



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

FILIERE : Biotechnologie

OPTION : Biotechnologie Végétale

Thème

**EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA
PRODUCTION DE BLE DUR EN ALGERIE.**

Présenté par : CHAABANE Zihar et MOUSSAOUI Oualaa

Mémoire de Master académique soutenu devant le jury composé de :

| | | |
|------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| Président | ABADIA Abdelghafour-MCB | Univ. Abbés Laghrou – Khenchela |
| Examineur | RAHAL Khalid -MAA | Univ. Abbés Laghrou – Khenchela |
| Encadreur | BENCHELALI Soumia-MCB | Univ. Abbés Laghrou – Khenchela |

Année universitaire 2023/ 2024

DÉDICACE

À mes chers parents, pour leur soutien indéfectible et leurs sacrifices sans fin. Votre présence constante et vos encouragements ont été la lumière guidant chacun de mes pas sur ce chemin académique. Cette réussite est autant la vôtre que la mienne.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à ma collègue de mémoire, Zihar Chaabane. Ton soutien indéfectible, ton esprit de collaboration et ta persévérance ont été des atouts précieux tout au long de cette aventure académique. Ta capacité à partager les responsabilités et à travailler ensemble a grandement facilité notre cheminement. Merci pour ton engagement et ton partenariat dans ce projet, qui ont été essentiels à l'accomplissement de notre travail commun.

À mes précieuses sœurs, Rawane, Assile et Wiame, pour votre soutien moral, vos sourires réconfortants et votre patience. Votre compréhension durant les périodes intenses de ce travail a été une source inestimable de motivation et de force.

À mes amies Najet, Ibtissem, Lamisse et Salima, pour vos encouragements sincères, vos moments de répit bienvenus et votre amitié fidèle tout au long de ce parcours. Votre présence a égayé les moments difficiles et a enrichi cette expérience.

À mes chères amies Sarrah et Imen dont le soutien chaleureux et les conversations réconfortantes ont été une véritable bouffée d'air frais dans les moments de stress. Votre amitié est un cadeau précieux qui a apporté une touche de légèreté à cette aventure.

Cher Oncle Samir, je te remercie du fond du cœur pour tout le soutien que tu m'as apporté durant mon parcours.

MOUSSAOUI OUALAA

Je dédie ce mémoire à la mémoire de mon père, qui, bien qu'absent physiquement, continue de m'inspirer chaque jour. Ton souvenir m'accompagne à chaque étape de ma vie, et c'est en pensant à toi que j'ai trouvé la force de persévérer.

À ma mère, pour son amour infini, sa patience et ses sacrifices qui m'ont permis de poursuivre mes rêves. Tu es une source de courage et de sagesse, et je te suis éternellement reconnaissante.

À mes sœurs Laila et Souad, et à mes frères Lazher, Mohamed et Moussa, pour leur soutien indéfectible et leur présence constante à mes côtés. Vous avez toujours cru en moi, et vos encouragements m'ont permis de surmonter bien des défis.

À ma petite famille, mon cher mari, pour ton amour, ton soutien infaillible et ta compréhension tout au long de cette aventure. Sans toi, cette réussite n'aurait pas eu la même saveur. À mes enfants, Aridj, Iyad, et Athir, qui m'ont donné la force de continuer même dans les moments les plus difficiles. Votre joie et votre amour sont ma plus grande récompense.

Enfin, à Moussaoui Walaa, mon collègue de mémoire, pour ta collaboration, ton aide précieuse et ta camaraderie. Ce travail est aussi le fruit de notre engagement commun et de nos efforts partagés.

Chaabane zihar

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante, Madame « Benchelalli Soumia » pour son soutien exceptionnel et son accompagnement tout au long de ce parcours. Votre expertise, vos conseils avisés et votre disponibilité ont été essentiels pour la réalisation de cet mémoire . Nous vous remercions sincèrement pour votre encadrement rigoureux et votre bienveillance.

Nous adressons également nos remerciements aux membres du jury, Dr. Abaidia Abdelghafour et Dr. Rahal Khalid . Votre évaluation minutieuse, vos critiques constructives et vos conseils avisés ont grandement contribué à l'enrichissement de notre travail. Nous apprécions sincèrement le temps et l'effort que vous avez consacrés à l'examen de cette recherche.

Nous exprimons notre gratitude à l'Université Abbas Laghrour, en particulier au Département de l'Agriculture, pour l'environnement académique stimulant et les ressources mises à notre disposition. Votre soutien institutionnel a été un pilier fondamental pour l'accomplissement de ce projet.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à l'aboutissement de ce travail. Vos encouragements, vos conseils et votre présence ont été des sources précieuses de soutien tout au long de ce voyage académique.

Résumé :

L'étude montre une amélioration globale de la production de blé en Algérie sur les six dernières décennies, avec des progrès marqués après les années 1990. Cependant, des fluctuations annuelles significatives mettent en évidence la vulnérabilité du secteur aux changements climatiques et aux politiques agricoles. L'eau apparaît comme un facteur clé, en particulier dans les régions semi-arides de Sétif et Tiaret. Les précipitations influencent directement les rendements du blé, avec une corrélation forte à Tiaret. La baisse des précipitations après 2010 représente une menace pour la sécurité alimentaire, en raison de la diminution des rendements de blé.

Bien que les températures moyennes augmentent dans ces régions, les corrélations avec les rendements ne sont pas significatives, suggérant que d'autres facteurs, tels que la gestion de l'eau et les pratiques agricoles, jouent un rôle plus important.

Constantine se distingue par des rendements élevés en blé dur, mais variables, tandis que Sétif et Tiaret sont plus stables avec des superficies récoltées plus vastes.

Pour accroître la productivité, il est nécessaire d'investir dans des techniques d'irrigation et d'adapter les cultures aux conditions climatiques spécifiques. Un modèle de régression multivariée pourrait aider à mieux comprendre les interactions complexes entre les précipitations, les températures et les pratiques agricoles, pour optimiser la production de blé dur.

Mots clés : Blé, blé dur, Changements climatiques, Températures moyennes et Précipitations.

Summary: The study highlights an overall improvement in wheat production in Algeria over the past six decades, with notable progress after the 1990s. However, significant annual fluctuations reveal the sector's vulnerability to climate change and agricultural policies. Water emerges as a key factor, particularly in the semi-arid regions of Sétif and Tiaret. Precipitation directly influences wheat yields, with a strong correlation in Tiaret. The decline in rainfall after 2010 poses a threat to food security due to reduced wheat yields. Although average temperatures are rising in these regions, correlations with yields are not significant, suggesting that other factors, such as water management and agricultural practices, play a more crucial role. Constantine stands out for its high but variable durum wheat yields, while Sétif and Tiaret are more stable, with larger harvested areas. To increase productivity, investments in irrigation techniques and adapting crops to specific climate conditions are essential. A multivariate regression model could help better understand the complex interactions between precipitation, temperatures, and agricultural practices, in order to optimize durum wheat production.

Keywords: Wheat, durum wheat, climate change, average temperatures, precipitation..

الملخص: تسلط الدراسة الضوء على تحسن شامل في إنتاج القمح في الجزائر على مدى العقود الستة الماضية، مع تقدم ملحوظ بعد التسعينيات. ومع ذلك، تكشف التقلبات السنوية الكبيرة عن ضعف القطاع أمام تغير المناخ والسياسات الزراعية. يظهر الماء كعامل رئيسي، خاصة في المناطق شبه القاحلة مثل سطيف وتيارت. تؤثر الأمطار مباشرة على غلة القمح، حيث توجد علاقة قوية في تيارت. يمثل انخفاض هطول الأمطار بعد عام 2010 تهديدًا للأمن الغذائي بسبب انخفاض غلات القمح. رغم أن متوسط درجات الحرارة في هذه المناطق يرتفع، إلا أن العلاقات بين درجات الحرارة والغلات ليست ذات دلالة إحصائية، مما يشير إلى أن عوامل أخرى مثل إدارة المياه والممارسات الزراعية تلعب دورًا أكبر. تتميز قسنطينة بغلات عالية ولكنها متقلبة من القمح الصلب، في حين أن سطيف وتيارت أكثر استقرارًا ولديهما مساحات زراعية أكبر. لزيادة الإنتاجية، من الضروري الاستثمار في تقنيات الري وتكييف المحاصيل مع الظروف المناخية الخاصة. يمكن أن يساعد نموذج الانحدار المتعدد المتغيرات في فهم أفضل للتفاعلات المعقدة بين الأمطار ودرجات الحرارة والممارسات الزراعية من أجل تحسين إنتاج القمح الصلب.

الكلمات المفتاحية: القمح، القمح الصلب، تغير المناخ، درجات الحرارة المتوسطة، هطول الأمطار.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| DEDICACE | I |
| REMERCIEMENTS | III |
| TABLE DES MATIÈRES | VI |
| Liste des Tableaux | IX |
| Liste des Figures | X |
| Liste des Abréviations | XI |
| INTRODUCTION GÉNÉRALE | 1 |
| CHAPITRE I : FILIERE DE BLE DUR : RENDEMENT ET QUALITE | 5 |
| 1. IMPORTANCE DE BLE DUR DANS L'AGRICULTURE DANS LE MONDE..... | 5 |
| 1.1. ROLE CRUCIAL DU BLE DUR DANS LA SECURITE ALIMENTAIRE | 5 |
| 1.2. IMPORTANCE REGIONALE ET PRODUCTION | 5 |
| 1.3. PREVISIONS DE PRODUCTION MONDIALE ET RESILIENCE DU SECTEUR | 5 |
| 1.4. COLLABORATION INTERNATIONALE ET INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES | 5 |
| 1.5. PRODUCTION ET EXPORTATION PAR REGION..... | 5 |
| 1.6. SITUATION EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE | 6 |
| 2. IMPORTANCE DE BLE DUR DANS L'AGRICULTURE EN ALGERIE..... | 6 |
| 2.1. ROLE HISTORIQUE ET ÉCONOMIQUE LE BLE DUR OCCUPE UNE PLACE CENTRALE DANS L'AGRICULTURE ALGERIENNE..... | 6 |
| 2.2. PRODUCTION ET RENDEMENTS | 6 |
| 2.3. DEPENDANCE AUX IMPORTATIONS ET SOUTIEN ÉTATIQUE | 6 |
| 2.4. ROLE DES CEREALES DANS L'ÉCONOMIE | 6 |
| 3. ZONES DE PRODUCTION DE BLE DUR..... | 7 |
| 3.1. ÉVOLUTION DE LA SURFACE DE BLE DUR DANS LES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS | 7 |
| 4. LE MARCHÉ DU BLÉ DUR DANS LE MONDE | 8 |
| 4.1. LES PRINCIPAUX IMPORTATEURS DE BLE DUR DANS LE MONDE..... | 9 |
| 4.2. LES PRINCIPAUX EXPORTATEURS DE BLE DUR DANS LE MONDE | 10 |
| 5. Rendement et Qualité du Blé Dur..... | 12 |
| 5.1. FACTEURS INFLUENTS SUR LE RENDEMENT | 12 |
| 5.2. <i>Qualité du Blé Dur</i> | 12 |
| 5.3. STRATEGIES D'AMELIORATION | 13 |
| 5.3.1. <i>Amélioration Génétique</i> | 13 |
| 5.3.2. <i>Gestion Intégrée des Cultures</i> | 13 |
| 5.3.3. <i>Adaptation aux Changements Climatiques</i> | 13 |
| CHAPITRE II : LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LA PRODUCTION DE BLE DUR | 15 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES..... | 15 |
| 1.1. DEFINITION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 15 |
| 1.2. LES CAUSES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES..... | 15 |
| 1.3. LES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 16 |
| 1.4. EFFETS SPECIFIQUES SUR LE BLE :..... | 17 |
| CHAPITRE III :..... | 18 |
| MATERIEL ET METHODES | 18 |
| 2. PRESENTATION DES REGIONS D'ETUDE..... | 18 |
| | 18 |
| 2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES WILAYAS | 19 |
| 2.1.1. Wilaya de Tiaret..... | 19 |
| 2.1.2. Wilaya de Sétif..... | 20 |
| 2.1.3. Wilaya de Constantine..... | 21 |
| Situation Géographique..... | 21 |
| 3. METHODE DE TRAVAIL | 22 |
| 4. ANALYSE STATISTIQUE ET METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES..... | 22 |
| 4.1. ANALYSE DESCRIPTIVE DES DONNEES | 22 |
| 4.2. ANALYSE DES CORRELATIONS..... | 22 |
| CHAPITRE VI :..... | 18 |
| RESULTATS ET DISCUSSION..... | 18 |
| 1. SUPERFICIE, PRODUCTION ET RENDEMENT DE BLE EN ALGERIE (1962-2022) .. | 25 |
| 1.1. ÉVOLUTION DES SURFACES CULTIVEES..... | 25 |
| 1.2. ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION | 25 |
| 1.3. RENDEMENT | 26 |
| 2. EFFET DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE RENDEMENT DE BLE EN | |
| ALGERIE..... | 27 |
| 2.1. ÉTUDE DE PRECIPITATION (1992-2022) | 27 |
| 2.1.1. Analyse de précipitations des wilayas..... | 28 |
| 2.1.2. ANALYSE DE LA RELATION ENTRE LES PRECIPITATIONS ET LE | |
| RENDEMENT DU BLE..... | 29 |
| 1.1.3. Analyse descriptive de précipitation..... | 29 |
| 1.1.4. Analyse de corrélation entre le rendement et les précipitations | 30 |
| 1. CORRELATION ENTRE LE RENDEMENT ET LES PRECIPITATIONS..... | 30 |
| 2. CORRELATION ENTRE LES PRECIPITATIONS DANS LES DIFFERENTES | |
| WILAYAS :..... | 31 |
| 2.2. TEMPERATURE MOYENNE (1992-2022) | 31 |
| 2.2.1. Analyse de températures des wilayas | 32 |
| 2.2.2. Analyse de la relation entre la température moyenne et le rendement du blé | 32 |
| 2.2.3. Analyse descriptive de température moyenne..... | 33 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.4. <i>Analyse de corrélation entre le rendement et la température</i> | 34 |
| 1. CORRELATION ENTRE LE RENDEMENT ET LES TEMPERATURES | 34 |
| 2. CORRELATIONS ENTRE LES TEMPERATURES DES DIFFERENTES REGIONS : .. | 34 |
| 3. L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PRODUCTION ET LE RENDEMENT DE BLE DUR EN ALGERIE | 35 |
| 3.1. L'ÉVOLUTION DE PRODUCTION, SUPERFICIE ET RENDEMENT DE BLE DUR DANS LES 3 WILAYAS | 35 |
| 3.1.1. <i>Évolution de la superficie cultivée</i> | 36 |
| 3.1.2. <i>Évolution de la production</i> | 36 |
| 3.1.3. <i>Évolution des rendements</i> | 36 |
| 3.2. COMPARAISON ENTRE LES WILAYAS | 37 |
| 3.3. EFFET DES CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION DE BLE DUR | 37 |
| 3.4. ÉTUDE DE CORRELATION | 38 |
| DISCUSSION GENERALE | 39 |
| CONCLUSION GENERALE | 25 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 40 |
| ANNEXES | 45 |
| <i>Annexe 1 : Corrélation rendement/précipitation</i> | 46 |
| <i>Annexe 2 : Corrélation rendement/ température moyenne</i> | 48 |

