



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

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض و الكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Thème

**Etude de l'impact du changement climatique futur
sur la culture de l'orge en milieu semi- aride :
Cas de la région de Batna**

Présenté par : ALIAT Ayoub

BELAIDI Redouane

Devant le jury composé de :

Président: M^{me} Boussahel Soulef

((Univ. Bordj Bou Arréridj)

Encadrant: M^{me} Chourghal Nacira

(Univ. Bordj Bou Arréridj)

Examineur: Mer Ould Kiar Redha

(Univ. Bordj. Bou. Arréridj)

Année universitaire : 2018/2019

Dédicaces

Avec l'aide de dieu tout puissant, on a pu achever ce modeste travail que dédicace à :

Les deux personnes qui n'ont toujours cessé de tout me donner durant toute ma vie: mes chers parents.

Les deux familles Aliat et Belaidi en particulier Aliat amine et Belaidi Djoudi.

Mes collègues de l'université ainsi que toutes les personnes que je connais.

Remerciements

Nous remercions avant tout le Grand Dieu Allah, le plus puissant, le miséricordieux,

Nous exprimons nos plus profonds remerciements à notre encadreur Madame Chourghal Nacira pour l'aide précieuse qu'il nous apportait et les conseils infiniment utiles qu'il nous prodiguait pour la réalisation de ce travail.

Nos remercier la Direction des Services Agricole « DSA » de bordj Bou Arréridj et plus sincères à madame Kbayle et Chourghal, le Directeur de station météorologique de Batna.

A toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

Nous voudrions aussi exprimer notre vive reconnaissance envers tous les enseignants du département des sciences Agronomiques ainsi que tous ceux qui ont participé à notre formation et la classe d'amélioration des plantes 2018/2019.

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction	1
Etude bibliographique	
Chapitre1. Le climat observé et les changements climatiques futurs	
1. Généralité sur le climat	3
2. Le climat de l'Algérie	3
3. Variabilité climatique	4
4. Changement climatique	4
5. Les changements climatiques observés	5
5.1. Dans le monde	5
5.2. En région Sud-Méditerranéenne	6
5.3. Dans le Grand Maghreb	7
5.4. En Algérie	7
6. Evolution future du climat	8
6.1 Dans le monde	8
6.2 En région Méditerranéenne	9
6.3 En Afrique Du Nord et en Algérie	10
Chapitre 2.Impact des changements climatiques sur les cultures	
1. Présentation d'orge	11
1.1. Domestication de l'orge	11
1.2. Origine génétique et géographique	11
1.3. Classification botanique	11
1.4. Description de la plante	12
1.4.1. L'appareil végétatif	12
1.4.1.1. Le système racinaire	13
1.4.1.2. Le système aérien	13
a. La tige	13
b. Les feuilles	13
1.4.2. L'appareil reproducteur	13

1.4.2.1. Le grain	13
1.4.3. Cycle de développement	14
1.5. Ressources génétique	14
2. La culture de l'orge et le changement climatique	15
2.1. Les variétés et l'environnement	15
2.2. Impact du changement climatique sur la céréale	16
2.2.1 Impact de l'augmentation de la température sur les céréales	16
2.2.2. Impact des sécheresses	17
2.2.3. Impact de l'enrichissement de l'atmosphère en CO ₂	18

Matériel et méthode

1. Présentation générale de la ville de Batna	20
1.1. Situation géographiques et cadre administrative	20
1.2. Géomorphologie générale	20
1.2.1 Massif de l'Aurès	21
1.2.2 Les hauts plateaux	21
1.2.3. Pédologie	21
1.2.4. Hydrologie	22
1.2.5. Climat	22
1.2.6. Végétation naturelle	22
2. L'agriculture dans la région de Batna	23
2.1. Situation de l'agriculture dans la région de Batna	23
2.1.1. Fourrages	24
2.1.2. Cultures industrielles	24
2.1.3. Maraîchages	24
2.1.4. Arboriculture fruitière	24
2.1.5. La céréaliculture	25
3. Les données climatiques observées	25
3.1. Source	25
4. Méthodologie et démarche utilisées	25
4.1. Simulation du climat présent et scénarios climatiques futurs	25
4.2. Simulation de la culture du blé dur	26
4.2.1. Détermination de la date de semis	27
4.2.2. Détermination de la durée théorique des phases phénologiques	27
4.2.3. Calcul du rendement potentiel (maximum) et de l'évolution du TDM	27

4.2.4. Calcul du bilan hydrique sur le cycle cultural	27
4.2.5. Calcul du rendement réel Y_a	29
5. Estimation de l'impact du changement climatique sur le développement et le Rendement de la culture du blé dur	29
Résultats et discussions	
1. Introduction	30
2. Le climat récent observé	30
2. 1 .Caractéristiques du climat récent observé	30
2.1.1. Valeurs interannuelles	30
2.1.2. Valeurs Moyennes mensuelles interannuelles	31
3. Etude du climat futur	31
3.1 Caractéristiques statistiques du climat futur	31
3.1.1 Valeurs interannuelles	31
3.1.2 Valeurs Moyennes mensuelles interannuelles	32
4. Caractéristiques du climat futur	34
4.1 Température	34
4.2 Précipitation	34
5. Impact du changement climatique sur la culture de l'orge à Batna	34
5.1 Date de récolte	34
5.2 Longueur du cycle de culture	35
5.3 Le rendement potentiel ou maximum (Y_m)	35
5.4. Le rendement Réel (Y_a)	36
Conclusion	37
Annexes	

Liste des abréviations

% : pourcentage.

2n: génomique diploïde.

CH4: méthane.

CO₂: dioxyde de carbone.

D (j) : la percolation profonde.

D1, D2, D3, D4 et D5 : Dates de réalisation des stades phénologiques de la culture.

DHC: déficit hydrique de la culture.

ET (j) : l'évapotranspiration réelle de la culture.

ETc : l'évapotranspiration de la culture.

FAO: Food and Agriculture Organization.

GIEC: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat.

Ha: hectare.

HI: harvest index.

I (j): l'irrigation net.

I.T.G.C: l'Institut Technique des Grandes Cultures.

ICARDA: International Center of Agricultural Research in Dry Areas.

IPCC: International Panel on Climat Change.

ISH: indice normalisé du stress hydrique.

J: jour.

JA: jour de l'année.

Kc: Coefficient de culture.

K_y : est le facteur de réponse du rendement.

LAI: Index surface foliaire.

OMM: l'Organisation Météorologique Mondiale.

P(j): la précipitation du jour.

Ppm: partie par million.

P_s: Précipitations simulées.

RCP: Representative Concentration Pathways.

$RD(j)$: réserve disponible à la fin du jour.

$RD(j-1)$: réserve disponible à la fin du jour antérieur.

Rs : rayonnement solaire incident.

RU : réserve disponible totale ou réserve utile.

RUE : efficacité d'utilisation du rayonnement.

RU_{\min} : valeur minimale.

RU_{\max} : valeur maximale.

SAU : surface agricole utile.

ST : sommes de température.

TDM_m : total dry mater.

USA : États-Unis.

Y_a : rendement réel de la culture.

Y_m : le rendement potentiel.

Y_{\max} : rendement maximum.

ϵ_a : l'efficacité d'absorption.

ϵ_b : l'efficacité biologique de conversion.

ϵ_c : l'efficacité climatique.

Liste des tableaux

Tableau 1 Moyennes et écart types interannuels de précipitation, température à Batna.	30
Tableau 2 Moyennes et écart types interannuels de la précipitation et de la température futur (2071-2100) de la région d'étude.	32
Tableau 3 comparaison climat observé et climat future.	33
Tableau 4 Anomalies moyennes mensuelles entre les scénarios future et actuel.	34
Tableau 5 Date de semis, de récolte et durée du cycle de culture, dans la situation réelle et future.	35
Tableau 6 Le rendement potentiel (t/h) dans la région d'étude.	36
Tableau 7 le rendement Réel(t/ha) dans la situation réelle et future de Batna.	36

ANNEXE

Tableau 1 Impact du changement climatique sur la culture de l'orge à Batna	
---	--

Liste des figures

- Figure 1** Classes d'orges selon le degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi. 12
- Figure 2** *Hordeum vulgare*. Gauche: Épillet d'orge à 6 rangées, Droite: épillet d'orge à 2 rangées. 14
- Figure 3** Situation et wilayas limitrophes de la wilaya de Batna. 20
- Figure 4** Evolution des précipitations et des températures mensuelles interannuelles dans la région de Batna durant la période 1989-2017. 31
- Figure 5** Précipitations mensuelles interannuels observées (1989-2017) et futures (1971-2100) dans la région de Batna. 32
- Figure 6** Températures moyennes mensuelles interannuelles observées (1989-2017) et futures (1971-2100) dans la région de Batna. 33

Etude de l'impact du changement climatique futur sur la culture de l'orge en milieu semi- aride : Cas de la région de Batna

Résumé

Notre de travail a pour un objectif l'étude du changement climatique, et de son impact sur le développement et le rendement de la culture de l'orge (*Hordeum vulgare L.*), dans la région de Batna. Vingt-neuf ans (1989-2017) de données climatiques journalières (précipitation, température moyenne, humidité relative, durée d'ensoleillement et vitesse du vent) ont été collectés à partir de station météorologiques de la région d'étude, analysées et utilisées par le modèle ARPEGE climat version 4 selon le scénario A1B, pour générer le climat futur (2071-2100). La simulation de l'impact du changement climatique sur le cycle culture de l'orge et sur son rendement a été faite par un modèle agro-météorologique simple journalier basé sur le temps thermique.

Dans le contexte des changements climatiques futurs, les températures augmenteront et le réchauffement climatique dans la région avoisine les 3 °C et les précipitations diminuent de -3%, avec à l'inverse une amélioration considérable des précipitations en fin été début automne. La date de récolte avance et le cycle de culture est raccourci de 31 jours. Les rendements diminuent de -21%, non seulement du fait de la baisse de l'accumulation de la matière sèche du fait du raccourcissement mais aussi du fait du stress hydrique projeté être plus sévère.

Mots clés: Changement climatique, impacts, cycle de culture, rendement, Batna, l'orge.

Introduction

Introduction

En Algérie, le secteur agricole dépend essentiellement des précipitations (**Schilling et al., 2012**) et l'agriculture pluviale couvre 98,6 % de la superficie agricole totale (**Cline, 2007**). La céréaliculture est une activité ancienne du milieu agricole algérien. Elle est présente dans tous les étages bioclimatiques y compris les zones sahariennes, avec une prédominance de la culture du blé dur (**BSA, 2007**). Elle domine le Nord de l'Algérie, et est pratiquée en pluviale sur 2.7 millions d'hectares, jachère comprise, soit sur 97 % de la Surface Agricole Utile (SAU) : 80 % de cette surface est localisée dans les étages bioclimatiques semi-arides et arides, se caractérisant par des pluies variables, aléatoires et déficitaires (**Smadhi et al., 2013**).

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, et fournissent plus de 60 % de l'apport calorifique et 75 à 80 % de l'apport protéique de la ration alimentaire (**Djermoune, 2009**). L'orge (*Hordeum vulgare* L.) a toujours occupé une place importante parmi les autres céréales en Algérie. Elle était à la tête des cultures et destinée à l'autoconsommation humaine. Son rôle dans l'alimentation animale a toujours été et reste fondamental.

Une situation qui oblige l'Algérie à importer 60 millions de quintaux par an, dont 44 % de blé dur, et à payer des factures lourdes, ayant atteint en 2011 les 2.4 milliards de dollars (**CNIS, 2011**).

Cette situation de déficit d'autosuffisance va s'accroître encore plus dans le climat futur, particulièrement dans la zone sud du bassin méditerranéen, qui, avec ses pays en voie de développement, est classée parmi les points du globe les plus vulnérables aux changements climatiques (**IPCC, 2007 ; 2013**). Les sociétés dans ces zones vont vivre des situations d'insécurité alimentaire encore plus graves (**Parry et al., 1999; Fischer et al., 2002; Hitz et Smith, 2004; Lobell et al., 2008**).

L'agriculture est intimement liée au climat. Les plantes aussi bien naturelles que cultivées seront affectées par les changements de ses différentes composantes, principalement l'accroissement de la concentration de CO₂ (**Kimball, 1983; Bazzaz 1990; Norby et Luo, 2004**) et l'élévation de la température (**Ferris et al. 1998; Challinor et al. 2005**).

De nombreuses études ont porté sur les effets de la variabilité et des changements climatiques sur la croissance des cultures et le rendement (**Kaiser et al., 1993; Parry et al., 2004; Xiao et al., 2008; Tao et Zhang, 2011**).

L'approche la plus commune consiste à utiliser des modèles de simulation des cultures, en combinaison avec les caractéristiques pédologiques et culturales, pour évaluer les impacts potentiels des conditions climatiques prévues sur les systèmes agricoles, la croissance des cultures et les rendements, aussi bien à l'échelle continentale que régionale (**Hansen et al., 2004; Cline, 2007; Francisco et Meza-Daniel, 2009; Moriondo et al., 2011**).

Les études montrent que l'effet du réchauffement climatique sur le développement, la productivité et le rendement des cultures devient négatif à partir d'une augmentation de la température de +1 °C, et que à l'inverse, l'effet fertilisant de l'accroissement du taux de CO₂ de l'air sur les rendements est positif et même capable dans certains cas d'atténuer l'impact négatif du réchauffement (**Jarvis et al., 2010**).

En ce qui concerne les pays du Maghreb, la bibliographie fournit certaines études faites au Maroc (**Touchan et al., 2011; Schilling et al., 2012**) et en Tunisie (**Lhomme et al., 2009; Mougou et al., 2011**). Mais l'Algérie, le plus vaste pays de l'Afrique, du Bassin Méditerranéen et du monde arabe, est très pauvrement connu dans ce domaine.

Ainsi, à travers cette étude, nous nous proposons de traiter l'impact du changement climatique sur la culture de l'orge.

Notre travail repose sur la contribution de différents organismes et structures scientifiques à savoir : Station Météorologique de Batna, Météo-France et DSA (Direction des services agricoles) de Bordj Bou Arreridj.

Deux objectifs principaux sont ciblés dans cette mémoire :

- 1- Etude du changement climatique de Batna, par l'analyse du climat observé et celle du climat futur simulé par le modèle ARPEGE de Météo-France, sous le scénario A1B de l'IPCC.
- 2- Etude de l'impact du changement climatique futur (scénario A1B) sur le développement et le rendement de la culture de l'orge dans la zone d'étude.

