



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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

جامعة محمد البشير الابراهيمى برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimy B.B.A

كلية علوم الطبيعة والطبيعة والحياة والأرض والكون

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

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomique



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Thème :

Production des céréales en Algérie :

Evolution en relation avec le climat

Présenté par : KHOUDOUR Chaimaa

KARA Dounia

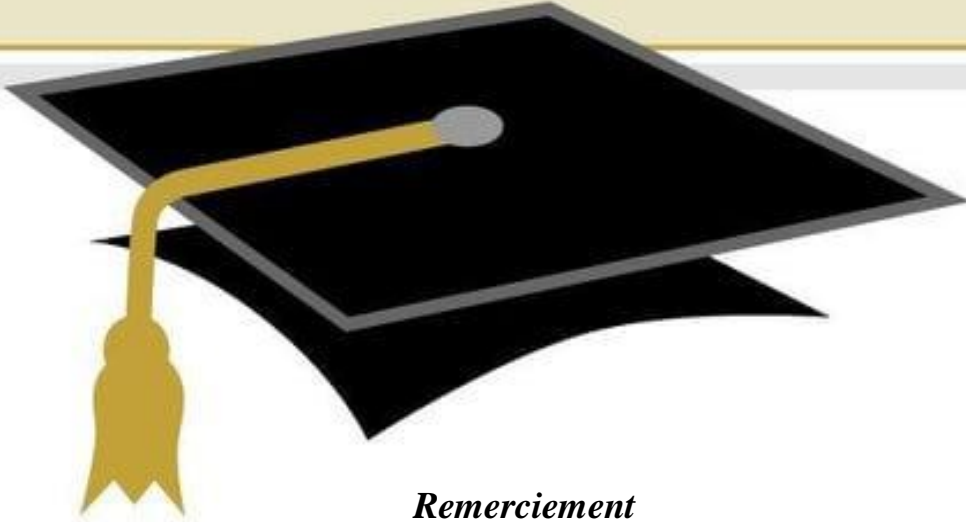
Soutenu le : 11 / 06 / 2024, Devant le jury :

Président : Dr SEMARA L. M.C.B. Faculté SNV-STU, Univ. Bordj Bou Arreridj

Encadrant : Dr MAAMRI K. M.C.B. Faculté SNV-STU, Univ. Bordj Bou Arreridj

Examineur : Dr FORTAS B. M.C.B. Faculté SNV-STU, Univ. Bordj Bou Arreridj

Année universitaire : 2023 - 2024



Remerciement

*À l'issue de ce travail, on veut d'abord nous remercions dieu Car Sans sa bénédiction et sa guidance, nous n'aurions jamais pu arriver á ce niveau
Nous exprimons nous profonds remerciements à notre encadreur Dr MAAMRI K
Pour l'aide précieuse qu'il nous apportait et les conseils infiniment utiles*

Qu'il nous prodiguait pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier vivement le président de jury Dr SEMARA L de nous

Avoir fait l'honneur de présider le jury.

Nous tenons également à remercier Dr FORTAS B. D'avoir accepté

D'examiner notre travail.

Enfin, nous remercions profondément tous ceux qui ont contribué de prés

Ou de loin à la réalisation de ce travail.

Chaimaa et Dounia



Dédicace

*Je dédie cette mémoire à mes parents aimants, à ma mère **SALIHA** pour son soutien indéfectible et à mon père **RIDA** pour sa sagesse et son encouragement constant.*

*Je dédie également cette œuvre à mon cher frère (**Idris**) et sœurs (**Houaida et Maissa**), qui ont été mes compagnons de route et mes sources d'inspiration. À travers leur amour inconditionnel, ils ont contribué de manière significative à mon parcours académique. Cette mémoire est le fruit de nos valeurs familiales et de notre engagement mutuel.*

À toute la famille Khoudour

À mes amies qui m'ont encouragé et qui m'ont entouré d'amour

À ma binôme Dounia

Que Dieu les garde et les protège

*À l'ensemble des enseignants et étudiants du Département des
Sciences Agronomiques*

À mes amies de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahim

À tous ceux qui m'aiment et que j'aime

Chaimaa



Dédicace

Mes larmes de joie pour ma remise des diplômes se mêlent à ma tristesse pour le départ de mon père il y a quelques mois seulement avant ce jour. Cette année a été très difficile pour moi, mais louange à Dieu qui m'a soutenu et m'a permis d'atteindre mes objectifs.

Je dédie ma remise des diplômes :

*À l'âme de mon père **Said** qui a toujours été une source d'inspiration et de motivation pour moi. Malheureusement, il n'était pas là pour voir ce moment spécial dans ma vie. Je n'aurais pas pu arriver jusqu'ici sans ton soutien et tes conseils.*

Papa, j'aurais aimé te voir porter ma toque et voir ton sourire alors que je réalisais ton rêve. Je suis fier d'être ton enfant. J'ai honoré ta volonté, papa, et je suis maintenant diplômée. Que Dieu ait pitié de toi et t'accueille dans son vaste paradis. Je prie pour ton repos éternel au paradis. Cette remise des diplômes est pour toi et pour ton âme qui restera vivante dans mon cœur pour toujours.

*Je dédie le fruit de mon labeur à celle qui m'accueille toujours avec un sourire et me dit au revoir avec une prière... à ma chère mère **Bourouis Wassila** qui m'a soutenu tout au long de mon parcours scolaire. »*

*A mes chères sœurs jumelles qui ont été une source d'aide et de soutien tout au long de mon parcours scolaire (**Kaoula et Kholoud**). A mes chers frères (**Lakhdar et Abderrahim**)*

*À mes amis, pour leur encouragement constant, et à tous ceux qui ont contribué à mon parcours académique et surtout mon amie **Khoudour Chaima***

A tous mes chers enseignants tout au long de mon parcours scolaire, depuis l'école primaire jusqu'à aujourd'hui.

*À toute la famille **Kara***

Dounia



Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Chapitre I: Production des céréales

I .1 Généralités sur les céréales :.....	4
I.1.1. Définition des céréales :.....	4
I.1.2. . Morphologie des céréales.....	4
I .1.3. Importance des céréales	5
I .1.4. Évolution du production des céréales en Algérie	8
I .1.5. Évolution du rendement des céréales en Algérie (1991 -2023).....	9

Chapitre II: Changement climatique

II .1. Le climat : un système complexe et dynamique :	
II.1.1. Définition de climat	11
II. 1.2. Les types de climat	11
II.1.3. Les types de climat en Algérie :.....	12
II.1.4.Sécheresse.....	13
II.2 Le changement climatique :.....	13
II.2.1. Le changement climatique et la variabilité climatique :.....	13
II.2.2 Les cause de changement climatique.....	14
II.2.3 Effet de serre	14
II.3. Modélisation des changements climatiques	17
II.3.1. Définition de modèle climatique	17
II.3.2. Prévision de changement climatique observé en future	18
II.3.2.1. Évolution de température :.....	20
II.3.2.2. Evolution de précipitation :.....	20

Chapitre III: Modélisation des cultures et impact du changement climatique sur la culture des céréales

III.1. Impact du changement climatique sur les céréales	21
III.1.1. Impact de changement de température sur les céréales	21
III.1.2. Impact de sécheresse	22
III.3. Impact de changement de concentration en CO2 dans l'atmosphère sur les cultures.....	23
III.2. La modélisation de l'impact de Changement Climatique futur sur culture des céréales	24
III.2.1. Modélisation de culture	24
III.2.2. Prévission du rendement en future	24
III.2.3 . Prévissions sur le développement de culture :	26
III.2.4 Prévissions sur les besoins des cultures :.....	28
III.2.5. Méthodes d'Adaptation des cultures de céréales aux changements climatiques :.....	29
Conclusion.....	32

Références bibliographiques

Résumé

Liste des abréviations :

% : pourcentage

APS : Algérie Presse Service

BBA : Bordj Bou Arreridj

CCNUCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

CCLS : Coopérative des Céréales et des Légumes Secs

CFC : chlorofluorocarbures

DSA : Direction du service Agricole

FAO : Food and Agriculture Organization

GES : Gazes d'effet de serre

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Ha : Hectare

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

INRA : Institut National des Recherches Agronomiques

Kg /hab. /an : Kilogramme / habitant / an

Mm : Millimètre

MADR : Ministère de l'agriculture et du développement rural

MCG : Modèle de Circulation Générale

MCR : Modèle de Circulation Régionale

NRC : Norwegian Refugee Council

OAIC : L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales

ONS : Office Nationale des Statistiques.

OMM : Office Mondial météorologie

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel

PPM : partie par million.

Qx : Quintaux.

Qx/ha : Quintal par hectare.

RCM: Regional climate model

RCP: Representative Concentration Pathway

SAU : Superficie Agricole utile

SRES : Spécial Report Emissions Scenarios.

STICS : Model multidisciplinaire des Cultures Standard

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

UCA : Université Clermont – Auvergne

Liste des figures

Figure 1 : Cycle de développement de blé.....	4
Figure 2 : production céréalière, utilisation et stocks dans la monde.....	7
Figure 3 : Evolution de production des céréales d’hiver en Algérie (2009 – 2019)	8
Figure 4 : Evolution des rendements des céréales (2000 -2009).....	9
Figure 5 : Evolution des rendements des céréales (2009-2019).....	10
Figure 6 : Les types de climat	12
Figure 7 : Processus d’effet de serre	15
Figure 8 : Scénarios d’évolution du GIEC pour la température, les précipitations et e niveau de la mer à l’horizon 2100.....	19

Liste de tableaux

Tableau 1 : Evolution des rendements ($U= Q/h$).....	9
Tableau 2 : Les gaz contribuant au renforcement de l'effet de serre.....	16
Tableau 3 : Projections climatiques pour la pluviométrie en Algérie à l'horizon 2071-2100 sous trois scénarios du GIEC	18

Introduction

Introduction:

Les céréales, et le blé en particulier, constituent un élément fondamental du régime alimentaire algérien. Elles occupent une place cruciale dans l'économie et la société algériennes, avec des implications socio-économiques et même politiques (Ammar, 2014).

Le rôle des céréales est essentiel, tant pour la consommation humaine directe que pour l'alimentation animale (Nedjah, 2015). En tant que base alimentaire dans de nombreux pays en développement, notamment au Maghreb, les céréales et leurs dérivés occupent une place stratégique dans le système alimentaire et l'économie nationale algérienne (Djermoun, 2009).

Les céréales, représentant 45% des apports énergétiques dans l'alimentation humaine, sont à l'origine de l'organisation des civilisations. Le blé, le riz et le maïs, qui constituent la base alimentaire de nombreuses populations (Bekkis et *al.*, 2022), dominent la consommation mondiale, couvrant 75% de la demande (Clergt, 2011).

En Algérie, la filière céréalière est stratégique, représentant un poids important dans l'économie agricole. Elle est la première industrie agroalimentaire du pays, mais souffre d'une forte dépendance aux importations pour satisfaire la demande nationale (ONS, 2021). Le blé dur, la céréale la plus cultivée en Algérie, occupe 41% des terres cultivées (Anonyme, 2009). La production de blé a connu une augmentation significative en 2022, atteignant 3,3 millions de tonnes, soit une hausse de 38% par rapport à l'année précédente (FAO, 2021).

Cependant, la production céréalière algérienne est fortement dépendante des conditions climatiques, ce qui entraîne des variations importantes de la surface cultivée, de la production et du rendement d'une année à l'autre. Le manque de précipitations et la mauvaise répartition des pluies expliquent en grande partie ces fluctuations (Djermoun, 2009).

Le réchauffement climatique, principalement causé par l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, protoxyde d'azote et méthane) provenant des activités humaines (Pellerin et *al.*, 2015), a des conséquences directes et indirectes sur les systèmes agroalimentaires. L'évolution et l'imprévisibilité des températures et des précipitations, ainsi que l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes (sécheresses, inondations, épidémies de ravageurs et de maladies) menacent notre capacité à garantir la sécurité alimentaire mondiale, à éliminer la pauvreté et à atteindre un développement durable (Gimet, 2007).

Les changements climatiques auront des impacts négatifs en Afrique du Nord, notamment sur le secteur agricole. La baisse des précipitations, l'augmentation des températures et la pression accrue sur les ressources en eau pour l'irrigation constituent les principales menaces (O.S.S, 2007). L'agriculture, étant l'activité humaine la plus dépendante des variations climatiques (Sultan *et al.*, 2015), est particulièrement vulnérable. L'Algérie, comme 17 autres pays africains, est touchée par le stress hydrique (Bakhetache et Hadjene, 2023). Les précipitations étant un facteur crucial du climat pour les populations et les écosystèmes, les régions méditerranéennes semi-arides et arides sont particulièrement vulnérables aux sécheresses (Taibi *et al.*, 2013).

