif, 2022).	05
03	Résultats statistiques du rendement et biomasse, indice de récolte.	12
04	corrélation entre les 3 paramètres étudiés.	15

Liste des figures :

N°	Figures	Pages
01	Localisation du site expérimentale (ITGC -Sétif) (Google earth)	03
02	Moyenne mensuelle des précipitations pour la région de Sétif durant la campagne 2021/ 2022 (ONM de Sétif, 2022).	04
03	Températures minimale, maximale et moyenne mensuelles pour la région de Sétif durant la campagne 2021- 2022 (ONM de Sétif, 2022).	05
04	Blé dur.	07
05	Interface graphique du modèle AQUACROP.	09
06	Données d'entrées et sorties d'AQUACROP.	11
07	effet de la variation de la date de semis sur le rendement.	13
08	Relation entre le rendement et l'indice de récolte.	14
09	effet de la variation de la date de semis sur la biomasse.	14
10	Relation entre la biomasse et le rendement.	16
11	effet de la variation de la date de semis sur l'indice de récolte.	17

Introduction

Introduction

En Algérie, l'agriculture céréalière reste d'une importance primordiale et constitue un secteur stratégique qui joue un rôle majeur dans l'économie agricole. Les céréales sont la principale source de calories pour l'ensemble de la population, indépendamment de leur niveau de vie. Elles représentent environ 60% de l'apport calorique global et fournissent entre 75% et 85% de l'apport en protéines (Ben Salem *et al.*, 1995).

Les céréales jouent un rôle essentiel en tant que ressource alimentaire, tant pour la consommation directe des êtres humains que pour leur utilisation indirecte dans l'alimentation animale. Parmi ces céréales, le blé dur (*Triticum durum* Desf) est l'une des espèces les plus anciennes et constitue une composante importante de l'alimentation mondiale. Le blé, aux côtés du riz, représente une part significative de la nutrition de la population mondiale (Nedjah, 2015).

Le blé dur représente environ 8% des surfaces cultivées en blé à l'échelle mondiale, dont 70% se concentrent dans les pays du bassin méditerranéen. La production mondiale de blé a atteint 770 millions de tonnes, enregistrant une augmentation de 5,6% par rapport à l'année 2018, et la consommation totale de blé avoisine les 750 millions de tonnes selon la (FAO, 2019).

Les variations climatiques ont un impact significatif sur l'agriculture, notamment en ce qui concerne les régimes de précipitations. Les modifications de ces régimes augmentent la probabilité de mauvaises récoltes à court terme et entraînent une baisse de la production à long terme. La pluviométrie, en particulier, joue un rôle prédominant dans la détermination des rendements des cultures (Feliachi, 2000), mais ce n'est pas le seul facteur en jeu. Les températures plus élevées ont également un effet négatif sur les rendements, tout en favorisant la prolifération des mauvaises herbes et des parasites (Amriou et Abid, 2020)

Les effets du changement climatique sur l'agriculture ont été étudiés en profondeur par des chercheurs tels que Mendelson (1994) et Pradeep Kurukulasuriya (2006). Le changement climatique a des impacts directs et indirects sur les systèmes agroalimentaires en raison de l'évolution et de l'imprévisibilité des températures et des régimes de précipitations, ainsi que de l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les sécheresses, les inondations et les épidémies de ravageurs et de maladies. Par conséquent, le changement cli-

matique représente une menace pour notre capacité à garantir la sécurité alimentaire mondiale, à éliminer la pauvreté et à réaliser un développement durable (Gimet, 2007).

En combinant l'expertise des agriculteurs en matière de semis du blé dur avec la modélisation, l'objectif est de développer des stratégies d'adaptation efficaces aux effets du changement climatique. Rezaei *et al.* (2018) soulignent que les connaissances sur les contributions des changements dans les dates de semis et les variétés aux tendances à long terme de la phénologie des cultures, en particulier pour le blé d'hiver, sont limitées. Waha *et al.* (2013) ajoutent que l'ajustement des dates de semis pourrait être une adaptation pertinente aux changements climatiques.

La sélection de la date de semis est une décision cruciale pour les agriculteurs. La période optimale de semis est essentielle pour assurer le succès d'une culture de blé, en favorisant un enracinement plus solide, une meilleure production d'épis et en réduisant les risques de stress thermique. En Algérie, dans les zones céréalières, les dates de semis généralement adoptées s'étendent du 10 novembre au 15 décembre pour les variétés précoces, et du 25 octobre au 31 novembre pour les variétés tardives, selon les recommandations de l'ITGC (2001). Ces plages de dates visent à prendre en compte les conditions climatiques locales et à optimiser les performances de la culture de blé.

L'objectif global de cette étude est de mieux comprendre l'interaction entre la date de semis, les conditions climatiques et les performances de la culture de blé dur, en mettant l'accent sur les effets du changement climatique dans les zones semi-arides. Le modèle AQUACROP est utilisé comme outil d'évaluation pour fournir des informations précieuses sur les rendements potentiels, la biomasse et l'indice de récolte, en fonction des différentes dates de semis.

Matériel et Méthode

I. Matériels et méthodes

I.1. But de l'expérimentation :

Dans le cadre de notre étude, nous avons entrepris d'évaluer l'efficacité de la modification de la date de semis des céréales en tant que stratégie d'adaptation aux changements climatiques dans les zones semi-arides. Pour ce faire, nous avons utilisé le modèle de culture AQUA-CROP pour simuler plusieurs dates de semis. Ensuite, nous avons comparé les résultats obtenus avec ceux issus d'autres travaux expérimentaux réalisés précédemment. Cette approche comparative nous permet de mieux comprendre l'impact des différentes dates de semis sur les cultures et d'évaluer leur efficacité en termes d'adaptation aux changements climatiques.

I.2. Le site expérimentale :

L'expérimentation s'est déroulée à la ferme expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), qui est située à 4 km au sud-ouest de la ville de Sétif. Le site expérimental est en partie situé dans la petite vallée de l'oued Boussalem, et l'essai a été mis en place à un endroit appelé Trente (figure 1), aux coordonnées géographiques $36^{\circ} 08' N$, $5^{\circ} 20' E$, à une altitude de 962 mètres.



Figure 01 : Localisation du site expérimentale (ITGC -Sétif) (Google earth)

I.3.Caractéristiques climatiques :

Le site expérimental est situé dans une région aux conditions climatiques typiques des hauts plateaux. Ces conditions se caractérisent par des hivers froids, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières fréquentes et des vents chauds et desséchants qui surviennent en fin de cycle des céréales.

a- Précipitations :

Lors de la campagne agricole 2021-2022, les précipitations ont présenté une variation saisonnière très prononcée. De septembre à juin, le cumul des précipitations s'est élevé à 331,8 mm (tableau 1). La répartition saisonnière révèle que 134,5 mm sont tombés en automne, 60,8 mm en hiver et 134 mm au printemps. Le mois de juin a été le plus sec, avec seulement 2 mm de précipitations (figure 2), tandis que novembre et mai ont été les mois les plus pluvieux, avec respectivement 85 mm et 82,4 mm de précipitations.

Tableau 01 : Moyenne mensuelle des précipitations pour la région de Sétif durant la campagne 2021/ 2022 (ONM de Sétif, 2022).