Liste des tableaux

| | | |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ➤ | TABLEAU 1. ANALYSE DESCRIPTIVE DE LA PRECIPITATION | 29 |
| ➤ | TABLEAU 2. MATRICE DE CORRELATION ENTRE LE RENDEMENT DE BLE ET LES PRECIPITATIONS..... | 30 |
| ➤ | TABLEAU 3. ANNUELLE ANALYSE DESCRIPTIVE DE TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE | 33 |
| ➤ | TABLEAU 4. MATRICE DE CORRELATION ENTRE LE RENDEMENT DE BLE ET LA TEMPERATURE MOYENNE. | 34 |
| ➤ | TABLEAU 5 . ÉVOLUTION DE LA SUPERFICIE RECOLTEE, DE LA PRODUCTION ET DU RENDEMENT DE BLE DUR DANS TROIS WILAYAS ALGERIENNES (2016- 2019). | 35 |
| ➤ | TABLEAU 6. ANALYSE DU RENDEMENT DE BLE DUR EN FONCTION DES INDICES CLIMATIQUES (TEMPERATURES ET PRECIPITATIONS) DANS LES REGIONS SETIF , CONSTANTINE ET TIARET (2016-2019)..... | 38 |

Liste des figures

- FIGURE 1 . CARTE MONDIALE DE PRODUCTION DE BLE PAR ETAT ET TERRITOIRE EN 2021 (ATLASOCIO .COM).....7
- FIGURE 2. SURFACE HISTORIQUE DU BLE DUR (MHA) DANS LES NEUF PRINCIPAUX PAYS CULTIVATEURS DE 1800 A 2020 (MARTINEZ-MORENO, AMMAR AND SOLIS, 2022).8
- FIGURE 3. LES PRINCIPAUX IMPORTATEURS DE BLE DUR DANS LE MONDE (MARCHE DU BLE DUR FRANCE, UNION EUROPEENNE, MONDE LES DONNÉES CAMPAGNE 2021-2022)..... 10
- FIGURE 4. LES PRINCIPAUX EXPORTATEURS DE BLE DUR DANS LE MONDE (2021-2022) (MARCHE DU BLE DUR FRANCE, UNION EUROPEENNE, MONDE LES DONNÉES CAMPAGNE 2021-2022). 11
- FIGURE 5. CARTE DE L'ALGERIE AVEC PRECISION DES WILAYAS D'ETUDE CONSTANTINE , SETIF ET TIARET (SITE1).....18
- FIGURE 6 . ÉVOLUTION DE LA SUPERFICIE CULTIVEE ET DU RENDEMENT DU BLE EN ALGERIE (1962-2022).....26
- FIGURE 7. ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION TOTALE ET DU RENDEMENT DU BLE EN ALGERIE (1962-2022)..... 27
- FIGURE 8. PRECIPITATION TOTALE ANNUELLE DANS LES REGIONS DE SETIF, CONSTANTINE ET TIARET (1992-2022)..... 28
- FIGURE 9. ÉVOLUTION DE LA TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE DANS LES REGIONS DE SETIF, CONSTANTINE ET TIARET (1992-2022). 31
- FIGURE 11 . CORRELATION ENTRE LES PRECIPITATIONS ANNUELLES ET LE RENDEMENT DU BLE DUR 39

Liste des abréviations

- FAO : Food and Agriculture Organization
- PME : Petites et Moyennes Exploitations
- Mha : Millions d'hectares
- CIC : Conseil International des Céréales
- IFPRI : International Food Policy Research Institute
- CO₂ : Dioxyde de carbone
- CH₄ : Gaz de méthane
- GES : Gaz à effet de serre
- C₃ : Plantes utilisant la voie photosynthétique C₃
- C₄ : Plantes utilisant la voie photosynthétique C₄
- CC : Changements climatiques
- PP : Précipitation
- T : Temperature

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les changements climatiques représentent un des défis les plus pressants du XXI^e siècle, influençant profondément les écosystèmes et les activités économiques à l'échelle mondiale. L'augmentation des températures mondiales, la variation des régimes de précipitations et la fréquence accrue des événements climatiques extrêmes sont autant de facteurs qui exercent une pression considérable sur les pratiques agricoles.

Ces changements impactent directement la sécurité alimentaire et la production des cultures essentielles comme le blé dur, exigeant une analyse approfondie pour comprendre leurs effets spécifiques sur les cultures agricoles, particulièrement dans les régions fortement dépendantes de l'agriculture comme l'Algérie (**IPCC, 2021**).

En Algérie, les effets du changement climatique sont particulièrement visibles dans les zones agricoles. Depuis le début du XX^e siècle, le pays a connu une élévation des températures allant de 1,5 à 2°C, une augmentation qui est le double de la moyenne mondiale de 0,74°C. Parallèlement, les précipitations ont fortement diminué, surtout dans les régions du nord, de l'ouest et du centre, telles que les wilayas de Tizi Ouzou, de Blida, d'Oran et de Bordj Bou Arreridj. Cette réduction des précipitations, combinée à la montée des températures, affecte significativement la culture du blé dur, rendant difficile le maintien des pratiques agricoles traditionnelles (**Chourghal et al., 2016**).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une culture fondamentale au niveau mondial, représentant environ 5 % de la production totale de blé. Principalement cultivé dans les pays du bassin méditerranéen, il est crucial pour la fabrication de produits alimentaires comme les pâtes et le couscous.

Avec une production annuelle mondiale de près de 36 millions de tonnes, les principaux producteurs incluent la Turquie, le Canada, l'Italie et l'Algérie. Cette culture est non seulement vitale pour l'alimentation humaine mais également pour les économies locales des pays producteurs (**Mohammadi et Haghparast, 2023**).

À l'échelle mondiale, les changements climatiques posent des défis importants pour la production de blé dur. Les augmentations de température et les variations des précipitations affectent les conditions de croissance optimales pour cette céréale.

Les périodes prolongées de sécheresse, l'élévation des températures et les événements climatiques extrêmes peuvent entraîner une réduction des rendements et altérer la qualité des grains. Il est crucial

que les producteurs s'adaptent à ces défis en développant des variétés plus résistantes aux conditions climatiques extrêmes et en améliorant la gestion des ressources en eau (**Tidiane Sall et al., 2019**).

En Algérie, le blé dur joue un rôle clé dans l'économie agricole et la sécurité alimentaire. En 2023, la production nationale de blé dur était d'environ 2,8 millions de tonnes. Cependant, les effets des changements climatiques pourraient réduire considérablement les rendements, augmentant ainsi la dépendance aux importations et les coûts économiques, estimés à environ 1,2 milliard de dollars par an.

Les wilayas telles que El Bayadh , Tiaret et Sétif sont particulièrement importantes pour la culture du blé dur et sont très vulnérables aux impacts du changement climatique. Il est impératif de développer des stratégies d'adaptation efficaces pour maintenir la production locale et assurer la sécurité alimentaire (**Bechir et al., 2017**).

Pour faire face à ces défis, l'Algérie doit mettre en œuvre des stratégies d'adaptation spécifiques pour la culture du blé dur. Ces stratégies peuvent inclure le choix de variétés plus résistantes aux conditions climatiques extrêmes, l'amélioration des techniques de gestion de l'eau et l'adoption de pratiques agricoles durables.

La mise en œuvre de ces stratégies est essentielle pour maintenir la production de blé dur et garantir la sécurité alimentaire face aux changements climatiques mondiaux. Les politiques agricoles et les initiatives de recherche doivent se concentrer sur l'adaptation aux changements climatiques pour assurer un avenir durable pour cette culture vitale et soutenir l'économie agricole nationale (**Chourghal et al., 2016 ; Bechir et al., 2017**).

Notre étude examine l'impact des changements climatiques sur la production de blé dur en Algérie, un élément clé de l'agriculture et de la sécurité alimentaire du pays. Les hausses de température, les modifications des précipitations et l'augmentation des sécheresses pourraient réduire les rendements et poser des défis pour les agriculteurs.

L'objectif de cette étude est d'évaluer et d'examiner les effets du changement climatique sur la production de blé dur en Algérie.

Dans un premier temps, l'étude analyse la superficie récoltée, la production et les rendements de blé sur une période de 60 ans (1962-2022).

Ensuite, l'effet des changements climatiques (précipitations et températures) sur la production de blé a été étudié sur une période de 19 ans, de 1992 à 2022, en se concentrant sur le climat des trois wilayas les plus productives : Sétif, Constantine et Tiaret.

Enfin, l'étude se focalise sur l'impact des changements climatiques (précipitations et températures) sur la production de blé dur sur une période de 4 ans, de 2016 à 2019, dans ces mêmes trois wilayas.

CHAPITRE I :
Filière de blé dur :
Rendement et qualité

CHAPITRE I : FILIERE DE BLE DUR : RENDEMENT ET QUALITE

1. IMPORTANCE DE BLE DUR DANS L'AGRICULTURE DANS LE MONDE

1.1. Rôle Crucial du Blé Dur dans la Sécurité Alimentaire

Le blé dur joue un rôle fondamental dans le secteur mondial des céréales et la sécurité alimentaire, malgré sa part relativement modeste dans la superficie cultivée et la production totale de blé. Entre 1961-1965 et 2016-2020, la production mondiale de blé a plus que triplé, avec une amélioration significative de la productivité (**Zakharov et Zakharov, 2024**).

1.2. Importance Régionale et Production

Le blé dur est particulièrement important dans les régions méditerranéennes, avec environ 13,7 millions d'hectares cultivés et une production annuelle de 34,3 millions de tonnes. En Afrique du Nord, la production de blé dur est significative, atteignant 4,3 millions de tonnes pour l'été prochain, répartie entre l'Algérie, le Maroc et la Tunisie (**Blanco, 2024**).

1.3. Prévisions de Production Mondiale et Résilience du Secteur

La FAO a ajusté ses prévisions pour la production mondiale de blé en 2024 à 791 millions de tonnes, marquant une croissance de 0,5 % par rapport à 2023, ce qui démontre la résilience continue du secteur malgré les défis (**FAO, 2024**).

1.4. Collaboration Internationale et Innovations Technologiques

La collaboration internationale est essentielle pour relever les défis liés à la culture du blé dur. Des initiatives telles que l'Initiative pour le Blé facilitent cette coopération en offrant des plateformes pour le partage de connaissances, la recherche et le développement de technologies innovantes (**Peters Haugrud et al., n.d.**).

1.5. Production et Exportation par Région

À l'échelle mondiale, la production de blé dur est estimée à 32,8 millions de tonnes, dont environ un quart est destiné à l'exportation. L'Union européenne est le premier producteur mondial, mais le Canada domine le marché international avec des prévisions de production et d'exportation élevées. Pour la campagne 2023-2024, l'Algérie, le Maroc et la Tunisie importeront ensemble 3,1 millions de tonnes (**Hénin, 2023**).

1.6. Situation en Afrique Subsaharienne

En Afrique subsaharienne, le marché du blé dur est presque inexistant, avec seulement 270 000 tonnes achetées par des pays comme la Côte d'Ivoire et le Nigéria (**Hénin, 2023**).

2. Importance de blé dur dans l'agriculture en Algérie

2.1. Rôle Historique et Économique Le blé dur occupe une place centrale dans l'agriculture algérienne

Depuis la colonisation française en 1830, il est devenu la principale culture céréalière en raison de sa résistance à la sécheresse et de son utilisation pour produire de la semoule. Cette tradition a fait de l'Algérie un centre secondaire de diversité pour cette céréale, avec une grande variété cultivée localement. Depuis l'indépendance en 1962, le gouvernement a intensifié ses efforts pour renforcer la sécurité alimentaire, faisant du blé dur un pilier essentiel de la résilience économique et alimentaire du pays (**Abdelkader, n.d.**).

2.2. Production et Rendements

Représentant plus de 50 % de la production céréalière totale de l'Algérie, le blé dur joue un rôle crucial malgré des rendements relativement modestes d'environ 15,4 quintaux par hectare.

2.3. Dépendance aux Importations et Soutien Étatique

L'Algérie est un importateur majeur de blé dur, principalement du Mexique et du Canada. Pour stabiliser la production et les revenus agricoles, l'État offre un soutien significatif. Cependant, les conditions climatiques défavorables et les contraintes hydriques posent des défis importants, nécessitant l'adoption de stratégies telles que la sélection de variétés résistantes à la sécheresse et l'optimisation des systèmes d'irrigation (**Bakhtache and Hadjene, 2023**).

2.4. Rôle des Céréales dans l'Économie

Les céréales, dont le blé dur, sont fondamentales pour l'économie algérienne. Elles couvrent environ 80 % de la superficie agricole utile, générant plus de 500 000 emplois permanents et saisonniers. L'industrie céréalière, dominée par les PME privées, a une capacité de trituration bien supérieure à la demande domestique. La consommation céréalière est élevée, fournissant plus de 60 % des apports caloriques et 75 à 80 % des protéines. Les produits céréaliers représentent plus de 40 % des importations alimentaires, avec une dépendance notable au blé, l'Algérie ayant importé en moyenne 4,2 millions de tonnes de blé par an entre 1995 et 2005 (**Abdelkader, 2009**).

3. Zones de production de blé dur

Le blé dur est une culture céréalière cruciale, cultivée principalement dans les régions semi-arides du monde, notamment en Afrique du Nord, en Europe méditerranéenne, dans les Grandes Plaines d'Amérique du Nord et au Moyen-Orient. Sa robustesse, sa taille de grain et sa couleur dorée en font le choix idéal pour fabriquer des produits alimentaires variés, tels que les pâtes, le couscous, le bulgur et le frekeh. Ces produits sont essentiels dans l'alimentation de nombreuses régions, où les pâtes sont un aliment de base globalement et le couscous une spécialité en Afrique du Nord. Le blé dur est également utilisé dans la production de pain, de céréales pour le petit-déjeuner et de divers desserts. Les principales zones de production, influencées par les conditions climatiques semi-arides, jouent un rôle clé dans la fourniture mondiale de ces produits alimentaires essentiels (Elias E.M., 1995).



Figure 1 . Carte mondiale de production de blé par état et territoire en 2021 (ATLASOCIO .COM).

3.1. Évolution de la Surface de Blé Dur dans les Principaux Pays Producteurs

La superficie cultivée en blé dur a évolué de manière significative dans les principaux pays producteurs au cours des siècles.

- En Russie, la surface de blé dur a progressivement augmenté au 19^e siècle, atteignant plus de 5 millions d'hectares (Mha) entre 1900 et 1930, ce qui représentait un tiers de la production mondiale. Cependant, après la Seconde Guerre mondiale, cette superficie a chuté à environ 0,5 Mha, niveau maintenu jusqu'à aujourd'hui.
- En Turquie, la superficie est restée au-dessus de 2 Mha jusqu'en 1970, avant de diminuer à environ 1,5 Mha dans les années 1980.

- En Italie, la superficie a augmenté progressivement pour atteindre 1,5 Mha jusqu'aux années 1990, avant de se stabiliser.
- En Inde, la superficie, initialement entre 1 et 2 Mha jusqu'aux années 1940, a ensuite diminué à environ 0,5 Mha, niveau actuel.
- L'Algérie a maintenu une superficie stable de plus de 1 Mha, malgré une baisse dans les années 1990 et une reprise dans les années 2000.
- Aux États-Unis, la superficie a fluctué entre 0,5 et 1 Mha, avec des pics notables dans les années 1920-1930 et les années 1980, atteignant environ 2 Mha.