Au cours du XXe siècle, l'Algérie a connu une augmentation de température de 1,5°C à 2°C, soit le double de la hausse planétaire mondiale (0,74°C), accompagnée d'une baisse considérable des précipitations (10 à 20%) principalement au nord du pays en automne, en hiver et au printemps, et plus importante à l'ouest et au centre, notamment à partir des années 1970. Avec le réchauffement climatique s'intensifiant au XXIe siècle, les projections climatiques indiquent que l'Algérie ressentira davantage ses effets. La baisse des précipitations et l'augmentation des températures affecteront le secteur agricole, notamment par la non-régénération du couvert végétal et la baisse des rendements agricoles (Bakhtache et Hadjene, 2023).

L'étude se penche sur la problématique de l'impact du changement climatique sur l'agriculture en Algérie, un pays déjà confronté à un stress hydrique important et à des conditions climatiques arides et semi-arides. L'augmentation des températures, la baisse des précipitations et l'intensification des phénomènes météorologiques extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations, constituent des menaces majeures pour la sécurité alimentaire et la durabilité du secteur agricole algérien. L'étude vise à analyser les impacts concrets du changement climatique sur les rendements agricoles, la production céréalière et la gestion des ressources en eau, tout en explorant les stratégies d'adaptation et de mitigation possibles pour faire face à ces défis.

Ce travail vise à réaliser une synthèse bibliographique approfondie sur l'impact des conditions climatiques, notamment la température, les précipitations et les sécheresses, sur la production céréalière en Algérie. L'objectif est de rassembler et d'analyser les recherches existantes afin de comprendre comment ces facteurs climatiques influencent les rendements des cultures céréalières dans le contexte algérien.

L'étude est structurée en trois chapitres, offrant une exploration approfondie de l'impact du changement climatique sur la production céréalière en Algérie. Le premier chapitre dresse un portrait des céréales, en examinant leurs caractéristiques, leur importance économique et les tendances de production. Le deuxième chapitre se concentre sur les changements climatiques qui affectent l'Algérie, en analysant les types de changements observés et les solutions mises en place pour y répondre. Enfin, le troisième chapitre explore les impacts du changement climatique sur la production céréalière, en analysant les conséquences sur les rendements et en proposant des prévisions pour l'avenir.

Chapitre I : Production de céréales

I.1. Généralités sur les céréales :

I.1.1 Définition des céréales :

Les céréales sont des plantes cultivées pour leurs graines, appelées grains. Ces grains contiennent un albumen riche en amidon. La plupart des céréales appartiennent à la famille des Graminées (ou Poacées). Parmi les principales céréales, on trouve : blé, orge, avoine, seigle, maïs, riz, millet et sorgho. Certaines appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées (blé, orge, avoine, seigle), tandis que d'autres appartiennent à la sous-famille des Panicoïdées (maïs, riz, sorgho, millet) (Moule, 1980).

I.1.2. Morphologie des céréales :

1) Appareil végétatif :

- Aérien : Les feuilles des céréales sont alternes ou distiques, disposées sur deux rangs le long de la tige. Chaque feuille se compose d'une gaine, qui enveloppe l'entre-nœud correspondant, et d'un limbe, la partie supérieure de la feuille. Les gaines, attachées aux nœuds, s'emboîtent les unes dans les autres pendant la jeunesse de la plante, formant un tube cylindrique qui entoure la tige. Au fur et à mesure de la croissance des entre-nœuds, les gaines se déboîtent (Moule, 1971). La tige, quant à elle, est formée d'entre-nœuds séparés par des nœuds, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est donc le point d'attache d'une feuille (Clergt, 2011).

- Souterrain : Les céréales possèdent un système racinaire fasciculé, peu développé. Deux systèmes se forment au cours du développement : un système primaire et un système secondaire (Belaid, 1986).

2) **Cycle de développement** : Le cycle de développement des céréales se divise en trois périodes principales :

✓ Période végétative :

Phase de germination-levé : Cette phase, qui dépend des réserves de la graine, commence par l'imbibition de la graine, permettant la libération d'enzymes et la dégradation des réserves. L'allongement des radicules suit, puis l'apparition de racines séminales de la coléorhize. En même temps, la croissance d'une pré-feuille, la coléoptile, se produit. Ce dernier sert de protection lors de la perforation du sol par la première feuille fonctionnelle qui émergera peu après son apparition (Geslin et Jonard, 1948).

Chapitre I: Production des céréales

Phase de tallage : Cette phase est caractérisée par l'initiation florale, la différenciation de l'ébauche de l'épi, la différenciation des ébauches des glumes, la montaison, la méiose et le gonflement (Vertucci, 1989).

✓ Période de reproduction :

Montaison : Pendant cette période, on observe une élongation des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. Certaines talles herbacées commencent à régresser. Les besoins en éléments nutritifs, notamment en azote, sont accrus durant cette phase de croissance active (Clement, 1971).

Épiaison : Cette phase correspond à l'apparition des épis à l'extérieur et à la fécondation. La floraison se caractérise par l'éclatement des anthères qui libèrent le pollen. Les filets qui les portent s'allongent, entraînant les sacs polliniques desséchés à l'extérieur, flottant autour de l'épi comme de petites fleurs blanches. C'est ce qui donne l'impression que l'épi est "fleuri" (Vertucci, 1989).

✓ Période de maturation des graines :

Maturation : Cette période, caractérisée par la fécondation complète des grains, comprend trois phases principales : une phase de multiplication cellulaire intense, une phase d'enrichissement en glucides et en protéines, et une phase de dessiccation (Moule, 1980) (Figure 2).

La morphologie et le cycle de développement des céréales sont étroitement liés à leur adaptation aux conditions environnementales et à leur capacité à produire des graines riches en nutriments. La compréhension de ces aspects est essentielle pour optimiser la production céréalière et garantir la sécurité alimentaire

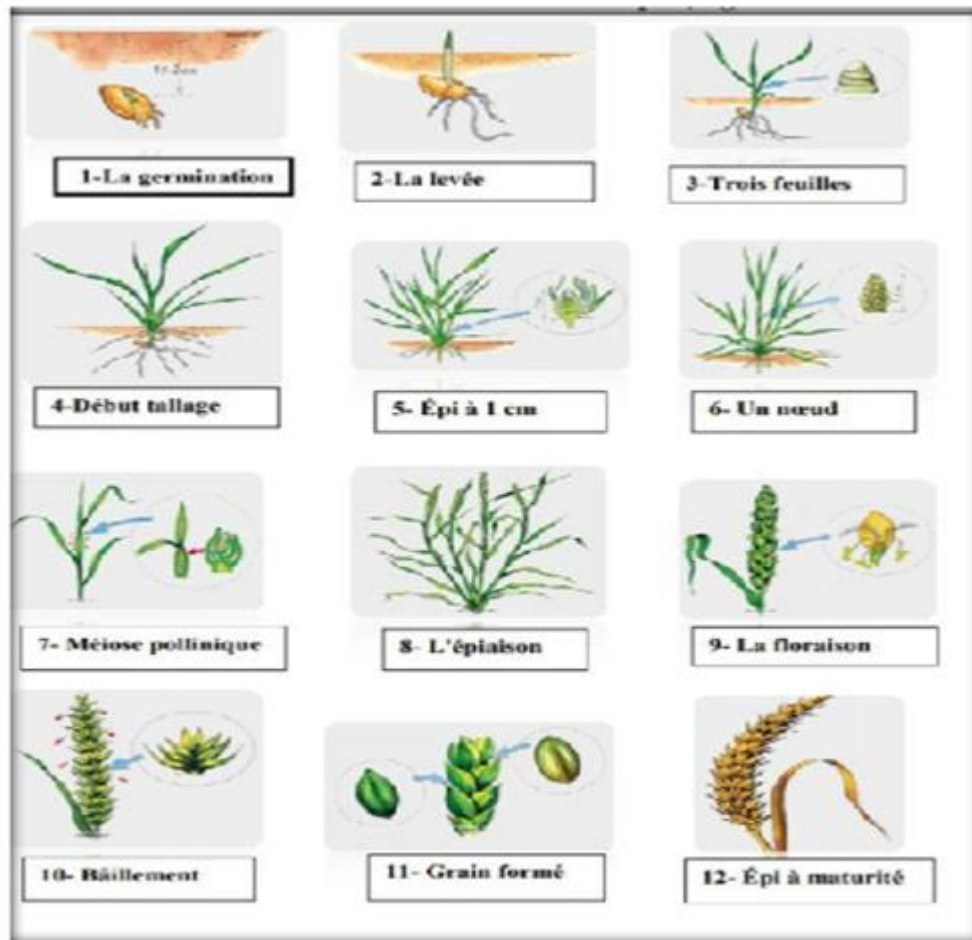


Figure 01 : Cycle de développement de blé (Moule, 1980)

I.1.2. Importance des céréales :

1) Production des céréales :

- **Dans le monde** : La production mondiale de céréales devrait atteindre 2836 millions de tonnes en 2023 (FAO, 2023) (Figure 01). Les principaux producteurs mondiaux sont la Chine, les États-Unis, l'Inde, la Russie, le Brésil, l'Indonésie, l'Argentine, la France, l'Ukraine et le Canada (FAO, 2019).



Figure 02 : production céréalière, utilisation et stocks dans la monde
(FAO 2023)

- **Dans l'Algérie** : En Algérie, plus de 2,6 millions d'hectares de terres agricoles sont dédiés à la céréaliculture pour la saison 2023-2024 (Ministère de l'Agriculture). La production céréalière, y compris les jachères, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'hectares, avec une récolte annuelle représentant 63% des emblavures .
La céréaliculture est donc une activité dominante en Algérie (Djermoune, 2009).

2) Industries de transformation :

L'industrie de transformation des céréales occupe une place prépondérante dans le secteur agroalimentaire algérien. Les capacités de trituration sont importantes, dépassant de 230% la taille du marché domestique. Ces capacités sont réparties entre les moulins publics (95%) et privés (135%), avec une capacité de trituration respective de 19 000 et 27 000 tonnes par jour (Djermoune, 2009).

3) Consommation :

La consommation de produits céréaliers en Algérie est d'environ 205 kg par personne et par an (Chehat, 2007). En 2013, les disponibilités en céréales en Algérie représentaient un apport équivalent à 1678 Kcal/personne/jour, 49,33 grammes de protéines/personne/jour et 6,8 grammes de lipides/personne/jour (FAOSTAT, 2016).

4) Importations:

Les importations jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement du marché national des céréales en Algérie. La production locale n'arrive pas à combler la demande nationale en raison de la croissance démographique. L'Algérie importe en moyenne plus de 12 millions

Chapitre I: Production des céréales

de tonnes de céréales par an au cours des cinq dernières années (FAO 2023). L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) est le principal acteur de l'importation, réalisant 80% des importations de céréales, notamment de blé dur, blé tendre, orge et avoine. L'OAIC gère ces importations via son organisation interne et logistique (CCLS et UCA) (Bekkis et al.

I.1.4. Évolution de la production des céréales en Algérie :

La production céréalière en Algérie a connu une baisse significative en 2022-2023, atteignant 3,6 millions de tonnes, soit 12% de moins qu'en 2022 et près de 20% de moins que la moyenne des cinq dernières années. La production de blé a également diminué, passant de 3,2 millions de tonnes en moyenne à 3 millions de tonnes en 2022-2023. Les prévisions pour 2023-2024 tablent sur une production encore plus faible, à 2,5 millions de tonnes (FAO, 2023).

Les stocks de céréales, après une période de croissance entre 2017 et 2020, ont diminué de 6% en 2021. Cependant, la production de céréales d'hiver a connu une augmentation de 38% sur la décennie 2010-2019, passant de 31,7 millions de quintaux à 44 millions de quintaux. Cette hausse est principalement due à une augmentation significative de la production de blé dur (+62%) et d'orge (+36%), tandis que la production de blé tendre a légèrement baissé (-2,3%) (Figure 3).

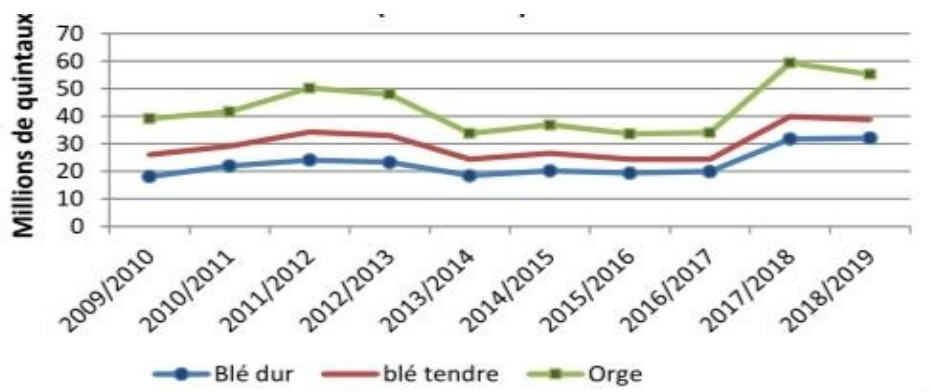


Figure 03 : Evolution de production des céréales d'hiver en Algérie (2009 – 2019)

(Selon Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural).