Année	2021				2022					
Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin
Pluviométrie (mm)	41,4	8,1	85	21	11	28,8	46,9	82,4	6 ,1	2
Humidité de l'air (%)	39,9	55,4	79,2	70,3	60 ,1	59	68	59,2	51,8	50,5

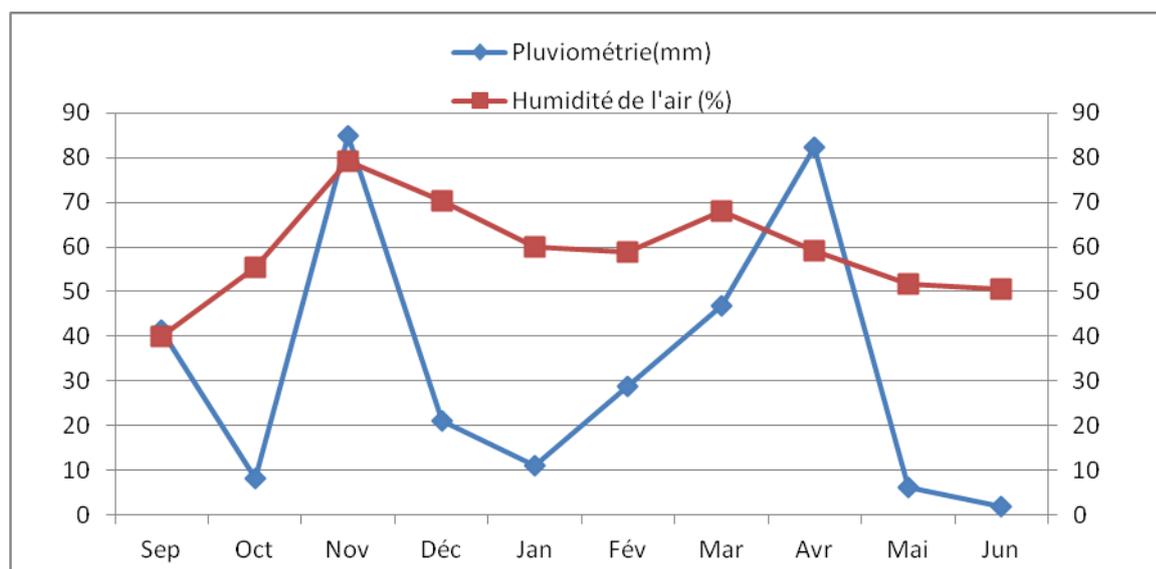


Figure 02 : Moyenne mensuelle des précipitations pour la région de Sétif durant la campagne 2021/ 2022 (ONM de Sétif, 2022).

b-Température :

Les blés subissent des perturbations dans leur rythme de croissance en raison des températures élevées. Après la floraison, des températures supérieures à 30°C ont un effet néfaste sur le stockage des assimilats et la qualité des grains (Baldy, 1986).

Le mois le plus frais de la campagne agricole 2021-2022 dans la région de Sétif est janvier avec une température moyenne de 4,27 °C et une température minimale de -1,36 °C (tableau 2). En revanche, les mois de juin et septembre sont les plus chauds avec des températures moyennes de 21,01 et 23,82°C respectivement, et des températures maximales de 30°C (figure 3)

Tableau 02 : Températures minimale, maximale et moyenne mensuelles pour la région de Sétif durant la campagne 2021- 2022 (ONM de Sétif, 2022).

Année	2021				2022					
	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin
TMin(C°)	17,49	09,02	4,93	1,24	-1,36	0,96	4,32	5,89	9,43	12,01
TMax(C°)	30,36	20,55	11,80	11,31	10,42	13,57	12,84	17,23	23,85	30,00
TMoy(C°)	23,82	14,69	8,37	5,98	4,27	7,15	8,62	11,69	16,59	21,01

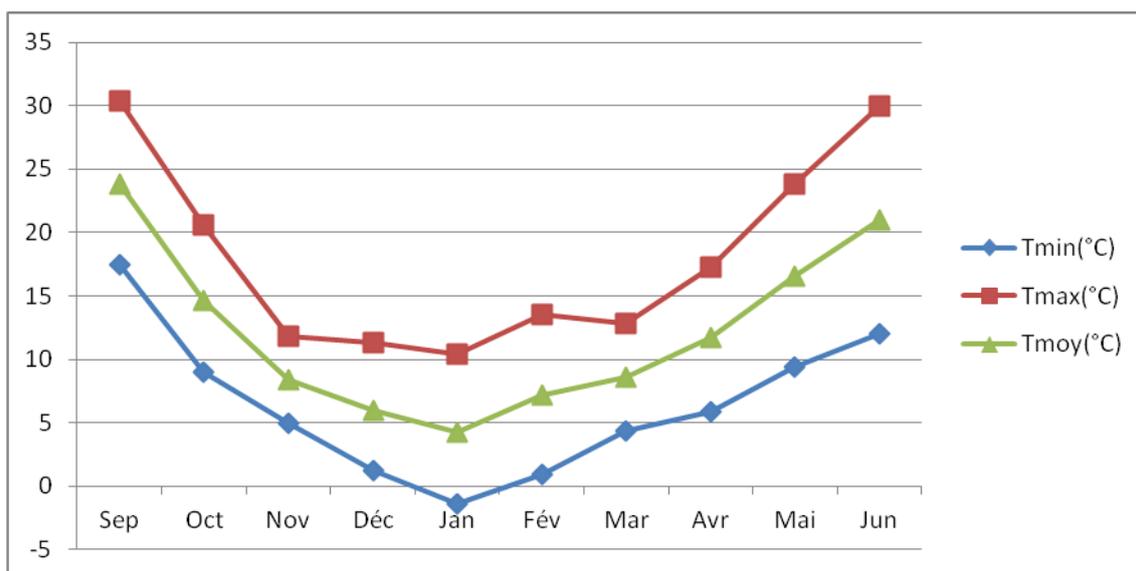


Figure 03 : Températures minimale, maximale et moyenne mensuelles pour la région de Sétif durant la campagne 2021- 2022 (ONM de Sétif, 2022).

I.4.Nature du sol de l'exploitation :

Les caractéristiques des sols de l'essai incluent une texture limono-sableuse, un pH alcalin, et une teneur en calcaire total supérieure à 35%. Le calcaire actif représente 18,4% du contenu total, tandis que la matière organique s'élève à 2,6%. De plus, le sol présente une capacité au champ de 25% (Hadroug, 2022).

I.5.Matériel végétal :

Le blé est une plante annuelle qui présente à la fois des caractéristiques simples et complexes dans son cycle de croissance et de développement. Il est autogame, cependant, son cycle de vie est soumis à de nombreuses interactions interdépendantes qui jouent un rôle crucial (Benseddik et Benabdelli, 2000).

Le blé (*Triticum durum*, Desf) est l'une des premières espèces cultivées par l'humanité. Il appartient à la famille des graminées et est une plante monocotylédone. Sur le plan génomique, il est tétraploïde avec une constitution chromosomique de $2n=28= AABB$. Le blé dur est cultivé principalement pour ses propriétés alimentaires. Il est ainsi nommé "Triticum durum" en raison de la dureté de son grain (Mekhlouf, 2009).



Figure 04 : représenté le Blé dur

I.5.1. Les Dates de semis :

Première date (D1): le 24 octobre 2021.

Deuxième date (D2): le 15 Novembre 2021.

Troisième date (D3): le 14 décembre 2021.

Quatrième date (D4) : le 04 Janvier 2022.

I.6. Paramètres étudiés :

I.6.1. Biomasse aérienne ou Rendement biologique (BIO) en g / m² :

Le poids de la biomasse aérienne accumulée jusqu'à la période de l'épiaison est déterminé en prélevant un échantillon de végétation d'un mètre linéaire sur une station spécifique dans chaque parcelle élémentaire. Ensuite, ce poids est extrapolé et rapporté au mètre carré pour obtenir une estimation de la biomasse aérienne par unité de surface (Hadroug, 2022).

I.6.2. L'indice de récolte (HI %) :

L'indice de récolte est calculé en prenant le rapport entre le rendement en grains commercialisables et la quantité totale de biomasse produite, exprimée en matière sèche (Hadroug, 2022).

HI = rendement en grains / biomasse

I.7. Le model AQUA-CROP :

AQUACROP est un modèle développé par la Division des terres et des eaux de la FAO pour évaluer la productivité de l'eau dans les cultures. Il a été conçu pour aborder les problèmes de sécurité alimentaire et évaluer l'impact de l'environnement et de la gestion sur la production agricole. AQUACROP simule la réponse du rendement des cultures herbacées à l'eau et est particulièrement adapté aux situations où l'eau est un facteur limitant essentiel dans la production agricole. Le modèle AQUACROP parvient à équilibrer la précision, la simplicité et la robustesse. Afin de garantir une large applicabilité, il utilise un nombre restreint de paramètres explicites et des données d'entrée principalement intuitives qui peuvent être obtenues à l'aide de méthodes simples.