PARTIE I

Recherche bibliographique

CHAPITER 1

**Climat observé et changements
climatiques futur**

1. Généralité sur le climat

Le climat est l'état physique de l'atmosphère en un lieu et à un moment donné. Il correspond à la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période de temps donné. Le climat est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines telles que la production agricole, la consommation d'énergie et l'utilisation de certaines ressources telle que l'eau (ONM, 1992).

Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le climat est défini comme : « La synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par des statistiques à long terme (valeurs moyennes, variances, probabilités de valeurs extrêmes,) des éléments météorologiques (températures, précipitation, vents) dans cette région (Lespinas, 2008).

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, pression atmosphérique, précipitation, ensoleillement, humidité, vitesse du vent, sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels (Pagney, 1993). Selon le phénomène qui domine, on dit que le climat est chaud, froid ou tempéré, sec ou humide, calme ou venteux.

2. Le climat de l'Algérie

Le nord de l'Algérie, qui est un territoire soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale de 3 à 4 mois sur le littoral et de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien. Le caractère aride et semi-aride du pays s'explique en grande partie par le climat à travers la circulation générale atmosphérique (Tabet, 2008).

Le rôle des facteurs météorologiques est primordial dans un pays tel que l'Algérie, soumise aux influences tour à tour méditerranéennes et sahariennes. Les hauteurs de pluie moyenne y varient rapidement d'un point avec leur répartition sur les mois à cause des fluctuations considérables, les chutes de pluies torrentielles qui alternent avec de longues périodes de sécheresse (Seltzer, 1946).

Sur le littoral, le climat est du type méditerranéen avec des hivers doux et humide et des étés chauds et secs. En été, le vent chaud et sec et parfois le siroco dessèche la végétation et les récoltes. Sur les hauts plateaux, le climat est aride et semi-aride avec une saison sèche qui dure de 05 à 06 mois (Benssaoud, 2002).

L'Algérie présente une grande sensibilité au climat à cause de la grande variabilité des pluies saisonnières et annuelles, En égard au caractère aride et semi-aride de son climat, l'Algérie ressentira davantage les effets des changements climatiques. Le dérèglement actuel du cycle « évaporation-pluie » conduit à envisager occurrence probable événements extrêmes comme les sécheresses prolongées ou les inondations catastrophiques, ce qui constitue une menace sévère sur les écosystèmes terrestres et par conséquent sur la biodiversité **(Abdelguerfi et Ramdane, 2003)**.

3. Variabilité climatique

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe) **(ONERC, 2007)**.

4. Changement climatique

Le changement climatique, évolution naturelle du climat, désormais fortement influencée par les activités humaines. Depuis des millénaires, le climat de la terre varie selon les époques et les lieux. Les changements observés s'étalent généralement sur des longues périodes qui atténuent la perception que l'homme peut en avoir à un moment donné. Le changement climatique correspond à une modification durable de la décennie au million d'années, des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat globale de la terre ou de ses divers climats régionaux. Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la terre, à des influences extérieures, ou plus récemment, aux activités humain **(DaouaR , 2018)**.

Au cours des dernières décennies cependant, les changements climatiques semblent s'être accélérés. Le réchauffement climatique n'est plus un phénomène abstrait, la planète y est déjà confrontée. Les années 1998, 2002-2005 ont sans doute été les plus chaudes du dernier millénaire **(Besson, 2008)**.

La température moyenne de la planète a augmenté d'environ 0.6°C durant les cent dernières années. Le réchauffement a été particulièrement marqué dans l'hémisphère nord. Le changement climatique ne se concrétise toutefois pas seulement par une hausse des températures et une multiplication des vagues de chaleur. La quantité et la fréquence des

précipitations, l'évaporation, le nombre et l'intensité des catastrophes naturelles telles qu'ouragans et inondations ont aussi nettement évolué. Une partie de ces changements sont imputables à l'être humain (GIEC, 2012).

5. Les changements climatiques observés

5.1. Dans le monde

Les observations mettent en évidence un changement de la composition de l'atmosphère (augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane (CH₄), etc.), ainsi qu'un changement du climat mondial (températures, précipitations, niveau de la mer, glace marine, et dans certaines régions, phénomènes climatiques extrêmes, y compris vagues de chaleur, fortes précipitations, et sécheresses, etc.) (Farah A, 2013). Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe. Les températures ont augmenté presque partout dans le monde, bien que de manière plus sensible aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Par ailleurs les terres émergées se sont réchauffées plus rapidement que les océans (GIEC, 2007). Cette évolution n'est pas uniforme et tend à varier d'une région à une autre, par exemple, le réchauffement en Afrique est légèrement plus élevé par rapport à la tendance mondiale en 2001.

On ne peut dire à l'heure actuelle si l'accélération du rythme qui a été constatée entre 1993 et 2003 traduit une variation décennale ou un renforcement de la tendance à long terme. Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le Nord de l'Europe et dans le Nord et le Centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970 (Farah A, 2013).

Il est très probable que les journées froides, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées depuis cinquante ans et que le nombre de journées chaudes et de nuits chaudes a au contraire augmenté. De plus, la fréquence des phénomènes ci-après s'est probablement accrue : vagues de chaleur sur la majeure partie des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et, depuis 1975, élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier (GIEC, 2007).

5.2. En région Sud-Méditerranéenne

Le climat est caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers doux et humides puis des pluies violentes au printemps et en automne. On trouve ce climat autour de la mer Méditerranée, le climat méditerranéen, transition entre le climat aride des régions du Nord de l'Afrique et le Climat tempère des régions d'Europe se distingue essentiellement par des étés chauds et secs et une forte irrégularité des pluies. Une pluviométrie annuelle, comprise entre 600 mm et 1000 mm pour les pays du Nord et proche de 400 mm pour certains pays du Sud, et une évapotranspiration potentielle annuelle, souvent supérieure à 1200 mm, impliquent un déficit hydrique souvent.

L'analyse des tendances des précipitations pour la période 1950 à 1999, révèle que les précipitations de la saison humide ont augmenté en Méditerranée depuis le milieu du 20ème siècle avec un maximum enregistré dans les années 1960 puis ont diminué des lors. A l'exception de quelques périodes humides survenue dans les années soixante-dix, début des années vingt et des années quatre-vingt-dix, la seconde moitié du 20ème siècle montre une tendance générale à la baisse de 2.2mm/mois/décade. En particulier, la période fin quatre-vingt-début quatre-vingt-dix connu une sécheresse générale sur de larges parties de la Méditerranée (**Xoplakiet al., 2000**). On a constaté que les plus grandes précipitations durant la saison humide de la Méditerranée sont observées au mois d'Octobre à Mars mai avec de fortes variabilités. Malgré la grande variabilité spatio-temporelle des précipitations, une fraction importante de ses variations peut être expliquée par les changements de circulation à grande échelle et à différentes altitudes (**Xoplaki et al., 2004**).

L'analyse de la variabilité saisonnière des précipitations et son évolution tout au long de la Méditerranée sur la période 1901-1998 une tendance négative de la précipitation pour l'hiver, ce qui est en accord avec la conclusion de l'IPCC (**Folland et al., 2001 ; Jacobeit 2000 et Giorgi 2002 in Xoplaki 2004**). L'analyse des températures au sud de la Méditerranée montre un changement brutal pour les stations de Marrakech, Alger, Tripoli, Alexandrie, Amman et Beyrouth. Une tendance à l'augmentation est observée en 1992 et 1978 à Marrakech, en 1865 et 1967 à Alger et en 1910 à Beyrouth. Alors qu'à Alexandrie et Amman ce changement se traduit par une baisse de la température (refroidissement) et ce respectivement en 1962 et 1965. Pour toutes les saisons, la plupart des stations indiquent un changement brutal de la température. L'étude de la persistance montre que cette persistance est significative à Marrakech, Alger et Tripoli (**Aesawy et al., 1998**).

5.3. Dans le Grand Maghreb

L'analyse des données de températures sur plus de 40 stations du réseau de l'Office Nationale de la Météorologie effectuée sur la période 1950-2005 met en évidence une augmentation des températures maximales annuelles de 1.2°C (0.6 à 2.3°C) et saisonnières de 1.6°C en été (0.9 à 2.2°C ; maximum en Aout). Un comparatif des normales de température sur des deux périodes standards : 1931-1960 et 1961-1990 effectuée pour plusieurs stations météorologiques maghrébines (Alger, Oran, Annaba, Casablanca, Agadir, Ouarzazate, Tunis, Gabès) a montré que la tendance à la hausse de température est nette pendant la saison d'hiver sur l'ensemble des stations analysées et que l'augmentation de la température annuelle moyenne est perceptible pour la grande majorité des stations du Maghreb (**Hassani M, 2008**). Cette température semble rester en constante augmentation comme le cas de station d'Oran. L'examen de l'évolution des pluies pour la comparaison des normales de pluies saisonnières des deux périodes standards des mêmes stations indique des évolutions assez contrastées d'une région à une autre.

La décennie 1970 marque une rupture climatique significative sur le plan thermique. En Afrique du Nord-Ouest (entre le Maroc et la Mauritanie) l'étude de l'évolution et détection des ruptures des séries chronologiques des températures hivernales de 1950 à 2008, permet de mettre en évidence le tournant climatique des années 70 dans cette région. Le mois de décembre affiche une forte tendance à la hausse des températures sur la totalité du Maroc et Sahara Occidental en plus de la partie saharienne de la Mauritanie (**Amraoui, 2009**).

5.4. En Algérie

En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées et d'après des études réalisées par l'ONM sur l'évolution des températures, elles ont révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, date du début des émissions à effet de serre. Concernant la pluviométrie en Algérie, l'étude fait ressortir un recul de 12% pour la période 1990-2005 en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bâb El Oued en 2001 et dans la ville d'El Taref en 2012 (**Benyettou M et Bouklikha A, 2017**).

L'évolution des températures en Algérie montre une hausse sur l'ensemble du territoire au cours des saisons d'hiver et d'automne et une hausse nette des températures

minimales et maximales dans toutes les stations de l'Algérie du Nord et se prolonge jusqu'à nos jours. Durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales. Quant aux précipitations, pour les mêmes périodes l'examen montre qu'en automne et en hiver, il y a diminution des pluies sur le Nord, et en printemps dans l'Est du pays.

On peut donc conclure qu'entre les périodes 1931-1960 et 1961-1990 :

- La hausse de température a été de l'ordre de 0,5°C ;
- La pluviométrie a baissé en moyenne de 10% ;
- Le déficit hydrique sera plus important à l'Ouest qu'au Centre et qu'à l'Est du pays (**Mate, 2003**).

6. Evolution future du climat

6.1 Dans le monde

L'estimation des changements futurs du climat ne peut se faire donc qu'à travers l'établissement de scénarios d'émission de GES. Un scénario est une description cohérente, structurée et plausible d'un état futur possible du monde (**IPCC, 1996**). Dans le « Spécial Reports on Emission Scenarios » (IPCC, 1996), les scénarios futurs ont été regroupés en quatre grandes familles, en se basant sur trois hypothèses principales:

l'évolution démographique, le développement économique et social et le degré du développement technologique ainsi que son orientation (utilisation des énergies renouvelables). Ces quatre familles de scénarios sont organisées et hiérarchisées depuis ceux susceptibles de produire un haut forçage anthropique en raison de la forte utilisation de l'énergie combustible fossile jusqu'à ceux à faible forçage à cause de la réduction de la consommation et de l'introduction de nouvelles technologies plus efficaces. Les quatre familles de scénarios SRES peuvent être décrites en résumé comme suit:

- **Famille A1** : C'est la famille des scénarios les plus grands émetteurs en gaz à effet de serre. Elle fait l'hypothèse d'un monde caractérisé par une croissance économique très rapide, un pic de la population mondiale au milieu du siècle et l'adoption rapide de nouvelles technologies plus efficaces. Cette famille de scénarios se divise en trois groupes qui correspondent à différentes évolutions technologiques du point de vue des sources d'énergie :
 - a- à forte composante fossile (A1F1).
 - b- non fossile (A1T).
 - c- équilibrant les sources (A1B).

- **Famille A2** : elle décrit un monde très hétérogène basé sur l'autosuffisance et la préservation de l'identité locale. Elle est caractérisée par une forte croissance démographique, un faible développement économique et de lents progrès technologiques.
- **Famille B1** : elle décrit un monde convergent présentant les mêmes caractéristiques démographiques que la famille A1, mais avec une évolution plus rapide des structures économiques vers une économie de services et d'information et l'introduction de technologies propres et économes en ressources.
- **Famille B2** : elle décrit un monde caractérisé par des niveaux intermédiaires de croissances démographique et économique, privilégiant l'action locale pour assurer une durabilité économique, sociale et environnementale. Elle fait référence à un monde sobre en consommation énergétique et peu émetteur. Pour tous les scénarios SRES, l'émission de CO₂ augmente durant les premières décades du 21^{ème} siècle. Cette tendance continue jusqu'en 2100 dans les scénarios A2 et B2, alors que pour le reste des scénarios l'émission atteint un pic à partir duquel elle décroît.

Par exemple, on détermine que, pour un doublement de CO₂, la température moyenne de la Terre augmente de 2°C à 5°C selon les modèles. En ce qui concerne la répartition géographique, les résultats font apparaître que :

- La température de surface augmentera davantage aux hautes qu'aux basses latitudes et davantage sur les continents et sur la glace de mer que sur les océans ;
- Les précipitations augmenteront dans les régions équatoriales et aux moyennes et hautes latitudes ; elles diminueront dans les régions subtropicales ;
- Le volume de glace de mer en Arctique diminuera (typiquement de 35 % dans 50 ans) sans qu'une telle décroissance ne se retrouve en Antarctique (**Friedlingstein P et al. 2005**).

6.2 En région Méditerranéenne

Toutes les études scientifiques montrent que le bassin Méditerranéen est particulièrement touché par le changement climatique global, notamment par la hausse des températures, la montée du niveau des eaux, ainsi que le renforcement des événements climatiques extrêmes (vagues de chaleur, précipitations massives, etc.) et la dégradation de l'environnement naturel (sécheresses, inondations, canicules, feux de forêt, stress hydrique, désertification, érosion ou encore forte dégradation de la biodiversité terrestre et marine) (**Charlotte P et al., 2015**).