Maroc, Tunisie et Syrie Les superficies en blé dur au Maroc, en Tunisie et en Syrie sont restées relativement stables, bien que celle de la Syrie ait diminué depuis 2005.

Ces changements reflètent les ajustements dans les pratiques agricoles, les conditions climatiques et les politiques agricoles à travers ces régions (Martínez-Moreno, Ammar and Solís, 2022).

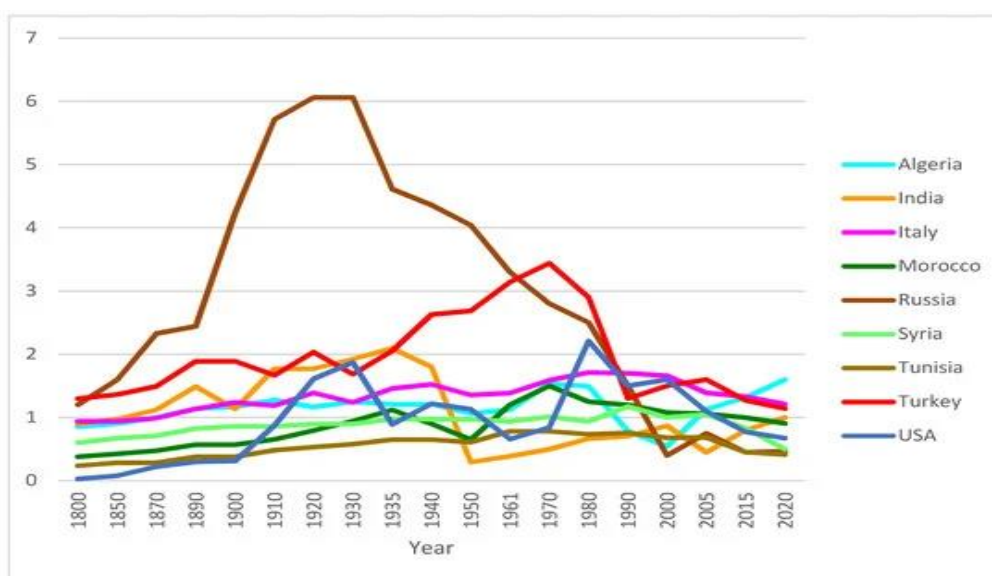


Figure 2. Surface Historique du Blé Dur (Mha) dans les Neuf Principaux Pays Cultivateurs de 1800 à 2020 (Martínez-Moreno, Ammar and Solís, 2022).

4. LE MARCHÉ DU BLÉ DUR DANS LE MONDE

La situation sur le marché mondial du blé dur reste tendue pour la campagne de commercialisation 2023/24, comme l'a souligné Marc Zribi, responsable de l'unité Grains et sucre de FranceAgriMer, lors d'un point presse du 15 novembre, Selon le Conseil international des céréales (CIC), les échanges mondiaux de blé dur devraient augmenter de manière significative par rapport à la moyenne quinquennale et à la campagne précédente (2022/23) pour répondre aux besoins des régions importatrices, en raison d'une production en baisse notable (**Zribi, 2023**).

La **production mondiale** de blé dur pour la campagne 2021/22 s'est établie à 30,6 millions de tonnes, bien en deçà de la moyenne quinquennale de 36,4 millions de tonnes. Les principaux pays producteurs ont enregistré des baisses notables :

- **Canada** : Une chute spectaculaire de 60 %, avec une production de 2,65 millions de tonnes, le niveau le plus bas en plus de 20 ans, en raison d'une sécheresse exceptionnelle.
- **États-Unis** : Une réduction de 45 %, avec une production de 1,01 million de tonnes, son plus bas niveau en 15 ans, également causée par une sécheresse sévère.
- **Algérie** : Une diminution de 23 %, avec une production de 2,3 millions de tonnes due à des conditions climatiques défavorables.

En revanche, certains pays ont connu une augmentation de leur production de blé dur :

- **Maroc** : Une production presque triplée, atteignant 2,5 millions de tonnes, soit plus de 60 % au-dessus de la moyenne quinquennale.
- **Mexique** : Une augmentation de 50 % par rapport à 2020, avec une production atteignant 1,8 million de tonnes grâce à l'expansion des surfaces cultivées.
- **Tunisie** : Une croissance de 16 %, avec une production de 1,1 million de tonnes.
- **Union Européenne (UE)** : Une légère augmentation de près de 5 %, atteignant 7,8 millions de tonnes, grâce à de bonnes récoltes en France, Slovaquie, Hongrie, Grèce et Allemagne, compensant les pertes en Italie et en Espagne (**Marché du blé dur France, Union européenne, Monde LES DONNÉES Campagne 2021-2022**).

4.1. Les principaux importateurs de blé dur dans le monde

En ce qui concerne les **importations mondiales** de blé dur :

- **Union Européenne (UE)** : Les importations ont chuté à 1,4 million de tonnes, soit une réduction de moitié par rapport à l'année précédente, en raison notamment de la diminution des exportations canadiennes vers l'Italie et la Belgique.
- **Maghreb**:
 - **Algérie** : Les importations ont diminué à environ 0,9 million de tonnes, avec des sources diversifiées telles que le Mexique, le Canada, les États-Unis, l'Italie et l'Australie.
 - **Maroc** : Les volumes d'importation ont été limités en fin de campagne, avec un total attendu inférieur à 0,6 million de tonnes.
 - **Tunisie** : Les prévisions d'importation se situent autour de 0,3 million de tonnes, principalement en provenance d'Europe.
- **Turquie** : Une réduction significative des importations de blé dur a été observée, en partie en raison de la suppression des taxes à l'importation sur le blé tendre jusqu'au 31 décembre 2022, ce qui a favorisé les importations de blé tendre au détriment du blé dur (**Marché du blé dur France, Union européenne, Monde LES DONNÉES Campagne 2021-2022**).

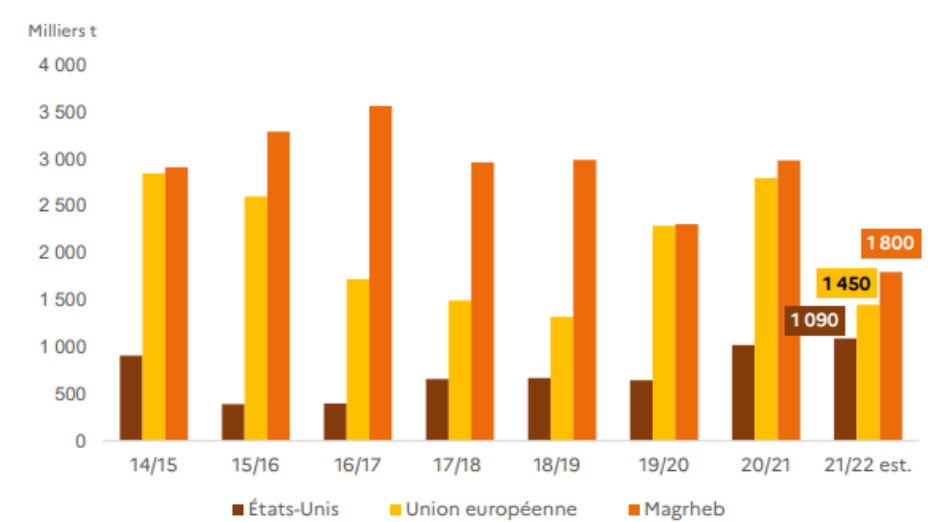


Figure 3. Les principaux importateurs de blé dur dans le monde (Marché du blé dur France, Union européenne, Monde LES DONNÉES Campagne 2021-2022).

4.2. les principaux exportateurs de blé dur dans le monde

Quant aux **exportations mondiales** de blé dur :

- **Canada** : Les exportations ont presque maintenu leur niveau au premier trimestre de la campagne 2021/22, avec 1 million de tonnes expédiées de juillet à septembre 2021, contre 1,1 million de tonnes en 2020. Toutefois, les exportations ont fortement diminué à partir d’octobre, avec des prévisions de 2,3 millions de tonnes pour l’année, contre 6 millions de tonnes la campagne précédente.
- **États-Unis** : Malgré des tensions importantes, les exportations vers le Maroc, l’Italie et l’Algérie ont continué, mais les volumes expédiés sont estimés à 0,4 million de tonnes, soit la moitié des exportations de 2020/21.
- **Union Européenne (UE)** : Les exportations ont fortement augmenté, atteignant 0,9 million de tonnes, contre des volumes faibles en 2020/21. Les principaux bénéficiaires sont l’Espagne, l’Italie et la Belgique, bien que les exportations vers la France soient en retrait. L’UE a presque monopolisé les achats de blé dur par la Tunisie.
- **Mexique** : Le pays a établi un record d’exportations en début de campagne, avec des ventes totales atteignant 1 million de tonnes, principalement vers l’Algérie et le Guatemala.
- **Russie** : Les exportations ont été particulièrement dynamiques dans les premiers mois de la campagne, avec des expéditions notables vers l’UE, notamment l’Italie et la Lettonie (**Marché du blé dur France, Union européenne, Monde LES DONNÉES Campagne 2021-2022**).



Figure 4. Les principaux exportateurs de blé dur dans le monde (2021-2022) (Marché du blé dur France, Union européenne, Monde LES DONNÉES Campagne 2021-2022).

Selon la FAO, les variations sur le marché mondial du blé dur sont principalement causées par des conditions climatiques extrêmes, telles que sécheresses ou inondations, qui affectent la production dans les principaux pays producteurs. Les ajustements dans les prévisions de production, les

politiques commerciales comme les restrictions d'importation et d'exportation, ainsi que les niveaux de stocks mondiaux influencent également les prix et les volumes échangés. En outre, les fluctuations dans la demande globale et les échanges internationaux, notamment les volumes d'exportation de pays comme la Russie et l'Ukraine, jouent un rôle crucial dans la dynamique du marché du blé dur (FAO, 2024).

5. Rendement et Qualité du Blé Dur

Le rendement et la qualité du blé dur résultent d'interactions complexes entre facteurs génétiques, environnementaux et agronomiques. Les recherches actuelles, combinant amélioration génétique et pratiques agricoles durables, visent à répondre aux défis de production tout en garantissant une qualité optimale du produit final (IFPRI, 2023).

Le développement de variétés adaptées aux conditions climatiques changeantes, tout en maintenant des critères de qualité rigoureux, est crucial pour l'avenir de la culture du blé dur.

5.1. Facteurs Influent sur le Rendement

Le rendement du blé dur est influencé par plusieurs facteurs agronomiques et environnementaux :

5.1.1. Conditions Climatiques : La température, les précipitations et l'ensoleillement jouent un rôle déterminant dans la croissance des plantes et le remplissage des grains. Les périodes de stress hydrique, en particulier, peuvent significativement réduire le rendement en affectant le développement des épis et le poids des grains (Kayssar, 2022).

5.1.2. Pratiques Culturelles : La rotation des cultures, la densité de semis, la fertilisation et la gestion des adventices sont essentielles pour optimiser le rendement. Ces pratiques contribuent à la santé des cultures et à la gestion des ressources (Kayssar, 2022).

5.1.3 Génétique et Sélection Variétale : Les variétés de blé dur présentent des différences notables en termes de potentiel de rendement et d'adaptation aux conditions locales. Les programmes de sélection visent à développer des variétés résistantes aux maladies, à la sécheresse et à d'autres stress abiotiques, tout en maintenant un rendement élevé (Kayssar, 2022).

5.2. Qualité du Blé Dur

La qualité du blé dur est évaluée sur la base de plusieurs critères clés :

5.2.1 Teneur en Protéines : Une teneur élevée en protéines est souhaitée pour produire une semoule de haute qualité, essentielle pour la fabrication de pâtes avec une bonne tenue à la cuisson .

5.2.2 Qualité du Gluten : La force et l'élasticité du gluten sont des indicateurs cruciaux de la qualité. Un gluten fort et élastique permet de produire des pâtes fermes et non collantes

5.2.3 Couleur de la Semoule : La couleur jaune ambrée de la semoule, due à la présence de caroténoïdes, est un critère important pour l'industrie. Une couleur intense est généralement associée à une meilleure qualité du produit final (**Kayssar, 2022**).

5.3. Stratégies d'Amélioration

Pour améliorer à la fois le rendement et la qualité du blé dur, plusieurs approches sont envisagées

5.3.1. Amélioration Génétique

Le développement de variétés hybrides, résistantes aux maladies et adaptées aux stress climatiques est une priorité (**Kayssar, 2022**). L'utilisation des biotechnologies, telles que les marqueurs moléculaires, permet de cibler précisément les gènes d'intérêt (**Kayssar, 2022**).

5.3.2. Gestion Intégrée des Cultures

L'adoption de pratiques agricoles durables, incluant l'irrigation raisonnée, la fertilisation équilibrée et la gestion des sols, contribue à l'amélioration des performances agronomiques et de la qualité des récoltes (**Powlson et al., 2014; Ghosh et al., 2021**).

5.3.3. Adaptation aux Changements Climatiques

Avec l'évolution des conditions climatiques, il est essentiel de sélectionner des variétés de blé dur plus résistantes à la chaleur et à la sécheresse, tout en maintenant un bon potentiel de rendement (**Lobell et al., 2011; Tuberosa, 2012**).

CHAPITRE II :

Les changements climatiques et la production de Blé dur

CHAPITRE II : LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET LA PRODUCTION DE BLE DUR

1. LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

1.1. Définition des changements climatiques

Les changements climatiques désignent une modification à long terme des schémas climatiques locaux, régionaux ou globaux. Cela inclut des changements dans les températures moyennes, les précipitations et la fréquence des événements météorologiques extrêmes. Bien que des variations climatiques naturelles aient toujours existé, les changements actuels sont principalement attribués aux activités humaines, en particulier la combustion de combustibles fossiles qui libère des gaz à effet de serre, piégeant la chaleur dans l'atmosphère et augmentant la température moyenne de la Terre, un phénomène connu sous le nom de réchauffement climatique (*Climate Change: Evidence and Causes: Update 2020, 2020*).

1.2. Les causes des changements climatiques

Les changements climatiques se réfèrent aux variations à long terme de la température et des modèles météorologiques. Ces variations peuvent être naturelles, comme celles liées au cycle solaire. Cependant, depuis les années 1800, les activités humaines sont devenues la principale cause de ces changements (**Radia et Omar ,2023**).

1.2.1. Activités Humaines :

- **Combustion de combustibles fossiles** : Utilisation du charbon, du pétrole et du gaz pour produire de l'énergie, chauffer les bâtiments et alimenter les transports, ce qui émet de grandes quantités de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄).
- **Rejets industriels** : Les industries produisent également des émissions de GES à travers leurs processus de production (**Radia et Omar ,2023**).
- **Décharges d'ordures** : Les décharges sont une source significative d'émissions de méthane, un gaz à effet de serre puissant (**Radia et Omar ,2023**).
- **Déforestation** : La coupe des forêts contribue directement à l'augmentation des GES, car les arbres qui capturent le dioxyde de carbone (CO₂) sont éliminés (**Zenabou ,2013**).

1.2.2. Effet de Serre:

Émissions de gaz à effet de serre (GES) : Les activités humaines, principalement depuis la révolution industrielle, ont considérablement augmenté les niveaux de GES dans l'atmosphère. Ces activités incluent la combustion de combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon) pour le transport, l'industrie et la production d'énergie, ainsi que le déboisement des forêts (**Zenabou ,2013**).