Figure 05 : Interface graphique du modèle AQUACROP

(Source : Manuel d'utilisation AQUACROP)

I.7.1. Modules d'entrées :

Le module d'entrée d'AQUACROP utilise un nombre limité de paramètres explicites et de variables d'entrée, avec des données fournies dans des fichiers spécifiques. Ces données comprennent :

➤ **Données climatiques :**

Les caractéristiques climatiques telles que les températures minimales et maximales, les précipitations, l'évapotranspiration de référence (ET₀) et la concentration en CO₂ sont sélectionnées. AQUACROP utilise un calculateur d'ET₀ pour estimer l'évapotranspiration de référence en fonction des données telles que les températures maximales et minimales, l'humidité relative, le rayonnement solaire et la vitesse du vent à une hauteur de 2 mètres. La température a une influence sur la phénologie, la croissance et l'accumulation de biomasse des cultures. Les précipitations et l'ET₀ sont des facteurs déterminants pour le calcul du bilan hydrique de la zone racinaire. Enfin, la concentration en CO₂ dans l'atmosphère affecte la productivité de l'eau des cultures.

- **Culture :** Le module de culture dans AQUACROP contient toutes les caractéristiques spécifiques de la culture étudiée. Dans ce module, l'utilisateur a la possibilité de calibrer ou d'ajuster certains paramètres clés liés à la culture, tels que la période de floraison, la maturité, l'expansion de la couverture végétale et la profondeur d'enracinement.

Dans notre étude nous avons choisi comme culture : Wheat.CRO Default Wheat, Calendar (Valenzano, 23Nov07)

- **Sol :** Le module de sol dans AquaCrop permet de définir le profil du sol, qui peut comprendre jusqu'à cinq horizons différents avec des profondeurs variables, chacun ayant ses propres caractéristiques physiques. Les caractéristiques hydrauliques prises en compte sont la conductivité hydraulique à saturation (K_{sat}), les teneurs en eau du sol à saturation (θ_{sat}), à la capacité de champ (θ_{FC}) et au point de flétrissement permanent (θ_{PWP}). Ces caractéristiques permettent de décrire les propriétés hydrauliques du sol, telles que sa capacité à retenir l'eau, à la laisser s'infiltrer et à la rendre disponible pour les plantes.

Nous avons utilisé le profil argilo-limoneux qui correspond le mieux avec la texture de notre zone d'étude.

- **Gestion** : Le module de gestion d'AQUACROP comprend la gestion de l'irrigation ainsi que la gestion de la parcelle. Le modèle offre la possibilité de choisir parmi plusieurs modes d'irrigation, tels que l'irrigation par aspersion, l'irrigation goutte à goutte, et d'autres méthodes d'irrigation. Il permet également de prendre en compte les niveaux de fertilité du sol, ainsi que les pratiques agricoles qui influencent le bilan hydrique du sol. Ainsi, l'utilisateur peut ajuster ces paramètres en fonction des conditions spécifiques de la culture étudiée, ce qui permet d'évaluer l'impact de différentes stratégies de gestion sur le rendement et l'utilisation de l'eau dans les cultures

I.7.2. Les sorties du modèle :

Le modèle AQUACROP génère des résultats à un pas de temps quotidien, permettant à l'utilisateur de suivre les effets du stress (hydrique, thermique, de fertilité et de salinité) sur le développement et la production de la culture tout au long de la simulation. Les résultats sont présentés dans différents dossiers, avec plusieurs séries de données de sortie.

La simulation se déroule en cinq étapes principales. Tout d'abord, le modèle simule le bilan hydrique du sol, puis il simule le développement de la canopée verte (CC) et la transpiration de la culture (Tr). Ensuite, il simule l'accumulation de biomasse aérienne (B), et enfin, il simule le rendement de la culture (Y).

Les résultats de la simulation sont enregistrés dans des fichiers de sortie, et les données peuvent être visualisées en utilisant la commande "Sortie numérique" du menu Simulation. Les données peuvent être regroupées en données décadaires, mensuelles ou annuelles, offrant ainsi une vue détaillée de l'évolution de la culture et de ses performances au fil du temps.

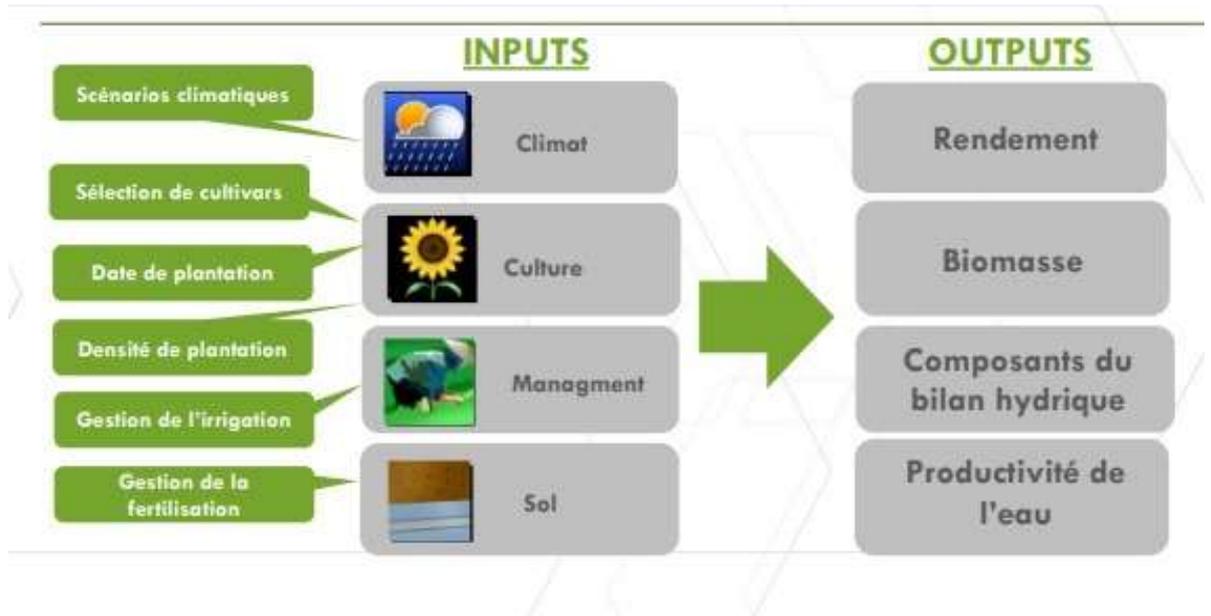


Figure 06 : Données d'entrées et sorties d'AQUACROP.

Les graphiques et tableaux présentés dans cette étude ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel 2013. Cet outil informatique a été utilisé pour créer des représentations graphiques claires et des tableaux structurés, permettant ainsi de visualiser et d'analyser les données de manière efficace. Excel 2013 est un logiciel couramment utilisé dans le domaine de la recherche et de l'analyse de données en raison de ses fonctionnalités avancées et de sa facilité d'utilisation.

Résultats et discussions

II. Résultats et discussions

II.1. Rendements et composantes du rendement :

II.1.1. Rendement :

Le rendement est un trait complexe qui est sous le contrôle de nombreux gènes (McNeil *et al.*, 1978). Il est fortement influencé par les facteurs environnementaux, ce qui rend son utilisation comme critère de sélection inefficace (Morgues, 2006); (Belhacene *et al.*, 2006). Le rendement est directement déterminé par le produit du nombre de grains par mètre carré et le poids de 1000 grains (Chennafi *et al.*, 2006). Selon Mekhlouf et Bouzerzour (2000), il est le résultat de différents caractères qui contribuent directement et indirectement à sa formation, tels que le poids du grain, le nombre d'épis par unité de surface et la biomasse.