D'après les études du GIEC, une hausse substantielle des températures est à prévoir : autour de 2°C en fonction des saisons et des scénarios d'ici 2050, 2 à 6°C d'ici 2100. Dans tous les cas, la hausse des températures en Méditerranée sera supérieure à la hausse des températures mondiale.

Les précipitations globales pourraient légèrement diminuer, mais avec de fortes disparités : diminution assez importante sur les rives Sud et Est, augmentation des précipitations sur la rive Nord (**Stéphane Pet *al.*, 2016**).

6.3 En Afrique Du Nord et en Algérie

L'Afrique du Nord subira les impacts les plus négatifs liés au changement climatique, ainsi selon la même source 80 % des cultures montreront des pertes de productivités en 2050 (**Farah A, 2013**).

Pour la période 1990 – 2020, la hausse de la température moyenne sera comprise entre 0,8°C et 1,1°C et la baisse des précipitations moyennes seront de l'ordre de 10 %. L'élévation du niveau de la mer sera comprise entre 5 cm et 10 cm. L'intensification de l'évaporation due à l'augmentation de la température s'ajoute à la baisse des précipitations pour diminuer encore plus la quantité des eaux mobilisables au niveau des barrages et des nappes souterraines.

Les projections à l'horizon 2020 et 2050 indiquent que les saisons seront dérégées et les températures continueront de croître (**Farah A, 2013**). La période pluvieuse sera concentrée sur une courte période entraînant des risques d'inondations. De même, il y aura une augmentation de la fréquence des sécheresses. Les projections ont été obtenues à l'aide de scénarios d'émissions moyens et des modèles climatiques globaux (**Mate, 2003**).

Alger est projetée devenir plus chaude et plus sec. Bordj Bou Arreridj, située à l'étage bioclimatique semi-aride, est indiquée devenir encore plus aride dans le contexte du changement climatique futur. L'augmentation des températures est indiquée être plus importante à Bordj Bou Arreridj, mais la diminution des précipitations sera plus sévère à Alger (**Chourghal *et al.*, 2016 ; Chourghal *et al.*, 2017**).

CHAPITER 2

Impact des changements climatiques sur les cultures

1. Présentation d'orge

1.1. Domestication de l'orge

La domestication des orges était plus ancienne que celle du blé puisque les études archéologiques effectuées en Syrie et en Iraq ont mis en évidence la présence de caryopses d'orge qui datent d'environ 10.000 ans avant Jésus-Christ. Ainsi, pendant l'antiquité et jusqu'au deuxième siècle avant Jésus-Christ, l'orge était la céréale la plus utilisée pour l'alimentation humaine dans les régions du croissant fertile, d'Europe et du bassin méditerranéen.

1.2. Origine génétique et géographique

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare L.*), de constitution génomique diploïde ($2n=14$), est une espèce dont les origines remontent à celles de l'agriculture elle-même. L'orge à 2 rangs, datant du néolithique, 10000 ans avant Jésus Christ, a été découverte dans le croissant fertile, au Moyen Orient. Elle est considérée comme étant les restes les plus anciens de l'orge cultivée. (**Bothmer et Jacobsen, 1985**). *Hordeum spontaneum* orge à 2 rangs, très répandue depuis la Grèce jusqu'au Moyen orient, est reconnue comme étant la forme ancestrale de l'orge cultivée, avec laquelle, elle est parfaitement inter-fertile (**Jestin, 1992**).

1.3. Classification botanique

D'après (**Chadefaud et Emberger, 1960 ; Prats, 1960 ; Feillet, 2000**). L'orge cultivée est appartenue à la classification suivante:

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Liliopsida

S/Classe : Commelinidae

Ordre : Poales

Famille : Poaceae (ex Graminée)

S/Famille : Hordeoideae

Tribu : Hordeae (Hordée)

S/Tribu : Hordeine

Genre : *Hordeum*

Espèce : *Hordeum Vulgare L.*

Le genre *Hordeum* comprend des espèces diploïdes ($2n=14$) dont les biotypes cultivés comme *Hordeum Vulgare*, *Hordeum Distichum*, *Hordeum intermedium*, et sauvage comme *Hordeum spontaneum*, *Hordeum agriocrithon* et *Hordeum pusillum*. L'espèce tétraploïde ($2n=28$) est constituée uniquement des biotypes sauvages comme *Hordeum murinum*, *Hordeum bulbosum*, *Hordeum jubatum* et *Hordeum nodosum* (Rasmusson, 1987).

Classe les orges selon le degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi en deux groupes (Figure 01).



Figure .1 Classes d'orges selon le degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi Farah A, (2014).

Classification de l'orge selon leur milieu de culture en trois groupes qui sont :

- **Les orges d'hiver** dont le cycle de développement varie de 240 à 265 jours, s'implantent en automne. Ces orges ont besoin pour assurer leur montaison, de température vernalisante qui manifeste un degré plus au moins élevé de résistance au froid hivernal.
- **Les orges de printemps** dont le cycle de développement est très court (environ 120 à 150 jours), s'implantent au printemps. Ces orges n'ont aucun besoin de vernalisation pour assurer leur montaison.
- **Les orges alternatives** qui sont intermédiaires au plan tolérance au froid, entre les orges d'hiver et celles de printemps (Soltner, 2005).

1.4. Description de la plante

1.4.1. L'appareil végétatif

Les graminées sont des plantes herbacées de petite taille, la plante se développe en produisant un certain nombre d'unités : les talles.

1.4.1.1. Le système racinaire

Il est composé de deux systèmes racinaires successifs :

- Un système séminal, fonctionnel seul de la levée au début du tallage.
- Un système adventif ou coronal, apparaissant au moment où la plante émet ses talles.

1.4.1.2. Le système aérien

a. La tige

Sur la partie aérienne des céréales, on distingue une tige principale « le maître brin » et des tiges secondaires « les talles » qui naissent à la base de la plante (**Boulal et al., 2007**). Quant aux entre-nœuds (**Belaid, 1996**). Ils sont creux chez les blés tendres, l'orge et l'avoine, et pleines chez les blés durs. L'orge est caractérisée par un fort tallage supérieur à celui du blé et un chaume plus faible, susceptible à la verse par rapport que celui du blé (**Camille, 1980**).

b. Les feuilles

Sont à nervures parallèles et formées de deux parties : la partie inférieure entourant la jeune pousse ou la tige : c'est la gaine, la partie supérieure en forme de lame : c'est le limbe qui possède à sa base deux prolongements arqués glabre, embrassant plus ou moins complètement la tige : les oreillettes ou stipules. A la soudure du limbe et de la gaine se trouve une membrane non vasculaire entourant, en partie, le chaume : la ligule qui est bien développée (**Belaid, 1996 et Camille, 1980**).

1.4.2. L'appareil reproducteur

L'orge est autogame. Son inflorescence est un épi composé d'unités morphologiques de base: les épillets « groupes de fleurs » enveloppées de leurs glumelles et incluses dans deux bractées ; les glumes (**Belaid, 1996**).

1.4.2.1. Le grain

Le fruit des graminées est un caryopse où le grain est soudé aux parois de l'ovaire, (**fig. 2**) c'est un fruit sec indéhiscent. Chez l'orge le grain est vêtu; le péricarpe du grain se soude aux glumelles (**Belaid, 1996**).

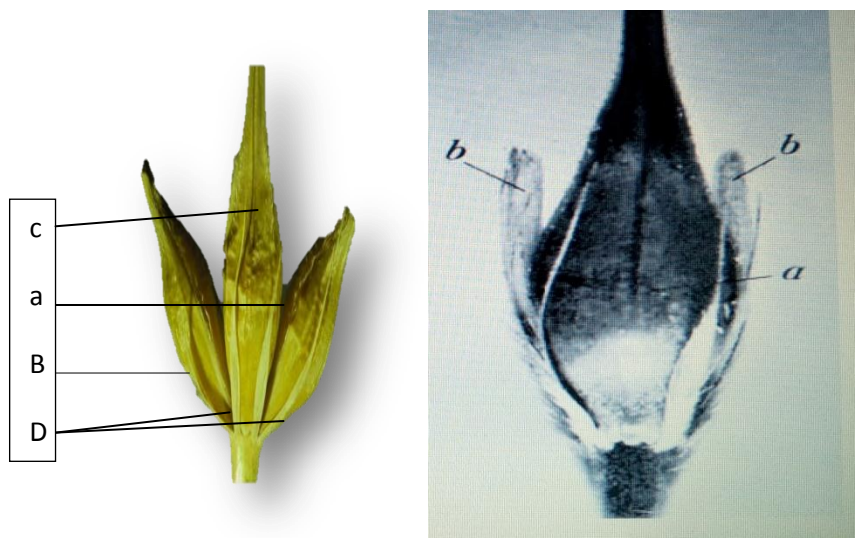


Figure 2 *Hordeum vulgare*. Gauche: Épillet d'orge à 6 rangées, Droite: épillet d'orge à 2 rangées.

A.- Caryopse central; B.- Caryopses latéraux; C.- Pointe; D.- Glumes (**Leonard et Martin, 1973**).

1.4.3. Cycle de développement

Les graminées sont des espèces annuelles une série d'étapes, séparées par des stades repères, permettant de diviser en deux périodes la vie des céréales.

Il s'agit :

- a- La période végétatif : comportant la germination, la levée et le tallage.
- b- La période reproductive : comportant la montaison, l'épiaison, la floraison (qui se développent elle-même en deux stades : stade laiteux et stade pâteux) et la maturité complète (**Soltner, 2005 ; Prats et Grand C, 1971**).

1.5. Ressources génétique

En Algérie, le matériel génétique qui subsiste encore jusqu'à nos jours est disponible dans des collections de l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C) au niveau de ses différentes stations ; il est répertorié en annexe (les principales variétés cultivées en Algérie).

La culture d'orge est connue en Algérie depuis longtemps sous forme de mélanges des populations locales. Le nombre de variétés d'orge cultivées en Algérie est plus modeste (**Ait-Rachid, 1991**).

2. La culture de l'orge et le changement climatique

2.1. Les variétés et l'environnement

Le ministère de l'agriculture avance une dégradation de 10% de la couverture en céréale sous l'influence de cette perturbation climatique. Les simulations prédisent une perte de rendement des céréales lors que l'augmentation de température est supérieure à 2,3°C, mais qu'une teneur élevée en CO₂ (supérieure à 640 ppm) peut compenser l'effet négatif d'une augmentation de température de +2°C et d'une diminution de précipitation de -20 %. Cependant, les résultats montrent que l'effet du changement climatique sur le rendement varie fortement entre sites, probablement du fait de différences de caractéristiques des sols et de pratiques agricoles, mais aussi de différences dans les modèles utilisés pour faire les simulations (**Feliachi, 2000**).

La variété est l'un des facteurs les plus importants dans l'amélioration des rendements, en région semi- aride des hauts plateaux, l'orge n'est représentée que par Tichedrett et Saida, deux variétés populations qui ont atteint un degré d'homogénéité élevé (**Bouzerzour, 1998**). Par ailleurs, l'adoption de nouvelles variétés a été peu suivie, en raison de leur grande sensibilité aux variations environnementales. Ces dernières sont fortes sur de très Courtes distances (**Hakimi, 1989**).

De nouvelles variétés ont été sélectionnées mais le degré d'adoption par les agriculteurs a été le plus souvent très faible voire nulle dans les zones semi arides d'altitude (**Bouzerzour et Monneveux, 1992; Bouzerzour et Djekoun, 1996**). En effet les nouvelles obtentions se caractérisent par une forte sensibilité à la variation environnementale d'où leur instabilité de production (**Benlaribi et al., 1990; Ali Dib et Monneveux, 1992; Khaldoun et al., 2001**). Dans le cadre des activités de l'ITGC celui-ci a sélectionné 43 variétés d'orge dont 9 variétés sont adoptées par les agriculteurs (**Benmahammed, 2004**). La date de réalisation des stades critiques de développement d'une culture ainsi que ses réponses aux conditions de l'environnement sont des informations utiles pour la prise de décision concernant le management et aussi les modèles de production. La productivité relativement plus élevée des variétés récentes par comparaison aux anciennes serait le résultat d'un taux de remplissage de grain plus élevé et une meilleure efficacité de la conversion de la matière sèche en nombre de grain rempli (**Abd el Hafid et al., 1996**).

2.2. Impact du changement climatique sur la céréale

2.2.1 Impact de l'augmentation de la température sur les céréales

Chez les graminées, la croissance foliaire repose sur la vitesse d'apparition des feuilles successives sur les talles (**Gillet, 1979**). Ainsi que sur la vitesse d'élongation et de sénescence des feuilles ; et la colonisation du milieu se fait par tallage. Dans les conditions naturelles de la période automne-hiver-début de printemps, **Lemaire (1987)** a montré que la réponse de l'élongation foliaire à la température était de nature exponentielle.

L'accélération de l'élongation foliaire est liée au passage des apex du stade végétatif au stade reproducteur. La date à laquelle cette accélération se produit est fonction de la vernalisation des talles et est variable selon le génotype considéré. Cette accélération de l'élongation foliaire s'accompagne d'une augmentation de la capacité photosynthétique des feuilles. Alors que la réponse de la vitesse d'apparition des feuilles à la température reste inchangée, cette accélération se traduit par une augmentation importante de la taille (et donc de la surface) des feuilles. Conjuguée à l'augmentation de la densité des talles, cette augmentation de la surface foliaire contribue à une augmentation rapide de l'indice foliaire, à une plus grande captation de l'énergie solaire et donc à une accélération de la production de matière sèche. Cependant les fortes températures peuvent aussi limiter la croissance des graminées.

Il est évident que le facteur principal interagissant dans la réponse des génotypes et la variation des conditions climatiques observées dans les zones semi-arides. Parmi les paramètres climatiques mis en cause : la température minimale et la pluviométrie du début de printemps sont les plus déterminants (**Benkharbache, 1998 ; Benkharbache et al., 2002**).

La température moyenne à la surface du globe devrait augmenter de 1.4 °C à 5.8 °C durant la période 1900-2100 (**IPCC, 2001**). L'augmentation de la température aura des effets différents en fonction de son interaction avec d'autres composantes du changement climatique et suivant l'espèce.