1.2.3. Secteurs Contributeurs:

Les principales sources d'émissions proviennent des secteurs de l'énergie, de l'industrie, des transports, de la construction, ainsi que de l'agriculture et des autres utilisations des terres (**Radia et Omar ,2023**).

1.3. Les effets des changements climatiques

1.3.1. Modification des régimes climatiques :

Réchauffement global, modification des régimes de précipitations, augmentation des événements météorologiques (sécheresses, inondations, tempêtes) (**Bernard ,2019**).

1.3.2. Fonte des glaces et élévation du niveau de la mer :

Fonte accélérée des glaciers et des calottes glaciaires, élévation du niveau des océans menaçant les zones côtières et pouvant entraîner des déplacements de populations (**Bernard ,2019**).

1.3.3. Perturbation des écosystèmes aquatiques :

Changements dans la disponibilité des ressources en eau douce, augmentation des sécheresses, diminution des niveaux d'eau dans les réservoirs naturels, prolifération des algues nuisibles (**Bernard ,2019**).

1.3.4. Impacts sur agriculture :

Allongement de la Saison de Croissance : L'augmentation des températures pourrait prolonger la saison de croissance de certaines cultures, favorisant l'accumulation des unités thermiques. Les effets varient selon les régions et les types de cultures.

Rendement des Cultures : Les cultures de type C3, comme le blé, pourraient voir leurs rendements diminuer en raison d'un stress hydrique accru et de périodes de maturation raccourcies. En revanche, les cultures de type C4, comme le maïs, pourraient bénéficier des températures plus élevées avec une

augmentation des rendements. Les impacts sur des cultures comme le tournesol et le colza varient selon les régions, et les légumineuses pourraient également subir des baisses de rendement

Effets sur les Précipitations et l'Évapotranspiration : Les changements climatiques pourraient entraîner une augmentation des précipitations globales et une hausse de l'évapotranspiration. Cela pourrait rendre certaines saisons de croissance plus humides, mais les effets sur les rendements dépendent des conditions locales.

Accélération du Temps de Maturation : La réduction du temps de maturation des cultures pourrait avoir un impact négatif sur les rendements en raison de la maturation prématurée et du stress thermique accru.

Impact Variable selon les Régions et les Cultures : Les effets des changements climatiques sont variables selon les régions. Tandis que des cultures comme le maïs pourraient bénéficier des températures plus élevées, des cultures telles que le blé, l'avoine et les légumineuses pourraient voir leurs rendements diminuer dans certaines régions (Singh *et al.*, 1996).

1.4. Effets Spécifiques sur le Blé :

Augmentation des Températures : Les températures plus élevées pourraient prolonger la saison de croissance du blé, mais les vagues de chaleur et les températures extrêmes pourraient réduire la période de remplissage des grains, affectant ainsi la qualité et le rendement.

Modification des Précipitations : Les sécheresses plus fréquentes et intenses pourraient limiter la disponibilité en eau pour le blé, tandis que les pluies excessives pourraient entraîner des inondations ou un excès d'humidité dans le sol, compromettant la croissance du blé.

Augmentation de la Concentration de CO₂ : Une concentration plus élevée de CO₂ pourrait stimuler la photosynthèse et augmenter les rendements du blé dans des conditions optimales, mais cet effet pourrait être atténué par les impacts négatifs du réchauffement.

Ravageurs et Maladies : Les conditions plus chaudes et plus humides pourraient favoriser la prolifération de ravageurs et de maladies, augmentant ainsi les risques pour les cultures de blé (Seguin and Soussana, 2008).

CHAPITRE III :
MATÉRIEL ET MÉTHODES

MATERIEL ET METHODES

1. Objectif de travail

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact du changement climatique sur la production de blé dur en Algérie. Elle commence par analyser la superficie récoltée, la production et les rendements de blé sur une période de 60 ans (1962-2022). Ensuite, l'effet des précipitations et des températures sur la production de blé est étudié sur 19 ans (1992-2022) dans les wilayas de Sétif, Constantine et Tiaret. Enfin, l'étude se concentre spécifiquement sur l'impact climatique sur la production de blé dur entre 2016 et 2019 dans ces mêmes régions.

2. Présentation des régions d'étude

Dans le cadre de cette étude, l'Algérie constitue le terrain d'analyse principal en raison de sa position géographique et de l'importance de l'agriculture dans son économie. L'Algérie est située en Afrique du Nord, s'étendant sur une vaste superficie de 2,38 millions de km², avec des climats variés allant du méditerranéen au nord jusqu'à l'aride et semi-aride dans les régions intérieures et sahariennes. La production de blé dur est concentrée dans les régions du nord, notamment dans les plaines fertiles des Hauts Plateaux et de la Mitidja, où les précipitations sont plus abondantes.

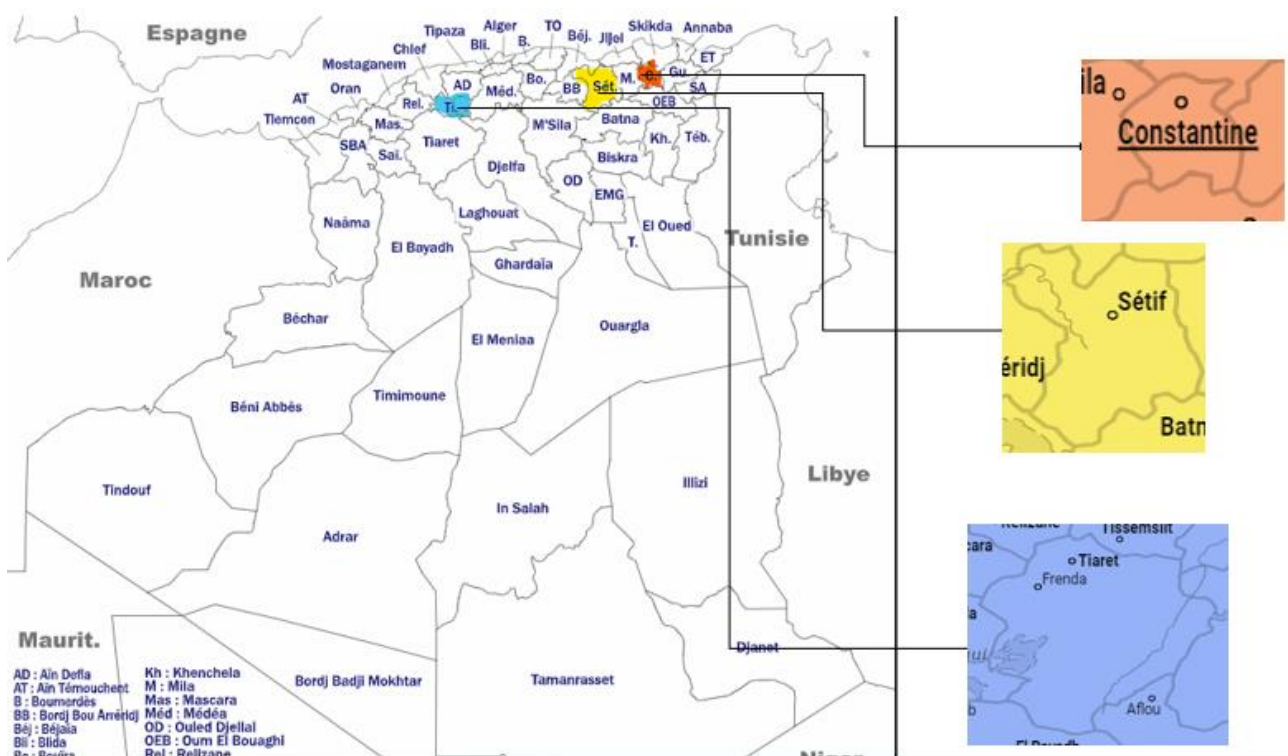


Figure 5. Carte de l'Algérie avec précision des wilayas d'étude Constantine , Sétif et Tiaret (**site1**).

2.1. Situation Géographique des Wilayas

2.1.1. Wilaya de Tiaret

Localisation : La wilaya de Tiaret est située dans le nord-ouest de l'Algérie, entre les latitudes 35°21' N et 35°58' N, et les longitudes 1°19' E et 2°56' E. Cette région est au cœur du Tell algérien, caractérisée par des collines et des plateaux (**Said, 2015**).

Étage Géomorphologique : Tiaret se situe dans l'étage montagnard du Tell algérien. Le relief comprend principalement des collines et des plateaux, avec des altitudes variant de 600 à 1500 mètres. Cette configuration géomorphologique influe sur les conditions climatiques et agricoles (**Benali et Boudiaf, 2016**).

Climat: Le climat de Tiaret est semi-aride à méditerranéen, avec des étés chauds et secs, et des hivers frais. Les températures estivales varient entre 25°C et 35°C, et les températures hivernales entre 5°C et 15°C. Les précipitations annuelles sont d'environ 500 à 600 mm (**Lakhdari et Khelifi, 2019**). La saison sèche prolongée en été et les pluies concentrées en hiver influencent fortement les pratiques agricoles dans la région (**Hassine et Bouzar, 2020**).

Production de blé dur

Secteur Agricole : La production de blé dur est un secteur agricole clé dans la wilaya de Tiaret, où les conditions climatiques et les caractéristiques du sol sont adaptées à cette culture (**Chouikh et Haddad, 2021**).

Contraintes de production de blé dur dans la wilaya de Tiaret

- **Variabilité Climatique :** Les sécheresses périodiques réduire les rendements du blé dur, nécessitant des techniques d'adaptation (**Tahar et Djamel, 2020**).
- **Qualité du Sol :** La qualité du sol peut varier, avec des sols pauvres en nutriments, ce qui peut limiter la production (**Chouikh et Haddad, 2021**).
- **Gestion de l'Eau:** La disponibilité en eau pour l'irrigation est souvent limitée pendant les périodes sèches, posant des défis pour les agriculteurs (**Soudani et Belhadj, 2023**).

2.1.2. Wilaya de Sétif

Situation Géographique

Localisation : La wilaya de Sétif est située dans le nord-est de l'Algérie, entre les latitudes 35°30' N et 36°10' N, et les longitudes 5°40' E et 6°20' E. Elle se trouve dans le Tell algérien, caractérisée par une topographie variée comprenant des montagnes, des plateaux et des vallées (**Boudiaf et Djerbi, 2021**).

Étage Géomorphologique : Sétif est située principalement dans l'étage montagnard du Tell algérien, avec des altitudes allant de 500 à 1500 mètres. Le relief montagneux et les plateaux contribuent à une grande diversité de microclimats (**Mokhtar et Bouzid, 2023**).

Climat

Type de climat : Sétif possède un climat méditerranéen avec des influences semi-arides. Les étés sont chauds et secs, avec des températures variant entre 25°C et 35°C, tandis que les hivers sont frais avec des températures allant de 5°C à 15°C. Les précipitations annuelles varient entre 400 et 600 mm, principalement concentrées entre novembre et avril (**Lakhdar et Rachid, 2022**).

Production de Blé Dur

Secteur Agricole : La production de blé dur est un secteur agricole clé dans la wilaya de Sétif. Les conditions climatiques et les caractéristiques du sol sont généralement adaptées à cette culture, mais les rendements peuvent varier en fonction des techniques agricoles et de la gestion des ressources en eau (**Ahmed et Fadila, 2020**).

Contraintes de production de blé dur dans la wilaya de Sétif

- **Variabilité Climatique :** Les variations climatiques saisonnières, notamment les périodes de sécheresse, peuvent affecter la productivité et nécessitent des techniques d'adaptation appropriées (**Ahmed et Boudiaf, 2019**).
- **Qualité du Sol :** Les sols peuvent souffrir de faiblesse en matière organique ou de problèmes de salinité, nécessitant des pratiques de gestion du sol pour maintenir la fertilité et la productivité (**Boudiaf et Seddik, 2020**).
- **Ressources en Eau :** La disponibilité en eau pour l'irrigation est limitée, surtout en période sèche, ce qui pose des défis pour l'agriculture durable (**Marouani et Belkacem, 2021**).

- **Infrastructures Agricoles** : Les infrastructures pour l'irrigation et le stockage peuvent être insuffisantes, affectant la qualité des récoltes et les coûts de production (**Khelifi et Hadj, 2022**).
- **Ressources Financières** : Le manque de soutien financier suffisant pour les agriculteurs et les coûts élevés de production, tels que les engrais et les pesticides, rendent difficile la réalisation de profits (**Marouani, 2019**).
- **Main-d'œuvre** : Le manque de main-d'œuvre qualifiée dans les techniques agricoles modernes conduit à une baisse de la qualité de la production et augmente le coût du travail agricole (**Bouchma, 2017**).

2.1.3. Wilaya de Constantine

Situation Géographique

Localisation : La wilaya de Constantine est située dans le nord-est de l'Algérie, entre les latitudes 36°20' N et 36°50' N, et les longitudes 6°00' E et 6°50' E. Cette région se caractérise par un relief complexe avec des montagnes, des collines, et des vallées, créant des conditions géographiques variées (**Djamel, 2023**).

Étage Géomorphologique : La wilaya de Constantine appartient à l'étage montagnard du Tell algérien, avec des altitudes variant de 200 à 1000 mètres. La diversité altitudinale dans cette région crée des microclimats variés, influençant les pratiques agricoles et l'utilisation des sols pour la culture du blé dur (**Lakhdar et Boudiaf, 2021**).

Climat

Type de climat : La wilaya de Constantine a un climat méditerranéen, avec des températures estivales allant de 25°C à 35°C et des températures hivernales oscillant entre 10°C et 15°C. Les précipitations annuelles se situent entre 600 et 800 mm, concentrées principalement de novembre à mars (**Mehdi et Karim, 2022**).

Production de Blé Dur

Secteur Agricole : La production de blé dur est importante dans la wilaya de Constantine, avec des conditions climatiques favorables à cette culture. Cependant, des défis subsistent en raison des variations climatiques et des contraintes liées à l'irrigation (**Khelifi et Bouzerzour, 2019**).

Contraintes :

- **Variabilité Climatique** : Les sécheresses intermittentes et les fluctuations de température impacter les rendements du blé dur (**Khelifi et Bouzerzour, 2019**).
- **Défis d'Irrigation** : L'accès à l'eau pour l'irrigation est limité, surtout pendant les périodes sèches. Les systèmes d'irrigation ne sont pas toujours efficaces pour répondre aux besoins des cultures (**Khelifi et Bouzerzour, 2019**).
- **Qualité du Sol** : Les sols varient en termes de fertilité et de texture, avec des problèmes comme l'érosion et la salinité affectant la croissance des cultures (**Khelifi et Bouzerzour, 2019**).
- **Maladies des Plantes** : Les cultures de blé dur peuvent être affectées par divers pathogènes et ravageurs, nécessitant une gestion phytosanitaire appropriée (**Khelifi et Bouzerzour, 2019**).

3. Méthode de travail

Pour évaluer l'impact des changements climatiques sur la production de blé dur en Algérie, on utilise d'abord une analyse des données climatiques historiques de l'Algérie de 1962 au 2022 et cela pour étudier les tendances de température, de précipitations et de sécheresse au cours des dernières décennies. Les données climatiques utilisées pour cette étude (température, précipitations) ont été recueillies à partir du site Tutiempo (<https://en.tutiempo.net/climate>) en se concentrant sur les principales régions productrices de blé dur, telles que Sétif, Constantine et Tiaret.