La plus grande valeur de rendement a été enregistrée à la date 3, atteignant 66,09 quintaux par hectare. En comparaison, la date 1 a enregistré le rendement le plus faible, avec seulement 39,91 quintaux par hectare (tableau 3). Les dates 2 et 4 se classent en deuxième position avec des rendements respectifs de 50,26 quintaux par hectare et 59,06 quintaux par hectare (figure 7).

La moyenne générale de l'essai est de 53,83 quintaux par hectare, avec un écart type de 11,31 quintaux par hectare, indiquant une variation relative de 21% par rapport à la moyenne (tableau 03).

Tableau 03 : Résultats simulés du rendement, biomasse et indice de récolte.

Date	D1	D2	D3	D4	Moyenne	Ecart type	CV (%)
Rendement q/ha	39,91	50,26	66,09	59,06	53,83	11,31	21
Biomasse q/ha	83,12	104,68	149,45	129,64	116,7225	28,93	24
Indice de récolte(%)	48	48	44,2	45,6	46,45	1,87	4

D1 :24 Octobre 2021 ; D2 :15 Novembre 2021 ; D3 :14 Décembre 2021 ; D4 :4 Janvier 2022 ;
CV : Coefficient de variation.

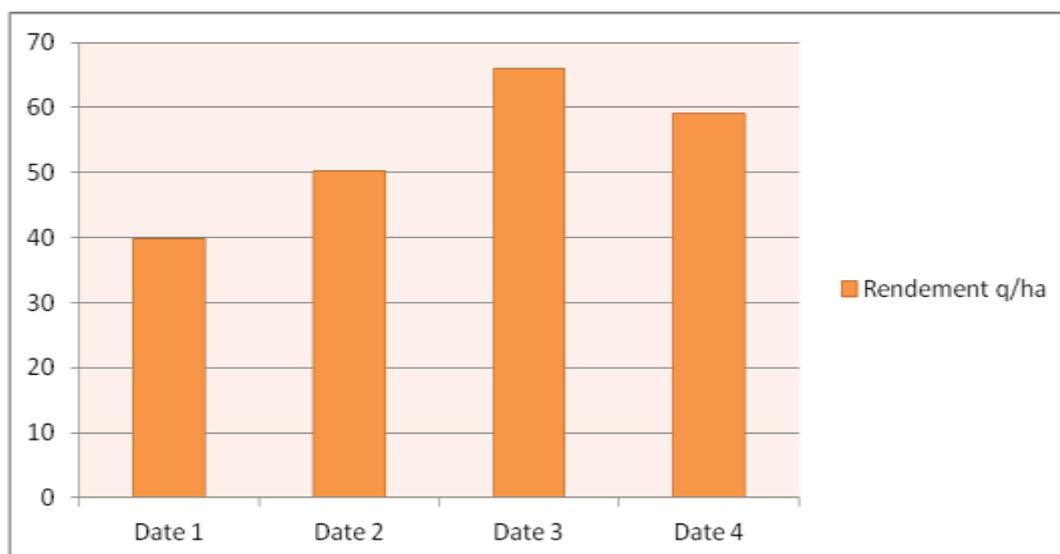


Figure 07: Effet de la variation de la date de semis sur le rendement.

Le semis précoce effectué en octobre et novembre a entraîné une diminution du rendement en grains par rapport au semis tardif réalisé en décembre et janvier. En effet, le semis précoce a enregistré une perte de rendement de 28% par rapport au semis tardif. Ces résultats diffèrent des études précédentes menées par Chennafi *et al.* (2011), Oulmi *et al.*, (2022), et Sattar *et al.*, (2010) qui ont obtenu des résultats différents.

Selon Arduini *et al.*, (2009), les pertes de rendement dues au retardement du semis, de novembre à mars, sont principalement attribuables à la diminution du nombre de grains par épi, qui est à son tour causée par une diminution significative du nombre d'épillets par épi. Dans les conditions méditerranéennes, le nombre d'épillets est un paramètre crucial pour la détermination du rendement, notamment lorsque le semis est retardé jusqu'à la fin de l'hiver, comme indiqué par Mahdi *et al.*, (1998) ; Elhani *et al.*, (2007) ; et Oulmi *et al.*, (2022). D'autre part, Zamani et Nasser, (2008) soutiennent que les semis précoces favorisent le rendement en grains du blé.

L'analyse des coefficients de corrélation réalisée dans notre étude a révélé une corrélation négative significative entre le rendement et l'indice de récolte. Le coefficient de corrélation obtenu était de -0,92, ce qui indique une relation inverse entre ces deux variables. En d'autres termes, lorsque l'indice de récolte augmente, le rendement a tendance à diminuer, et vice versa. Cette corrélation suggère que l'indice de récolte peut être utilisé comme un indicateur pour prédire le rendement des cultures. La Figure 08 et le Tableau 04 présentent plus en détail les résultats de cette corrélation.

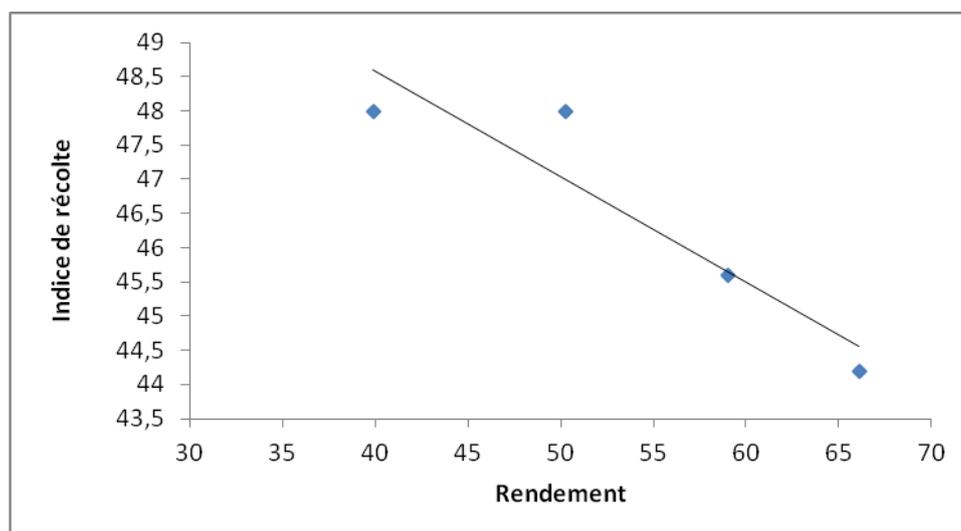


Figure 08 : Relation entre le rendement et l'indice de récolte.

II.1.2. Biomasse :

Les résultats obtenus de la simulation de la biomasse aérienne révèlent un coefficient de variation de 24 %. En ce qui concerne la moyenne générale de l'essai, elle s'élève à 116,72 q/ha, avec un écart type de 28,93 q/ha, comme indiqué dans le tableau 03.

La biomasse aérienne présente des variations significatives en fonction des différentes dates de semis. La date D3 (14 Décembre) enregistre la valeur extrême la plus élevée de biomasse aérienne, avec 149,45 q/ha, suivie de près par la date D4 (4 Janvier) avec 129,64 q/ha. En revanche, la date D1 (24 Octobre) présente la valeur la plus faible de biomasse aérienne enregistrée, avec seulement 83,12 q/ha. Ces résultats sont illustrés dans la figure 09.