Des températures au-delà de celles attendues durant la saison de croissance auront de sévères conséquences sur la culture, et peuvent avoir des impacts dramatiques sur la production finale lorsqu'elles surviennent durant les stades clés du développement, même si le reste des conditions de croissance est bon (**Moriondo et al., 2011**). En effet les températures élevées peuvent perturber les capacités photosynthétiques de la plante. Si l'optimum thermique de la plante est dépassé, la fertilité des épis de certaines cultures décroît fortement (**Seguin et Stengel, 2002; Seguin et al., 2004**).

Concernant le blé, l'augmentation des températures tend à réduire la longueur du cycle de croissance induisant une plus faible interception de la radiation avec en conséquence une diminution de l'absorption du rayonnement et donc du rendement en grain (**Mearns et al., 1997; VanOijen et Ewert, 1999**). La conséquence de ce raccourcissement sur l'accumulation de biomasse et sur le rendement en grain ne sera négative qu'à partir d'un réchauffement de 2 °C (**Tubiello et al., 2000; Ferrise et al., 2011; Ventrella et al., 2012**).

2.2.2. Impact des sécheresses

Des nombreuses études ont montré que les précipitations sont caractérisées par une plus grande irrégularité ainsi que par une fréquence plus faible des jours pluvieux, jumelée à une apparition plus fréquente des pluies torrentielles (**Brunetti et al., 2002 ; Alpert et al., 2002**). Cela a induit une tendance à la diminution des pluies mensuelles dans certaines zones (**Sirangelo et Ferrari, 2003**). Et des pluies annuelles dans d'autres (**De Luis et al., 2000**). Il faudrait noter que quel que soit le cumul de pluie enregistrée durant le cycle de développement des céréales, c'est la bonne répartition de ces dernières qui conditionnent en très grande partie leur productivité (**Feliachi et al., 2001**).

La sécheresse est l'un des phénomènes naturels les plus désastreux (**Hellmuth et al., 2009**). Notamment pour les sociétés dépendant pour leur subsistance de la production agricole (**FAO, 2004**). Il existe plusieurs manières de définir une sécheresse, mais la plus générale est de considérer que la sécheresse est toute saison caractérisée par une faible pluviométrie par rapport aux besoins en eau des cultures, et dont le résultat est une pauvre récolte ou un échec total de la culture (**Giunta et al., 1993; Bannayan et al., 2010; Araya et Stroosnijder, 2011**). Il existe deux types de sécheresse : intercalaire et terminale. Dans le cas des sécheresses intercalaire, le stress peut survenir à n'importe quel moment avec des intensités variables entre la levée et la maturité, alors que la sécheresse terminale survient lorsque la culture arrive à maturité dans des conditions d'épuisement progressif de l'humidité du sol (**Ludlow et Muchow, 1990**).

Les changements futurs dans les événements extrêmes pluviométriques devraient influencer significativement sur le rendement des cultures dans les régions caractérisées par une faible disponibilité en eau (**Fahad, 2002**). Les changements climatiques vont se manifester par un raccourcissement du cycle de culture du blé dur induisant une diminution de

l'accumulation de matière sèche totale et donc du rendement en grain. (**Chourgal N, 2016**).

Le pluviomètre est irrégulier tant du point de vue quantitatif que celui de la répartition dans le temps. La contrainte hydrique est relativement présente tout au long cycle de développement de la plante suite à une distribution aléatoire de la pluie (**Benseddik et Benabdelli, 2000**).

En situation d'alimentation hydrique limitant, l'élaboration du rendement en grain est grandement conditionnée par un peuplement épis élève et l'influence du poids de mille grain reste très variable d'une campagne à une autre (**Sahnoun, 2005**).

2.2.3. Impact de l'enrichissement de l'atmosphère en CO₂

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**). Cette hausse aura un effet bénéfique sur le couvert végétal en favorisant l'activité photosynthétique des plantes. L'étude de **Seguin (2002)** montre qu'une augmentation de 20 à 30 % conduirait à une assimilation nette de 10 à 20 % plus élevée en fonction du métabolisme photosynthétique. Différentes recherches ont montré l'effet fertilisant de l'augmentation du taux de CO₂ sur la croissance des cultures et leur rendement.

A travers plusieurs études menées dans des serres et chambres de culture, **Kimbal et Ido (1983)** ont montré que la croissance des plantes et leur rendement augmentent typiquement de plus de 30 % avec un doublement de la concentration en CO₂ de l'air de 330 ppm à 660 ppm. Une concentration élevée en CO₂ influe positivement sur le taux de croissance et la photosynthèse, mais provoque une décroissance de la conductance stomatique (**Saha et al., 2012**).

Chez le blé dur, l'augmentation du taux de CO₂ provoque deux effets différents : une augmentation du taux de CO₂ intercellulaire induisant une augmentation de la photosynthèse, et la réduction de la conductance stomatique provoquant une réduction de la transpiration dont le résultat est une croissance de l'efficacité d'utilisation de l'eau (**Farquhar et al., 1978**). 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 Conroy, 2005**). Les différentes études portant sur l'effet de l'enrichissement de l'air en CO₂

sur le blé montrent par contre une large variation de la réponse de l'accumulation de la biomasse et du rendement (**Bender et al., 1999; Dijkstra et al., 1999; Pinter et al., 1996**).

Le LAI est le principal facteur de contrôle de l'interception/absorption du rayonnement par les couverts végétaux et de l'efficacité d'utilisation du rayonnement (RUE) (**Saha et al., 2012**). Avec un enrichissement du couvert végétal en CO₂ on a observé une augmentation de l'indice de surface foliaire LAI (**Batts et al., 1998; Mulholland et al., 1997, 1998**). La concentration élevée en CO₂ peut potentiellement faire augmenter le LAI, induisant ainsi la stimulation de la RUE (**Long et Drake, 1991**). **Manderscheid et al. (2003)** rapporte que l'assimilation journalière de carbone chez le blé est linéairement corrélée à l'absorption du rayonnement photo- synthétiquement actif. Ils trouvent que la RUE moyenne saisonnière augmente par enrichissement en CO₂, induisant une augmentation de la biomasse finale et du rendement en grain. Toutefois, on a trouvé que cet effet positif de l'élévation du taux de CO₂ sur la biomasse régresse vers la fin de la période de croissance (**Fangmeier et al., 1996; Mulholland et al., 1997; Pinter et al., 1996**). En effet, l'effet de l'augmentation du taux de CO₂ sur la photosynthèse est positif avant la floraison et il semblerait que cela changerait la relation gains-pertes du CO₂ dans l'élaboration du rendement en grain (**Manderscheid et al., 2003**).

PARTIE II
Matériel et Méthode

1. Présentation générale de la ville de Batna

1.1. Situation géographique et cadre administrative

La wilaya de Batna est située dans la partie Est de l'Algérie, (**Fig.3**) à la jonction de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien. Les wilayas limitrophes sont: Oum El Bouaghi, Mila et Sétif au Nord, Kanchela à l'Est, M'sila à l'Ouest et Biskra au Sud (**Mebarki R, 2002**).

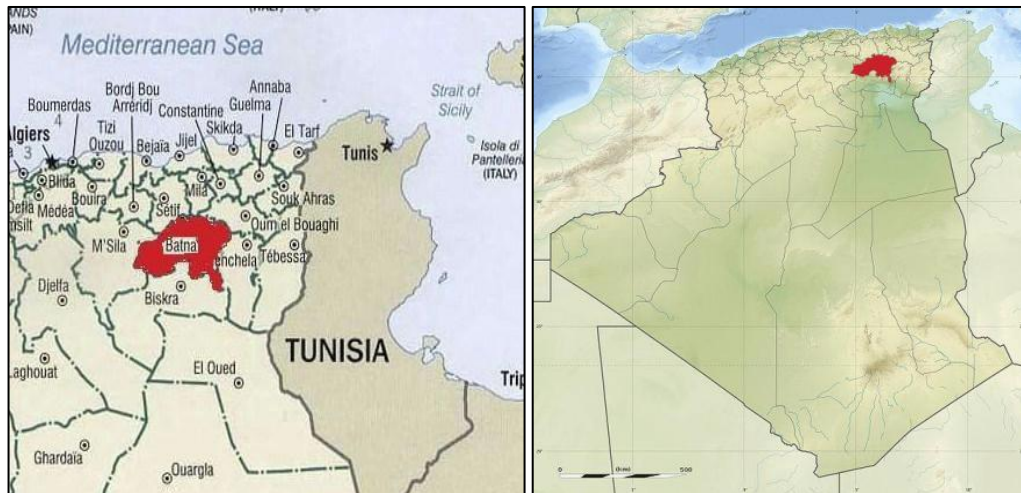


Figure.3 Situation et wilayas limitrophes de la wilaya de Batna.

La wilaya de Batna est considérée historiquement comme la capitale des Aurès. Le chef-lieu de commune « Batna » est situé dans la partie centrale du territoire de la wilaya, le chef-lieu de commune Batna s'étend sur une superficie totale de 11641 hectares. Elle est limitée par les communes de :

- Tazoult au Sud,
- Fesdis au Nord,
- Ouyoun El Assafer à l'Est
- Oued Chaâba à l'Ouest (**Mebarki R, 2002**).

1.2. Géomorphologie générale

Le relief de la région de Batna se compose essentiellement de hautes plaines du massif montagneux de l'Aurès et d'une portion de la cuvette du Hodna (**Dekhinet et al., 2007**). La forme générale est montagneuse, traverse la région du l'Est ou l'Ouest. En note aussi la présence d'une zone de plateaux sur la partie nord, et entre les chaînes montagneuses.

1.2.1 Massif de l'Aurès

Massif montagneux de l'Algérie, situé à l'est de l'Atlas saharien entre les montagnes de Tébessa à l'est, les montagnes du Hodna au nord-ouest, les montagnes du Zibans au sud-ouest. Il culmine au djebel Chelia à 2 328 m. Au Sud-Est de l'Atlas Saharien, une grande masse sombre, ramassée, compacte et en même temps plissée, ridée, torturée, traversée par de profonds cañons, c'est le massif awrasien. Ce massif plissé, aux reliefs escarpés et souvent couronnés par des Kef abrupts, est d'accès et de pénétration difficiles. Il est limité au Nord et au Nord- Ouest par le bassin de Timgad, dj. Bouarif et la dépression de Batna -Ain touta, et au Sud par le djebel Ahmer Khaddou.

1.2.2 Les hauts plateaux

Adossés au nord, les hauts plateaux qui souvent dépassent les 1 000 m d'altitude, plongent littéralement vers le nord sur le massif awrasien en cascades et en escarpements accidentés et abrupts, et vers le sud-est et sud-ouest, c'est-à-dire vers la dépression saharienne qui n'atteint pas les 150 m d'altitude. La zone des hauts plateaux qui date de l'ère quaternaire a un relief généralement plat à l'exception de la partie Nord où l'on observe des formations dunaires (Anonyme¹, 2005).

1.2.3. Pédologie

Selon le type de roches mères (calcaires, marno- calcaires, dolomies et grés calcaires et grés siliceux et l'altitude, les sols se répartissent comme suit :

En hautes altitudes et sur pentes, les sols peu évolués dominant, ils sont caractérisés par une faible profondeur et souvent riches en calcaires. Ce sont surtout des sols peu évolués bruns calcaires et ce à partir de 900 mètres. Les pentes sont souvent abruptes.

Entre les altitudes 550 et 900 mètres, les pentes s'adoucissent légèrement favorisant ainsi l'apparition des sols plus ou moins profonds de la classe des sols calci-magnésiques caractérisés par l'accumulation du calcaire sous différents états.

Dans les glacis d'accumulation à une altitude inférieure à 550 mètres les sols deviennent plus profonds et les croûtes et les encroûtements calcaires apparaissent ; ceux-ci sont caractérisés par des accumulations : Calcaires avec apparition de croûtes et d'encroûtements, Argileuses avec début d'apparition de caractères vertiques et Organiques avec apparition des ébauches d'isohumisme et des dépôts de gypse.

Dans les piémonts la salinisation des sols est la caractéristique prédominante. Plus la dépression est forte plus la salinité augmente pour atteindre un point culminant dans les Sebkhass (**Halitim et al., 2006**).

1.2.4. Hydrologie

Le réseau hydrographique est constitué de nombreux oueds, on compte les plus importants : oued El-Hai, oued El-Arab, oued Labiod. On compte ainsi la présence des chotts sur les frontières sud et nord. Ces aspects hydrologiques donnent une idée sur les principales sources hydrologiques dans la région de Batna.

Le Chott El Hodna chevauche la wilaya Batna sur 100 Km², située au Sud-est de l'Algérie et isole de la mer Méditerranéenne par 100 à 150 km de chaînes de montagnes. Le régime hydrologique est lié au régime pluviométrique caractérisé par de fortes irrégularités. La majorité des cours d'eau n'ont pas de débits pérennes, à l'exception des oueds Lougmane, El Ham, K'sob, Selmane, Berhoum, Soubella. A cela se rajoute une multitude de petits cours d'eau (Chaaba) à sec pratiquement toute l'année et qui coulent lors des chutes de pluies. (**Anonyme, 2001**).

1.2.5. Climat

Le Climat de la région de Batna est celui d'une région semi-aride. La température moyenne est de 4°C en janvier et de 35°C en juillet. Durant l'hiver la température descend en dessous de zéro la nuit avec souvent des gelées (présence de verglas sur les chaussées). Durant l'été la température peut atteindre les 45°C à l'ombre. La pluviométrie moyenne est de 210 mm par an, alors que la neige très rare, ces dernières années, ne fait son apparition que pendant quelques jours seulement.

La région de Batna est caractérisée par un climat varié, allant du semi-aride au Nord à l'aride au Sud (**Berkane et al., 2007**).

1.2.6. Végétation naturelle

Les principales formations sylvatiques sont à base de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) pur ou mélangé avec le Houx (*Ilex aquifolium*) ou chêne vert (*Quercus ilex*). Ce dernier présente des peuplements purs ou mélangé avec le genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*) ou le frêne épineux (*Fraxinus dimorpha*). Notons aussi la présence importante de peuplements reliques de pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Au parc national de Belezma, un nombre de 447 espèces de végétaux sont recensées, dont 9 espèces

endémiques, 18 espèces protégées, 14 espèces assez rares, 21 espèces rarissimes, 19 espèces rares, 62 plantes médicinales et 29 espèces de champignons.