Les données de production et des rendements de blé de l'Algérie ont été collectées à partir de la FAO (<https://www.fao.org/faostat/en/#home>) sur une période 60 ans (1962-2022). De plus, les données de production et des rendements de blé dur des wilayas de : Sétif, Constantine, Tiaret ont été collectées à partir du site de Ministère de l'agriculture et du développement rural: MADR (<https://fr.madr.gov.dz>) sur une période de 4 ans (2017-2020). .

4. Analyse statistique et méthodes de traitement des données

4.1. Analyse descriptive des données

On a fait une statistique descriptive simple pour décrire l'évolution des superficies, de la production et les rendements de blé en Algérie sur une période 60 ans (1962-2022) et dans les 3 wilayas (Sétif, Constantine, Tiaret) sur une période de 4 ans (2016-2019).

4.2. Analyse des corrélations

L'analyse de corrélation entre le rendement du blé dur et les conditions climatiques (Précipitation, température moyenne, température maximale, température minimale, vitesse de vent et nombre de jours de pluies) a été réalisée à l'aide du test PEARSON. Le calcul du coefficient de corrélation permet d'indiquer l'existence éventuelle, à un seuil de probabilité donné, d'une relation entre ces deux variables mesurées. Le logiciel utilisé est SAS (SAS 9.1.3).

Cette approche permettra de mettre en relation les fluctuations climatiques avec la productivité du blé.

CHAPITRE VI :
RÉSULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Superficie, production et rendement de blé en Algérie (1962-2022)

1.1. Évolution des surfaces cultivées

Les surfaces cultivées en blé subissent une variation et des fluctuations résumées en trois phases (Figure 9) :

Phase d'instabilité initiale (1960-1970) : Entre 1962 et 1970, la superficie cultivée oscille entre 1,48 et 2,29 millions d'hectares, sans tendance claire à la hausse ou à la baisse. Cette instabilité peut être liée à la période post-indépendance et aux ajustements des politiques agricoles.

Phase d'expansion dans les années 1970-1990 : Après 1970, on observe une augmentation modérée de la superficie cultivée, culminant à plus de 2,5 millions d'hectares en 1998. Cela montre les efforts pour augmenter la production à travers l'extension des terres agricoles.

Phase de contraction dans certaines années : Des années comme 1988 et 1994 montrent une réduction marquée des superficies cultivées, avec seulement 1 million d'hectares. Cela peut s'expliquer par les conditions de sécurité de l'Algérie en cette période.

1.2. Évolution de la production

Baisse dans les années 1960, la production chute après 1963, atteignant un minimum en 1966 (630 051 tonnes), malgré des surfaces relativement stables. Cela est probablement dû à une mauvaise gestion, des conditions climatiques défavorables, ou une faible utilisation des intrants agricoles (Figure 10).

Fluctuations marquées dans les années 1970-1980 : La production varie considérablement entre 1970 et 1985. Par exemple, en 1973, la production tombe à environ 1,15 million de tonnes alors qu'elle atteint presque 1,85 million de tonnes en 1975. Ces variations reflètent probablement dans les techniques agricoles (Figure 10).

Augmentation marquée après 1996 : À partir de 1996, la production commence à augmenter de façon spectaculaire, avec des pics notables en 2003 (près de 3 millions de tonnes), 2012 (3,4 millions de tonnes) et 2018 (3,98 millions de tonnes). Cela peut être attribué à une meilleure gestion

des ressources, l'introduction de variétés plus performantes, et une utilisation accrue des technologies agricoles (Figure 10).

1.3. Rendement

Faibles rendements dans les années 1960-1980 : Entre 1962 et 1980, les rendements sont relativement faibles, variant entre 4,25 et 8,86 qx/ha. Cela reflète une agriculture traditionnelle, avec une utilisation limitée d'intrants modernes (engrais, irrigation, etc.).

Amélioration dans les années 1990 et au-delà : Le rendement commence à s'améliorer significativement à partir de 1991, avec une progression jusqu'à atteindre un maximum de 20,43 qx/ha en 2018. Cela montre une modernisation de l'agriculture, avec des techniques plus efficaces, de meilleures semences et une gestion optimisée des cultures.

Variations significatives : Certaines années montrent des rendements particulièrement bas (par exemple, 1977 avec 4,34 qx/ha), tandis que d'autres années affichent des rendements élevés (par exemple, 2011-2013 avec plus de 17 qx/ha). Cela peut indiquer l'impact fort des conditions climatiques, telles que la sécheresse, sur la productivité.

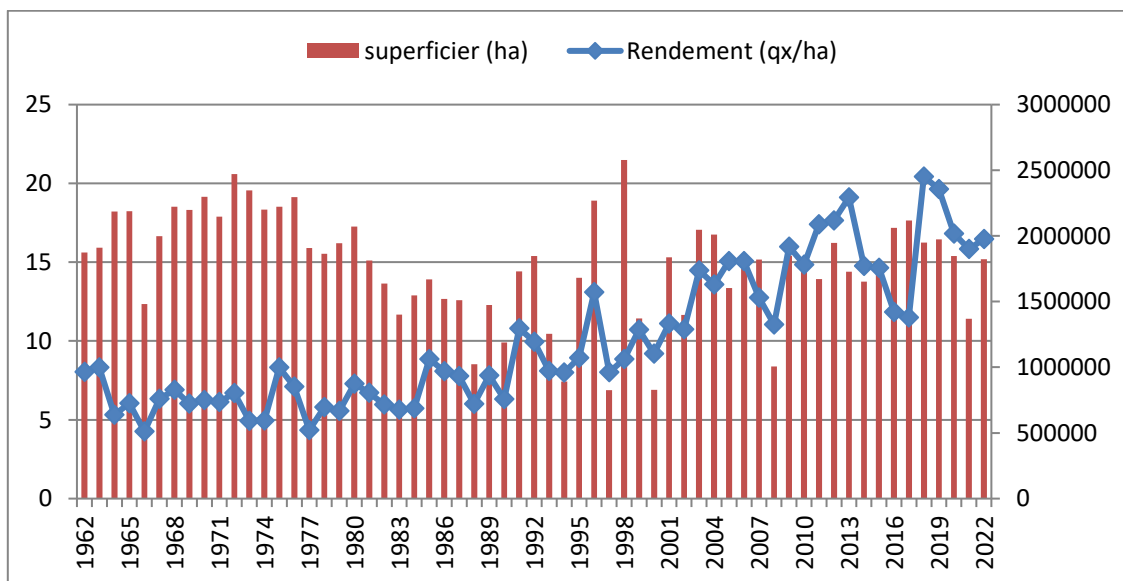


Figure 6 . Évolution de la Superficie Cultivée et du Rendement du Blé en Algérie (1962-2022).

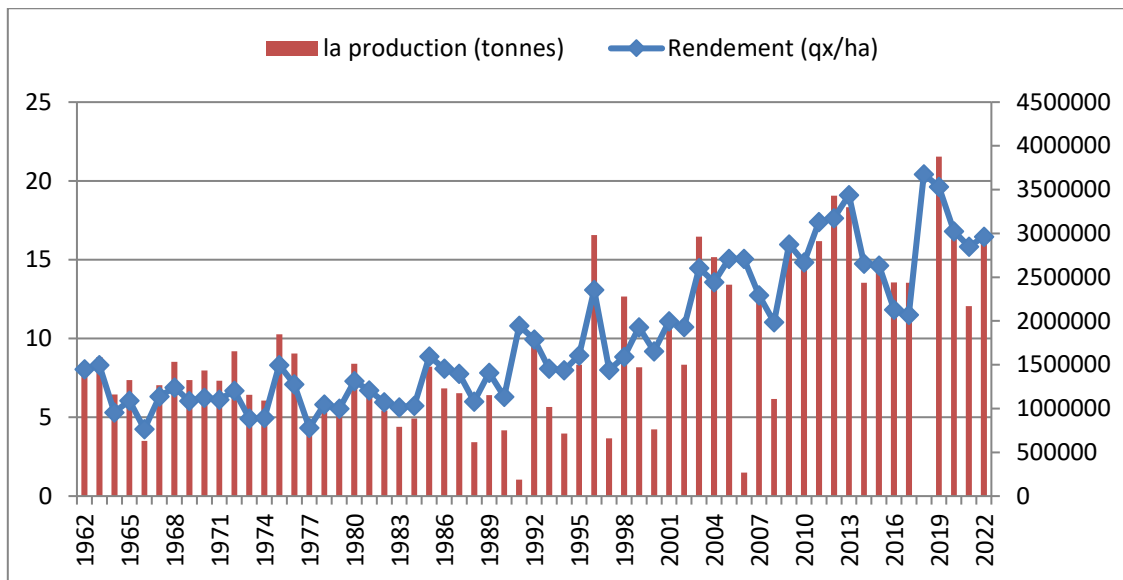


Figure 7. Évolution de la Production Totale et du Rendement du Blé en Algérie (1962-2022).

2. Effet des changements climatiques sur le rendement de blé en Algérie

Le climat de l'Algérie est varié en raison de la diversité de son relief et de sa position géographique. Le pays est divisé en trois grandes zones climatiques par les chaînes de montagnes de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien : le littoral et l'Atlas Tellien, les Hautes Plaines, et le Sahara. Ces zones présentent chacune des climats distincts, allant du climat méditerranéen au nord, au semi-aride sur les hauts plateaux, et au désertique au-delà de l'Atlas Saharien. Seuls 13 % des terres ont un climat méditerranéen, le reste étant principalement semi-aride ou désertique (PNUD, 2023).

2.1. Étude de précipitation (1992-2022)

Le graphique présente les précipitations totales annuelles de pluie pour trois wilayas d'Algérie : Sétif, Constantine et Tiaret entre 1992 et 2022, ainsi que la tendance générale de la pluviométrie. Il est crucial d'analyser la relation entre ces précipitations et le rendement du blé, une culture qui dépend fortement de l'eau.

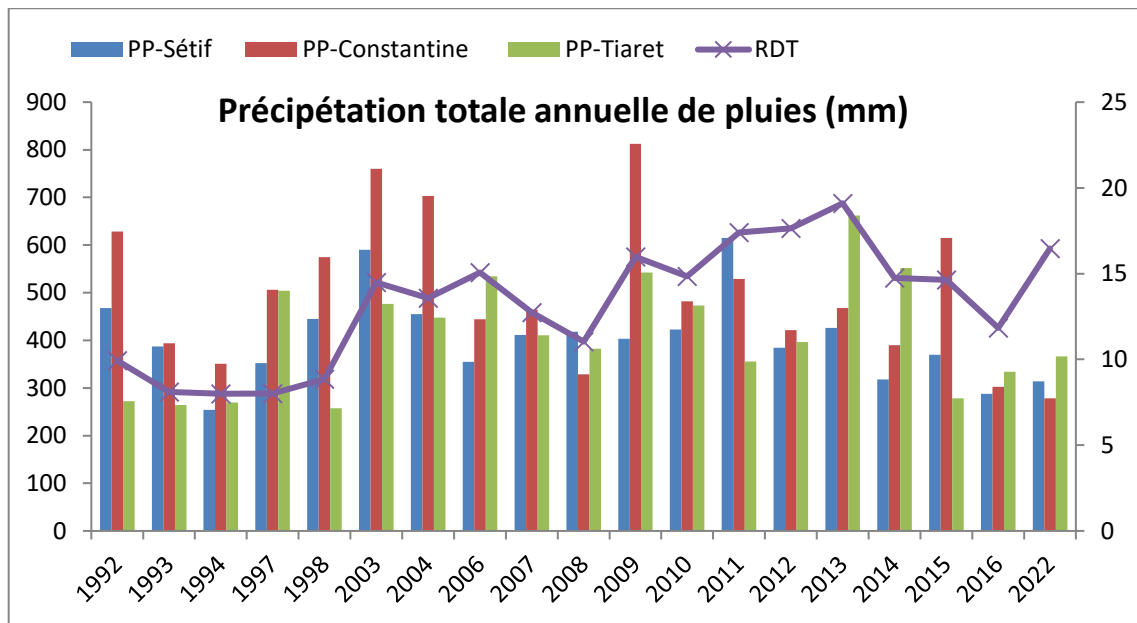


Figure 8. Précipitation Totale Annuelle dans les Régions de Sétif, Constantine et Tiaret (1992-2022).

2.1.1. Analyse de précipitations des wilayas

Wilaya de Sétif : Les précipitations à Sétif montrent une tendance variable, avec des pics notables autour de 1998, 2003, et 2011 (figure 11).

Après 2011, les précipitations restent modérées, mais tendent à diminuer progressivement, atteignant un creux vers 2014.

Une légère hausse est visible en 2022, bien qu'elle soit en dessous des niveaux observés dans les années 1990 et 2000

Wilaya de Constantine: Constantine suit également une tendance oscillante. On observe des précipitations importantes vers 1999, 2004 et un pic exceptionnel en 2009.

Après 2009, les précipitations montrent une diminution progressive jusqu'en 2016, avant une légère remontée en 2022.

Wilaya de Tiaret: Tiaret a des précipitations plus modérées, avec des pics autour des années 2006 et 2009.

Après 2009, la tendance suit une diminution, mais avec une légère remontée vers 2013 et 2014, suivie d'une stabilité autour des 300 à 400 mm.

2.1.2. Analyse de la relation entre les précipitations et le rendement du blé

Précipitations abondantes : Les pics de précipitations, comme ceux observés en 2003, 2009 et 2013 sont souvent associés à de bonnes récoltes. Plus il y a d'eau disponible pour la croissance des plantes, meilleur est le rendement du blé. Par exemple, en 2009, un pic de précipitations est visible dans les trois wilayas, ce qui pourrait indiquer un bon rendement.

Périodes de sécheresse : La baisse des précipitations, surtout après 2010, coïncide généralement avec une baisse des rendements de blé. Les précipitations insuffisantes affectent directement la croissance du blé, en particulier dans les zones semi-arides comme celles représentées sur ce graphique. Des creux comme ceux observés en 2015 et en 2020 peuvent correspondre à des saisons agricoles plus difficiles, avec une baisse notable de la production de blé.

Tendance à long terme : Bien que les précipitations soient irrégulières, la tendance générale montre une diminution progressive après 2010. Cette baisse des précipitations pourrait être associée à une tendance à la baisse du rendement du blé, car une réduction des ressources en eau affecte directement la capacité des agriculteurs à produire des rendements constants.

1.1.3. Analyse descriptive de précipitation

Le tableau ci-dessous présente des statistiques descriptives pour les précipitations annuelles moyennes (PP). Ces données permettent de mieux comprendre la variabilité des précipitations dans ces régions.

Tableau 1. Analyse descriptive de la précipitation

| | Moyenne | Ecart type | Minimum | Maximum |
|----------------|---------|------------|---------|---------|
| PP-Sétif | 404.02 | 90.28 | 254.06 | 614.73 |
| PP-Constantine | 497.42 | 152.30 | 278.41 | 812.29 |
| PP-Tiaret | 409.44 | 117.29 | 257.32 | 662.19 |

Moyenne des précipitations : Constantine a la moyenne de précipitations la plus élevée avec 497,42 mm, suivie de Tiaret avec 409,44 mm et Sétif avec 404,02 mm. Cela indique que, sur la période étudiée, Constantine reçoit plus de pluie en moyenne que les deux autres wilayas. La moyenne de Sétif et Tiaret est proche, suggérant des conditions climatiques similaires en termes de précipitations, bien que Tiaret soit légèrement plus arrosée.