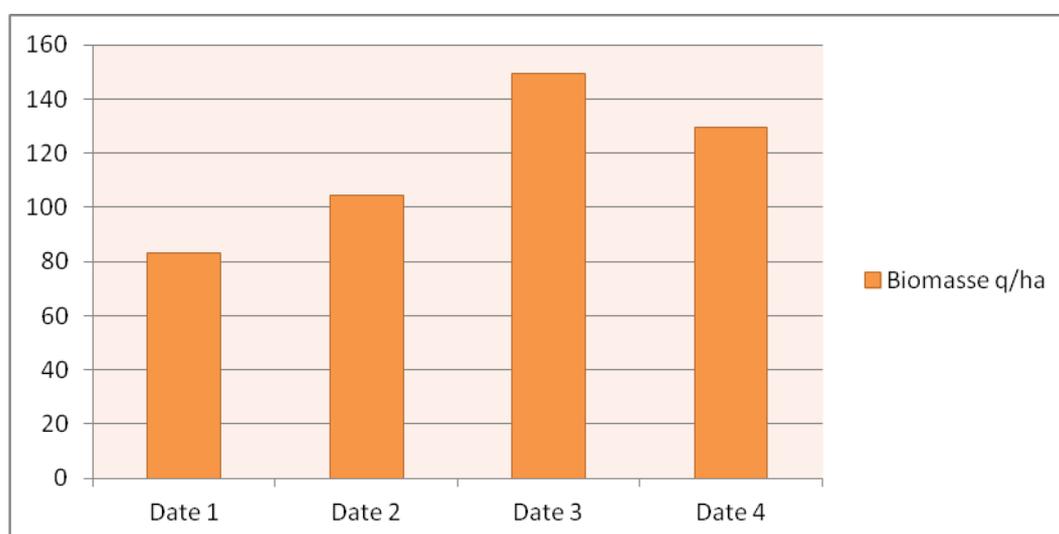


Figure 09 : Effet de la variation de la date de semis sur la biomasse.

Selon Richards *et al.*, (1997) ; une biomasse aérienne élevée est considérée comme une caractéristique souhaitable dans les milieux semi-arides. Siddique *et al.*, (1989) ; ont également souligné que des cycles de développement plus longs favorisent une plus grande accumulation de biomasse aérienne. Dans notre étude, la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est un indicateur de l'activité photosynthétique pendant la période pré-anthèse, qui est une période relativement favorable pour les cultures dans les zones semi-arides. Par conséquent, il est souhaitable de développer des variétés végétales qui se distinguent par leur capacité à accumuler une plus grande biomasse aérienne au stade épiaison (Mazouz et Bouzerzour, 2017).

Les résultats de notre étude ont révélé une corrélation positive et hautement significative entre la biomasse et le rendement ($r = 0,99$) (tableau 4). Cela indique qu'une plus grande biomasse aérienne est généralement associée à un rendement plus élevé. D'autre part, nous avons observé une corrélation négative et significative entre la biomasse et l'indice de récolte ($r = -0,95$) (tableau 4). Cela suggère qu'une biomasse aérienne plus élevée est généralement associée à un indice de récolte plus faible. Ces résultats soulignent l'importance de la biomasse aérienne dans la détermination du rendement des cultures, tout en tenant compte de l'efficacité de la récolte.

Tableau 04 : corrélation entre les 3 paramètres étudiés

Coefficient de corrélation	Biomasse q/ha	Rendement q/ha	Indice de récolte(%)
Biomasse q/ha	1	0,997	-0,952
Rendement q/ha		1	-0,927
Indice de récolte(%)			1

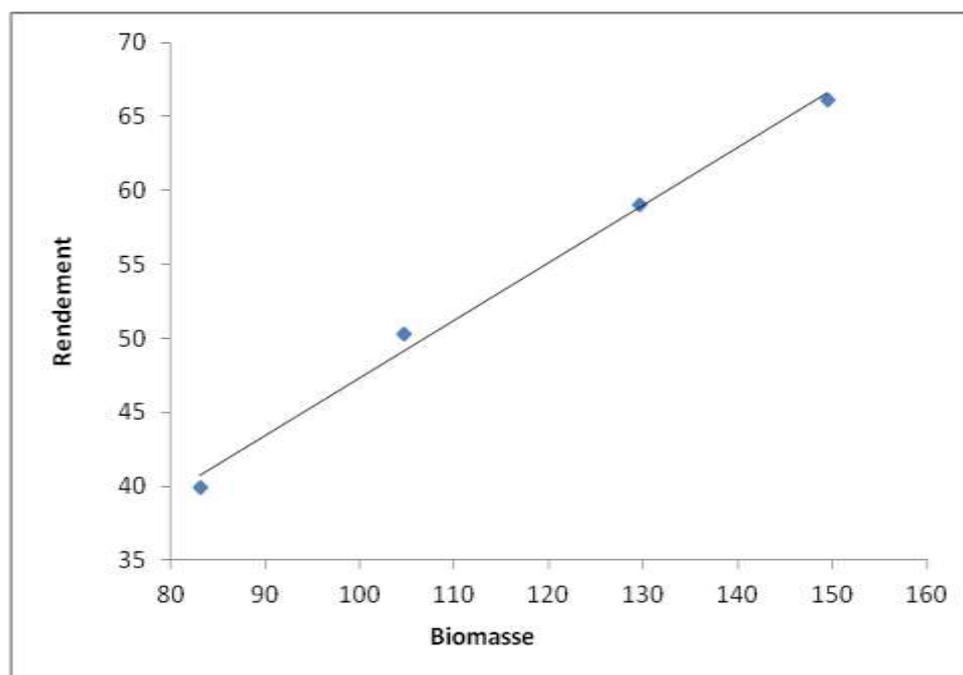


Figure 10 : Relation entre la biomasse et le rendement.

II.1.3. Indice de récolte :

L'indice de récolte est défini comme le rapport entre le rendement en grains et la quantité totale de biomasse produite, exprimée en matière sèche. Cette mesure permet d'évaluer l'efficacité de la conversion de la biomasse en rendement commercialisable. Selon Bouzerzour, (1998) ; dans des environnements variables ou soumis à des contraintes, il est essentiel de s'assurer d'une production adéquate de biomasse aérienne afin d'obtenir un rendement satisfaisant. Cela souligne l'importance de la quantité de biomasse produite pour assurer une bonne productivité et un rendement agricole optimal, en particulier dans des conditions difficiles ou variables.

Selon les résultats de notre étude, la moyenne générale de l'indice de récolte s'élève à 46,45 q/ha, avec un écart type de 1,87 q/ha (tableau 3). Cela indique que les valeurs de l'indice de récolte ont peu de dispersion autour de la moyenne. Le coefficient de variation (CV) de 4% suggère une faible variabilité relative des données, ce qui indique une certaine cohérence et stabilité dans les mesures de l'indice de récolte.

Les indices de récolte les plus élevés sont observés pour les dates D1 (24 Octobre) et D2 (15 Novembre) avec un pourcentage de 48% (figure 9). La date D4 (4 Janvier) présente un indice de récolte légèrement inférieur avec 45,6%, tandis que la date D3 (14 Décembre) affiche l'indice de récolte le plus bas avec 44,2%. Ces résultats indiquent que les dates de semis

plus précoces ont tendance à présenter des indices de récolte légèrement plus élevés que les dates de semis plus tardives.