Ce qui caractérise la région de Batna et le Parc de Belezma, c'est sa cédraie qui est l'une des plus importantes de l'Algérie. Elle occupe à elle seule 5679.3 ha, soit 21,6 % du territoire du parc. Elle renferme un cortège floristique d'une multitude d'espèces dont celles dites orophiles qui sont endémiques de l'Algérie, des Aurès et parfois même de Belezma.

La zone de Djebel Bourdjem et Chellaâla âren ferme l'unique association de haute altitude de la cédraie à grand houx (*Ilexaqui folium*) dans la réserve intégrale. Le cèdre s'individualise en belles futaies et en multiples formes (cèdres en fourches ; cèdres tabulaires et longiformes ...) dépassant les 32 m de hauteur avec un tronc de plus d'un mètre de diamètre et un chêne vert d'une hauteur de 27 m se situant dans les ravins. Des sujets de cèdre d'Atlas dépassent les 300 ans. C'est le lieu d'une luxuriante végétation constituée du cortège floristique de cèdre de l'Atlas à faciès sec ; tels que : "*Acermon spessulanum*, *Loniceraetrusca*, *Ilexaqui folium*, *Cotonea sterracemi flora*, *Berberis hispanica*, *Crataegus oxyacanthaet monogyna*, *Ophrys lutea*, *Orchis* de Robert (*Bartiaro bertina*), *Epicpatis helliborine*". Dans le Djebel Chalaâla où se trouve l'unique cédraie sur dalle rocheuse par son originalité sur une superficie de 30 Ha qui confère au paysage un cachet unique et un intérêt particulier en matière de protection (**Anonyme², 2005**).

2. L'agriculture dans la région de Batna

2.1. Situation de l'agriculture dans la région de Batna

La surface agricole totale est de 744026 hectares, parmi lequel en trouvent seulement 422677 hectares comme surface agricole utile. La jachère est considérée comme un frein à l'accroissement des productions agricoles, notamment céréalières. La logique est toute simple il faut donner plus de terres à l'agriculture, et comme la jachère occupe annuellement une superficie d'environ 254000 hectares de la SAU (**Anonyme¹, 2009**).

Les surfaces irriguées occupent moins de 30700 hectares, et elle concerne : les fourrages vertes, les cultures maraîchères, les cultures industrielles, et environ 70% d'arboriculture fruitière. En générale les cultures pratiquées au niveau de la région de Batna sont : les céréales d'hiver, les fourrages, les cultures industrielles, les cultures maraîchères et l'arboriculture fruitière.

2.1.1. Fourrages

Les légumineuses fourragères occupent une superficie de 30966 hectares ; le développement des fourrages basés sur des légumineuses locales permettrait à la région d'assurer certaines productions. La surface de fourrages irrigués est de 19735 hectares alors qu'une surface de 11231 hectares, et consacrée pour les fourrages en vert. Les régions de production des fourrages sont :

Fourrages sec : Jarma, Zana, Siriana, Ain jasser, Maader, Ras ayoun et Ouled fadel.

Fourrages vertes : Barika, Bitam, Fissedis, Ouledamar, Jarma, Boumia, Siriana, Hassi, Ain jasser et Zana (**Anonyme, 2009**).

2.1.2. Cultures industrielles

Ce sont des cultures à faible importance avec une surface de 681 hectares, permis lesquels : Tomate industrielles : 160 hectares ; Tabac : 721 hectares. On les trouve dans les régions de plaines : Belzma, Ras ayoun, Zana et Lazro (**Anonyme¹, 2009**).

2.1.3. Maraîchages

La superficie occupée est de 6289 hectares ; la plus importante c'est la pomme de terre avec une surface de 1457 hectares. On les trouve dans les régions de : Boumia, Ksar belazma, Ouled amar, Ouled salam, Timgad, Ain Jaser et Hassi (**Anonyme¹, 2009**).

2.1.4. Arboriculture fruitière

Les cultures fruitières sont présentes dans toutes les régions de Batna, leurs productions varient d'une zone à l'autre ; les cultures fruitières (à pépins ou à noyaux) occupent une superficie d'environ 14441 hectares. Pour ce qui concerne les cultures fruitières à noyaux, ce sont les abricotiers qui occupent la plus grande superficie en rapport avec: 4231 hectares. Quant aux cultures fruitières à pépins, c'est le pommier et qui prédominent avec 3253 hectares.

L'olivier est l'arbre qui a toujours bénéficié d'une attention particulière de la part des paysans et surtout des paysans montagnards. L'oléiculture, qui est une activité ancestrale, constitue un moyen de satisfaction des besoins alimentaires et un patrimoine culturel. L'huile d'olive y est un produit de haute qualité gustative, nutritionnelle et sanitaire. Cette culture occupe une surface d'environ 4888 hectares.

La phoeniciculture est la base essentielle de l'agriculture saharienne, de par sa capacité d'adaptation et de résistance dans une région où le climat est à son extrême. Cette

culture ancestrale est présente dans la région de Batna dans les zones sud avec une surface d'environ 188 hectares. On trouve aussi des cultures moins importantes comme :

La vigne:98 hectares ; le Figuier : 78 hectares. Les zones potentielles pour l'arboriculture dans la région de Batna sont :

- Le pommier : Aichamoul, Fountob, Aris, Ain tota, Hidossa, Ouyounassafir et Tazoult.
- L'abricotier : Bnifadel, Maafa, Manaa, Boumagueur, N'gaous, Sefiane, Ouled si slimane, Lamsan, Takeslant et Ras oyoun.
- L'olivier: Bitam, Barika, Azil abdkader, Djazar, Ain tota, Ouledamar, Sgana, Boumagueur, N'gaous et Sefiane.
- Le palmier dattier : Mdokal, Bitam et Gassira(**Anonyme¹, 2009**).

2.1.5. La céréaliculture

La céréaliculture pratiquée dans la région de Batna est caractérisée par une faible production. La pression exercée par les facteurs du milieu, notamment l'irrégularité des pluies et leurs insuffisances dans la plus part des cas, les mauvaises pratiques culturales sont des facteurs en agissent directement sur les faibles rendements. Les cultures plantées sont principalement les céréales d'hiver avec une surface d'environ 115997 hectares. En compte le Blé dur avec un surface de 47166 hectares, le Blé tendre : 7969 hectares, Orge : 59483 hectares et l'Avoine : 1379 hectares. Ces cultures sont concentré en zones de plaines dans les régions de: Timgad, Chmara, Boulihliat, Ain yagot, Siriana, Lazro et Zana (**Anonyme¹, 2009**).

3. Les données climatiques observées

3.1. Source

Trente années de données climatiques journalières (précipitation, température moyenne, humidité relative, durée d'ensoleillement et vitesse du vent) ont été collectées à partir de la station météorologique de la région d'étude. La série climatique s'étend de 1989 à 2018 et est collectée à l'échelle du temps journalier.

4. Méthodologie et démarche utilisées

4.1. Simulation du climat présent et scénarios climatiques futurs

Les données journalière simulées de précipitation, température moyenne, humidité relative, vitesse du vent et rayonnement solaire sont obtenues par le modèle climatique ARPEGE-Climat, version 4 (**Déqué, 2007**). De Météo-France. Le modèle couplé ARPEGE-

Climat a été choisi pour sa capacité à reproduire de manière acceptable les principales caractéristiques du climat méditerranéen (Déqué et al., 1994; Déqué, 2007). Il a été en effet utilisé pour des études d'impact (Garcia de Cortazar, 2006; Terray et Braconnot, 2007; Lhomme et al., 2009; Sanabria et Lhomme, 2014; Chourghal et al., 2016). Et il s'agit de l'un des modèles retenus par l'IPCC (2007).

Le modèle génère une première série de 29 ans représentant le climat présent, couvrant la période 1989-2017 pour Batna, et une deuxième série de données représentant le climat futur possible de 2071 à 2100 selon le scénario SRES A1B (IPCC, 2001). Ce dernier a été choisi du fait de sa caractérisation médiane de l'évolution de la concentration en CO₂ de l'atmosphère et de la croissance économique.

4.2. Simulation de la culture du l'orge

Le modèle utilisé dans notre étude est un simple modèle générique axé sur les processus, ayant la capacité de calculer le développement, le bilan hydrique et le rendement de la culture du l'orge. Conçu dans une perspective agro-météorologique à l'échelle régionale, il est la combinaison et l'adaptation de modèles déjà appliqués à différentes cultures annuelles (Lhomme et Katerji, 1991; Lhomme et al., 2009; Sanabria et Lhomme, 2013; Sanabria et al., 2014; Chourghal et al., 2016). Le modèle fonctionne au pas de temps journalier suivant une succession d'étapes ; il utilise quatre entrées climatiques (précipitation, température moyenne, rayonnement solaire et évapotranspiration de référence) et certains paramètres concernant la culture.

Il se compose de 5 sub-routines à savoir:

- 1- Détermination de la date de semis,
- 2- Détermination de la durée théorique des différentes phases phénologiques,
- 3- Calcul de l'évolution du LAI et du rendement potentiel,
- 4- Calcul du bilan hydrique sur le cycle cultural,
- 5- Interruption du cycle par un stress hydrique pendant la période de floraison, calcul du rendement réel.

4.2.1. Détermination de la date de semis

Le semis est prescrit : La date de semis JA est fixée au 1^{er} Novembre avec une irrigation d'appoint (P_s) le jour même (Teixeira et al., 1995).

4.2.2. Détermination de la durée théorique des phases phénologiques

Les longueurs des phases de développement de la culture sont exprimées en temps thermiques appelés aussi sommes de température (ST) avec une température de base de 0°C (**Soltner, 1987**). Quatre phases phénologiques sont prises en considération : la phase initiale $L1$ (semis-germination), la phase de développement végétatif $L2$ (tallage), la phase de mi-saison $L3$ (montaison) et la phase de fin de saison de croissance $L4$ (floraison-remplissage des grains). Chacune d'elles requiert une somme de température (ST_k) nécessaire à sa réalisation. L'obtention de la somme de température nécessaire à la réalisation d'une phase donnée définit automatiquement sa longueur et donc la date de sa fin. La date de semis étant désignée par $D1$, quatre autres dates ($D2, D3, D4, D5$) sont ainsi définies : $D2 = D1 + L1$, $D3 = D2 + L2$, $D4 = D3 + L3$, $D5 = D4 + L4$.

4.2.3. Calcul du rendement potentiel (maximum) et de l'évolution du TDM

Le rendement potentiel (Y_m) est calculé en utilisant la relation de Monteith (**Monteith, 1977**), qui relie l'accumulation de la biomasse totale TDM_m (total dry mater) au rayonnement solaire incident R_s multiplié par l'efficacité climatique ε_c (supposée égale à 0.48), l'efficacité d'absorption ε_a et l'efficacité biologique de conversion ε_b , appelée aussi efficacité d'utilisation du rayonnement RUE (**Chourghal, 2016**).

Le rendement maximum est obtenu en multipliant la production de matière sèche totale (TDM_m) par l'indice de récolte HI (harvest index) :

$$Y_m = HI \cdot TDM_m$$

HI est pris égal à 0.27, valeur déterminée pour des variétés algériennes (**Ali Dib et al., 1992**).

4.2.4. Calcul du bilan hydrique sur le cycle cultural

Le bilan hydrique est calculé par le modèle développé et validé par **Lhomme et Katerji (1991)**. C'est une approche à un seul réservoir sol, basée sur les mêmes principes que le modèle CROPWAT développé par la FAO (**Allen et al., 1998**). Dans ce modèle, la capacité du réservoir sol RU (réserve disponible totale ou réserve utile), définie comme la différence entre la quantité d'eau dans la zone racinaire à la capacité au champ et celle au point de flétrissement permanent, est considérée constante durant tout le cycle de la culture et égale à sa valeur maximale RU_x . Cela, afin de tenir compte des possibilités de changement du régime

pluviométrique futur et d'arrivée de quantité significative de pluies précoces, capables de remplir le réservoir sol en début de saison de culture. Nous avons utilisé la valeur de 80 mm, déterminée expérimentalement par la station ITGC.

Le bilan hydrique au jour j de la zone racinaire est calculé suivant un processus récurrent :

$$RD(j) = RD(j-1) + P(j) + I(j) - ET(j) - D(j)$$

$RD(j)$ est les réserve disponible à la fin du jour j , $RD(j-1)$ est la réserve disponible à la fin du jour antérieur, $P(j)$ est la précipitation du jour j , $I(j)$ est l'irrigation net, $ET(j)$ est l'évapotranspiration et $D(j)$ la percolation profonde.

Dans des conditions standard, le calcul de l'évapotranspiration de la culture ET_c se fait par la multiplication de l' ET_0 par le coefficient cultural K_c , qui varie principalement avec les caractéristiques de la culture :

La variation du K_c est décrite à partir de trois valeurs correspondant à trois phases phénologiques différentes: phase initiale ($K_{c1} = 1.00$), phase de mi- saison ($K_{c2} = 1.15$) et phase de fin de saison avec une valeur finale $K_{c3} = 0.25$. Entre ces stades, les valeurs du K_c sont linéairement interpolées utilisant les longueurs des phases phénologiques. La résolution du bilan hydrique permet de calculer le déficit hydrique de la culture (DHC) sur une période donnée, défini comme étant la somme des déficits hydriques journaliers :

$$\sum DH(j) = \sum [(j) - (j)]$$

Un indice normalisé du stress hydrique (ISH) variant entre une valeur 0 (pas de stress) et 1 (stress total) est ainsi défini :

$$\sum [(j) - (j)] / \sum (j)$$

4.2.5. Calcul du rendement réel Y_a

Les fonctions linéaires production végétale-eau, développées par **Doorenbos et Kassam (1979)** sont utilisées pour évaluer l'effet du déficit hydrique des cultures sur le rendement. Le rendement relatif, c'est-à-dire le rapport entre le rendement réel de la culture (Y_a) et son rendement maximum Y_m est déterminé comme suit

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (K_y \cdot ISH)$$

K_y est le facteur de réponse du rendement, déterminé pour un certain nombre de cultures par **Doorenbos et Kassam (1979)** et publié dans le bulletin FAO N° 33. Cette approche générale a été développée et appliquée à tout type de culture et validée dans différentes études expérimentales (**Raes et al., 2006**). Dans le cas l'orge, la valeur de 1.05 pour le K_y est indiquée.