Écart type (variabilité des précipitations) : Constantine montre une plus grande variabilité des précipitations avec un écart type de 152,30 mm, ce qui indique que les précipitations peuvent fortement fluctuer d'une année à l'autre. Cela pourrait indiquer une certaine instabilité climatique, avec des années de fortes pluies et d'autres beaucoup plus sèches.

Tiaret (117,29 mm) et Sétif (90,28 mm) ont des écarts types plus faibles, ce qui signifie que les précipitations y sont plus régulières, avec moins de fluctuations extrêmes d'une année à l'autre comparé à Constantine.

Minimum et maximum : Le minimum des précipitations est similaire pour Sétif (254,06 mm) et Tiaret (257,32 mm), tandis que Constantine a un minimum plus élevé à 278,41 mm, indiquant que même dans les années les plus sèches, Constantine reçoit un peu plus de précipitations que Sétif et Tiaret. Le maximum est significativement plus élevé pour Constantine (812,29 mm) que pour Sétif (614,73 mm) et Tiaret (662,19 mm), confirmant que les années pluvieuses peuvent être particulièrement généreuses en pluie à Constantine.

1.1.4. Analyse de corrélation entre le rendement et les précipitations

Le tableau de corrélation présente la relation entre le rendement du blé et les précipitations (PP) dans trois wilayas algériennes : Sétif, Constantine et Tiaret.

Tableau 2. Matrice de corrélation entre le rendement de blé et les précipitations

| | Rendement | PP-Sétif | PP-Constantine | PP-Tiaret |
|----------------|-----------|----------|----------------|-----------|
| Rendement | 1 | | | |
| PP-Sétif | 0.26 ns | 1 | | |
| PP-Constantine | 0.12 ns | 0.60 ** | 1 | |
| PP-Tiaret | 0.56 * | 0.063 ns | 0.17 ns | 1 |

* (significatif), ** (hautement significatif), et "ns" (non significatif).

1. Corrélation entre le rendement et les précipitations

PP-Tiaret et rendement : La corrélation entre les précipitations à Tiaret et le rendement est de 0.56 et est significative (*). Cela suggère qu'il existe une relation positive modérée entre les précipitations à Tiaret et le rendement du blé. Plus les précipitations à Tiaret sont élevées, plus le rendement a tendance à être meilleur, ce qui pourrait être dû à l'importance des précipitations dans cette région pour soutenir la culture du blé.

PP-Sétif et rendement : La corrélation entre les précipitations à Sétif et le rendement est de 0.26, mais elle est non significative (ns). Cela montre une faible relation positive, mais il n'y a pas assez de preuves pour conclure que les précipitations à Sétif influencent directement le rendement du blé.

PP-Constantine et rendement : La corrélation entre les précipitations à Constantine et le rendement est de 0.12, également non significative (ns). Cela signifie qu'il n'y a pratiquement pas de relation significative entre les précipitations à Constantine et le rendement de blé en Algérie

2. Corrélation entre les précipitations dans les différentes wilayas :

PP-Sétif et PP-Constantine : La corrélation entre les précipitations de Sétif et celles de Constantine est de 0.60 et est hautement significative (**). Cela montre une forte relation positive entre les précipitations dans ces deux wilayas, suggérant que les régimes de pluie dans ces régions sont souvent synchronisés.

PP-Sétif et PP-Tiaret : La corrélation est très faible (0.063, ns) et non significative, ce qui indique peu de relation entre les précipitations à Sétif et celles de Tiaret.

PP-Constantine et PP-Tiaret : La corrélation entre Constantine et Tiaret est également faible (0.17, ns) et non significative, ce qui signifie que les précipitations dans ces deux wilayas ne sont pas étroitement liées.

2.2. Température moyenne (1992-2022)

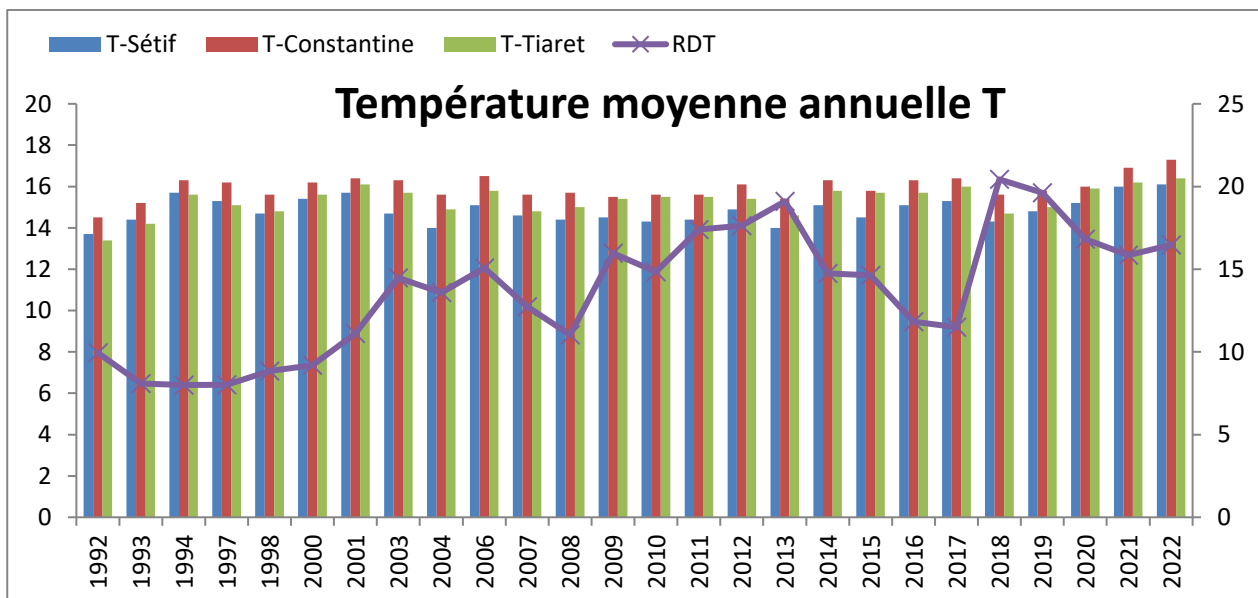


Figure 9. Évolution de la Température Moyenne Annuelle dans les régions de Sétif, Constantine et Tiaret (1992-2022).

Le graphique présente l'évolution des températures moyennes, minimale et maximales annuelles pour les wilayas de Sétif, Constantine et Tiaret en Algérie, de 1992 à 2022.

2.2.1. Analyse de températures des wilayas

Les températures des trois wilayas présentent des tendances globalement similaires, avec des températures moyennes oscillant entre 14 et 18 °C.

Wilaya de Sétif : Les températures restent légèrement plus faibles à Sétif en comparaison avec Constantine et Tiaret.

Wilaya de Constantine et Tiaret : Ces deux régions montrent des températures plus élevées et des rendements plus élevés en général, suggérant que des conditions plus chaudes pourraient être un facteur positif pour ces régions.

Dans les trois wilayas, on observe une tendance générale à l'augmentation des températures moyennes, surtout à partir des années 2006. Ce réchauffement climatique peut avoir des impacts importants sur l'agriculture, en particulier sur le rendement du blé, qui est une culture sensible aux variations de température.

Les années 2016, 2021 et 2022 affichent des pics de température pour l'ensemble des wilayas. Cela pourrait être lié à des phénomènes climatiques régionaux ou mondiaux, provoquant des périodes de chaleur plus intense.

Constantine semble légèrement plus chaude que Sétif et Tiaret, avec des écarts de température légèrement supérieurs. Cette différence peut s'expliquer par la localisation géographique et l'altitude de chacune des régions.

Sétif et Tiaret montrent des températures plus stables, avec des variations moins prononcées au fil des années. Cela peut indiquer que ces régions ont un climat plus modéré, bien que les fluctuations annuelles persistent.

2.2.2. Analyse de la relation entre la température moyenne et le rendement du blé

Le graphe montre une relation possible entre les températures et le rendement agricole. Des températures trop élevées, comme celles observées en 2016, 2019, 2021 et 2022, pourraient stresser les cultures, affectant négativement le rendement du blé. En revanche, des températures plus modérées, combinées à une bonne pluviométrie, pourraient être bénéfiques à la production.

Les pics de rendement en 2013, 2018, semblent correspondre à des années où les températures étaient modérées, suggérant que des conditions climatiques équilibrées favorisent la productivité du blé.

2.2.3. Analyse descriptive de température moyenne

Tableau 3. Annuelle Analyse descriptive de température moyenne annuelle

| | Moyenne | Ecart type | Minimum | Maximum |
|---------------|---------|------------|---------|---------|
| T-Sétif | 14.85 | 0.62 | 13.70 | 16.10 |
| T-Constantine | 15.95 | 0.56 | 14.50 | 17.30 |
| T-Tiaret | 15.33 | 0.67 | 13.40 | 16.40 |

Moyenne des températures

La région de Constantine affiche la moyenne de température la plus élevée (**15,95°C**) parmi les trois régions. La moyenne de Tiaret (**15,33°C**) est légèrement inférieure à celle de Constantine, mais elle reste au-dessus de celle de Sétif, ce qui pourrait expliquer une performance agricole intermédiaire. Par contre, Sétif a la moyenne de température la plus basse (**14,85°C**).

Écart type des températures

Tiaret (0,67°C) et Sétif (0,62°C) montrent des variations de température plus importantes par rapport à Constantine (0,56°C). Cela indique que le climat y est légèrement moins stable. Une plus grande variation peut rendre les conditions de culture plus imprévisibles.

Constantine (0,56°C) montre la variation la plus faible, ce qui pourrait signifier des conditions climatiques plus régulières et favorables.

Minimums et maximums des températures

T-Sétif (Min: 13,7°C, Max: 16,1°C) : Cette région a la température minimale la plus basse (13,7°C). En revanche, la température maximale (16,1°C) montre que Sétif peut parfois bénéficier de conditions optimales.

T-Constantine (Min: 14,5°C, Max: 17,3°C) : Constantine a à la fois la température maximale la plus élevée (17,3°C) et un minimum relativement élevé (14,5°C).

T-Tiaret (Min: 13,4°C, Max: 16,4°C) : Tiaret a la température minimale la plus basse de toutes (13,4°C), mais sa température maximale reste proche de celle de Constantine.

2.2.4. Analyse de corrélation entre le rendement et la température

Cette matrice de corrélation présente des relations entre le rendement agricole (en quintaux par hectare) et les températures des trois régions (Sétif, Constantine, et Tiaret).

Tableau 4. Matrice de corrélation entre le rendement de blé et la température moyenne.

| | Rendement | T-Sétif | T-Constantine | T-Tiaret |
|---------------|-----------|----------|---------------|----------|
| Rendement | 1 | | | |
| T-Sétif | -0.15 ns | 1 | | |
| T-Constantine | 0.073 ns | 0.90 *** | 1 | |
| T-Tiaret | 0.18 ns | 0.78 *** | 0.88 *** | 1 |

* (significatif), ** (hautement significatif), et "ns" (non significatif).

1. Corrélation entre le rendement et les températures

Rendement et T-Sétif (-0,15, non significatif) : La corrélation négative suggère qu'à Sétif, une hausse de la température est associée à une légère baisse du rendement, mais cette relation n'est pas statistiquement significative (ns). Cela signifie que, dans cette région, la température ne joue pas un rôle clé dans la variation du rendement.

Rendement et T-Constantine (0,073, non significatif) : La corrélation est légèrement positive, mais non significative. Ceci montre qu'il n'y a pas de lien clair entre les températures de Constantine et le rendement. D'autres facteurs (pluviométrie, pratiques agricoles) pourraient influencer davantage les résultats.

Rendement et T-Tiaret (0,18, non significatif) : Il y a une corrélation positive plus forte entre la température à Tiaret et le rendement, mais elle reste non significative. Cela suggère que des températures plus élevées à Tiaret pourraient légèrement améliorer les rendements, mais ce n'est pas un facteur déterminant.

2. Corrélations entre les températures des différentes régions :

T-Sétif et T-Constantine (0,90, très significatif) : La corrélation très forte et positive entre les températures de Sétif et Constantine montre que ces deux régions partagent un climat assez similaire.

Une variation de température dans une région est presque toujours suivie d'une variation similaire dans l'autre.

T-Sétif et T-Tiaret (0,78, très significatif) : Une corrélation également forte entre les températures de Sétif et Tiaret. Bien que Tiaret ait parfois des températures plus élevées, les tendances climatiques sont en général très synchronisées avec celles de Sétif.

T-Constantine et T-Tiaret (0,88, très significatif) : Une forte corrélation entre les températures de Constantine et Tiaret. Cela confirme que ces deux régions partagent aussi un climat très similaire.

3. L'effet du changement climatique sur la production et le rendement de blé dur en Algérie

3.1. L'évolution de production, superficie et rendement de blé dur dans les 3 wilayas

Le tableau ci-dessous présente des données sur la superficie, la production et le rendement de blé dur dans les trois wilayas : Constantine, Sétif et Tiaret pour les années 2016 à 2019.

Tableau 5 . Évolution de la Superficie Récoltée, de la Production et du Rendement de Blé Dur dans Trois Wilayas Algériennes (2016-2019).

| Année | Wilaya | Superficie récoltée (ha) | Production (qx) | Rendement (qx.ha) |
|-------|-------------|--------------------------|-----------------|-------------------|
| 2016 | Constantine | 46290 | 1207325 | 26,1 |
| 2016 | Sétif | 118660 | 2013972 | 17 |
| 2016 | Tiaret | 65575 | 1150000 | 17,5 |
| 2017 | Constantine | 50550 | 763978 | 15,1 |
| 2017 | Sétif | 70292 | 660500 | 9,4 |
| 2017 | Tiaret | 121667 | 1904000 | 15,6 |
| 2018 | Constantine | 53897 | 1907808 | 35,4 |
| 2018 | Sétif | 127286 | 2458253 | 19,3 |
| 2018 | Tiaret | 133838 | 2488000 | 18,6 |
| 2019 | Constantine | 60235 | 1780624 | 29,6 |
| 2019 | Sétif | 127055 | 2298899 | 18,1 |
| 2019 | Tiaret | 128223 | 1987900 | 15,5 |

3.1.1. Évolution de la superficie cultivée

La superficie cultivée a progressivement augmenté en Constantine entre 2016 (46 290 ha) et 2019 (60 235 ha), avec une légère baisse en 2017 (50 550 ha). A Sétif, La superficie a varié, avec un pic en 2018 (127 286 ha). Les baisses en 2017 (70 292 ha) pourraient être dues à des conditions climatiques défavorables. Par contre à Tiaret, la superficie a presque doublé entre 2016 (65 575 ha) et 2018 (133 838 ha), avant de légèrement diminuer en 2019. Cette expansion indique un effort significatif pour intensifier la production de blé dur dans cette région.

3.1.2. Évolution de la production

En 2016, à Constantine la production était élevée (1 207 325 qx), avec un rendement fort (26,1 qx/ha). Cependant, en 2017, la production a chuté de manière significative (763 978 qx) en raison d'une réduction du rendement (15,1 qx/ha).