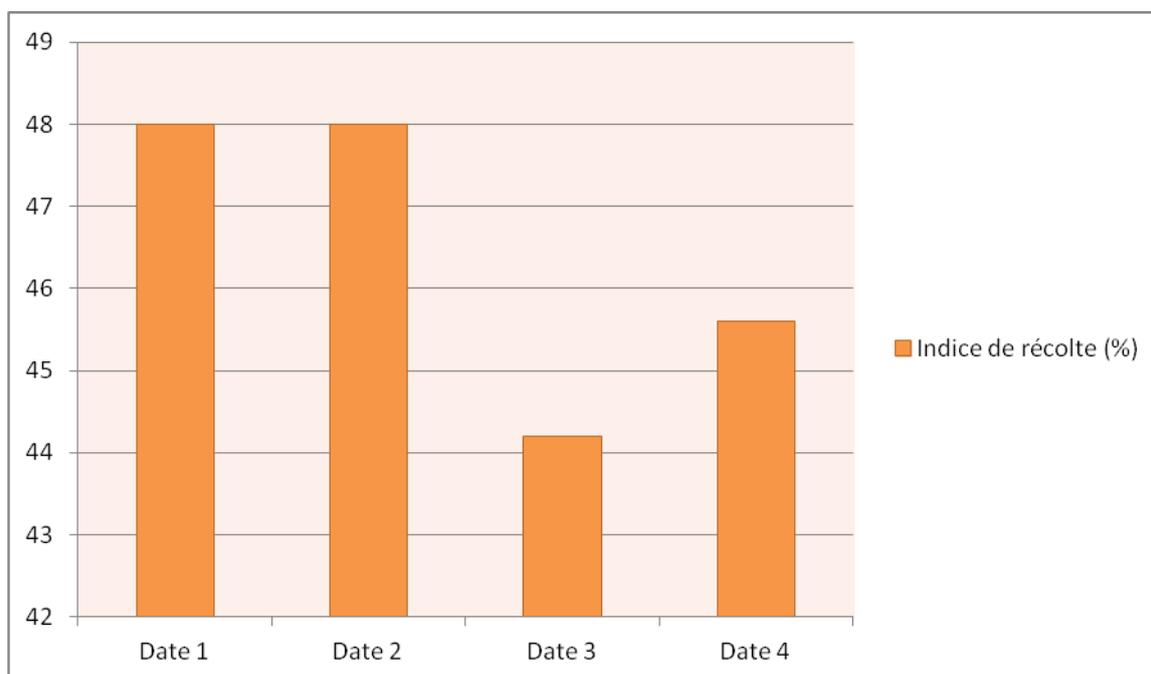


Figure 11 : Effet de la variation de la date de semis sur l'indice de récolte .

Selon Benmahammed *et al.*, (2003) ; Bousba (2012) ; et Ferras (2015) ; l'indice de récolte est défini comme le rapport entre le rendement en grains et le rendement total (grains + paille). Il représente la capacité du génotype à produire des grains dans des conditions de contraintes hydriques, et une valeur élevée indique une bonne translocation des photosynthétats vers les sites de remplissage des grains.

D'après Siddique *et al.*, (1989) ; cité par Ferras, (2015) ; l'indice de récolte est également un bon indicateur de la tolérance à la sécheresse et aux hautes températures en fin de cycle. Bouzerzour, (1998) souligne qu'il est important d'assurer une production suffisante de biomasse aérienne pour obtenir un rendement acceptable, ce qui est étroitement lié à un indice de récolte élevé. La variabilité de ce caractère est généralement considérée comme moyenne à faible, avec un degré moyen d'héritabilité.

Ces études soulignent l'importance de l'indice de récolte comme indicateur de performance agronomique et de tolérance aux conditions de stress, et suggèrent que des valeurs éle-

vées de cet indice sont favorables à la production de grains de qualité dans des environnements variables.

La figure 12 met en évidence que la date 3 présente une meilleure convergence des trois paramètres étudiés, tandis que la date 1 montre une divergence entre ces paramètres. On observe que les dates plus tardives (D3 et D4) présentent une convergence plus forte par rapport aux dates plus précoces (D1 et D2).

Cela suggère que la date 3 est plus favorable en termes de performance agronomique, car les trois paramètres étudiés convergent et montrent une cohérence dans leurs valeurs. En revanche, la date 1 présente une divergence entre ces paramètres, ce qui peut indiquer une moins bonne performance agronomique.

Il est intéressant de noter que les dates de semis plus tardives semblent présenter une convergence plus forte, ce qui peut indiquer une meilleure adaptation de la culture aux conditions environnementales spécifiques de ces périodes.

Ces observations mettent en évidence l'importance de choisir la bonne date de semis pour optimiser les performances agronomiques, en prenant en compte la convergence ou la divergence des différents paramètres étudiés.

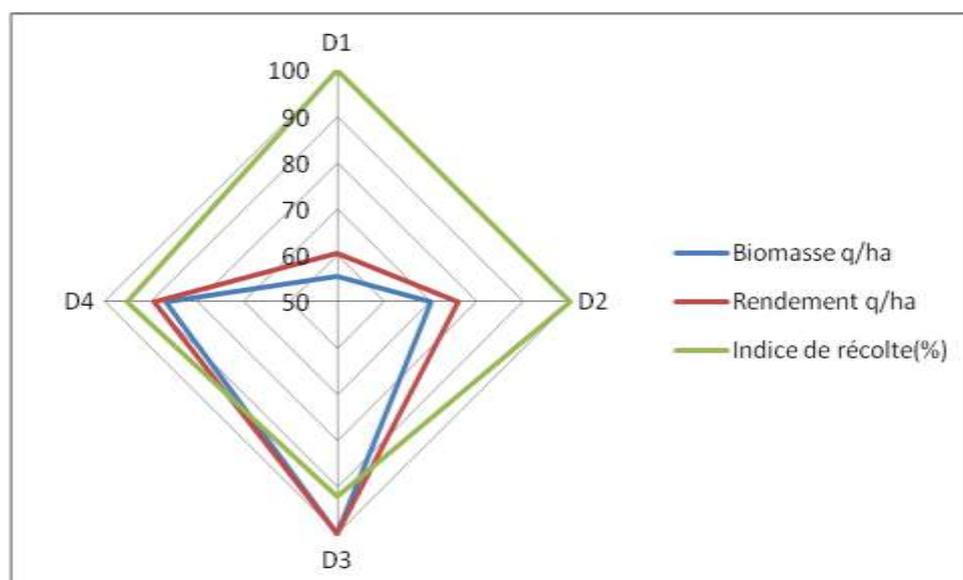


Figure 12 : Valeurs relatives moyennes (% valeur maxi) des variables mesurées dans les quatre dates simulées.

CONCLUSION

CONCLUSION

En raison des changements climatiques, les régions semi-arides connaissent une augmentation de la sécheresse et de l'instabilité climatique. Les agriculteurs sont contraints d'ajuster les dates de semis afin d'éviter les périodes sèches et froides lors des phases clés du cycle de croissance des céréales, en particulier du blé dur, afin d'obtenir des rendements satisfaisants.

Notre étude se concentre sur l'identification de la date de semis optimale pour la culture du blé dur dans la région semi-aride de Sétif, compte tenu des changements climatiques, afin de maintenir des rendements élevés. Pour ce faire, nous avons utilisé le modèle AQUACROP pour simuler quatre dates de semis différentes. Les résultats de notre étude ont conduit aux conclusions suivantes :

En ce qui concerne le rendement, nous avons constaté que le semis tardif (D3/D4) a donné des valeurs plus élevées par rapport au semis précoce (D1/D2). En conséquence, l'avancement de la date de semis a entraîné une baisse du rendement, avec des pertes de rendement de 28% par rapport au semis tardif.

La corrélation entre la biomasse et le rendement a révélé une relation positive et hautement significative ($r = 0,99$), ce qui indique qu'une plus grande biomasse aérienne est généralement associée à un rendement plus élevé. En revanche, la corrélation entre le rendement et l'indice de récolte était négative et significative ($r = -0,92$), suggérant qu'un rendement plus élevé est généralement associé à un indice de récolte plus faible.

Les valeurs relatives moyennes des variables mesurées dans les quatre dates simulées suggèrent que la date 3 est plus favorable en termes de performance agronomique, car les trois paramètres étudiés convergent et montrent une cohérence dans leurs valeurs ; ce qui peut indiquer une meilleure adaptation de la culture aux conditions environnementales spécifiques de cette période.

À partir de ces résultats, il est important de souligner l'intérêt de ce sujet et de mener des recherches approfondies sur l'efficacité de la modification de la date de semis des céréales en tant que stratégie d'adaptation aux changements climatiques dans toute l'Algérie. Cela permettra de prendre des décisions éclairées sur les dates de semis optimales pour différentes cultures céréalières.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Amriou A., Abid H., (2020). Contribution de l'intelligence artificielle dans l'étude de l'effet climatique sur le rendement grain de quelques variétés de blé dur en zone semi-aride. Pour l'obtention du diplôme de Master en sciences agronomiques, Production végétale. Université 1,57p.