5. Estimation de l'impact du changement climatique sur le développement et le Rendement de la culture du l'orge

L'impact du changement climatique sur la culture du blé dur est étudié en comparant les sorties du modèle utilisant les données climatiques observées à celles obtenues en entrant les données climatiques futures. Le modèle offre une grande diversité de choix concernant les sorties. Par conséquent, nous nous sommes intéressés particulièrement aux sorties suivantes :

- Dates de réalisation des stades phénologique de la culture (D1, D2, D3, D4 et D5), leur longueur et la longueur totale du cycle phénologique.
- Caractéristiques statistiques du rendement maximum, de la matière sèche totale, du rendement réel et de la variation relative de rendement (**Chourghal, N et al., 2016**).

PARTIE

Résultats et discussions

1. Introduction

Nous apportons dans ce chapitre le traitement ainsi que l'interprétation des résultats de l'étude du climat observé et des changements climatiques futurs, et nous avons mis l'accent sur les précipitations et la température. Le chapitre commence d'abord par la description des valeurs annuelles et mensuelles interannuelles des différents paramètres climatiques observés dans la zone d'étude, et ensuite étudie l'évolution du climat récent par l'analyse des moyennes interannuelles des paramètres climatiques, et ensuite la comparaison entre climat futur et climat observé et l'étude du changement climatique, enfin l'étude de son impact sur la culture de l'orge. Quatre principaux aspects sont traités: l'impact sur la date de récolte, sur la longueur de cycle de la culture, sur le rendement potentiel et enfin sur le rendement réel.

2. Le climat récent observé

2.1 .Caractéristiques du climat récent observé

2.1.1. Valeurs interannuelles

La précipitation moyenne interannuelle calculée sur la série historique de la région de Batna est caractérisée par une moyenne de 328, 7 mm et un écart type de 104, 6 mm les valeurs élevées de l'écart type confirment le caractère irrégulier et aléatoire des précipitations dans la région.

La température interannuelle à Batna est d'une moyenne de 15, 6 °C et d'un écart type de 0, 7 °C (**tableau 1**).

Les valeurs de précipitations et de températures indiquées ci-dessus confirment bien la relative aridité de la région.

Tableau 1 Moyennes et écart types interannuels de précipitations et températures à Batna.

	Precipitation (mm)	Temperature (°C)
Moyenne	328,7	15,6
Ecart type	104,6	0,7

2.1.2. Valeurs Moyennes mensuelles interannuelles

A Batna, le climat est plus sec et plus chaud. Les précipitations mensuelles interannuelles évoluent entre un maximum de 38,3 mm calculé sur le mois de janvier et un minimum de 6,9 mm calculé sur le mois de Juillet (**Fig. 4**).

Les températures moyennes mensuelles interannuelles évoluent entre un minimum de 5,6°C en Janvier et un maximum de 27°C en Juillet.

Le calcul sur la série climatique observée de Batna indique une température maximale journalière interannuelle de 35,7°C contre une température minimale journalière interannuelle de 0,5°C.

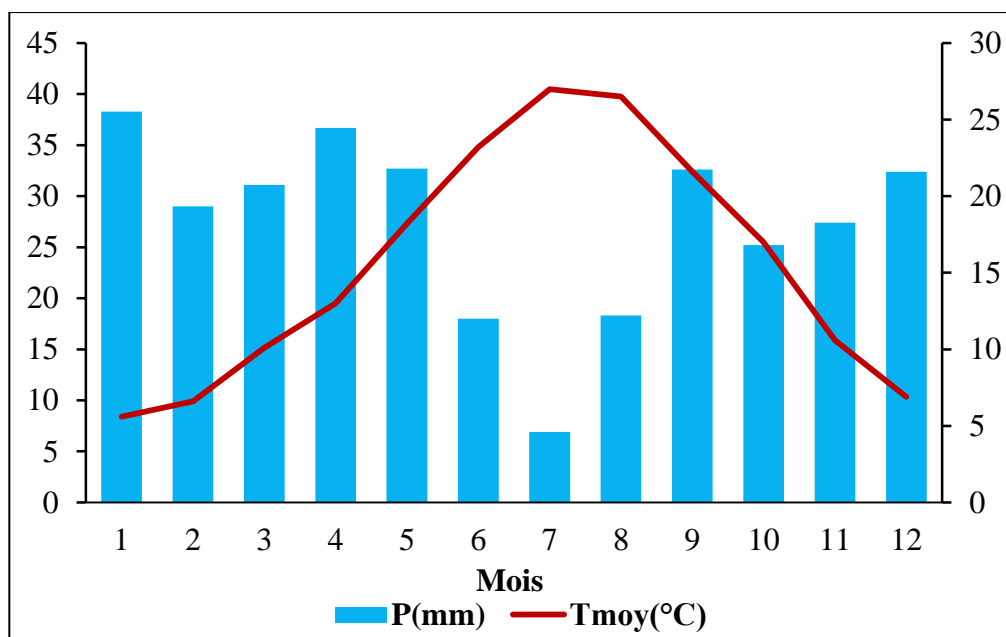


Figure.4. Evolution des précipitations et des températures mensuelles interannuelles dans la région de Batna durant la période 1989-2017.

Le cumul pluviométrique sur l'ensemble du cycle de la culture de l'orge n'est que de 245,6 mm imposant une situation très défavorable par rapport aux besoins de la culture.

3. Etude du climat futur

3.1 Caractéristiques statistiques du climat futur

3.1.1 Valeurs interannuelles

La précipitation moyenne interannuelle projetée sur la série future (2071- 2100) de la région de Batna est caractérisée par une moyenne de 321,1 mm et un écart type de 75,3 mm soit une diminution de 7.6 mm par rapport à la valeur calculée sur la période observée.

Dans le scénario futur la température interannuelle à Batna est d'une moyenne de 19,3°C et d'un écart type de 0,7 °C. Une augmentation remarquable de l'ordre de 3,7°C est calculée par rapport à la température moyenne du passé (**Tableau 2**).

Tableau 2 Moyennes et écart types interannuels de la précipitation et de la température futur (2071-2100) de la région d'étude.

	Precipitation (mm)	Temperature (°C)
Moyenne	321,1	19,3
Ecart type	75,3	0,7

3.1.2 Valeurs Moyennes mensuelles interannuelles

Les précipitations mensuelles interannuelles diminuent globalement dans le climat futur. Ceci concerne particulièrement le printemps et l'hiver.

Les températures moyennes mensuelles interannuelles futures évoluent entre un minimum de 9,8°C en Janvier et un maximum de 30,7°C en Juillet (**Fig. 5, Fig. 6**).

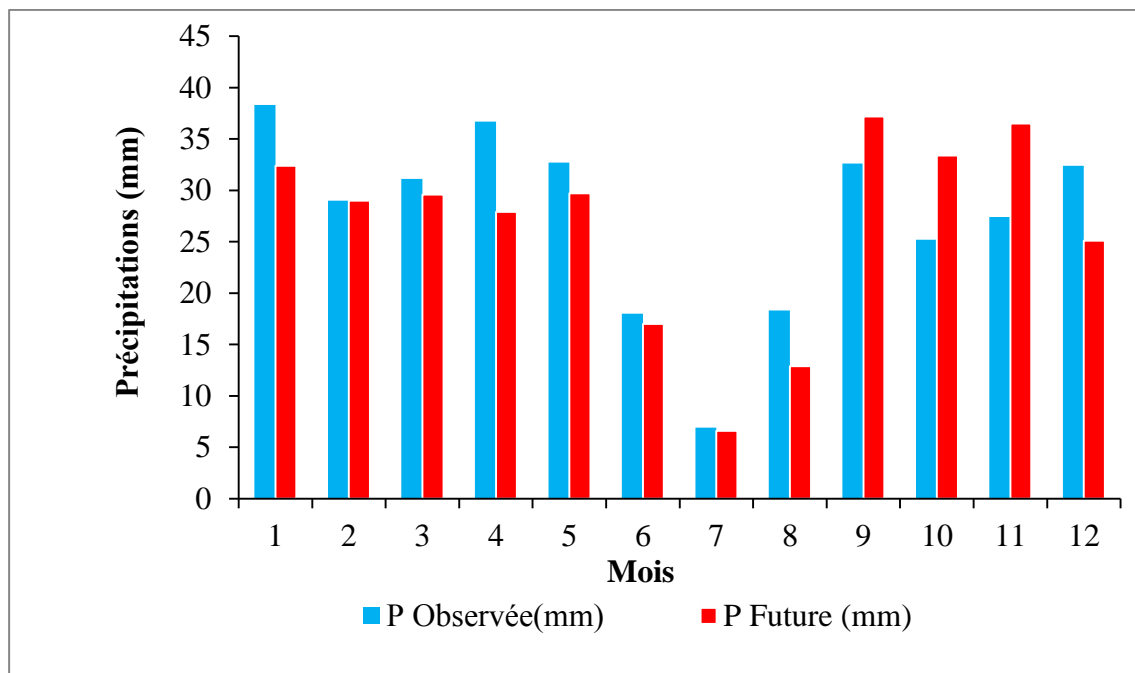


Figure.5. Précipitations mensuelles interannuels observées (1989-2017) et futures (2071-2100) dans la région de Batna.

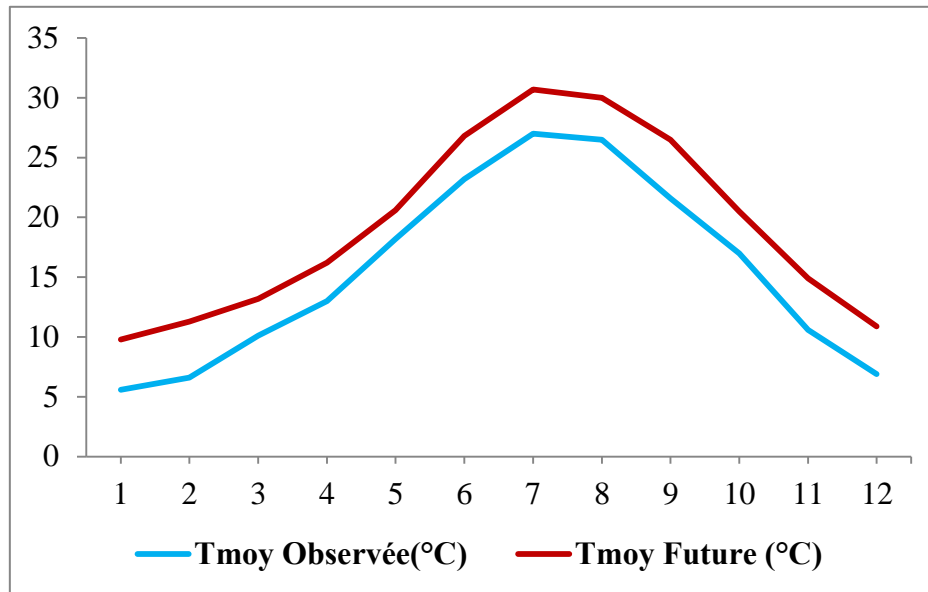


Figure.6. Températures moyennes mensuelles interannuelles observées (1989-2017) et futures (2071-2100) dans la région de Batna.

Une augmentation importante allant jusqu'à 4°C, est calculée sur le scénario climatique futur en comparaison avec le climat historique (**Tableau 3**).

Tableau 3 Comparaison climat observé et climat future.

	P Observée (mm)	P Future (mm)	T moy Observée (°C)	Tmoy Future (°C)
1	38,3	32,4	5,6	9,8
2	29	29	6,6	11,3
3	31,1	29,6	10,1	13,2
4	36,7	27,9	13	16,2
5	32,7	29,7	18,2	20,6
6	18	17	23,2	26,8
7	6,9	6,6	27	30,7
8	18,3	12,9	26,5	30
9	32,6	37,2	21,6	26,5
10	25,2	33,4	17	20,5
11	27,4	36,5	10,6	14,9
12	32,4	25,1	6,9	10,9

4. Caractéristiques du climat futur

4.1 Température

L'étude du changement climatique est basée sur le calcul des anomalies à partir des scénarios actuels qui s'étendent sur les périodes 1989-2017 pour Batna, et les scénarios futurs qui concernent la période 2071-2100. Pour la région d'étude, le modèle ARPEGE prévoit une température moyenne interannuelle de l'ordre de 19,3°C, soit un réchauffement moyen de la zone de 3,8°C (**Tableau 4**).

Tableau 4 Anomalies moyennes mensuelles entre les scénarios future et actuel.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P(%)	-15	0	-5	-24	-9	-6	-4	-30	+14	+33	+33	-23
T (°C)	+4,2	+4,7	+3,1	+3,2	+2,4	+3,6	+3,7	+3,5	+4,9	+3,5	+4,3	+4

Le calcul des anomalies entre scénario actuel et futur, indique que la température future augmente systématiquement durant toute l'année.

L'augmentation minimale a lieu au mois de Mai avec +2,4°C, l'augmentation maximale concerne les mois Septembre avec +4,9°C. Cependant l'hiver suivie de l'automne puis l'été sont indiqués être les saisons les plus concernés par ce réchauffement climatique.

4.2 Précipitation

A l'inverse des températures, les précipitations mensuelles interannuelles futures diminuent globalement dans notre site d'étude (Tableau 13) avec quelques exceptions.

Les précipitations annuelles à Batna diminuent de -3 %. Les précipitations mensuelles interannuelles diminuent tout au long de l'année avec une décroissance maximale en Avril et Aout et Juillet (supérieure à -20 %).

Exceptionnellement, les précipitations sont indiquées s'améliorer pendant l'automne (+27%).

5. Impact du changement climatique sur la culture de l'orge à Batna

5.1 Date de récolte

La récolte avance à Batna de 31 jours entre la situation actuelle et le scénario futur, et se produit le 17 Mai au lieu du 17 Juin (**tableau 5**).

La précocité de la date de récolte est due aux augmentations de températures déjà discuté. Comme le réchauffement est plus important concernant l'hiver et l'automne, le raccourcissement concernera automatiquement la phase végétative du fait de l'accumulation rapide des somme de température (degrés jours) nécessaires à l'accomplissement de ces phases, d'autant plus que la somme de température nécessaire est petite (700°C). Cela induit automatiquement un rapprochement de la date de récolte (**annexe tableau1**).

5.2 Longueur du cycle de culture

L'avancement de la date de récolte dans le scénario futur induit un raccourcissement du cycle de la culture. En effet, cette dernière est de 228 jours dans la situation actuelle et devient 197 jours dans la situation future (**tableau 5**).