La production céréalière en Algérie présente une situation contrastée, avec des fluctuations importantes selon les années et les types de céréales. La production de blé dur et d'orge a connu une croissance importante ces dernières années, tandis que la production de blé tendre a

Chapitre I: Production des céréales

stagné. Il est important de suivre l'évolution de la production et des stocks de céréales pour garantir la sécurité alimentaire du pays.

I.1.5. Évolution du rendement des céréales en Algérie (1991 -2023) :

L'évolution du rendement des céréales en Algérie est marquée par des fluctuations importantes au cours des dernières décennies.

- *De 1991 à 2005*, les rendements moyens des blés ont connu une progression notable. Le blé dur a vu son rendement moyen passer de 9,4 qx/ha à 13,1 qx/ha entre 1991-1995 et 2001-2005, tandis que l'orge a connu une augmentation similaire, passant de 9 à 13,5 qx/ha durant la même période (Djermone, 2009) (tableau 1).

Tableau 01 : Evolution des rendements (U= Q/h).

	1991-95	1996-00	2001-05
blés	9,4	10,3	13,1
orge	9	10,6	13,5
Taux de croissance en %	-	9,57	27,18
Taux de croissance en %	-	17,78	27,36

Source : à partir des données de l'Observatoire méditerranéen.

Entre 2005 et 2009, la production céréalière a été faible, témoignant d'une maîtrise insuffisante des rendements, qui sont restés bas et aléatoires, oscillant entre 8 et 15 q/h (Chebane, 2012) (Figure 4).

Chapitre I: Production des céréales

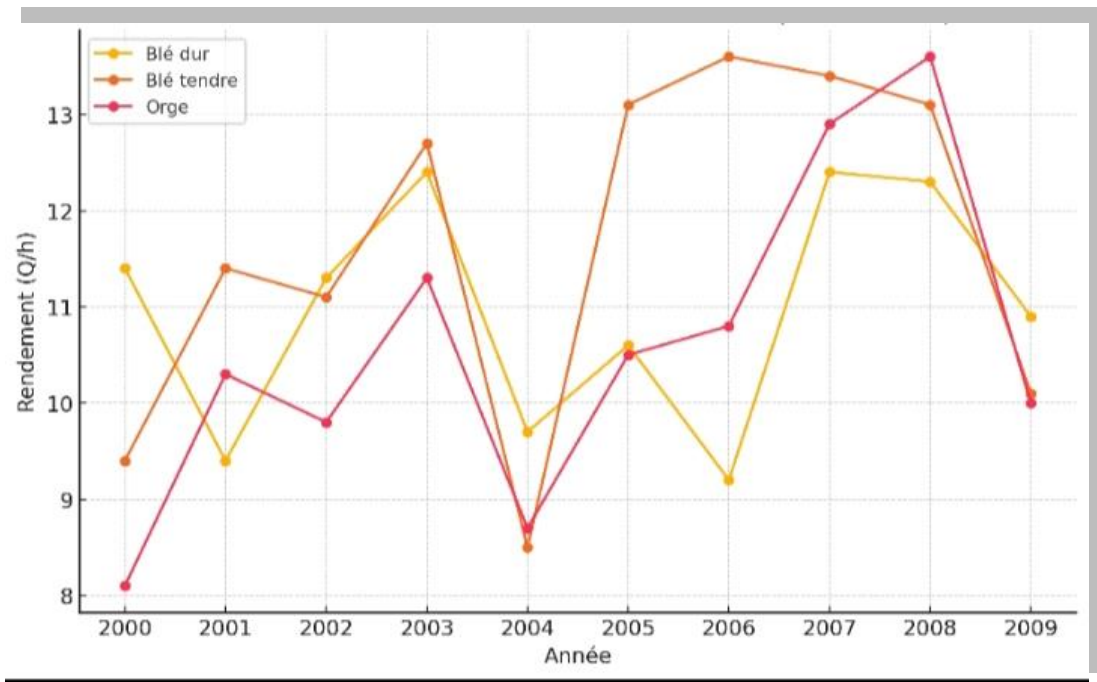


Figure 04 : Evolution des rendements des céréales (2000 -2009)
(Selon Ministère de l’Agriculture et du Développement Rural).

De 2009 à 2019, le rendement moyen des céréales a connu une amélioration, passant de 13,4 qx/ha pour la décennie précédente à 16,17 qx/ha pour la période 2010-2019. La campagne 2017/2018 a enregistré les meilleurs rendements, avec des moyennes de 21,3 qx/ha pour le blé dur, 17,6 qx/ha pour le blé tendre et 18,1 qx/ha pour l’orge (Ministère de l’Agriculture et du Développement Rural) (Figure 5).

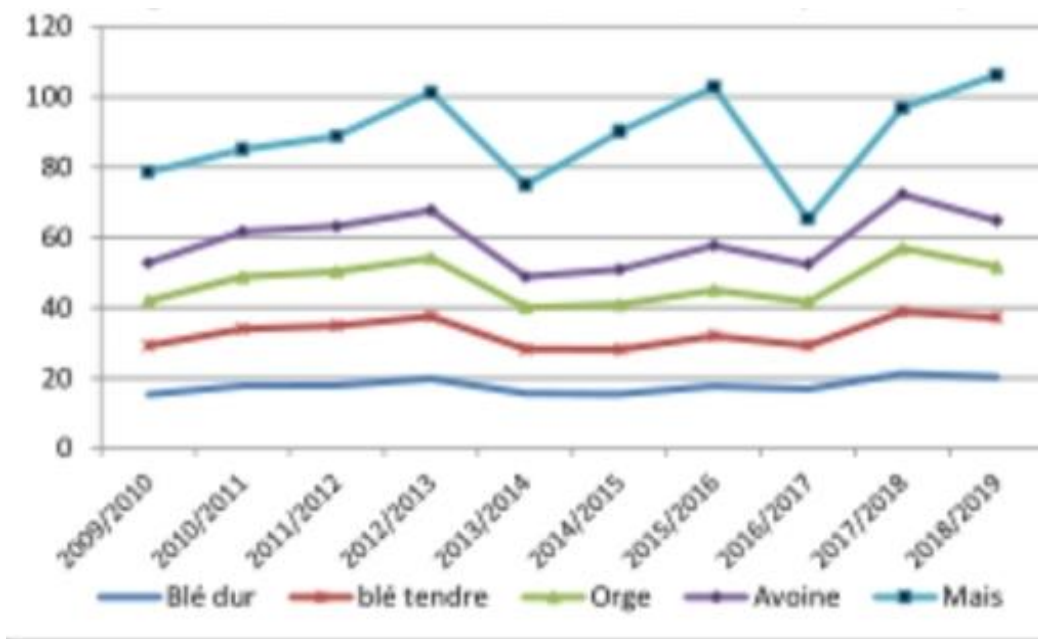


Figure 05 : Evolution des rendements des céréales (2009-2019)

Chapitre I: Production des céréales

L'évolution du rendement des céréales en Algérie est caractérisée par des périodes de progression et de stagnation, reflétant les défis liés à la maîtrise des rendements et à la variabilité climatique. Des efforts continus sont nécessaires pour améliorer les pratiques agricoles et garantir une production céréalière stable et durable.

Chapitre II : Changement climatique



II.1 Le climat : un système complexe et dynamique :

II.1.1. Définition de climat :

Le climat se définit comme la statistique de l'état du système Terre, basée sur l'analyse des moyennes et des variations spatiales et temporelles de paramètres tels que la température, les précipitations, le vent et l'humidité, sur des périodes allant de quelques mois à plusieurs millions d'années (UNESCO, 2007).

Ce système climatique, extrêmement complexe, est le principal moteur de la dynamique de la biosphère. Il est composé de cinq éléments majeurs interagissant entre eux : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, les terres émergées et la biosphère (Lévêque, 2001).

Le système climatique évolue constamment sous l'influence de sa propre dynamique interne et de facteurs externes tels que les éruptions volcaniques, les variations de l'activité solaire ou les activités humaines (UNESCO, 2007).

II. 1.2. Les types de climat :

Selon Daouar (2018), sur Terre, les climats sont classés en fonction de différents paramètres tels que l'humidité, la température, l'ensoleillement et la vitesse du vent. Ces paramètres, qui varient en fonction de la géographie, influencent le climat de manière significative (figure 6).

L'altitude, la latitude et la proximité des océans sont des facteurs clés qui déterminent la répartition des climats sur la planète. En effet, l'altitude influence la température, la latitude détermine l'intensité de l'ensoleillement et la proximité des océans module l'humidité et la température. Ainsi, la diversité des climats terrestres est le résultat d'une interaction complexe entre ces différents paramètres géographiques (Daouar, 2018).

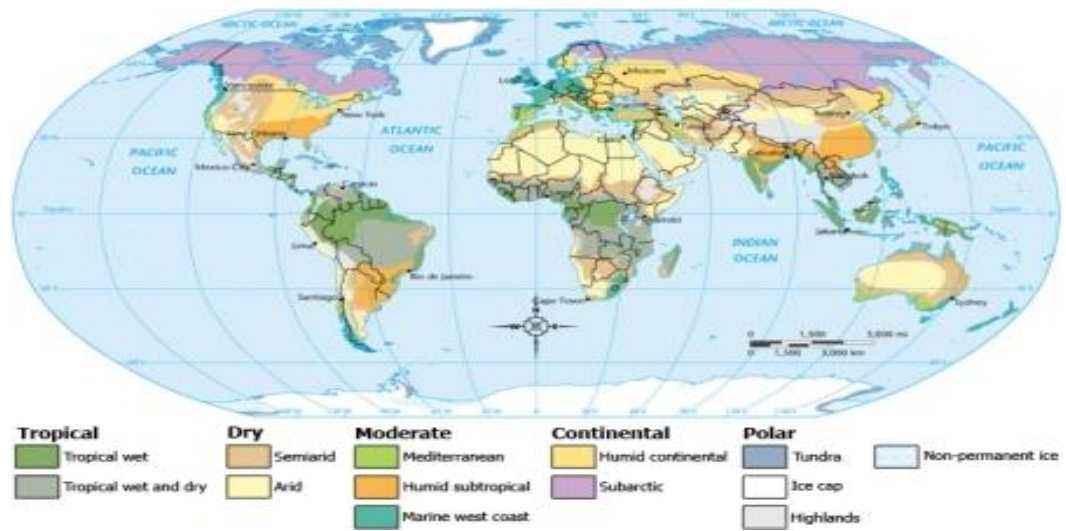


Figure06 : Les types de climat (Daouar, 2018)

II.1.3. Les type de climat en Algérie :

L'Algérie présente une variété de climats, allant du doux et humide du littoral méditerranéen aux conditions extrêmes du Sahara, impactant fortement les activités humaines et la biodiversité du pays. Elle abrite trois principaux types de climats : méditerranéen, semi-aride et aride.

Le climat méditerranéen, présent sur la côte de l'Atlas Tellien, se caractérise par des hivers doux avec de rares gelées et des étés chauds. La partie orientale est plus arrosée que l'ouest, avec 2000 mm de pluie par an et des sommets enneigés d'octobre à juillet (GIEC, 2007).

Le climat semi-aride, dominant sur les hauts plateaux qui représentent 9% de la superficie totale, est caractérisé par une pluviométrie faible (100 à 400 mm/an). Malgré la présence de deux tiers des terres cultivées, les sols sont salés et fragiles, exposés à la désertification due à la sécheresse, l'érosion éolienne, la faiblesse des ressources hydriques et l'agropastoralisme intensif.

Le climat aride, propre au Sahara, couvre 87% du territoire et se caractérise par une pluviométrie inférieure à 100 mm/an. Les terres sont pauvres, les conditions climatiques extrêmes et les amplitudes thermiques très fortes, limitant les superficies cultivées à environ 100 000 ha (FAO, 2015).

La wilaya de Bordj Bou Arreridj, quant à elle, est caractérisée par un climat semi-aride.

II.1.4. Sécheresse : un phénomène naturel caractérisé par un déficit significatif de précipitations par rapport aux niveaux habituels, a des conséquences dramatiques sur les ressources en eau et les systèmes de production agricole (UNESCO .2007). On distingue trois types de sécheresse :

- *Sécheresse météorologique :* Un déficit prolongé de précipitations, entraînant une diminution des réserves d'eau.
- *Sécheresse agricole ou édaphique :* Une diminution de l'humidité du sol, affectant la croissance des plantes et les rendements agricoles.
- *Sécheresse hydrologique :* Une baisse des débits des cours d'eau et des niveaux des nappes phréatiques, impactant l'accès à l'eau potable et l'irrigation (Hassini et *al.* 2015).