Arduini I., Ercoli L., Mariotti M., Masoni A., (2009). Sowing date affect spikelet number and grain yield of durum wheat. *Cereal Research Communications* 37(3), 469–478.

Baldy C. (1986) . Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale in tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéenne diversité génétique et amélioration variétale. Les colloques, n ° 64, Montpellier Ed INRA.

Benssedik B., Benabdelli K (2000). Impacts du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche écophysiole. *Sécheresse* 11(1). Ed John Libbey Euro text. Paris. pp : 45-51

Chennafi H., Aidaoui A., Mekhlouf A., Bouzerzour H., Bemahammed A., Hadj Sahraoui A. et Harkati N., (2006). Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum*, Desf.) au climat semi- aride. *Sécheresse* 17 (4 - 507-513).

FAO .Les principes de l'agriculture de conservation. FAO, Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs. www.fao.org/ag/cafr/1a.html.

Feliachi K., (2000). Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. actes du premier symposium international sur la filière blé (2000)- Enjeux et stratégies Alger (Algérie), 7-9 février (2000), pp21-27.

Ferras K., (2015). L'efficacité d'utilisation de l'eau pluviale chez des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride. Thèse de Magister .Univ Sétif.80p

Gimet, C. (2007, Octobre). Conditions necessary for the sustainability of an emerging area: The importance of banking and financial regional criteria. *Journal of Multinational Financial Management*, pp. 317-335.

Hadroug S., Bousebha H., (2022). L'effet de la date et la densité de semis sur le comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. En vue de l'obtention du Diplôme de Master en sciences Agronomique, faculté SNV, Université BBA, 43p. *Triticum durum* Desf.) En environnement semi-aride. Thèse de Magister .Univ Sétif.80p.

Mazouz L., Bouzerzour H. (2017). Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans le climat semi-aride. Rev. Sci. Technol., Synthèse 35 : 45-58

Mekhlouf A., (2009). Etude de la variabilité génétique du blé dur (*Triticum durum*, Desf), pour la tolérance au froid. Thèse doctorat science en agronomie, INA, Alger.p12

Mendelson G. W. (1994). Noninvasive measurement of hematocrit and hemoglobin content by differential optical analysis. LOCK J PAUL MORROW & Co PARTNERSHIP.

Nedjah I., (2015). Changements physiologiques chez des plantes (blé dur *Triticum durum* Desf) exposé à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de doctorat, faculté des sciences. Département de biologie. Université Badji Mokhtar, Annaba, 98p.

Oulmi A., Frih B., Guendouz A., Benkadja S. (2022): Effect of Sowing Date on Grain Yield, its Components and Some Morpho-Phenological Traits of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf,) In Semi-arid Zone in Alegria, International Journal of Bio-resource and Stress Management, 2022; 13(3), 226-234.

Pradeep Kurukulasuriya, R. M.-M. (2006, Aout 26). Will African Agriculture Survive Climate Change. The World Bank Economic Review, pp. 367-388.

Rezaei EE., Siebert S., Hüging H., Hüging H., Ewert F. (2018). Climate change effect on wheat phenology depends on cultivar change. Sci Rep 8: 489. DOI: 10.1038/s41598-018-23101-2.

Sattar A. M.A., Cheema M., Farooq M.A., Wahid A., Babar B.H. (2010). Evaluating the performance of wheat varieties under late sown conditions, Int, J, Agric, Biol, 12: 561–565.

Waha W., Müller C., Bondeau A., Dietrich JP., Kurukulasuriya P., Heinke J. (2013). Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. Global Environ Change 23: 130–143. DOI: 10.1016/j.gloenv cha.2012.11.001

Zamani A.S., Nasser A., (2008). Response of dryland wheat production and precipitation

Annexe

Annexe A : Résultats de la simulation d'une date 1 par Aquacrop.

Simulation

REPETER avance

fin de la simulation (30 Mars 2022)

10 jours

à la date 30 Mars 2022

INPUT 31 Mars 2022

ETo mm/jour

Pluie mm/jour

Irri mm/jour

Qualité de l'eau dS/m

OUTPUT 30 Mars 2022

Production

Biomasse 8.312 ton/ha

Rendement 3.991 ton/ha

Stresses

	journaliers	moyenne cycle
salinité du sol.....	none	none
température (Transpiration).....	19 %	53 %
stress hydrique.....		
expansion.....	X	none
fermeture stomatique.....	none	none
sénescence précoce.....	none	none
mauvaises herbes.....	none	none
fertilité du sol.....	none	none

Climat-Culture-Eau du sol | Pluie | Profil d'eau | Salinité | Climat et Bilan hydrique | Production | Environnement

Stade de croissance: après la période de culture

Biomasse

produite depuis le début de la simulation

	tonne/ha	rapport
Produite réelle	8.312	99 %
Biomasse potentielle	8.385	

- pas de stress hydrique
- fertilité non limitée

- pas de stress de salinité
- pas de mauvaises herbes

Cycle de croissance

Longueur (à partir de la germination):..... 145 jours

Productivité de l'eau (ET)

2.63 kg(rendement) par m3 d'eau évapotranspirée

Indice de récolte (HI)

Effet du stress hydrique sur HI

Rapport de biomasse (%) pour la fertilité du sol donnée au début de la floraison

Période végétative..... + 0 %

En formation rendement... + 0 %

0 % <= + 15 %

HI <= 48.0 % (HI de référence)

Période de floraison

Degré de pollinisation 100 %

HI <= 48.0 %

Indice de récolte

48.0

HI (ajusté) = 48.0 % = 1.00 x 48.0 %

Données numériques

Menu Principal

Activer Windows
Réviser
Accédez aux barres

Annexe B : Résultats de la simulation d'une date 2 par Aquacrop.

Simulation

REPETER avance

fin de la simulation (21 Avril 2022)

10 jours

à la date 21 Avril 2022

INPUT 22 Avril 2022

ETo mm/jour

Pluie mm/jour

Irri mm/jour

Qualité de l'eau dS/m

Production

Biomasse 10.468 ton/ha

Rendement 5.026 ton/ha

OUTPUT 21 Avril 2022

Stresses

	journaliers	moyenne cycle
salinité du sol.....	none	none ..
température (Transpiration).....	5 %	49 % ..
stress hydrique		
expansion.....	X	none ..
fermeture stomatique.....	none	none ..
sénescence précoce.....	none	none ..
mauvaises herbes.....	none	none ..
fertilité du sol.....	none	none ..

Climat-Culture-Eau du sol | Pluie | Profil d'eau | Salinité | Climat et Bilan hydrique | Production | Environnement

Stade de croissance: après la période de culture

Biomasse
produite depuis le début de la simulation

	tonne/ha	rapport
Produite réelle	10.468	99 %
Biomasse potentielle	10.562	

- pas de stress hydrique
- fertilité non limitée
- pas de stress de salinité
- pas de mauvaises herbes

Cycle de croissance
Longueur (à partir de la germination):..... 145 jours

Productivité de l'eau (ET)
2.52 kg(rendement) par m3 d'eau évapotranspirée

Indice de récolte (HI)

Effet du stress hydrique sur HI

Rapport de biomasse (%) pour la fertilité du sol donnée au début de la floraison

Période végétative..... + 0 %

En formation rendement... + 0 %

0 % <= + 15 %

HI <= 48.0 % (HI de référence)