Nos résultats rejoignent ceux de **Guereña et al. (2001)**, **Giannakopoulos et al. (2009)**, **Moriondo et al. (2011)**, **Ventrella et al. (2012)**, **Lhomme et al. (2011)** et **chourghal et al. (2016)** indiquant que le réchauffement futur à travers le Bassin Sud Méditerranéen raccourcit le cycle de croissance de la céréale.

Tableau 5 Date de semis, de récolte et durée du cycle de culture, dans la situation réelle et future.

	Date de semis	Date de récolte	Longueur du cycle
Situation actuelle	305	168±8	228±8
	(1 Nov.)	(17 Jui.)	
Scénario futur	305	137±7	197±7
	(1Nov.)	(17 Mai)	

5.3 Le rendement potentiel ou maximum (Ym)

Les valeurs de rendement potentiel (Ym) sont faibles dans la région de Batna. Le rendement maximum décroît systématiquement dans le climat futur (**Tableau 6**). Cette valeur diminue de -11% dans le climat futur. Ceci est probablement dû à une diminution de la matière sèche totale (TDM) dans le climat futur. L'augmentation des températures tend à réduire la longueur du cycle de croissance induisant une plus faible interception de la radiation avec en conséquence une diminution de l'absorption du rayonnement et donc du

rendement en grain (Mearns *et al.*,1997; Van Oijen et Ewert, 1999).La conséquence de ce raccourcissement sur l'accumulation de biomasse et sur le rendement en grain ne sera négative qu'à partir d'un réchauffement de 2 °C (Tubiello *et al.*, 2000; Ferrise *et al.*, 2011; Ventrella *et al.*, 2012).

Tableau 6 Le rendement potentiel (t/h) dans la région d'étude.

	Ym	Ecart
Situation actuelle	0.41±0.04	-11%
Situation future	0.37±0.05	

Comme le rendement potentiel dans notre modèle est calculé utilisant la TDM et l'indice de récolte (HI), pris ici égal à 0.27, la décroissance future du rendement potentiel a pour seule origine la diminution de la TDM. Il apparaît donc que le passage d'un taux de CO₂ de l'air de 370 ppm à 700 ppm, ainsi que les faibles augmentations du rayonnement solaire caractéristiques du climat futur, sont incapables d'atténuer les effets négatifs du raccourcissement du cycle sur l'accumulation de la matière sèche et le rendement en grain.

5.4. Le rendement Réel (Ya)

L'effet négatif du climat futur sur le rendement réel est très significatif à Batna (**Tableau 7**). La diminution relative de Ya est de -21%. Cela est dû à la fois à la diminution du rendement potentiel Ym et à l'augmentation de l'indice de stress hydrique ISH dans le climat futur (voir Chap. Matériels et Méthodes p 28).

Tableau 7 le rendement réel (t/ha) dans la situation réelle et future de Batna.

	Ya	Ecart
Situation actuelle	0.19±0.06	-21%
Situation future	0.15±0.07	

Conclusion

Conclusion

Les résultats de l'analyse du passé récent indiquent la présence d'un changement climatique concernant la précipitation et la température. La température a augmenté, La précipitation relativement a diminué dans la zone d'étude.

Dans le contexte des changements climatiques futurs, la région de Batna, située à l'étage bioclimatique semi-aride, est indiquée devenir encore plus aride.

Les températures futures augmenteront et le réchauffement climatique dans la région avoisine les 3 °C.

Les précipitations au futur diminuent de -3%, mais les précipitations en fin été début automne sont projetées s'améliorer considérablement offrant des possibilités de réaliser les semis précoces.

Dans le climat futur la date de récolte avance et le cycle de culture est raccourci du fait du réchauffement climatique. Les rendements diminuent non seulement du fait de la baisse de l'accumulation de la matière sèche du fait du raccourcissement mais aussi du fait de la sévérité de stress hydrique.

La présente étude fait émerger le semis précoce, comme une première stratégie d'atténuation des effets négatifs du changement climatique sur la céréaliculture en milieu semi-aride Sud Méditerranéen. En effet, les augmentations futures des températures permettront à la culture de réaliser son cycle plutôt et ainsi d'échapper aux sécheresses de printemps indiquées être à la fois plus précoces et plus sévères. Ici le facteur variétal est très déterminant, ce qui nécessite des études supplémentaires.

Notre travail reste cependant préliminaire, il conviendrait alors d'approfondir cette initiative à travers d'autres régions tout en variant les modèles climatiques et culturaux.

Reference bibliographique

Abdelgufri A. Ramdan A. (2003) Evaluation des besoins en matière de renforcement des Capacités nécessaires à la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité importante pour l'agriculture (recueil des communications « Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité ») p 3.

Aït Rachid L. (1991) Essai comparatif de quelques lignées F6 d'orge (*Hordeum vulgare L*)
Thèse d'ingénieur. INA, El Harrach. 138 p.

Alpert P. Ben-Gai T. Baharad A, Benjamini Y. Yecutieli D. Colacino M. Diodato L, Ramis C. Homar V. Romero R. Michaelides S. Manes A. (2002) The paradoxical.

Anonyme¹ (2005) Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, Chott El Beïdha – Hammam Essoukhna. Direction générale des forêts, Algérie, 10 p.

Anonyme² (2005) Atlas des parcs nationaux algériens. Direction générale des forêts, Algérie, 96 p.

Araya A, Stroosnijder L (2011) Assessing risk and irrigation need in Northern Ethiopia.
Agric Forest Meteor 151: 425- 436.

Badr A. Muller K. Schafer-Pregl R. El Rabey H, Effgen S. Ibrahi H.H, Pozzi C. Rohde W. Salamini F (2000) The origin, domestication and history of barley (*Hordeumvulgare L.*)
Molecular Biology and Evolution, 17: 499-510.

Baldy C (1974) Etude frequantielle du climat. Son influence sur la production des zones céréalières en Algerie. Eds.Paris. 152p.

Bannayan M. Sanjani S. Alizadeh A. Sadeghi Lotfabadi S. Mohamadian A (2010) Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. Field Crops Res 118 (2): 105-114.

Batts GR. Ellis RH. Morison JIL. Hadley P (1998) Canopy development and tillering of Field-grown crops of two contrasting cultivars of winter wheat (*Triticum aestivum L*) in response to CO₂ and temperature. Ann Appl Biol 133: 101-109.

Bazzaz FA.(1990) the response of natural ecosystem to the rising global CO₂ levels. Annu Rev Ecol Syst 21:167-196.

Belaid D. (1996) Aspect de la céréaliculture algérienn. Office des Publications Universitaires, Alger 207-217 p.

Belkhiri K.(2006) Contrôle Rapide des Structures en Relation avec le Risque et Evaluation des Dommages Causés par une Catastrophe Naturelle : cas de séisme .Mémoire de Magister, Université El Hadj Lakhder, Batna, 121 p.

Bender J. Hertstein U. Black CR. (1999) Growth and yield responses of spring wheat to increasing carbon dioxide. *European Journal of Agronomy* 10 (3-4): 185-195.

Benkharbache N. (2002) contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité du Rendement de l'orge (*Hordeum vulgare L*) en zones semi-arides d'altitudes. Thèse magistère, INA Alger, 54 p.

Benlaribi M.(1984) Facteurs de productivité chez six variétés de blé dur (*Triticum durumDesf*) cultivées en Algérie. Thèse de Magister, I.S.B. – Université de Constantine,111p.

Benlaribi M. (1990) Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) : Etude des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse de Doctorat d'Etat, I.S.N.- Université de Constantine, 164 p.

Bensaoud R. (2002) Climat et santé humaine au Maghreb (Projet régional RAB/94/g31) Renforcement des capacités au Maghreb p 99.

Benseddik B. benabdelli K(2000) impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*triticum durum desf.*) en zone semi- aride : Approche éco-physiologique. *Sécheresse*, (1) 11 :45-51.

Benyettou M. Abdelkader B, Bouklikha A (2017) Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie p13.

Berkane A. Yahiaoui A. (2007) L'érosion dans les Aurès .*Sécheresse*, 18 (3): 213-6.

Berkane A. Hassaine B. Yahiaoui A. (2005) La désertification dans les Aures .cas des piments sud et sud-ouest. *Protection du milieu physique* .Département d'agronomie, niversité de Batna, 9 p.

Bœuf F. (1932) le blé en Tunisie. *Annales des services de botanique et agronomie de Tunisie*. Tome VIII/ :456p.

Bon jean A. Piccard E (1990) Les céréales à pailles. Origine, histoire, économie et sélection. Edition nathan, 235p.

Bothmer R.V. Jacobsen N (1985) Origin, Taxonomy, and Related Species. In Barley. (Eds.) Donald & Rasmusson. Agronomy, 26: 19-53.

Boucher O. (2011) Le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD).

Boufenar Z. Zaghouane O. Zaghouane F. (2006) Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie. Ed. ITGC, ICARDA. Alger, 154 p.

Boulal H. Zaghouane O. EL Mourid M. Rezgui S (2007) Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.

Bouzerzour H. Djekoun A. benmohammed A. hassous KL. (1998) Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité au rendement en grain de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) en zones semi- arides d'altitudes .cahiers d'études et de recherche francophone, Agriculture , méthode et techniques,(7) 4 : 3-7.

Bouzerzour H. Benmahammed H. Benkharbache N, Hassous K.L.(2002) Contribution des nouvelles obtentions a l'amélioration et à la stabilisation du rendement chez l'orge (*Hordeum vulgare L*) En zones semi arides. Revue recherches agronomique, INRA Alger ,10:45-58.

Brunetti M. Maugeri M. Nanni T. Navarra A. (2002) Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series, during the last century in Italy. Int J Climato 22: 543–558. DOI: 10.1002/joc.751.

BSA.(2007) Bulletin de statistique agricole- Inventaire statistique des terres agricoles. Ministère de l'agriculture, Série B, 21p.

Burroughs WJ. (2001) Climate Change a Multidisciplinary Approach; First Edition Cambridge, UK, Cambridge University Press, 298p.

Burroughs WJ. (2007) Climate change a multidisciplinary approach. Combridge university (eds), Second Edition. UK, Cambridge, pp344.

Camille M. (1980) Céréales. Phytotechnie spéciale bases scientifiques et techniques de la Production des principales espèces de grande culture en France. Maison rustique, PARIS ,1980. 318p.

Chadefaud M. Emberger L. (1960) Traité de botanique. Systématique. Les végétaux vasculaires par L. Emberger. Fasciculé Masson et Cie. Tome II, 753p.

Challinor AJ. Wheeler TR. Craufurd PQ. Slingo JM. (2005) Simulation of the impact of high temperature stress on annual crop yields. Agric For Met 135:180-189. doi:10.1016/j.agrformet.2005.11.015.

Charlotte P. Rémy F (2015) la direction d'Anne-France Didier (Directrice du Plan Bleu) et de Jean-Pierre Giraud Changement climatique, les notes du Plan Bleu, 27 mai (2015).

Ressources et milieu naturel.

http://planbleu.org/sites/default/files/publications/notes27_cc_fr_web.pdf.

Chouaki S. Bessedik F. Chebouti A , Maamri F. Oumata S. Kheldoun S . Hamana M-F. Clément M. Grandcourt. Prats J (1981) Les céréales Edit Baillièrre et fils Paris.351p.

Chourghal N. (2016) Impacts des changements climatiques sur la culture du blé dur en Algérie. Thèse de doctorat, ENSA,(58p-65p).

Chourghal N. Huhard F. Boukhalfa H. Belhamra M. (2018) Le climat récent observé et les changements climatiques futurs dans la région de bordj Bou Arreridj. Courier du Savoir, 26: 585- 592.

Cline W. (2007) Global Warming and Agriculture-Impact Estimates by Country. Center for Glob Dev, Washington.164 p.

CNIS. (2005) Agriculture algérienne. Les statistiques. <http://www.douanes.cnis>. Dz Cooperer PJM, Gregory PJ, Tully D, Harris HC, Loomis RS (1987) Improving water use efficiency of annual crops in rainfed systems of West Asia and North Africa. Exp Agric 23:113-158.

Daouar A.(2018) Impact des variations climatique sur la production agricole (céréales) dans la région du Haut Cheliff de la région d'Ain Defla p3.

De Luis M. Raventós J. González-Hidalgo JC. Sánchez JR. Cortina J.(2000) Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain). *Int J of Climato* 20: 1451–1469.

Dekhinet S. Berkane A. Yahiaoui A. Hassaine B. Chaabane K. (2007) Carte des substances utiles de la wilaya de Batna. Laboratoire de LAPAPEZA, Université de Batna. Rapport final, (2007), 9 p.

Djermoun A.(2009) La production céréalière en Algérie: les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie* (1) :45-53.

Dijkstra P. Schapendonk AHMC. Groenwold K. Jansen M. Van de Geijn SC (1999) Seasonal changes in the response of winter wheat to elevated atmospheric CO₂ concentration grown in open-top chambers and field tracking enclosures. *Glob Change Biol* 5 (5): 563-576. doi: 10.1046/j.1365-2486.(1999).00249.x.

Fahad M A. (2002) Possible effects of global warming on agriculture and water resources in Saudi Arabia: impacts and responses. *Clim. Change* 54: 225-245. 10.1023/A:1015777403153.

Fangmeier A. Grüters U. Hertstein U. Sandhage-Hofmann A. Vermehren B. Jäger HJ (1996) Effects of elevated CO₂, nitrogen supply and tropospheric ozone on spring wheat. 1. Growth and yield. *Environ Pollut* 91:381_/390.

FAO. (2004) The state of food insecurity in the world. Food and Agricultural Organisation of the United Nation, Rome, 41 p.

FarahA K. (2014) Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien.

Farquhar GD. Dubbe DR. Raschke K. (1978) Gain of the feedback loop involving carbon dioxide and stomata. *Plant Physiol*: 62: 406-412.

Feillet P. (2000) Le grain de blé. Composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA. ISSN: 1144- 7605. ISBN: 2- 73806 0896- 8. p 308.

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.

Feliachi K. Ameroun A. Khaldoun A. (2001) Impact de la sécheresse sur la productivité des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie. *Céréaliculture*, 35 :28-37.

Ferris R. Ellis RH. Wheeler TR. Hadley P. (1998) Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown crops of wheat. *Ann Bot* 82:631-63.

Fischer G, Shah M, Van Velthuisen H (2002) Climate Change and agricultural Vulnerability. World Summit on sustainable Development, Johannesburg, South Africa. Available at: <http://ivm5.ivm.vu.nl/adaptation/project/files/File>.