L'Algérie, comme 17 autres pays africains, est confrontée à un stress hydrique important, se classant parmi les pays les plus pauvres en termes de potentialités hydriques (Nichane, Khellil, 2015).

La sécheresse constitue donc un défi majeur pour l'Algérie, menaçant la sécurité alimentaire, la production agricole et l'accès à l'eau potable. Il est crucial de mettre en place des stratégies d'adaptation et de gestion des ressources en eau pour faire face à ce phénomène récurrent et de plus en plus intense.

II.2. Le changement climatique :

II.2.1. Le changement climatique et la variabilité climatique :

1. Définition de changement climatique : Le changement climatique se définit comme des variations statistiquement significatives de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistantes sur une période prolongée, généralement plusieurs décennies (UNESCO, 2007).

La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) précise que le changement climatique correspond à des modifications du climat attribuables directement ou indirectement à l'activité humaine, altérant la composition de l'atmosphère mondiale. Ces changements s'ajoutent à la variabilité naturelle du climat observée sur des périodes comparables.

Il est important de distinguer le changement climatique de la variabilité climatique. La variabilité climatique désigne les fluctuations naturelles du climat, qui peuvent être saisonnières, annuelles ou décennales. Le changement climatique, quant à lui, représente

une modification durable et significative de l'état du climat, principalement attribuée à l'influence humaine.

2. Définition de variabilité climatique :

La variabilité climatique englobe toutes les fluctuations du climat qui durent plus longtemps que les événements météorologiques individuels. Elle comprend des variations saisonnières, annuelles ou décennales, résultant de processus naturels comme les cycles solaires, les éruptions volcaniques ou les oscillations océaniques. Le terme "changement climatique" se distingue de la variabilité climatique en se référant spécifiquement aux variations qui persistent sur une période plus longue, généralement des décennies ou plus. Ces changements sont principalement attribués à l'influence humaine sur le climat, notamment par l'émission de gaz à effet de serre depuis la révolution industrielle (NRC, 2010).

II.2.2 Les cause de changement climatique :

Le changement climatique est un phénomène complexe résultant de l'interaction de facteurs naturels et humains.

- **Causes naturelles** : Variations de l'activité solaire : L'intensité du rayonnement solaire varie naturellement, influençant le climat terrestre (Khaledi, 2005).
- **Causes humaines** : Émissions de gaz à effet de serre (GES) : Les activités humaines, notamment la combustion de combustibles fossiles, l'agriculture et la déforestation, libèrent de grandes quantités de GES dans l'atmosphère. Ces GES piègent la chaleur du soleil, provoquant un réchauffement climatique (GIEC, 2007, 2014).

Il est important de noter que l'influence humaine sur le climat est de plus en plus importante, dépassant largement l'impact des variations naturelles. Les activités humaines sont désormais le principal moteur du changement climatique actuel

II.2.3 Effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel essentiel à la vie sur Terre. L'atmosphère, composée de gaz comme la vapeur d'eau et le CO₂, laisse passer les rayons du soleil, mais retient une partie de la chaleur émise par la surface terrestre, permettant ainsi de maintenir une température moyenne favorable à la vie (Fenni et Machane, 2010).

Les gaz à effet de serre, dont le CO₂, absorbent efficacement le rayonnement infrarouge thermique émis par la Terre, l'atmosphère elle-même et les nuages. Ce

rayonnement est ensuite réémis dans toutes les directions, y compris vers la surface terrestre, contribuant à maintenir une température stable (figure 7) (GIEC, 2008).

Cependant, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, principalement due aux activités humaines, amplifie l'effet de serre naturel, entraînant un réchauffement climatique. Ce phénomène est appelé "changement climatique" et ses conséquences sont de plus en plus visibles sur la planète (UNESCO, 2007).

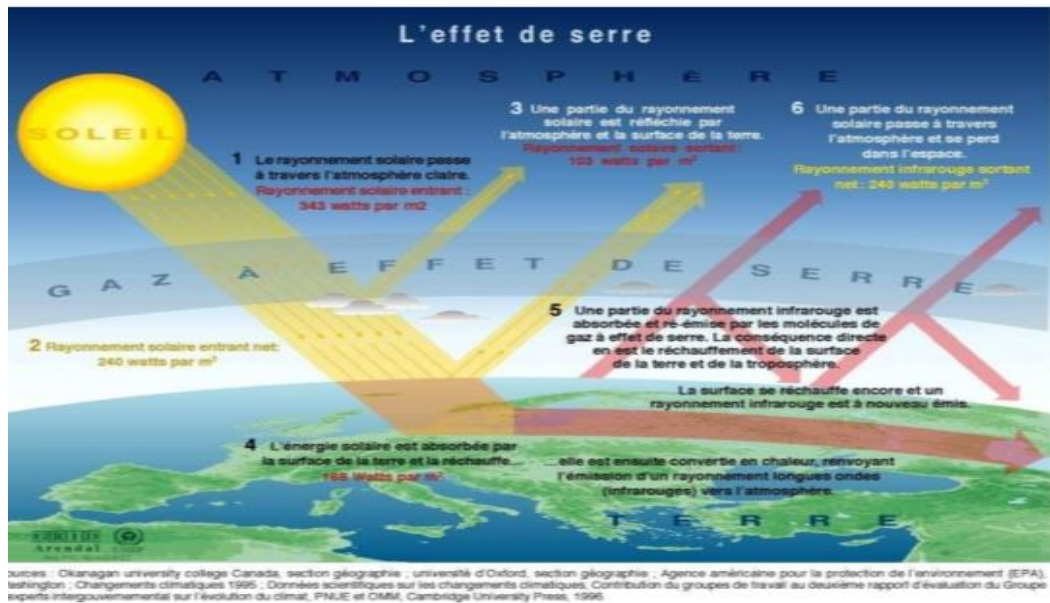


Figure 07 : Processus d'effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux de l'atmosphère, d'origine naturelle ou humaine, qui absorbent et émettent un rayonnement infrarouge thermique émis par la surface de la Terre, l'atmosphère et les nuages. Les principaux GES présents dans l'atmosphère terrestre sont (tableau 2) :

- **La vapeur d'eau (H₂O)** : Le GES le plus abondant, jouant un rôle majeur dans le cycle de l'eau et l'effet de serre.
- **Le dioxyde de carbone (CO₂)** : Un GES puissant, dont la concentration a fortement augmenté depuis la révolution industrielle, principalement due à la combustion de combustibles fossiles.
- **L'oxyde nitreux (N₂O)** : Un GES puissant, émis par les activités agricoles et industrielles.
- **Le méthane (CH₄)** : Un GES puissant, émis par l'agriculture, l'exploitation des énergies fossiles et les décharges.

- *L'ozone (O3)*: Un GES présent naturellement dans la stratosphère, mais dont les concentrations augmentent dans la troposphère, principalement due à la pollution atmosphérique (UNESCO, 2007).

Tableau 2 : Les gaz contribuant au renforcement de l'effet de serre

Gaz	CO2	CH4	N2O	CFC + HFC + SF4*
Contribution en %	69,6	12,4	12,4	2,2

(Source : Fenni et Machane. 2010)

L'agriculture est un contributeur majeur aux émissions de gaz à effet de serre (GES), notamment le protoxyde d'azote (N2O) et le méthane (CH4). Elle est responsable de 75% des émissions de N2O, principalement dues à la transformation des produits azotés dans le sol lors de la fertilisation et de la gestion des cultures. De même, elle est à l'origine de 50% des émissions de CH4, liées aux phénomènes anaérobies de la fermentation des matières végétales dans les rizières et au transit digestif des ruminants. L'augmentation de ces émissions est due à la croissance démographique, qui accroît la demande mondiale en nourriture, et au développement de l'agriculture, marqué par l'utilisation accrue d'engrais azotés, l'expansion des terres agricoles et l'élevage intensif. Il est donc crucial de mettre en place des pratiques agricoles durables pour réduire l'impact de l'agriculture sur le climat, en favorisant des systèmes de production plus efficaces et moins émetteurs de GES (Fenni et Machane, 2010).

II.2.4. Les changements climatiques observés :

L'Algérie, comme les autres pays du bassin méditerranéen, est confrontée à une intensification des événements climatiques extrêmes, caractérisés par une modification du régime pluviométrique et un déplacement des saisons (APS, 2024).

Le changement climatique dans la région méditerranéenne se traduit par une augmentation des températures, une fréquence accrue de stress thermique et hydrique (sécheresse), et une diminution des événements froids (Chourghal et al., 2018).

L'augmentation des températures et de la vapeur d'eau atmosphérique a entraîné des modifications du système hydrologique mondial, avec une évolution des régimes de précipitations. Il est probable que les régions connaissant des précipitations abondantes se soient étendues, tandis que celles recevant des pluies abondantes se sont réduites (GIEC, 2013).

Le climat de l'Algérie est déjà très variable et la sécheresse est l'une de ses manifestations les plus préoccupantes (**Medejerab, Henia, 2011**).

La période quinquennale 2015-2019 est susceptible d'être la plus chaude jamais enregistrée, avec une augmentation de la température globale de +1,1°C depuis la période préindustrielle et de +0,2°C par rapport à la période 2011-2015 (**OMM, 2019**).

II.3. Modélisation des changements climatiques :

II. 3. 1. Définition de modèle climatique :

Les modèles climatiques sont des outils essentiels pour interpréter les observations climatiques passées et estimer les évolutions futures du climat. Ils intègrent les interactions complexes entre les différentes composantes du système climatique, telles que l'atmosphère, l'océan, la surface terrestre et la glace marine, à travers des équations mathématiques. Ces modèles permettent de simuler les réponses du système climatique aux variations naturelles et anthropiques. Il existe deux types de modèles climatiques:

- **Modèles globaux (GCM)** : Ils analysent le climat à l'échelle mondiale, en simulant les interactions entre les différentes composantes du système climatique sur toute la planète.

- **Modèles régionaux (RCM)** : Ils analysent le climat à l'échelle régionale, en fournissant des informations plus détaillées sur les variations climatiques dans des zones spécifiques (Chourghal, 2016).

Les scénarios SRES (Spécial Report on Emissions Scenarios), développés par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) en 2000, décrivent différentes trajectoires possibles pour les émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'avenir. Ces scénarios sont regroupés en quatre familles (A1, A2, B1 et B2), qui explorent différentes voies de développement en fonction de facteurs démographiques, économiques et technologiques. Les scénarios SRES ne prennent en compte que les politiques climatiques actuelles et ne considèrent pas les actions futures pour atténuer le changement climatique.

II.3.2. Prévision de changement climatique observé en future :

Le rapport du GIEC de 2014 met en lumière les impacts potentiels du changement climatique à l'échelle mondiale. Parmi les événements attendus, on retrouve une hausse du niveau de la mer de 26 à 82 cm en 2100, due à la fonte des glaciers, du Groenland, de l'Antarctique et de la banquise arctique. Cette fonte entraîne l'inondation de zones côtières, notamment des deltas où vivent des centaines de millions de personnes. La couverture neigeuse a également diminué.

Les études montrent que le réchauffement climatique sera plus important dans les régions sud du continent que dans le nord, notamment en Afrique du Nord. Le modèle dynamique régional REMO prévoit une augmentation de la température de l'ordre de 2 à 3 °C vers 2050 avec le scénario A1B. D'autres modèles prévoient un réchauffement encore plus important, atteignant 6 °C à la fin du 21ème siècle dans la zone ouest de l'Afrique du Nord (Chourghal et *al.*, 2018).

Les modèles de circulation générale convergent pour estimer un réchauffement probable de la région méditerranéenne de l'ordre de 2°C à 4°C au cours du 21ème siècle. L'Algérie, située dans une zone aride et semi-aride, est particulièrement vulnérable au changement climatique. Les périodes de sécheresse chroniques sont accentuées par les conditions physiques et hydro climatiques défavorables. Les hauts plateaux et la steppe, couvrant 60% des terres viables du Nord, sont particulièrement sensibles aux variations climatiques (Nichane, Khalil, 2015).