En 2018, une reprise impressionnante a eu lieu, avec la production atteignant 1 907 808 qx, suivie d'une légère baisse en 2019 (1 780 624 qx). Ces variations montrent que la production de blé dur à Constantine est sensible aux conditions climatiques et aux pratiques agricoles, mais la région a un potentiel élevé.

Par contre à Sétif en 2016, elle a produit 2 013 972 qx, avec un rendement de 17 qx/ha. Cependant, en 2017, la production a diminué de plus de la moitié (660 500 qx) à cause d'un rendement très faible (9,4 qx/ha).

En 2018 et 2019, la production a rebondi avec 2 458 253 qx et 2 298 899 qx, grâce à une augmentation des rendements (19,3 qx/ha en 2018, 18,1 qx/ha en 2019).

Pour wilaya de Tiaret, la production a augmenté de 1 150 000 qx en 2016 à 2 488 000 qx en 2018. Cela reflète à la fois l'augmentation de la superficie et des rendements relativement stables (17,5 à 18,6 qx/ha). En 2019, la production a légèrement baissé, mais est restée relativement forte à 1 987 900 qx.

3.1.3. Évolution des rendements

A Constantine, les rendements ont été impressionnants en 2016 (26,1 qx/ha) et encore plus en 2018 (35,4 qx/ha), ce qui montre que cette wilaya a un potentiel productif élevé. Cependant, les rendements ont chuté drastiquement en 2017 (15,1 qx/ha), ce qui pourrait être dû à des conditions climatiques défavorables.

Malgré une légère baisse en 2019 (29,6 qx/ha), les rendements sont restés bien au-dessus de la moyenne nationale, ce qui suggère des pratiques agricoles modernes ou des conditions favorables.

A Sétif, en 2016, le rendement à Sétif était de 17 qx/ha, mais il a chuté à 9,4 qx/ha en 2017. Cela reflète probablement des conditions climatiques difficiles . Cependant, les rendements se sont améliorés en 2018 (19,3 qx/ha) et en 2019 (18,1 qx/ha), mais restent globalement plus faibles que ceux de Constantine.

Par ailleurs à Tiaret, les rendements relativement stables, variant entre 15,5 qx/ha et 18,6 qx/ha durant la période observée. Bien que les rendements ne soient pas aussi élevés que ceux de Constantine, ils restent constants, ce qui peut indiquer des pratiques agricoles plus homogènes ou une résilience aux conditions locales.

3.2. Comparaison entre les wilayas

Constantine a montré la plus grande variabilité en termes de rendement, avec des années particulièrement bonnes comme 2018 (35,4 qx/ha) et des années plus faibles comme 2017 (15,1 qx/ha). Cela suggère une sensibilité aux aléas climatiques, mais un potentiel très élevé lorsque les conditions sont favorables.

Sétif a souffert en 2017 avec un rendement très faible (9,4 qx/ha), mais a su récupérer en 2018 et 2019. Les rendements de Sétif sont en général inférieurs à ceux de Constantine, mais la région a une production stable grâce à sa grande superficie cultivée.

Tiaret a des rendements relativement stables, ce qui en fait une région plus prévisible en termes de productivité. Cependant, ses rendements sont également inférieurs à ceux de Constantine.

3.3. Effet des conditions climatiques sur la production de blé dur

Les températures modérées à fraîches sont souvent associées à des rendements plus élevés, comme en 2018. Les températures élevées peuvent réduire le rendement, comme observé en 2017.

Les précipitations sont un facteur crucial. Des précipitations élevées en 2016 et 2018 ont généralement été associées à des rendements élevés. Cependant, des précipitations excessives peuvent aussi causer des problèmes (comme en 2019 à Constantine), suggérant une gestion de l'eau et des sols essentielle.

Les variations de rendement sont fortement liées au climat, par exemple, en 2017, les faibles précipitations à Sétif engendrent une chute des rendements (9,4qx.ha).

Tableau 6. Analyse du Rendement de Blé Dur en Fonction des Indices Climatiques (Températures et Précipitations) dans les régions Sétif , Constantine et Tiaret (2016-2019).

| Année | Wilaya | Rendement (qx.ha) | T | TM | Tm | PP |
|-------|-------------|----------------------|------|------|-----|--------|
| 2016 | Constantine | 26,1 | 16,3 | 23,8 | 9,7 | 302,5 |
| 2016 | Sétif | 17 | 15,1 | 22,2 | 8,5 | 288,02 |
| 2016 | Tiaret | 17,5 | 15,7 | 23,2 | 8,7 | 334,03 |
| 2017 | Constantine | 15,1 | 16,4 | 23,3 | 9,8 | 335 |
| 2017 | Sétif | 9,4 | 15,3 | 21,5 | 8,9 | 195,12 |
| 2017 | Tiaret | 15,6 | 16 | 23 | 8,5 | 299,18 |
| 2018 | Constantine | 35,4 | 15,6 | 22,5 | 9,3 | 450 |
| 2018 | Sétif | 19,3 | 14,3 | 19,8 | 8,6 | 440,7 |
| 2018 | Tiaret | 18,6 | 14,7 | 20,9 | 8,1 | 615,19 |
| 2019 | Constantine | 29,6 | 15,8 | 22,7 | 9,4 | 771 |
| 2019 | Sétif | 18,1 | 14,8 | 20,6 | 8,9 | 451 |
| 2019 | Tiaret | 15,5 | 15 | 21,9 | 7,9 | 333,76 |

3.4. Etude de corrélation

Le coefficient de détermination R^2 mesure la proportion de la variance du rendement du blé dur qui peut être expliquée par les précipitations. Un R^2 de 0,31 indique que 31 % de la variation du rendement peut être expliquée par les précipitations, tandis que les 69 % restants sont dus à d'autres facteurs ou à la variabilité non expliquée.

Un R^2 de 0,31 suggère que la relation entre les précipitations et le rendement du blé dur est modérée mais pas très forte. Cela signifie que les précipitations jouent un rôle dans la détermination du rendement, mais qu'il existe d'autres facteurs importants qui influencent également le rendement du blé dur.

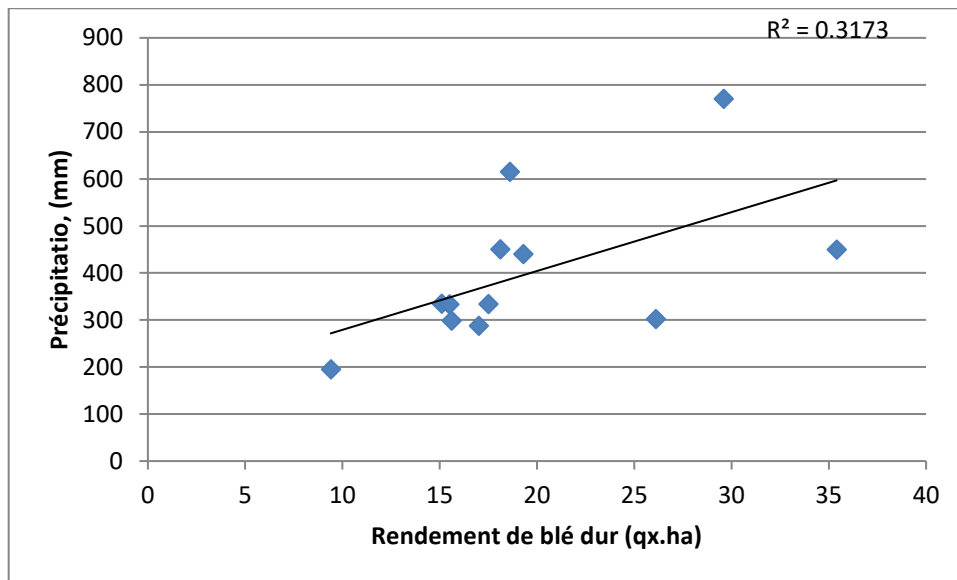


Figure 10 . Corrélation entre les précipitations annuelles et le rendement du blé dur

DISCUSSION GÉNÉRALE

Cette étude vise à évaluer l'impact du changement climatique sur la production de blé dur en Algérie. Elle commence par une analyse de la production et des rendements de blé sur 60 ans. Ensuite, elle examine l'effet des précipitations et des températures sur la production de blé sur 19 ans (1992-2022) dans les wilayas de Sétif, Constantine et Tiaret. Enfin, l'accent est mis sur l'impact de ces variables climatiques sur la production de blé dur sur une période plus récente de 4 ans (2016-2019) dans ces mêmes régions.

La production de blé en Algérie a historiquement montré des irrégularités significatives. Cependant, la dernière décennie (2008-2018) a révélé une tendance à la hausse. Au cours des 10 dernières années, on observe une augmentation de 2,87 millions de tonnes entre une année désastreuse (1,11 million de tonnes en 2008) et une année d'abondance (3,98 millions de tonnes en 2018) (**FAOSTAT, 2024**). Les rendements sont particulièrement élevés dans cette période, culminant à plus de 20 qx/ha. Malgré une légère baisse après 2019, les rendements restent élevés par rapport aux décennies précédentes.

Nos résultats révèlent que la production et les rendements de blé varient d'une année à l'autre. De plus l'analyse de corrélation montre que la corrélation entre le rendement du blé et les précipitations varie selon les wilayas en raison de plusieurs facteurs. À Tiaret, la relation positive modérée (0,56*) s'explique par la dépendance de la culture du blé à l'eau, particulièrement durant les phases critiques de croissance, où des précipitations adéquates favorisent la germination et le remplissage des grains. À Sétif, bien que la corrélation soit positive (0,26), elle reste faible et non significative, probablement

en raison de pratiques agricoles qui atténuent l'impact des précipitations, comme une bonne gestion de l'irrigation. En revanche, à Constantine, l'absence de corrélation significative (0,12) suggère que les fluctuations des précipitations n'influencent pas le rendement, peut-être en raison de l'utilisation de variétés de blé mieux adaptées aux conditions variées. Ainsi, la force de la corrélation dépend de l'interaction complexe entre les ressources en eau, les techniques agricoles et les conditions environnementales spécifiques à chaque wilaya. Nos résultats sont en accord avec ceux de **(Bouchra et Souad, 2018)**.

Nos résultats sont en accord avec plusieurs auteurs **(Benbelkacem, 1996; Mekhlouf et al., 2006; Xynias et al., 2020)** qui sont attribués ces variations aux conditions climatiques, notamment la pluviométrie et les températures, qui semblent jouer un rôle déterminant dans les fluctuations observées. Les années de sécheresse sont généralement marquées par des baisses importantes de la production et des rendements.

Par contre, l'augmentation des rendements à partir des années 1990 pourrait être liée à la modernisation de l'agriculture, y compris l'irrigation, les engrais, l'amélioration des semences et la mécanisation et les politiques agricoles en Algérie, notamment les subventions aux intrants agricoles et les initiatives pour améliorer la sécurité alimentaire, ont probablement contribué à l'augmentation de la productivité dans les années récentes **(Bessaoud et al., 2019)**.

D'après cette étude, les températures n'ont pas d'influence significative sur le rendement de blé.

Les températures des wilayas de Sétif, Constantine et Tiaret présentent des tendances similaires, oscillant entre 14 et 18 °C, mais varient d'une région à l'autre. Sétif a les températures les plus basses, tandis que Constantine et Tiaret enregistrent des températures plus élevées, influençant leurs rendements respectifs. À partir de 2006, une tendance à l'augmentation des températures, reflet du changement climatique, est observée, ce qui peut affecter la culture du blé. Les pics de température en 2016, 2019, 2021 et 2022 coïncident avec des baisses de rendement, tandis que des températures modérées en 2013 et 2018 sont associées à des rendements plus élevés. Ces variations montrent que des températures extrêmes nuisent à la production, tandis que des conditions plus clémentes favorisent les récoltes. Ainsi, la gestion des températures est cruciale pour maintenir la productivité agricole dans ces régions. **(Porter et Gawith, 1999)** ont mentionné que la température a un impact crucial sur le rendement du blé, avec des températures élevées entraînant une sénescence prématurée et des baisses de rendement, ce qui corrobore nos résultats.

L'analyse des corrélations entre la température et le rendement du blé dans les différentes wilayas révèle des relations non significatives. À Sétif, bien que la corrélation soit légèrement négative à -

0,15, elle indique une tendance à la baisse des rendements avec l'augmentation des températures, soulignant une sensibilité potentielle du blé aux conditions climatiques plus chaudes. À Constantine, la corrélation, bien que faible à 0,073, suggère que des températures modérées pourraient favoriser une légère amélioration des rendements, même si d'autres facteurs restent prépondérants. En revanche, à Tiaret, la corrélation positive de 0,18 met en lumière une relation significative où des températures plus élevées semblent être liées à une augmentation du rendement, ce qui pourrait indiquer que cette région bénéficie d'un climat plus chaud pour la culture du blé. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte les variations de température dans les études sur la productivité agricole, surtout dans le contexte du changement climatique. Nos résultats sont en accord avec des études qui montrent que des températures en dehors des plages habituelles peuvent entraîner des réductions significatives des rendements, en raison de leur impact direct sur la production de matière sèche et sur les processus de croissance et de développement des plantes (**Porter et Gawith, 1999**).

Pour la production de blé dur, on a aussi trouvé les mêmes résultats, une corrélation entre la pluviométrie dans les trois wilayas et le rendement de blé dur ($R^2=0,31$).

Les meilleurs rendements observés à Constantine pourraient être liés à des pratiques agricoles plus avancées (irrigation, usage d'intrants modernes) par rapport à Sétif et Tiaret, qui semblent plus exposées à des aléas climatiques et des pratiques moins optimisées.

Constantine semble avoir un potentiel agricole supérieur en termes de productivité, comme en témoignent les pics de rendement en 2016 et 2018. Sétif et Tiaret ont une production stable mais avec des rendements généralement plus bas.

La variabilité du rendement du blé dur peut être influencée par d'autres facteurs tels que : La gestion de l'eau, la fertilisation, et les pratiques culturales jouent un rôle crucial, qualité des semences, les maladies et les ravageurs.

La relation entre la température, les précipitations et le rendement du blé dur est complexe. Des températures modérées favorisent des rendements élevés, tandis que des températures élevées, comme celles observées en 2017, peuvent entraîner une chute significative des rendements. Les précipitations jouent également un rôle crucial, avec des niveaux élevés souvent associés à de bons rendements, alors que de faibles précipitations, comme en 2017 à Sétif, entraînent des baisses de production. Le coefficient de détermination R^2 de 0,31 indique que 31 % de la variation du rendement peut être expliquée par les précipitations, suggérant une relation modérée et soulignant l'importance d'autres facteurs influençant également le rendement du blé dur. Nos résultats sont en accord avec

ceux de **(Benchelali et al., 2022)**, qui mentionnent que des facteurs tels que l'eau et les conditions climatiques influencent considérablement la production de blé dur dans les régions semi-Aride.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les résultats montrent une amélioration globale de la productivité agricole en Algérie sur les six dernières décennies, en particulier après les années 1990. Cependant, les fluctuations annuelles importantes révèlent la vulnérabilité du secteur à des facteurs externes comme les conditions climatiques et les politiques agricoles. Une poursuite des efforts pour moderniser l'agriculture et améliorer la résilience face aux aléas climatiques sera cruciale pour maintenir et accroître les rendements.

La relation entre les précipitations et le rendement du blé est forte, en particulier dans des régions comme Sétif, Constantine et Tiaret où les conditions climatiques semi-arides font de l'eau un facteur critique pour la production agricole. Les périodes de précipitations plus élevées sont probablement associées à des rendements agricoles plus élevés, tandis que la tendance à la baisse des précipitations observée après 2010 pourrait signaler un risque accru pour la sécurité alimentaire, en raison de la diminution des rendements du blé dans ces régions.