Période de floraison
Degré de pollinisation 100 %

HI <= 48.0 %

Indice de récolte
48.0

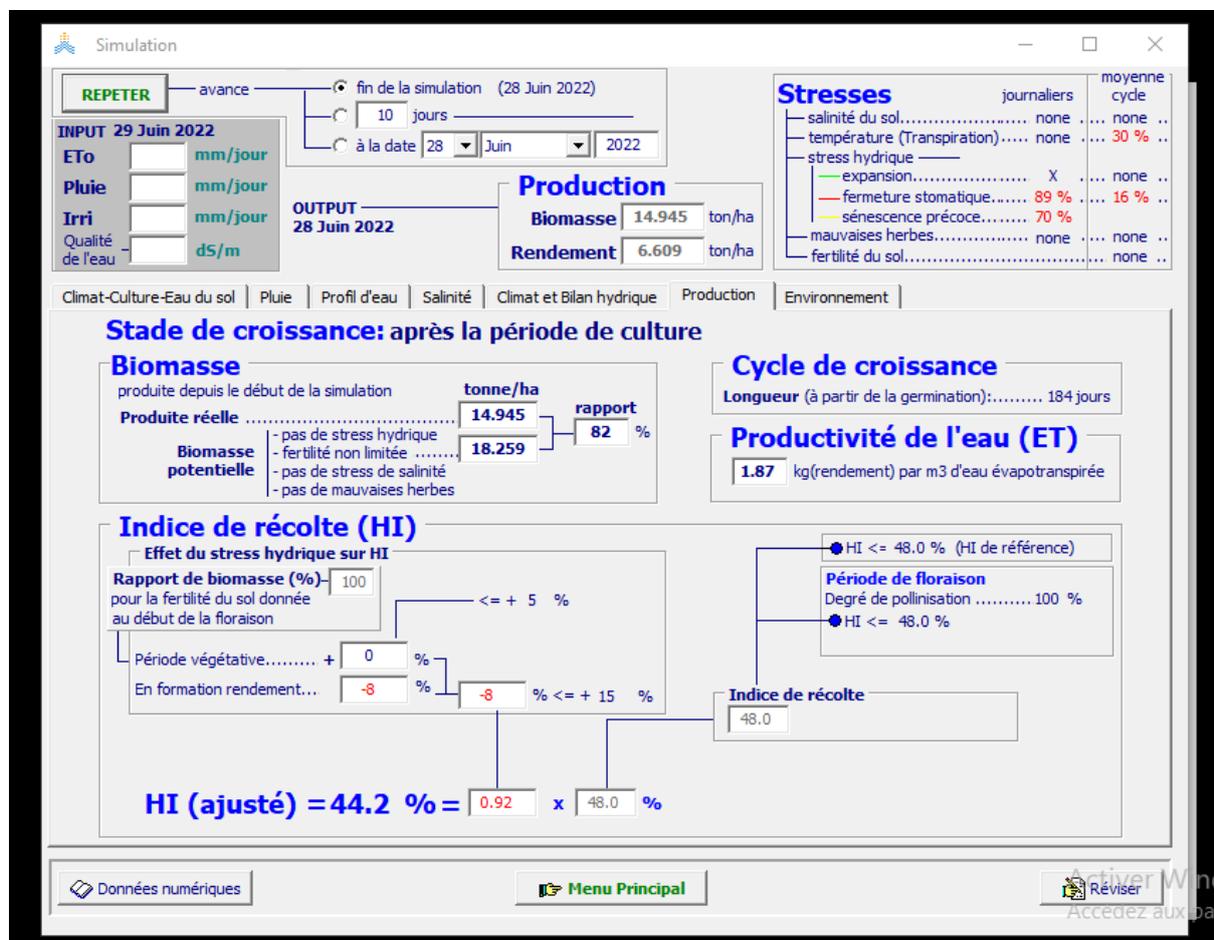
HI (ajusté) = 48.0 % = 1.00 x 48.0 %

Données numériques

Menu Principal

Activer Windows
Réviser
Accédez aux barres

Annexe C : Résultats de la simulation d'une date 3 par Aquacrop.



Annexe D : Résultats de la simulation d'une date 4 par Aquacrop.

Simulation

REPETER — avance — fin de la simulation (10 Juin 2022)
 fin de la simulation (10 Juin 2022)
 10 jours
 à la date 10 Juin 2022

INPUT 11 Juin 2022
 ETo mm/jour
 Pluie mm/jour
 Irri mm/jour
 Qualité de l'eau dS/m

OUTPUT 10 Juin 2022
Production
 Biomasse 12.964 ton/ha
 Rendement 5.906 ton/ha

Stresses journaliers moyenne cycle
 salinité du sol..... none ... none ..
 température (Transpiration)..... none ... 25 % ..
 stress hydrique
 expansion..... X ... 9 % ..
 fermeture stomatique..... 82 % ... 11 % ..
 sénescence précoce..... 55 % ..
 mauvaises herbes..... none ... none ..
 fertilité du sol..... none ... none ..

Climat-Culture-Eau du sol | Pluie | Profil d'eau | Salinité | Climat et Bilan hydrique | Production | Environnement

Stade de croissance: après la période de culture

Biomasse
 produite depuis le début de la simulation **12.964 tonne/ha**
 rapport **82 %**
 Produit réelle 12.964
 Biomasse potentielle 15.870
 - pas de stress hydrique
 - fertilité non limitée
 - pas de stress de salinité
 - pas de mauvaises herbes

Cycle de croissance
 Longueur (à partir de la germination):..... 145 jours

Productivité de l'eau (ET)
1.74 kg(rendement) par m3 d'eau évapotranspirée

Indice de récolte (HI)
 Effet du stress hydrique sur HI
 Rapport de biomasse (%) 100
 pour la fertilité du sol donnée au début de la floraison
 Période végétative..... + 0 %
 En formation rendement... -5 %
 -5 % <= + 15 %
 HI (ajusté) = 45.6 % = 0.95 x 48.0 %

HI <= 48.0 % (HI de référence)
 Période de floraison
 Degré de pollinisation 100 %
 HI <= 48.0 %

Indice de récolte
 48.0

Données numériques | Menu Principal | Activer Mind | Réviser | Accédez aux par

Résumé

Cette étude vise à trouver la date de semis optimale pour le blé dur dans la région semi-aride de Sétif, en tenant compte des changements climatiques, afin d'obtenir des rendements élevés. Le modèle **AQUACROP** a été utilisé pour simuler quatre dates de semis différentes dans le cadre de cette recherche. Les résultats ont indiqué que le semis tardif a entraîné des rendements supérieurs par rapport au semis précoce, avec une diminution de 28% du rendement lors du semis avancé. Une corrélation positive a été observée entre la biomasse et le rendement, tandis qu'une corrélation négative a été trouvée entre la biomasse et l'indice de récolte. La troisième date de semis s'est avérée être la plus favorable en termes de performance agronomique.

Mots clés: Date de semis, Blé dur, semi-aride, AQUACROP, Changement climatique.

Abstract

This study conducted in the semi-arid region of Sétif demonstrated the importance of selecting the appropriate sowing date for durum wheat to achieve optimal yields. The results indicated that late sowing resulted in higher yields compared to early sowing, with a 28% decrease in yield for advanced sowing. A positive correlation was observed between biomass and yield, while a negative correlation was found between biomass and harvest index. The third sowing date proved to be the most favorable in terms of agronomic performance,

Keywords: Sowing date, Durum wheat, semi-arid, AQUACROP, Climate change.

ملخص

أظهرت هذه الدراسة المجراة في المنطقة شبه الجافة في سطيف أهمية اختيار تاريخ الزراعة المناسب للقمح الصلب لتحقيق محاصيل مثلى. أشارت النتائج إلى أن الزراعة المتأخرة أسفرت عن حصاد أعلى مقارنة بالزراعة المبكرة مع انخفاض بنسبة 28% في الحصاد عند الزراعة المتقدمة. وقد لوحظ وجود علاقة إيجابية بين الكتلة الحيوية والحصاد، بينما وجد علاقة سلبية بين الكتلة الحيوية ومؤشر الحصاد. تبين أن التاريخ الثالث للزراعة كان الأكثر ملاءمة من حيث الأداء الزراعي.

الكلمات المفتاحية: تاريخ الزراعة ، القمح الصلب ، شبه جافة ، pAquacro ، تغير المناخ