Les travaux de Giorgi et Lionello (2008) synthétisent les résultats des simulations climatiques pour la région méditerranéenne, fournissant des informations cruciales pour l'Algérie (tableau 03) (Senouci, 2010)

Tableau 03 ; Projections climatiques pour la pluviométrie en Algérie à l'horizon 2071-2100 sous trois scénarios du GIEC (Adapté de Giorgi et Lionello (2008))

Saison	Scénario A1B	Scénario B1	Scénario A2
Hiver (DJF [*])	-20 à -30% Ouest et Centre de l'Algérie -10 à -20% Est de l'Algérie	-10 à -20%	-20 à -30%
Printemps (MAM [*])	-30 à -40% Ouest de l'Algérie -20 à -30% Centre de l'Algérie	-20 à -30% Ouest de l'Algérie -10 à -20% Est et Centre de l'Algérie	-30 à -40% (supérieure à -40% sur l'Ouest algérien)
Été (JJA [*])	-30 à -40% Ouest et Est de l'Algérie -20 à -30% Centre de l'Algérie	-10 à -20% Ouest et Est de l'Algérie 0 à -10% Centre de l'Algérie	-30 à -40%
Automne (SON [*])	-10 à -20% Algérie du Nord	-10 à -20% Algérie du Nord	-20 à -30%

DJF : décembre, janvier, février ; MAM : mars, avril, mai ; JJA : juin, juillet, août ; SON : septembre, octobre, novembre

Le respect de l'objectif de limiter le réchauffement climatique à 1.5°C, tel que défini par l'Accord de Paris, exige des actions immédiates et ambitieuses. Le GIEC, dans son rapport de 2023, souligne la nécessité d'un pic des émissions de CO₂ au plus tard en 2025, suivi d'une décroissance rapide pour atteindre la neutralité carbone en 2050 (figure 8).

La neutralité carbone signifie atteindre un équilibre entre les émissions de CO₂ et leur absorption, par exemple par les forêts. Après 2050, il sera nécessaire d'atteindre des émissions négatives, c'est-à-dire d'absorber plus de CO₂ que nous n'en émettons. Cela permettra de compenser les émissions de CO₂ difficiles à abattre dans certains secteurs, comme l'aviation. Ce défi est complexe et nécessite des efforts concertés de la part de tous les pays et de tous les secteurs. Il est crucial de mettre en place des politiques ambitieuses pour réduire les émissions de CO₂, développer des technologies innovantes pour capturer et stocker le carbone, et promouvoir des modes de vie plus durables (GIEC, 2023).

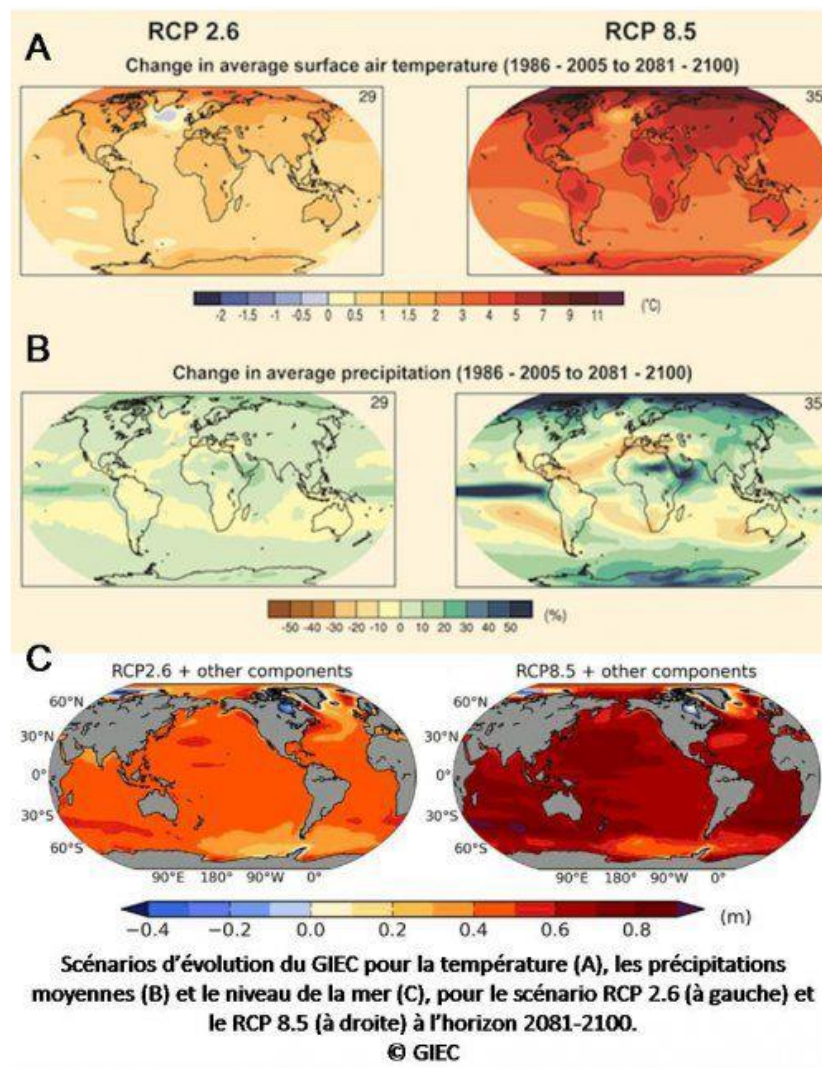


Figure 8 : Scénarios d'évolution du GIEC pour la température, les précipitations et le niveau de la mer à l'horizon 2100.

II.3.2.1. Évolution de température :

L'Algérie connaît un réchauffement climatique tangible, avec une augmentation des températures dans toutes les saisons, comme le montrent les données de Bakhtache et Hadjene (2023).

En hiver, décembre a connu une augmentation de 2°C entre 2010 et 2022, passant de 15°C à 18°C, tandis que janvier et février ont connu une augmentation relativement stable, mais considérablement élevée pour la saison.

Au printemps, mars a connu une augmentation de 4°C entre 2010 et 2022, passant de 20°C à 24°C, ce qui accélère l'évaporation des eaux des barrages déjà faiblement remplis à cette période.

En été, les températures ont augmenté de 4°C en juin, 2°C en juillet et 3°C en août entre 2010 et 2022.

En automne, septembre a connu une augmentation de 4°C, octobre une stagnation et novembre une augmentation de 3°C entre 2010 et 2022, passant de 15°C à 18°C (Bakhtache et Hadjene, 2023).

II. 3.2.2. Evolution de précipitation :

L'Algérie est confrontée à une sécheresse croissante, avec une baisse significative des précipitations dans toutes les saisons, comme le montrent les données de Bakhtache et Hadjene (2023). En hiver, les précipitations ont chuté de manière drastique, passant de 62 mm en décembre 2010 à 30 mm en 2021, et de 93 mm en janvier 2010 à 31 mm en 2022. La tendance est similaire pour février.

Au printemps, les précipitations ont également baissé, passant de 93 mm en 2010 à 30-31 mm en 2022, malgré quelques records à 124 mm en mars 2016 et 2018. En été, les précipitations restent faibles et stables sur la décennie observée. En automne, les précipitations saisonnières ont baissé de 93 mm en 2010 à 30 mm en 2022.

Cette tendance à la baisse des précipitations, observée sur plus de 10 ans, est un signal alarmant pour l'Algérie, accentuant la sécheresse et menaçant les ressources en eau, l'agriculture et la biodiversité. Il est crucial de mettre en place des stratégies d'adaptation et de gestion des ressources en eau pour faire face à cette situation et minimiser les impacts négatifs sur l'environnement et les populations (Bakhtache et Hadjene, 2023)

**Chapitre III : Modélisation des cultures
et impact du changement climatique sur la
culture des céréales**

III.1. Impact du changement climatique sur les céréales :

La production de céréales en Algérie reste soumise à différentes conditions climatiques (**Chabane, et al ,2012**). Le changement climatique aura donc un impact sur la composante biotechnique de la production. L'accroissement de la teneur en gaz carbonique et autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère, l'élévation de la température, la modification des régimes pluviométriques. L'ensemble des facteurs bioclimatiques qui régissent le fonctionnement des écosystèmes agricoles seront amenés à se modifier, ce dernier sera traduit par une instabilité de la production végétale au niveau du système de culture (**GIEC/IPCC, 2007**).

III.1.1. Impact de changement de température sur les céréales :

Il est prévu une augmentation de la température moyenne du globe et celle des régimes régionaux résultant de l'augmentation des concentrations atmosphériques des GES, ce qui aura des conséquences importantes sur le rendement des cultures (Kourat, 2021). Pour chaque augmentation de 1°C de la température, la production mondiale de blé diminue de 6% (Bouras ,2021).

Le réchauffement modifiera significativement les conditions de croissance des cultures (Pascal, 2020), et aura des impacts importants sur le développement et la production des grandes cultures (Kourat, 2021).

Pour toutes les espèces la température est le principal moteur de la vitesse du développement (Gate et Brisson, 2010). Les excès de température pendant la phase de croissance de l'épi se traduisent par des diminutions de rendements (Gate et al. 1997).

L'augmentation des températures induit un raccourcissement de la période végétative du blé dur de 16,1 jours et un allongement de la période reproductive de 8,2 jours (**Chourghal et Hartani ,2020**)

L'augmentation de température accélère la maturation et la sénescence des feuilles, ce qui réduit la durée de la photosynthèse. (**Bouras .2021**)

À l'opposé, les variétés ayant des besoins en vernalisation ou en longueur de jour élevés ont une croissance végétative importante qui ne s'exprime totalement que plus tardivement lorsque leurs besoins en froid et photopériodique sont satisfaits. Ces variétés sont en général, assez tardives, ce qui leur permet d'esquiver les périodes de gel tardif ; en revanche, elles subissent les effets de la sécheresse et des hautes températures de fin de cycle (Abidi 2009)

La température optimale pour la photosynthèse varie selon les cultures, 25 °C pour le blé, 20- 37°C pour le riz ,32°C pour le maïs et 34°C pour le. La température élevée perturbe la capacité de la plante à faire la photosynthèse (**Seguim, Stengel, 2002**). La photosynthèse chez les plantes C3 est plus sensible aux températures plus élevées par rapport aux cultures C4 (Lipiec et al., 2013).

L'augmentation de température réduit la productivité des cultures bénéfiques tout en favorisant la propagation des mauvaises herbes et des ravageurs (**Seguin, 2010**).

III.1.2 Impact de sécheresse :

Le déficit hydrique aura un impact direct sur la réduction des rendements de premier produit de base du model alimentaire du pays (céréale) (Lakhedari. Atman, 2009). Le stress hydrique influe considérablement sur la production des différentes cultures (blé, maïs). (**Debaeke et *all.*, 1996**).

Les études en agriculture attribuent souvent une production céréalière insuffisante aux précipitations (**Zaoui et Bensaid, 2007**). La pluie est le facteur déterminant les rendements, Les besoins en eau des céréales sont compris entre 450 et 650 mm par an (Baldi,1974), le blé nécessite entre 400 et 600 mm d'eau de pluie par an (Messadi 2009).

L'irrégularité et la faiblesse des précipitations des zones arides et semi-arides affectent profondément le cycle de développement de la céréale et l'exposent aux stress hydrique et thermique (Chennafi et *al.*, 2005). La sécheresse au début de cycle végétatif et qui affecte l'installation de la culture et dans le milieu de cycle végétatif et qui affecte principalement la fertilité des organes reproducteurs de plante, et a la fin de cycle végétatif qui affecte la formation et le remplissage du grain (Alismail , 2007)

La variabilité des précipitations et le risque de sécheresse correspondant sont élevés en automne, au moment de la germination. Si les pluies d'automne sont insuffisantes, l'effet premier et le plus important se fait sentir sur la superficie ensemencée, car les semis peuvent être annulés. (Laitiri et *al.*, 2010) . Le déficit hydrique de montaison réduit le nombre d'épis / m² et le nombre de grains /épi et affect d'une indirecte le poids de mile grains (Kolai 2008) . Un stress hydrique affecte la plante varie en croissance importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre des feuilles voire de la surface foliaire et des racines (Attia, 2007).

Différents auteurs, ont noté une diminution significative de la photosynthèse en cas de Sécheresse (Nouri, 2011),la diminution de la teneur d'eau et potentiel hydrique foliaire, est due essentiellement á diminution de pénétration du CO₂, limitée par une fermeture des stomates (Plaut et Federman, 1991).

III.1.3. Impact de changement de concentration en CO₂ dans l'atmosphère sur les cultures :

L'une des manifestations les plus marquantes du changement climatique est l'élévation du taux de CO₂ dans l'air, qui est passé approximativement de 280 ppm à 379 ppm durant le dernier siècle et qui est censé atteindre 570 ppm en 2050 (IPCC, 2007). Des expériences expérimentales ont démontré qu'une augmentation du CO₂ de 350-380 à 680-700 ppm augmentait le taux net de photosynthèse de 30-50%, entraînant une augmentation de 15-30% de la production totale de matière sèche et du rendement en grains du blé (Bouras , 2021).