Les précipitations à Tiaret sont les plus corrélées au rendement du blé, ce qui souligne l'importance de l'eau dans cette région pour l'agriculture. En revanche, les précipitations à Sétif et Constantine semblent avoir un effet moindre sur le rendement, du moins d'après ces données.

Les températures moyennes dans les trois wilayas étudiées augmentent progressivement, avec des pics notables certaines années. Cette hausse peut avoir des répercussions importantes sur l'agriculture, en particulier sur le rendement du blé, qui dépend d'un climat tempéré.

Les corrélations entre les températures et le rendement sont toutes non significatives, ce qui signifie que la température seule n'explique pas les variations de rendement. D'autres facteurs, comme la gestion de l'eau, la fertilisation, ou la qualité du sol, pourraient jouer un rôle plus important dans la détermination des rendements dans ces trois régions.

Pour le blé dur, Constantine est la wilaya avec les précipitations les plus abondantes mais aussi les plus variables, avec des années pouvant être très pluvieuses ou plus sèches. Sétif et Tiaret, quant à elles, ont des régimes de précipitations plus réguliers mais globalement inférieurs à ceux de Constantine. Ces variations peuvent avoir un impact direct sur l'agriculture, notamment la culture du blé dur, qui dépend fortement de la régularité et de l'abondance des précipitations.

Des différences significatives entre les wilayas en termes de rendement, de production et de superficie récoltée. Constantine affiche des rendements impressionnants en 2018 et 2019, mais avec une forte variabilité. Sétif et Tiaret sont plus stables mais avec des rendements inférieurs, bien que ces deux régions soient importantes en termes de superficie récoltée. Pour améliorer la productivité globale, il serait pertinent d'investir dans des techniques d'irrigation, d'améliorer la gestion des intrants et d'adapter les cultures aux conditions climatiques spécifiques à chaque région.

Un R^2 de 0,31 montre qu'il y a une relation significative entre les précipitations et le rendement du blé dur, mais cette relation n'explique pas entièrement les variations de rendement. Il est important de considérer d'autres variables et facteurs pour une compréhension plus complète des déterminants du rendement du blé dur. Une approche intégrée qui prend en compte les précipitations, les températures, les pratiques agricoles, et d'autres variables est nécessaire pour optimiser la production de blé dur.

Comme perspectives, il est utile d'examiner les relations entre le rendement et d'autres variables climatiques ainsi que les pratiques agricoles. Un modèle de régression multivariée pourrait être plus approprié pour comprendre les interactions complexes entre les précipitations, les températures, et d'autres facteurs influents.

Références Bibliographiques :

- Abdelkader, B. (no date). *The history of wheat breeding in Algeria* (110).
- Ahmed, B., & Boudiaf, M. (2019). Variabilité climatique et production de blé dur : défis et adaptations dans la wilaya de Sétif. *Revue des Sciences du Sol*, 16(2), 89-102.
- Ahmed, B., & Fadila, C. (2020). Production de blé dur en milieu méditerranéen : analyse des pratiques et des rendements dans la wilaya de Sétif. *Sciences Agricoles et Cultures*, 21(3), 143-157.
- Bakhtache, R., & Hadjene, O. (2023). Les retombées du changement climatique sur les secteurs agricole et hydraulique en Algérie (2010/2022). *مجلة دفاتر اقتصادية*, 14(1), 80–95.
- Bechir, B.N., et al. (2017). Effects of Climate Change on Durum Wheat Productivity in Tunisian Semi-arid Zone.
- Bertoldo, R.B., & Bousfield, A.B.S. (no date). Représentations sociales du changement climatique : effets de contexte et d’implication.
- Benchelali, S. et al. (2022). ‘Nitrogen Use Efficiency in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Grown under Semiarid Conditions in Algeria’, *Agronomy*, 12(6), p. 1284. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061284>.
- Blanco, A. (2024). Structure and Trends of Worldwide Research on Durum Wheat by Bibliographic Mapping. *International Journal of Plant Biology*, 15(1), 132–160. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijpb15010012>.
- Bouchma, M. (2017). Formation et main-d'œuvre en agriculture : analyse du secteur agricole en Algérie. *Journal de l'Économie Rurale*, 14(1), 56-70.
- Bouramdane, A.-A. (2023). Quelle est la Relation entre l’Agriculture et le Changement Climatique ? Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7730008>.
- Bouthiba, A., Debaeke, P., & Hamoudi, S.A. (2008). Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) to irrigation strategies in a semi-arid region of

Algeria. *Irrigation Science*, 26(3), 239–251. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00271-007-0089-5>.

- Benali, M., & Boudiaf, M. (2016). Les étages géomorphologiques et leur impact environnemental en Algérie. *Revue Algérienne de Géographie*, 8(2), 22-35.
- Boudiaf, M., & Djerbi, T. (2021). Caractéristiques géographiques et aménagements du territoire dans le Tell algérien : focus sur la wilaya de Sétif. *Revue de Géographie et Aménagement*, 12(1), 53-67.
- Boudiaf, M., & Seddik, M. (2020). Qualité du sol et rendement agricole : étude des sols dans la wilaya de Sétif. *Journal de la Gestion des Ressources Naturelles*, 13(1), 56-69.
- Carter, C. (ed.) (2002). Current and Future Trends in the Global Wheat Market. Available at: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.298007>.
- Chouikh, N., & Haddad, R. (2021). La culture du blé dur dans le Tell algérien : Étude de la wilaya de Tiaret. *Revue des Cultures Céréalières*, 17(4), 112-124.
- Climate Change: Evidence and Causes: Update 2020 (2020). Washington, D.C.: National Academies Press. Available at: <https://doi.org/10.17226/25733>.
- Denieulle, J. (2023). Géopolitique du blé : une céréale dans la mondialisation, Géoconfluences. École normale supérieure de Lyon. Available at: https://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/geographie-critique-des-ressources/articles/geopolitique-du_ble (Accessed: 17 August 2024).
- Elias E.M. (1995). Durum wheat products. In Di Fonzo, N., Kaan, F., & Nachit, M. (eds), *Durum wheat quality in the Mediterranean region*. Zaragoza: CIHEAM (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens), pp. 23–31. Available at: <http://om.ciheam.org/om/pdf/a22/95605350.pdf>.
- Ghosh, P. K., et al. (2021). "Integrated crop management for sustainable agriculture: A review." *Agronomy*, 11(5), 867.
- Hamenna, B., et al. (no date). Président Directeur Examineurs.

- Hassine, A., & Bouzar, M. (2020). Influence des conditions climatiques sur l'agriculture en Algérie. *Revue des Sciences Agricoles*, 19(2), 34-45.
- Hénin, F. (2023). Estimation de production mondiale des céréales en 2023-2024 - Willagri - Comprendre les enjeux de l'agriculture, 24 April. Available at: <https://www.willagri.com/2023/04/24/estimation-de-production-mondiale-des-cereales-en-2023-2024/> (Accessed: 12 August 2024).
- Kayssar, M. (2022). "Molecular markers in wheat breeding: Innovations and applications." *Field Crops Research*, 278, 108518.
- Khelifi, S., & Bouzerzour, M. (2019). Défis et perspectives de la production de blé dur dans la wilaya de Constantine. *Revue de Phytopathologie et Agronomie*, 20(2), 56-70.
- Khelifi, S., & Hadj, B. (2022). Infrastructure agricole et impacts sur la production céréalière en Algérie : le cas de Sétif. *Revue des Infrastructures et Développement Rural*, 18(2), 75-89.
- Kourat, T., Smadhi, D., & Madani, A. (2022). Modeling the Impact of Future Climate Change Impacts on Rainfed Durum Wheat Production in Algeria. *Climate*, 10(4), p. 50. Available at: <https://doi.org/10.3390/cli10040050>.
- Lakhdar, N., & Boudiaf, A. (2021). Étude des étages géomorphologiques et leurs implications pour l'agriculture en Algérie : cas de la wilaya de Constantine. *Revue de Géomorphologie et Environnement*, 25(1), 30-47.
- Lakhdar, N., & Rachid, M. (2022). Climat et ressources en eau dans le Tell algérien : étude de la wilaya de Sétif. *Journal des Sciences Environnementales*, 18(4), 98-112.
- Lakhdari, R., & Khelifi, N. (2019). Climat et agriculture dans le Tell algérien : Étude de la wilaya de Tiaret. *Journal de Climatologie*, 14(3), 87-99.
- Lobell, D. B., et al. (2011). "Climate trends and global crop production since 1980." *Science*, 333(6042), 616-620.
- Martínez-Moreno, F., Ammar, K., & Solís, I. (2022). Global Changes in Cultivated Area and Breeding Activities of Durum Wheat from 1800 to Date: A Historical Review. *Agronomy*, 12(5), p. 1135. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051135>.

- Marouani, A. (2019). Financement agricole et défis économiques : le cas de la production de blé dur en Algérie. *Revue des Finances et de l'Agriculture*, 12(2), 87-102.
- Marouani, A., & Belkacem, N. (2021). Ressources en eau et agriculture durable : défis dans la wilaya de Sétif. *Revue des Ressources Naturelles*, 15(3), 99-115.
- Mehdi, K., & Karim, A. (2022). Climat et agriculture dans le Tell algérien : étude de la wilaya de Constantine. *Journal de Climatologie et Environnement*, 19(1), 110-123.
- Mokhtar, H., & Bouzid, Z. (2023). Relief et agriculture dans le Tell algérien : étude des étages et de leurs implications dans la wilaya de Sétif. *Revue de Géomorphologie et Écologie*, 27(2), 77-89.
- Peters Haugrud, A.R., et al. (no date). Future of durum wheat research and breeding: Insights from early career researchers. *The Plant Genome*, n/a(n/a), p. e20453. Available at: <https://doi.org/10.1002/tpg2.20453>.
- PNUD (2023). Premier Rapport Biennal Actualisé de l'Algérie à la Convention Cadre des Nations Unies pour les Changements Climatiques, UNDP. Available at: <https://www.undp.org/fr/algeria/publications/premier-rapport-biennal-actualise-de-lalgerie-la-convention-cadre-des-nations-unies-pour-les-changements-climatiques> (Accessed: 16 September 2024).
- Powlson, D. S., et al. (2014). "Soil management in relation to sustainable agriculture and climate change." *Nature Climate Change*, 4, 788-791
- Seguin, B., & Soussana, J.-F. (2008). Emissions de gaz à effet de serre et changement climatique : causes et conséquences observées pour l'agriculture et l'élevage. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 55(55), 79–91.
- Singh, B., et al. (1996). Influence d'un changement climatique dû à une hausse de gaz à effet de serre sur l'agriculture au Québec. *Atmosphere-Ocean*, 34(2), 379–399. Available at: <https://doi.org/10.1080/07055900.1996.9649569>.
- Soudani, A., & Belhadj, M. (2023). Gestion des ressources en eau et agriculture durable dans le Tell algérien. *Revue de Gestion de l'Eau*, 15(2), 95-108.

- Tuberosa, R. (2012). "Phenotyping for drought tolerance in wheat." *Wheat Improvement and Production*, 43-58.

- Zakharova, N.N., & Zakharov, N.G. (2024). Wheat grain production in the world and its dynamics. *E3S Web of Conferences*. Edited by S. Sadullozoda, 480, p. 03001. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448003001>.

ANNEXES

Annexe 1 : Corrélation rendement/précipitation

The CORR Procedure

4 Variables: Rendement__qx_ha_ PP_S_tif PP_Constantine_ PP_Tiaret

Simple Statistics

| Variable | N | Mean | Std Dev | Sum | Minimum | Maximum |
|-------------------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Rendement__qx_ha_ | 19 | 13.28732 | 3.48947 | 252.45900 | 7.99900 | 19.10000 |
| PP_S_tif | 19 | 404.02842 | 90.28662 | 7677 | 254.06000 | 614.73000 |
| PP_Constantine_ | 19 | 497.42158 | 152.30300 | 9451 | 278.41000 | 812.29000 |
| PP_Tiaret | 19 | 409.44368 | 117.29933 | 7779 | 257.32000 | 662.19000 |

Simple Statistics

| Variable | Label |
|-------------------|-------------------|
| Rendement__qx_ha_ | Rendement (qx/ha) |
| PP_S_tif | PP-Sétif |

PP_Constantine_ PP-Constantine

PP_Tiaret PP-Tiaret

Pearson Correlation Coefficients, N = 19

Prob > |r| under H0: Rho=0

Rendement__

qx_ha_ PP_S_tif PP_Constantine_ PP_Tiaret

| | | | | |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Rendement__qx_ha_ | 1.00000 | 0.26762 | 0.12542 | 0.56415 |
| Rendement (qx/ha) | | 0.2680 | 0.6089 | 0.0119 |
| PP_S_tif | 0.26762 | 1.00000 | 0.60013 | 0.06315 |
| PP-Sétif | 0.2680 | | 0.0066 | 0.7973 |
| PP_Constantine_ | 0.12542 | 0.60013 | 1.00000 | 0.17483 |
| PP-Constantine | 0.6089 | 0.0066 | | 0.4741 |
| PP_Tiaret | 0.56415 | 0.06315 | 0.17483 | 1.00000 |
| PP-Tiaret | 0.0119 | 0.7973 | 0.4741 | |

Annexe 2 : Corrélation rendement/ température moyenne

The CORR Procedure

4 Variables: Rendement__qx_ha_ T_S_tif T_Constantine T_Tiaret

Simple Statistics

| Variable | N | Mean | Std Dev | Sum | Minimum | Maximum |
|-------------------|----|----------|---------|-----------|----------|----------|
| Rendement__qx_ha_ | 26 | 13.72981 | 3.73650 | 356.97500 | 7.99900 | 20.43300 |
| T_S_tif | 26 | 14.85385 | 0.62240 | 386.20000 | 13.70000 | 16.10000 |
| T_Constantine | 26 | 15.95000 | 0.56868 | 414.70000 | 14.50000 | 17.30000 |
| T_Tiaret | 26 | 15.33846 | 0.67176 | 398.80000 | 13.40000 | 16.40000 |

Simple Statistics

| Variable | Label |
|-------------------|-------------------|
| Rendement__qx_ha_ | Rendement (qx/ha) |

T_S_tif T-Sétif
 T_Constantine T-Constantine
 T_Tiaret T-Tiaret

Pearson Correlation Coefficients, N = 26

Prob > |r| under H0: Rho=0

Rendement__

| | qx_ha_ | T_S_tif | T_Constantine | T_Tiaret |
|-------------------|----------|----------|---------------|----------|
| Rendement__qx_ha_ | 1.00000 | -0.15042 | 0.07303 | 0.18282 |
| Rendement (qx/ha) | | 0.4633 | 0.7229 | 0.3714 |
| T_S_tif | -0.15042 | 1.00000 | 0.90182 | 0.78030 |
| T-Sétif | 0.4633 | | <.0001 | <.0001 |
| T_Constantine | 0.07303 | 0.90182 | 1.00000 | 0.88582 |
| T-Constantine | 0.7229 | <.0001 | | <.0001 |
| T_Tiaret | 0.18282 | 0.78030 | 0.88582 | 1.00000 |
| T-Tiaret | 0.3714 | <.0001 | <.0001 | |