Le type de métabolisme carboné, la température et la disponibilité en eau interfèrent ainsi avec l'accroissement de la photosynthèse consécutif à une augmentation de la teneur en carbone. Par exemple, alors que les plantes en C₃ comme le riz, blé...etc. majoritaires dans les zones tempérées, répondent fortement à une augmentation de la teneur en carbone atmosphérique dans la gamme de concentrations considérée, la réponse des plantes en C₄ comme le maïs , le sorgho exemple à un enrichissement de l'atmosphère est très faible au-delà de 400 ppm, proche de la teneur actuelle de l'atmosphère (Bouakel et Berkani .2017). Cependant, une concentration élevée de CO₂ (supérieure à 640 ppm) pourrait compenser les effets négatifs d'une augmentation de température de 2°C et d'une diminution de précipitations de 20% (Feliachi, 2000).

L'élévation du taux de CO₂ (700 ppm) accélère le taux d'élongation de la tige et le développement du limbe chez le blé dur (Seneweeraet et Conroy, 2005).

III.2 La modélisation de l'impact de Changement Climatique futur sur culture des céréales:

III.2.1. Modélisation de culture :

La modélisation de la croissance des cultures a connu une évolution significative depuis les années 1960, grâce aux progrès de la technologie informatique qui permettent de simuler de manière plus précise les processus physiologiques des plantes et le développement des cultures (Bouras, 2021).

Ces modèles s'appuient sur des données d'entrée telles que les conditions climatiques journalières et les techniques agricoles, et produisent des résultats tels que le rendement des récoltes et l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Affholder, 2001).

On distingue deux types de modèles : les modèles mécanistes, qui détaillent chaque processus physique ou physiologique de la plante, et les modèles empiriques, qui simplifient

les relations entre les variables d'état en utilisant des régressions linéaires (Mostefaoui, 2011). La modélisation de la croissance des cultures est donc un outil précieux pour comprendre et prédire le comportement des cultures en fonction de différents facteurs, permettant ainsi d'optimiser les pratiques agricoles et de s'adapter aux défis du changement climatique.

III.2.2. Prévision du rendement en future :

L'étude de Chourghal et al. (2015) utilisant le scénario A1B SRES pour la période 2071-2100 suggère que les rendements de blé à Alger pourraient décliner en raison de la diminution des précipitations annuelles. Cependant, dans d'autres régions comme BBA, une augmentation des précipitations automnales pourrait favoriser les semis précoces et maintenir les rendements stables. Cette étude souligne l'importance de considérer les variations régionales dans les projections des impacts du changement climatique sur l'agriculture, car les effets peuvent différer même à l'intérieur d'un même pays.

Des simulations avec le modèle AquaCrop prévoient des rendements de blé dur de 28,4 q/ha à Sétif et 23,3 q/ha à BBA. Selon les prédictions du modèle, une augmentation des rendements est anticipée sous différents scénarios futurs de changement climatique, allant jusqu'à +188 % à Sétif et +135 % à BBA. Globalement, les rendements projetés sous le scénario RCP 8.5 sont meilleurs que ceux sous RCP 4.5, sauf pour la période 2035-2064 à Sétif. Cette amélioration des rendements futurs est attribuée à l'effet fertilisant de l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂. En effet, les niveaux de CO₂ devraient augmenter de façon significative dans les scénarios futurs, favorisant ainsi la croissance des cultures. Il est important de noter que les rendements projetés peuvent varier selon les régions et les périodes. Par exemple, à BBA, les rendements prévus pour la période 2035-2064 sont meilleurs que pour la période 2065-2094 sous RCP 4.5 (Kourat, 2021).

Bouregaa (2016) souligne que les baisses moyennes du rendement du blé d'hiver varient considérablement en fonction du type de sol, avec des pourcentages de 25,18%, 12,22%, et 53,48% pour les sols lourds, moyens, et légers respectivement. En revanche, les baisses de rendement pour l'orge sont beaucoup plus faibles, avec des pourcentages de 2,98%, 0,1%, et 24,72% pour les trois types de sols respectivement.

Benacihata (2016) a effectué une simulation selon deux scénarios climatiques (A2 et B1) pour trois périodes différentes centrées autour de 2030, 2060 et 2090. Les résultats

montrent que, quel que soit le scénario choisi, l'ouest et le centre de l'Algérie auront des rendements faibles, diminuant avec le temps. En revanche, l'est présente des rendements relativement meilleurs que le centre et l'ouest pour les deux scénarios. Le scénario A2 donne de meilleurs rendements que le scénario B1 pour l'est, mais ces rendements diminuent entre 2020 et 2100. L'analyse du nombre de jours chauds ou froids selon le modèle STICS révèle que pour toutes les régions, le nombre de jours chauds ou froids est élevé si le scénario A2 est adopté, alors qu'il est relativement plus faible avec le scénario B1.

Une étude de Chebil et al. (2011) utilisant le modèle HadCM3 prédit un impact négatif sur le secteur céréalier de la région de Béja à l'horizon 2030, avec des pertes de rendement estimées à 2,04% pour le blé dur, 9,62% pour le blé tendre et 6,78% pour l'orge. Pour contrer ces effets négatifs, il est crucial de mettre en place des mesures d'adaptation. Parmi celles-ci, la promotion de la recherche pour identifier de nouvelles pratiques agricoles adaptées au changement climatique est essentielle. La diffusion de variétés de céréales tolérantes au stress hydrique, en particulier pour le blé tendre, pendant les périodes critiques de croissance est également recommandée. L'adoption de variétés à maturation précoce peut également contribuer à atténuer les effets de l'augmentation de la température et des précipitations au cours des mois de mars-avril sur le rendement des cultures céréalières.

Selon Murray-Tortarolo et al. (2018), le Mexique devrait connaître une diminution des précipitations à l'avenir, ce qui entraînera une baisse correspondante des rendements de maïs. Ces impacts ne seront pas uniformément répartis, avec des conséquences plus marquées dans le Nord-Est et le Sud du pays. Les auteurs prédisent une stagnation ou une diminution des rendements jusqu'à -10% dans les scénarios futurs, avec des chutes pouvant atteindre -30% dans le Nord-Est et le Sud sous tous les scénarios RCP.

L'étude de Luhunga (2017) utilisant le modèle DSSAT a simulé les rendements futurs du maïs dans une région de Tanzanie. Les résultats prévoient une diminution des rendements sous les scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5, avec des baisses respectives de -3,1% et -5,3%. Pour la période 2070-2099, une baisse encore plus importante est prévue, en particulier sous le scénario RCP 8.5, avec une estimation de -9,6% par rapport à la période de référence 1971-2000. Cette baisse est principalement attribuée à l'augmentation des températures, qui entraîne un raccourcissement de la durée de croissance du maïs.

III.2.3. Prévisions sur le développement de culture :

- 1) **Date de semis :** Selon Chourghal (2016), le changement climatique aura un impact significatif sur le développement du blé dur à Bordj Bou Arreridj, notamment sur les dates de semis et de récolte. Le semis dynamique dans le climat futur avancera considérablement, passant du 26 novembre au 20 octobre, soit un avancement de 37 jours. La date de récolte sera également avancée, passant du 28 juin au 7 mai, soit un gain de 52 jours.

Ces changements raccourciront le cycle de croissance du blé dur de 15 jours, passant de 214 à 199 jours. La phase végétative sera également raccourcie de 57 jours, passant de 107 à 50 jours, principalement au début de la phase. Ce raccourcissement est attribué au déplacement saisonnier et au réchauffement climatique, qui déplacent la phase végétative vers l'automne et l'accélèrent. En revanche, la phase reproductive sera plus longue de 41 jours dans le scénario futur (149 jours contre 108 jours). L'augmentation des températures saisonnières ne suffira pas à compenser le déplacement de cette phase vers une période plus fraîche de l'année, nécessitant un allongement pour compléter l'accumulation de la somme de températures requise.

- 2) Date de récolte :

L'étude de Chourghal (2016) montre que la date de récolte du blé dur avance considérablement sous l'effet du changement climatique. À Alger, la date moyenne de récolte avance de 58 jours, passant du 24 mai au 27 mars. À Bordj Bou Arreridj, l'avancement est de 52 jours, passant du 28 juin au 7 mai.

Dans le cas du semis prescrit, la date de semis (1er novembre) reste inchangée entre la situation actuelle et le scénario futur. Cependant, la récolte a lieu le 17 mai au lieu du 17 juin, raccourcissant le cycle de croissance moyen du blé dur de 31 jours, passant de 228 à 197 jours. La phase végétative se termine également 31 jours plus tôt dans le climat futur par rapport à la situation actuelle.

-3) Durée de cycle :

L'étude a observé une diminution prévue de la durée de la période de développement à la floraison du cultivar de blé "Mexicali" dans les scénarios S1, S2 et S4 à Sétif et BBA. Cette réduction est attribuée à l'augmentation projetée de la température cumulée, ce qui accélère le

développement du cultivar. Ce constat est cohérent avec les recherches de Bouras et al. (2019) au Maroc et de Saadi et al. (2015) pour la région méditerranéenne.

Cependant, le scénario S3 à Sétif montre un prolongement de la période de développement de 10 jours, attribué à une diminution de la température cumulée de $-0,6$ °C et à une augmentation des précipitations cumulées de $+65,6$ mm.

Malgré le raccourcissement de la période de développement, le rendement du blé dur pourrait potentiellement augmenter dans tous les scénarios futurs. Tao et Zhang (2013) et Liu et al. (2013) expliquent que ce raccourcissement est principalement dû à une réduction de la durée de la phase végétative, tandis que la phase de reproduction reste inchangée, limitant ainsi les pertes de rendement. Zheng et al. (2020) recommandent l'utilisation de cultivars de blé à floraison précoce pour atténuer les risques de pertes de rendement liés aux températures élevées à la fin du printemps.

Selon Mostefoui (2011), les simulations du modèle montrent que le changement climatique entraînerait une avancée de tous les stades phénologiques du blé, suivie d'un raccourcissement du cycle de 19,6% par rapport aux dates observées lors de la saison 2006/2007.

Les changements dans les stades phénologiques, en particulier dans les phases végétatives comme la levée et la floraison, seront principalement affectés par l'avancement et le raccourcissement. Les températures plus élevées dans un environnement enrichi en CO₂ accéléreront la croissance et la production de la biomasse végétative, mais raccourciront les phases de reproduction. Ce raccourcissement pourrait être attribué aux conditions climatiques, notamment les températures et les précipitations, qui influencent la floraison et la maturation des grains.

III.2.4. Prévisions sur les besoins des cultures :

1) *Besoins d'eau :*

L'étude de Bouregaa (2016) révèle des variations inégales dans les moyennes mensuelles de l'évapotranspiration au cours de l'année, avec un coefficient de variation de 61,75%. Les valeurs augmentent progressivement à partir de janvier pour atteindre leur maximum en juillet (235 mm/mois).

L'analyse des besoins en eau du blé d'hiver et de l'orge met en évidence une variation, avec des besoins augmentant progressivement à partir des mois d'automne jusqu'au mois de juin, et une baisse remarquable pendant les mois d'hiver.

Les plus forts besoins en eau d'irrigation (488,2 mm) sont projetés par le modèle BCCRBCM2, en 2075, sous le scénario B2. Les plus faibles besoins (383,1 mm) sont prédits par le modèle GFDLCM21 en 2025, sous le scénario A2. L'étude souligne également une augmentation significative de la consommation en eau en fonction des stades phénologiques.

2) *Bilan Azotique et carboné :*

Le développement de la culture suit un schéma traditionnel, guidé par le bilan de carbone, qui consiste en l'absorption du rayonnement solaire par le feuillage, sa conversion en biomasse aérienne, puis son orientation vers les organes de récolte lors de la phase finale du cycle. En parallèle, le bilan azoté de la culture est également pris en compte, influencé en partie par le bilan de carbone. Selon le type de plante, le processus de croissance est régulé soit par un indice thermique (en degrés-jours), soit par un indice photo thermique ou vernalo-photothermique (Benacihata 2016).

L'augmentation du CO₂ favorise la fixation photosynthétique, mais une accumulation excessive de glucides peut inhiber la photosynthèse, signalant une adaptation insuffisante des plantes à l'enrichissement en CO₂. La production accrue de CO₂ par le sol peut être due à la séquestration du gaz carbonique par les sols agricoles. Le rapport C/N diminue généralement dans les deux scénarios, indiquant un excès d'azote disponible, possiblement causé par une fertilisation excessive ou des problèmes de translocation d'azote. Cette diminution peut être favorisée par l'accumulation de biomasse des cultures due à l'augmentation du CO₂ atmosphérique. En conséquence, la disponibilité en azote minéral n'est pas limitant, ce qui pourrait entraîner une meilleure minéralisation et donc un rendement accru (**Mostefoui, 2011**).

III.3.5. Méthodes d'Adaptation des cultures de céréales aux changements climatiques :

Pour faire face au changement climatique, les agriculteurs expérimentent des stratégies d'adaptation telles que la précocité du semis, l'utilisation de variétés précoces et la fertilisation (Chourghal et Hartani, 2020). Des techniques innovantes pour une meilleure gestion de l'eau, l'utilisation de variétés résistantes à la sécheresse, l'optimisation des périodes de semis et la mise en place d'irrigations complémentaires dans les zones appropriées sont également mises en œuvre.

De plus, une analyse intégrée combinant des modèles agronomiques et bioéconomiques est suggérée pour mieux représenter la complexité du système à différentes échelles. L'utilisation de modèles adaptés permet de prendre en compte cette diversité d'échelles et de disciplines, en tenant compte notamment des perspectives liées au changement climatique (Bouregaa, 2016).

1). Adaptation de culture au changement climatique futur par le choix d'une date de semis :

Une stratégie de semis dynamique, basée sur une date variable en fonction des conditions climatiques, semble être avantageuse dans le climat futur. Cette approche permet de profiter des augmentations de précipitations en début de saison et offre des possibilités de semis précoce, décalant la date de récolte vers le début du printemps. Le semis précoce permet d'éviter les périodes de stress hydrique et thermique qui surviennent vers la fin du cycle de culture, réduisant ainsi l'impact du changement climatique.

Dans les hautes plaines algériennes, où la culture céréalière dépend des précipitations, les pratiques de semis sont ancestrales et commencent dès l'apparition des premières pluies, pendant les périodes traditionnelles allant du 10 novembre au 15 décembre pour les variétés précoces, et entre le 25 octobre et le 30 novembre pour les variétés tardives (Chourghal et Hartani, 2020).

Les résultats de l'étude suggèrent que le semis précoce du blé durant le mois d'octobre pourrait être une mesure efficace pour adapter la culture au changement climatique prédit dans les régions étudiées. Cette stratégie permettrait de déplacer le stade de germination vers une période plus pluvieuse, évitant ainsi une baisse significative des précipitations attendue en

novembre. En outre, elle pourrait aider à échapper au stress thermique lors de la floraison au printemps, ce qui serait bénéfique pour le rendement en grains.

Les résultats confirment également que le rendement du blé dur dépend des changements des précipitations pendant le développement végétatif et de la température lors de la floraison. Des précipitations abondantes pendant la phase végétative favorisent un bon établissement des plants de blé, tandis qu'une température élevée lors de la floraison peut réduire le rendement en grains. La sélection de cultivars à floraison précoce peut être une stratégie utile pour atténuer les effets du stress thermique et hydrique pendant la formation des grains (Kourat, 2021).

2). *Les techniques culturales :*

Le semis direct est un système de conservation des sols et des cultures, où la semence est placée directement dans le sol sans aucun travail du sol (Fenni et Machane, 2010).

Selon Oussible et Bourarach (1998), le travail minimum et le zéro travail sont fortement recommandés pour la conservation de l'eau dans les zones arides et semi-arides. En éliminant les interventions de travail du sol, on peut améliorer le rendement de l'ordre de 34 qx/ha durant les dernières périodes du scénario A2 et de 33 qx/ha dans le scénario B2.

Le passage au semis direct présente plusieurs avantages significatifs en termes de conservation des sols et d'amélioration de leur fertilité. Il réduit la décomposition de la matière organique, favorisant ainsi une augmentation de la biomasse microbienne dans les couches de sol déjà travaillées. Cette augmentation de la vie microbienne entraîne des améliorations biologiques et biochimiques qui favorisent une meilleure agrégation du sol, le rendant ainsi plus résistant à l'érosion hydrique. De plus, le semis direct favorise l'enrichissement du sol en éléments nutritifs essentiels tels que l'azote et le phosphore, ce qui contribue à améliorer sa fertilité (Fenni et Machane, 2010).

3). *La fertilisation et l'irrigation :*

L'étude de Mostefaoui (2011) met en évidence l'importance de la fertilisation azotée pour le rendement futur du blé. L'azote joue un rôle crucial, en particulier lors des deux premières phases de développement, comparativement au groupe témoin. Sans apport d'azote, le rendement moyen atteindrait seulement 20 qx/ha, par rapport aux 25 qx/ha du groupe témoin. Pour les deux dernières phases, bien que l'effet soit moindre, le manque d'azote

Chapitre III: Modélisation des cultures et impact du changement climatique sur la culture des céréales

montre une légère différence par rapport au témoin, pouvant être compensé par le CO₂ atmosphérique.

Concernant l'irrigation, son impact semble moins significatif que celui de la fertilisation. Éliminer l'irrigation au stade de levée pourrait légèrement améliorer le rendement tout au long des phases de chaque scénario, indiquant que les précipitations pourraient suffire aux besoins de la culture, avec un stress hydrique.

Conclusion

Conclusion

La production de céréales en Algérie est un pilier de l'économie nationale et la principale source alimentaire du pays. Malgré une superficie agricole importante dédiée aux céréales, le rendement reste fluctuant et l'Algérie n'a pas encore atteint l'autosuffisance. La dépendance aux importations est forte, faisant de l'Algérie un des plus grands importateurs mondiaux de céréales.

Cette étude analyse l'impact du changement climatique sur la céréaliculture en Algérie, un pays déjà confronté à des conditions arides et semi-arides et à un stress hydrique. L'augmentation des températures, les variations saisonnières imprévisibles et l'intensification des sécheresses perturbent le cycle agricole, affectant les précipitations et l'accès à l'eau.

Le changement climatique a un impact majeur sur la production de céréales, qui dépend fortement des précipitations. Les variations de température et les changements dans les schémas de précipitations peuvent entraîner une maturation précoce des cultures, mais avec une qualité et une taille réduites. La sécheresse ou des précipitations excessives peuvent endommager les cultures et réduire les rendements. De plus, le changement climatique favorise la propagation de ravageurs et de maladies, menaçant la production céréalière.

La modélisation de la croissance des cultures et l'évaluation de l'impact du changement climatique sur l'agriculture sont essentielles pour anticiper les défis futurs et développer des stratégies d'adaptation. Ces modèles simulent l'impact des conditions environnementales et des pratiques agricoles sur les rendements des cultures.

Les études de simulation sur l'impact du changement climatique sur les cultures céréalières montrent des variations régionales significatives dans les rendements futurs. L'effet fertilisant du CO₂ accru pourrait augmenter les rendements de blé dur dans certaines régions, mais cette augmentation n'est pas uniforme. Les simulations prévoient des rendements relativement meilleurs dans l'est du pays, par exemple une augmentation de +188% à Sétif sous certains scénarios. En revanche, les simulations pour l'ouest et le centre de l'Algérie montrent une diminution des rendements avec le temps.

Le changement climatique affectera principalement les phases végétatives, telles que la levée et la floraison, entraînant un développement plus rapide mais une période de reproduction plus courte. Dans le climat futur, le réchauffement climatique en Algérie avancera les dates de récolte et raccourcira les cycles de culture.

Conclusion

Pour adapter la culture de céréales aux changements climatiques futurs, il est crucial de développer des variétés résistantes à la sécheresse et aux températures élevées. L'amélioration de la gestion de l'eau, en utilisant des techniques d'irrigation modernes et des systèmes économes en eau comme l'agriculture sans labour, est également essentielle. L'utilisation d'engrais organiques et l'amélioration de la fertilité des sols par la rotation des cultures et les cultures intercalaires sont des pratiques à encourager. Des recherches continues sur les impacts du changement climatique et la mise en place de plans à long terme pour s'adapter aux changements futurs sont nécessaires. Enfin, l'application de l'agriculture intelligente, en utilisant des technologies numériques comme la télédétection et les systèmes d'information géographique, permettra de maximiser la résilience des cultures céréalières et de garantir la sécurité alimentaire en Algérie.

Pour faire face aux défis agricoles posés par les changements climatiques, nous conseillons le développement d'un modèle de culture adapté aux conditions spécifiques de l'Algérie. La création de start-ups spécialisées dans l'agriculture intelligente, avec le soutien d'experts en informatique et de climatologues, offre un potentiel prometteur. Ces entreprises pourraient développer des technologies innovantes et des modèles de prévision climatique adaptés au contexte algérien. La collaboration entre spécialistes permettrait de fournir des informations précises et accessibles aux agriculteurs, renforçant ainsi leur capacité à s'adapter aux conditions climatiques changeantes.

Référence bibliographique

Références bibliographiques

- **Ammar M .(2014)** . Organisation de la chaîne logistique dans la filière des céréales en Algérie Etat et lieux et perspectives, Master of sciences, p121
- **Anonyme. (2009)** . ITGC, céréaliculture, 52-1-1 . 18-19
- **Abidi L.(2009)** Mémoire de magister .Etude de l'interaction génotype - environnement sur les paramètres agronomiques de quelques variétés de blé dur (Triticum durum Desf.)
- **Alismail W. (2007)**. Influence de la densité de semis sur la production du blé dur dans la zone semi-aride du haut chlef, thèse de mastère université de khmis Miliana
- **Affholder F. (2001)** .Modélisation de culture et diagnostique agronomique régional. Mise au point d'une méthode et application au cas de maïs chez les petits producteurs du Brésil Central. Thèse doctorat .INA .Paris p.231-237
- **Attia F. (2007)**. Effet du stress hydrique sur le comportement écophysologique et la maturité phénologique de la vigne (Vitis vinifera L.) : Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées. Thèse INP, Toulouse (France). p194
- **Bekkis S., Benmhia A., Kasi A. (2022)**. Évaluation de la politique de régulation de prix des céréales en Algérie : Une étude analytique. Papier présenté au Colloque National sur la Financiarisation du Marché Mondial des Matières Premières : Quels Impacts sur les Prix des Produits de Consommation en Algérie. Université de Tizi Ouzou, Algérie. 17-18
- **Bakhtache R et Hadjene O. (2023)**. Les retombées du changement climatique sur les secteurs agricole et hydraulique en Algérie (2010/2022), Revue Cahiers Economiques ,14 – 01. 80-95
- **Baldi C. (1974)** .Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques, leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie, Versailles : INRA. Dép. bioclimatologie / ministère de l'Agriculture, p 152
- **Belaid D ,(1986)**. Aspect de la céréaliculture algérienne. Collection le cours d'agronomie office des publications universitaires. p207
- **Benacihata L. (2016)** Impact du changement climatique sur la production agricole en Algérie. Thèse de doctorat : Université Ibn Khaldoun – Tiaret
- **Bouakel M et Berkane I. (2017)**. Les effets Agro-Economiques du changement climatique en Algérie. <https://www.researchgate.net/publication/340256653>. 01. 36-52.

Références bibliographiques

- **Bouregaa T. (2016).** Impact des changements climatiques (précipitations et températures) sur la production agricole en zone semi - aride : cas de la région de Sétif. Thèse doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif 1 .Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie .311-346.
- **Bouras E., Jarlan L., Khabba S., Er-Raki S., Dezetter A., Sghir F et Trambly Y (2019)** Assessing the impact of global climate changes on irrigated wheat yields and water requirements in a semi-arid environment of Morocco. *Sci Rep-UK*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55251-2>
- **Bouras E , (2021).** Besoin en eau et rendements des céréales en Méditerranée du Sud : observation, prévision saisonnière et impact du changement climatique. *Hydrologie*. Université Paul Sabatier - Toulouse III ; Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc).
- **Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., F., Nicoulaud B., Gate P., Devienne-Baret F., Antonioletti R., Durr C., Richard G., Beaudoin ,N., Recous ,S., Tayot,X., Plenet ,D., Cellier, P., Machet J.M., Meynard J.M et Delecolle ,R.(1998).** STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen Balance. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18.311-346.
- **Chebil A., Mtimet N., et Tizaoui H., (2011).** Impact du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières dans la région de Béja (Tunisie). *AFJARE.*, 144-154. 46.
- **Chabane A., Boussard M et Jean (2012) .** La production céréalière en Algérie : Des réalités d’aujourd’hui aux perspectives stratégiques de demain - hal open science.
- **Chennafi, H., Bouzerzour, H . ; Aïdaoui A.and Saci A(2005)-** réponse du rendement en grains du blé dur (*triticum durum* desf.) cultivar waha a l’irrigation déficitaire sous climat semi-aride.
- **Chourghal N. (2016)** .Impact de changement climatique sur la culture de blé dur en Algérie. thèse de doctorat Ecole Nationale Supérieur Agronomique Alger
- **Chourghal N, Hartani T(2020) .**Quelle stratégie de semis du blé dur en Algérie pour s’adapter au changement climatique ? *Cahiers. Agriculture.* 29, 22
- **Chourghal N., Huhard F., Halfa H., Belhamra .M, (2018).** Le Climat récent observé et les changements climatiques futurs dans les régions de Bordj Bou Arreridj. *Courrier du Savoir* –26,585-592.
- **Chourghal N., Lhomme JP., Huard F et Aidaoui A. (2015).** Climate change in Algeria and its impact on durum wheat.*Regional Environmental Change*, 16(6), 1623–1634. doi:10.1007/s10113-015-0889-8 Benacihata L. (2016) Impact du changement climatique sur la production agricole en Algérie. Thèse de doctorat : Université Ibn Khaldoun – Tiaret

Références bibliographiques

- **Clergt ,(2011)**. Biodiversité des céréales origine et évolution, La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme ».
- **Djermoune A . (2009)**. La production céréalière en Algérie : Les principales caractéristiques, Revue nature et technologie, 1. 45 – 53
- **Debaeke P., Cabelguenne M., Casals ML et Puech J. (1996)**. Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. Epicphase-blé. Agronomie. 16: 25 - 46 p.
- **Douar A . (2018)** . Mémoire master Impact des variations climatique sur la production agricole (céréales) dans la région du Haut Cheliff de la région d'Ain Defla, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 1-18.
- **FAO. (2015)** . AQUASTAT Profil de Pays – Algérie .Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, Italie.
- **FAOSTAT .(2016)**. Bulletin sur l'offre et la demande de céréales
- **FAO, (2019)** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bulletin sur l'offre et la demande de céréales
- **FAO, (2021)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bulletin sur l'offre et la demande de céréales.
- **FAO. (2023)**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Bulletin sur l'offre et la demande de céréales
- **Fenni et Machane. (2010)**. Changement climatique agriculture conservation . Laboratoire de valorisation des ressources biologiques naturelles, Faculté des Sciences, Université Ferhat Abbas, Sétif 19000, A
- **Feliachi K . (2000)** Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. actes du premier symposium international sur la filière blé (2000)- Enjeux et stratégies Alger (Algérie), 7-9 février (2000), pp21-27.
- **Gimet C. (2007)**. Conditions necessary for the sustainability of an emerging area: The importance of banking and financial regional criteria. Journal of Multinational Financial Management, 317-335.
- **Geslin H et Jonard P. (1948)**. Maturation du blé et climat. Ann. Nutrit. et Alimentation, 2, 3-6, 111-121
- **GIEC , (2007)**. Changements climatiques 2007 Rapport de synthèse Résumé à l'intention des décideurs.

Références bibliographiques

- **GIEC. (2013).** Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp
- **GIEC,(2014).** Changements climatiques 2014 Rapport de synthèse Résumé à l'intention des décideurs. 33 pages.
- **GIEC, (2023) .** Rapport de synthèse sur les changements climatiques
- **Gate P., Vignier L., Vadon B., Souci D., Minkov D., Lafarga A., et Zairi M., (1997).** Céréales en milieu méditerranéen. Un modèle pour limiter les risques climatiques. Perspectives agricoles. 217 : 59-70.
- **Gate P et Brisson N (2010).**Anticipation des stades phénologiques et raccourcissement des phases. *Livre vert du projet ANR CLIMATOR* .65-78
- **Hassani N ., Abderrahmane I. , Dobbi A. (2015) .** Changement climatique phénomène extrême : Action symbiotique du climat et du milieu dans l'occurrence de la sécheresse en Algérie. XXVIIIe *Colloque de l'Association Internationale de Climatologie* .503-508
- **Khaldi A. (2005) .** Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen-Saida ". thèse doctorat, Université d'Oran
- **Kourat T. (2021).** Évaluation du changement climatique et impact sur la production du blé dur pluvial dans les Hautes plaines orientales de l'Algérie. Thèse doctorat . École Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach
- **Kolai T. (2008).** Climat et dysfonctionnement des agro - système céréales .*ENSA*.
- **Lakhdari H et Atman.A , (2009) .** Les conséquences de changement climatique sur le développement de l'agriculture en Algérie : Quelles stratégies d'adaptations face à la perte de l'eau ? . *Revue des Sciences Economiques de Gestion et Sciences Commerciales* 03/2009 . P
- **Latiri K., Lhomme.J.P. , Annabia M et Setterc T.L.(2010)** Wheat production in Tunisia: Progress, inter-annual variability and relation to rainfall. *Europ. J. Agronomy*. 33–42
- **Lévêque C . (2001).** Ecologie de l'écosystème à la biosphère, 1re édition DUNOD, France, P417
- **Liu Z., Liu X., Cao W., et ZhuY(2013).** Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. *Agric. For. Meteorol.* 171, 234–248.
- **Lipiec J., Doussan C., Nosalewicz A et Kondracka K (2013).** Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: A review. *Institute of Agro physics*, 2017(27): 463-477.

Références bibliographiques

- **Luhunga PM. (2017).** Assessment of the Impacts of Climate Change on Maize Production in the Southern and Western Highlands Sub-agro Ecological Zones of Tanzania. *Frontiers in Environmental Science*, 5. doi:10.3389/fenvs.2017.00051
- **Moule C, (1980).** Céréales, édition 5 22 La maison Rustique, Paris, 11-28-30-41.
- **Moule C , (1971) .** Céréales, édition 425 La maison Rustique, Paris, 13-41.
- **Ministère de l’agriculture et développement durable (2024)**
- **MADR (2017).** Ministère de l’agriculture et du développement rural, Statistiques Agricoles sur production céréales.
- **MEDEJERAB A, HENIA. L (2011).** Variations spatiales – Temporelles de la sécheresse climatique en Algérie Nord –Occidentale. Courrier du Savoir – N°11, Mars 2011, pp.71-79 NACIRA
- **Mostefaoui H, (2011) .** Etude d’impact du changement climatique sur la productivité de blé en zones semi -aride cas du bassin Chélif. mémoire magistère .université Hassiba Benbouali - Chelef
- **Messadi.(2009).** Détermination des cultivars de blé tendre adaptés au climat semi- aride méditerranées, l’IHFR Oran, P 146.
- **Murray-Tortarolo GN, Jaramillo VJ and Larsen J. (2018).** Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253-254, 124–131. doi:10.1016/j.agrformet.2018.02.011
- **Nichane M et Khelil M. (2015).** Changement climatiques et ressources en eau en Algérie : Vulnérabilité, impact et stratégie d’adaptation. ISSN 2170-1318. 5, 1-56-62
- **Nedjah I ,(2015).** Changements physiologiques chez des plantes (blé dur *Triticum durum* Desf) exposé à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de doctorat, faculté des sciences. Département de biologie. Université Badji Mokhtar, Annaba, p98
- **NRC (2010):** Solar influence on global change. National research council.
- **Nouri L , (2011).** Identification de marqueurs physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol. Thèse de Doctorat es Science, spécialité, Biologie et Physiologie végétales, option, Génétique et Amélioration des plantes, Université Constantine. 131 p. *Physiology* .13: 175- 90 p. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer: 1-14
- **ONS , (2021).** Rapport de l’Office Nationale des Statistiques.
- **Oussible M et Bourarach E.H (1998) .** Projet de Développement et amélioration de L’installation des céréales d’automne en Bour favorable. Volume IV. Synthèse et Recommandations. 41-45

Références bibliographiques

- **OMM, (2019).** Rapport de synthèse de bilan de changement climatique
- **O.S.S (2007) .**Les changements climatiques dans la zone d'action de OSS entre vulnérabilité et adaptation .
- **Pascal . (2020)**.L'adaptation aux changement climatique en agriculture : Identification des pratiques et des technologie permettant d'augmenter la résilience des productions végétales du Québec . Université de Sherbrooke .12-98
- **Pellerin S., Bambièrè L., Pardon.L et coord.(2015) .** Agriculture et gaz à effet de serre, éditions Quae, Paris, P5.
- **Plaut Z., et Federman E., (1991).** Acclimation of CO₂ assimilation in cotton leaves to water stress and salinity. *Plant Physiol.*, 97 : 515
- **Raes D., Steduto P., Hsia T.C. et Fereres E (2009) .** AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. *Agron J*, 101 : 438–447.
- **Sultan B., Lalou R ., Sanni M.A ., Oumarou A et Soumaré A . (2015).** Les Sociétés Rurales face aux changements climatiques et environnementaux de l'ouest, Éditions IRD, Marseille, P 209.
- **Seguin B et Stegel. (2002) .**Changements climatiques et effet de serre. Technical report, INRA mensuel.
- **Seguin B ,(2010) .**INRA, mission changement climat
- **Saadi S., Todorovic M., Tanasijevic L., Pereira L S., Pizzigalli C and Lionello P (2015).** Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agr Water Manage* 147:103–115.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.008>
- **Seneweera SP. Conroy JP. (2005)** Enhanced leaf elongation rates of wheat at elevated CO₂: is it related to carbon and nitrogen dynamics within the growing leaf blade? *Environ Exp Bot* 54: 174-181. doi:10.1016/j. envexpbot.(2004) 07.
- **Senouci M.(2007)** Changement climatique en Algérie : Evolution future du climat , enjeux et perspectives , *Association de Recherche Climat Environnement* .Algérie
- **Taibi S ., Meddi M ., Souag D et Mahe G . (2013) .** Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). *Climate and Land Surface Changes in Hydrology, Proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden* .P191 . 55.

Références bibliographiques

- **Tao F et Zhang Z. (2013)** . Climate change, wheat productivity and water use in the North China Plain: a new super-ensemble-based probabilistic projection. *Agric For Meteorol* 170:146–165. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.003>
- **Taibi S ., Meddi M ., Souag D et Mahe G . (2013)** . Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). *Climate and Land Surface Changes in Hydrology, Proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden* .P191 . 55.
- **Vertucci C.W ,(1989)**. the kinetic of seeds imbibition controlling factors and relevance to seeding vigour. In : seed moisture CSSA, special publication .14:93.115 .
- **UNESCO (2007)**. Changement climatique : Enjeux et perspectives au Maghreb Vertucci C.W (1989). the kinetic of seeds imbibition controlling factors and relevance to seeding vigour. In : seed moisture CSSA, special publication .14:93.115
- **Zaoui et Bensaid (2007)** . Incidences de la pluviométrie sur la culture des céréales dans la steppe du sud de la préfecture de Sidi Bel Abbes (ALGERIE OCCIDENTALE), *Europeans Scientific Journal*, 10.17. 371-372-373.
- **Zhen Z., Cai H., Wang Z and Wang X. (2020)**. Simulation of climate change impacts on phenology and production of winter wheat in North western China using CERES-wheat model. *Atmosphere-Basel* 11(7):681. <https://doi.org/10.3390/atmos11070681>

يؤثر تغير المناخ، مع ارتفاع درجات الحرارة وتقلبات المواسم غير المتوقعة وزيادة فترات الجفاف، على دورة الزراعة ويهدد إنتاج الحبوب في الجزائر. تُظهر دراسات المحاكاة اختلافات إقليمية في غلة المحاصيل في المستقبل، مع زيادات محتملة في شرق البلاد وانخفاضات في الغرب والوسط. كما يؤثر تغير المناخ على مراحل نمو المحاصيل، مما يؤدي إلى تسريع نموها وتقليل فترة التكاثر. للتكيف مع هذه التحديات، يجب على الجزائر تنفيذ استراتيجيات التكيف، بما في ذلك تطوير أصناف الحبوب المقاومة للجفاف والحرارة. كما أن تحسين إدارة المياه، واعتماد تقنيات الري الحديثة ونظم توفير المياه، بالإضافة إلى تشجيع استخدام الأسمدة العضوية وتناوب المحاصيل، أمر ضروري أيضًا.

الكلمات المفتاحية: إنتاج الحبوب، التغير المناخي، درجات الحرارة، هطول الأمطار، المردود، الجزائر

Résumé:

Le changement climatique, avec ses températures en hausse, ses variations saisonnières imprévisibles et ses sécheresses accrues, perturbe le cycle agricole et menace la production céréalière en Algérie. Les études de simulation montrent des variations régionales dans les rendements futurs, avec des augmentations potentielles dans l'est du pays et des diminutions dans l'ouest et le centre. Le changement climatique accélère également le développement des cultures et réduit la période de reproduction. Pour s'adapter à ces défis, l'Algérie doit mettre en place des stratégies d'adaptation, notamment en développant des variétés de céréales résistantes à la sécheresse et aux températures élevées. L'amélioration de la gestion de l'eau, l'adoption de techniques d'irrigation modernes et de systèmes économes en eau, ainsi que la promotion de l'utilisation d'engrais organiques et de la rotation des cultures sont également essentielles.

Les mots-clés : Production céréalière, changement climatique, Températures, Précipitations, Rendement, Algérie

Abstract:

Climate change, with its rising temperatures, unpredictable seasonal variations, and increased droughts, disrupts the agricultural cycle and threatens cereal production in Algeria. Simulation studies show regional variations in future yields, with potential increases in the east of the country and decreases in the west and centre. Climate change also accelerates crop development and reduces the reproductive period. To adapt to these challenges, Algeria must implement adaptation strategies, including developing drought- and heat-resistant cereal varieties. Improving water management, adopting modern irrigation techniques and water-saving systems, as well as promoting the use of organic fertilizers and crop rotation are also essential.

Key Words: Cereal production, Climate change, temperatures, Precipitation, Yield, Algeria