Francisco J. Meza Daniel Silva (2009) Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change. *Climatic Change* 94 :143-156. doi: 10.1007/s10584-009-9544-z.

Friedlingstein P. Dufresne J-L. (2005). Cycle du Carbone et climat : une accélération des changements climatiques, Paris, N° ISSN : 1021 7711.

Gallagher J.N. Briscoe P.V. Hunter B (1976) Effect of drought on grain growth nature, 264 :541-542.

Giannakopoulos C. Le Sager P. Bindi M. Moriondo M. Kostopoulou E. Goodess CM (2009) Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming. *Glob Planet Change* 68:209 224. doi:10.1016/j.gloplacha.2009.06.001.

GIEC (2007) Changements climatiques (2007) : Résumé à l'intention des décideurs : Impacts, Adaptation et Vulnérabilité, Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, GIEC Cambridge 22p.

GIEC.(2013) cité dans PNUE/PAM, (2016), Stratégie méditerranéenne pour le développement durable(2016) 2025.,p.52.

GIEC. (2007) Bilan (2007) des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, p. 30.

GIEC (2008) Glossaire du document technique VI, le changement climatique et l'eau.

Giunta F. Motzo R. Deidda (1993) Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean's environment. *Field Crop RES*, 33 :399-409. doi: 10.1016/0378-4290(93)90161-F.

Grillot (1959) La classification des orges cultivées. *Au. Am. Plants*, 4: 446-486.

Guerenã A. Ruiz-Ramos M. Di'az-Ambrona CH. Conde J. Mi'nguez MI. (2001) Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models. *Agron J* 93:237-249.

Hakimi M. (1993) L'évolution de la culture de l'orge : le calendrier climatique traditionnel et les données agro météorologiques modernes. In the agro meteorology of rainfed barley based farming systems. Proceeding of an International symposium (6 - 10 march 1989, Tunis). Ed. Jones M, Marthys G, Rijks D. 157 – 166p.

Hansen JW. Potgieter A. Tippett MK. (2004) Using a general circulation model to forecast regional wheat yields in northeast Australia. *Agric Forest Meteorol* 127 (1-2): 77-92. doi:10.1016/j.agrformet.2004.07.005.

Hazmoune T. (2006) Le semis profond comme palliatif à la sécheresse. Rôle de la coléoptile dans la levée et conséquences sur les composantes du rendement. Thèse docteur d'état. Univ Constantine; 168p.

Hellmuth ME. Osgood DE. Hess U. Moorhead A. Bhojwani H. (2009) Index insurance and climate risk: prospects for development and disaster management. *Climate and society* N°2. International Research Institute for climate and society IRI, Columbia University, New York.

Hitz S. Smith J.(2004) Estimating global impacts from climate change. *Glob Environ Change* 14, 201-218. doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.04.010.

IPCC (2007) *Climat change (2007)*. (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/voir>).

Jestin L. (1992) L'orge. In: Gallais A. et Bannerot H. (Eds.). *Amélioration des espèces végétales cultivées*. Ed. INRA, Paris, pp. 55- 70.

Kaiser HM. Riha SJ. Wilks DS. Rossiter DG. Sampath R (1993) A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming. *Am J Agric Econ* 75(2):387-398.

Kimball BA. Idso SB. (1983) Increasing atmospheric CO₂: effects on crop yield, water use and climate. *Agric Water Manag* 7: 55-72. doi: 10.1016/0378-3774(83)90075-6.

Le Treut H. (2003) Les scénarios globaux de changements climatique et leurs incertitudes. *Geoscience* 335:525-533. doi:10.1016/S1631-0713(03)00096-8.

Lespinas F. (2008) Impacts du changement climatique sur l'hydrologie des fleuves cotiers en région Languedoc-Roussillon, thèse de doctora, L'Unvirsite de Perpignan p 10-13.

Lhomme JP. Katerji N. (1991) A simple modelling of crop water balance for Agrom et eorological applications. *Ecol Model* 57:11-25.doi:10.1016/0304-3800(91)90052-3.

Lhomme JP. Latiri K. Annabi M. Setter TL. (2010) Wheat production in Tunisia: Progress, inter- annual variability and relation to rainfall. *Europ J Agro* 33:33-42. doi:10.1016/j.eja.2010.02.004.

Lhomme JP. Mougou R. Mansour M. (2009) Potential impact of climate change on durumwheat cropping in Tunisia. *Clim Chang* 96:549-564. doi:10.1007/s10584-009-9571-9
Li FS and Lu SN (2000) Study on the fertigation and its application. *Plant Nutri Fertiliz Sci* 6(2):233-240.

Lobell DB. Burke MB. Tebaldi C. Mastrandrea MD. Falcon WP. Naylor RL (2008) Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319, 607-610.

Long SP. Ainsworth EA. Leakey ADB. No" sberger J. Ort DR. (2006) Food for thought: lower-than-expected.

Ludlow M M. Muchow RC (1990) A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in agronomy* 107-105.

Manderscheid R. Burkart S. Bramm A. Weigel HJ. (2003) Effect of CO2 enrichment on growth and daily radiation use efficiency of wheat in relation to temperature and growth stage. *Europ J Agronomy* 19:411-425. doi: 10.1016/S1161-0301(02)00133-8.

Mate. (2003) Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, pp 465.

Mebarki R. (2002) présentation cas d'étude quatrième chapitre p 119.

Messadi (2009) Détermination des cultivars de blé tendre adaptés au climat semi-aride méditerranéen, l'IHFR Oran 146 P.

Moriondo M. Giannakopoulos C. Bindi M. (2011) Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Clim Change* 104:679-701. doi:10.1007/s10584-010-9871-0.

Mougou R. Mansour M. Iglesias A. Zitouna Chebbi R. Battaglini A. (2011) Climate change and agricultural vulnerability: a case study of rain-fed wheat in Kairouan, Central Tunisia. *Reg Environ Chang* 11: 137-142. doi: 10.1007/s10113-010-0179-4.

Moriondo M. Giannakopoulos C. Bindi M. (2011) Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation. *Climat Change* 104: 679-7 01. doi:10.1007/s10584-010-9871-0.

Mulholland BJ. Craighon J. Black CR. Colls JJ. Atherton J. Landon G. (1997) Effects of elevated carbon dioxide and ozone on the growth and yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L). *J Exp Bot* 48: 113-122. doi: 10.1093/jxb/48.1.113.

Negadi A. (2009) Géographie de l'Aurès. Html, (2009), 4 p.

Norby RJ. Luo Y. (2004) Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in multi-factor world. *New Phytol* 162:281-293. doi: 10.1111/j.1469-8137.2004.01047.

ONERC. (2007) Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique, Paris, ISBN : 978-2-11-00-6618-0.

ONM. (1992) Bulletin annuel des données météorologiques p12.

Pagney P. (1993) Les climats de la Terre ; Masson, Paris – 2e édition plan Bleu chapitre 1- Bassin méditerranéen : changement climatique et impacts au cours du 21^{ème} siècle centre d'Activités Régionales-Sophia Antipolis p14-17-34.

Parry ML. Rosenzweig C. Iglesias A. Fischer G. Livermore MTJ. (1999) Climate change and world food security: a new assessment. *Glob Environment Change* 9: S51-S67. doi:10.1016/S0959-3780(99)00018-7.

Pinter PJ. Kimball BA. Garcia RL. Wall GW. Hunsaker DJ. Lamorte RL. (1996) Free-air CO₂ enrichment: responses of cotton and wheat crops. In: Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems [Koch GW, Mooney HA (Eds.)]. Academic Press, San Diego.

Prats H. (1960) Vers une classification des graminées. Revue d'Agrostologie Bull. Soc Bot. France: 32-79p.

Rasmusson DC. (1985) Ideo type research and plant breeding. Plant science, 87; 395-397.

Rasmusson DC. (1987) Barley crop. An SSA/ASA Monograph series number 56. Madison, Eds ASA. 250p.

Saha S. Sehgal V K. Nagarajan S. Pal M. (2012) Impact of elevated atmospheric CO₂ on radiation utilization and related plant biophysical in pigeon pea (*Cajanus cajan L.*). Agric and Forest Meteor 158-159:63-70. doi:10.1016/j.agrformet.(2012).02.003.

Sahnoun M. (2005) Etudes des parametres morph- physiologique de la resistance à la sechresse chez l'orge (*Hordeum vulgare L.*). Thèse de doctorat d'état en sciences Agronomique INA, Alger, 135P.

Sanabria J. Lhomme JP. (2013) Climate change and potato cropping in the Peruvian Altiplano. Theor Appl Climatol 112: 683-695. doi: 10.1007/s00704-012-0764-1.

Schilling J. Freier K P. Hertig E. Scheffran J. (2012) Climate change, vulnerability and adaptation in North Africa with focus on Morocco. Agricul Ecosys Environ 156:12-26. doi:10.1016/j.agee.2012.04.021.

.Seguin B. Stegel .(2002) Changements climatiques et effet de serre. Technical report, INRA mensuel.

Seltzer P. (1946) le climat de l'Algérie. Institut de météorologie et de physique du globale de l'Algérie(Ed) , université d'Alger, 219p.

SELTZER P. (1946) Le climat de l'Algérie (Etude de l'institut de Météorologie et de physique du globe P52.

Site1 :<https://www.aquaportail.com/definition-5191-facteurs-climatiques.html>.

Site2 : <http://la.climatologie.free.fr/facteur-climat/factclimat.htm>.

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) 07.002.

Sirangelo B. Ferrari E. (2003) Unaverifica statisticadella presenza di variazioninella pluviometriare centerelativa ad un bacinodell'Italia meridionale.

Smadhi D. Zella L. Semiani M. Chabane A.Fedjer Z. (2013) Evolution des cultures céréalières (1876-2011) en Algérie et perspectives. *Recherche agronomiques*.

Soltner D (2005) Les grandes productions végétales. Céréales. Collection sciences et techniques agricoles. 20^e édition. Paris. France, pp 21-55.

Soltner (1990) Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed .1 7^{ème} édition .Paris. France., 464p.

Stéphane P. Guillaume D L. Antoine A. Stéphane Q. Laurent D (2016) les défis du changement climatique en méditerranée p 12.

Tabet S . (2008) Le changement climatique en Algérie Orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire de Magistère en Ecologie végétale 69P.

Taibi S. (2011) Analyse du régime climatique au nord de l'Algérie. Ecole National Supérieure d'Agronomie El Harrach Alger.

Tao F. Zhang Z. (2011) Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Clim Change* 109: 409-432. doi:.10.1007/s10584-010-9883-9.

Touchan R. Anchukaitis KJ. Meko DM. Sabir M. Attalah S. Aloui A. (2011) Spatiotemporal drought variability in north western Africa over the last nine centuries. *Clim Dyn* 37: 237-252. Doi: 10.1007/s00382-010-0804-4.

Ventrella D. Charfeddine M. Moriondo M. Rinaldi M. Bindi M. (2012) Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. *Reg Environ Chang* 3: 204-219. doi:10.1007/s10113-011-0256-3.

Viner D. Morison J. Wallace C (2006) Recent and future climate change and their implications for plant growth In *Plant Growth and Climate Change*. Blackwell Publishing, UK, 213p.

Xiao G. Zhang Q. Yao Y. Zhao H. Wang R. Bai H. Zhang F. (2008) Impact of recent climatic change on the yield of winter wheat at low and high altitudes in semi-arid north western China. *Agric Ecosys Environ*127:3742.doi:10.1016/j.agee.2008.02.007.

Zohary D. Hopf M. (1993) *The domestication of plants in the Old World*. Oxford, Clarendonpress.ed.2.x-278p.(ed.1:1988).P.S

Annexes

Tableau 1 Impact du changement climatique sur la culture de l'orge à Batna

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Anomalies de T (%)	+3.7	+2.5	+1.5	+1.2	+2.4	+2.3	+3.8	+5.3	+4.3
Situation Actuelle	<p>Phase Végétative (L1, L2) Phase Reproductive (L3, L4)</p> <p>D1, D2, D3, D4, D5</p>								
Situation Future	<p>Phase Végétative (L1, L2) Phase Reproductive (L3, L4)</p> <p>D1, D2, D3, D4, D5</p>								

Résumé

Notre de travail a pour un objectif l'étude du changement climatique, et de son impact sur le développement et le rendement de la culture de l'orge (*Hordeum vulgare L.*), dans la région de Batna. Vingt-neuf ans (1989-2017) de données climatiques journalières (précipitation, température moyenne, humidité relative, durée d'ensoleillement et vitesse du vent) ont été collectés à partir de station météorologiques de la région d'étude, analysées et utilisées par le modèle ARPEGE climat version 4 selon le scénario A1B, pour générer le climat futur (2071-2100). La simulation de l'impact du changement climatique sur le cycle culture de l'orge et sur son rendement a été faite par un modèle agro-météorologique simple journalier basé sur le temps thermique.

Dans le contexte des changements climatiques futurs, les températures augmenteront et le réchauffement climatique dans la région avoisine les 3 °C et les précipitations diminuent de -3%, avec à l'inverse une amélioration considérable des précipitations en fin été début automne. La date de récolte avance et le cycle de culture est raccourci de 31 jours. Les rendements diminuent de -21%, non seulement du fait de la baisse de l'accumulation de la matière sèche du fait du raccourcissement mais aussi du fait du stress hydrique projeté être plus sévère.

Mots clés: Changement climatique, impacts, cycle de culture, rendement, Batna, l'orge.

دراسة تأثير تغير المناخ في المستقبل على زراعة الشعير في البيئة شبه القاحلة: حالة منطقة باتنة

ملخص

العمل يهدف الى دراسة التغيرات المناخية، و تأثيرها على تطور و مردودية زراعة الشعير (*Hordeum vulgare L.*) في منطقة باتنة. تسعة و عشرون عاما (1989-2017) من المعطيات المناخية اليومية (التساقط، متوسط درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، مدة سطوع الشمس و سرعة الرياح) المتحصل عليها من طرف المحطة المناخية لمنطقة الدراسة محللة و مستعملة بالنموذج المناخي ARPEGE الإصدار 4 و وفقاً لسيناريو A1B، لتوليد المناخ المستقبلي (2071-2100). ومحاكات تأثير التغير المناخي على الدورة الزراعية للشعير و مردوبيته من خلال نموذج بسيط للأرصاء الجوية الزراعية يعتمد على الوقت الحراري اليومي.

في سياق تغير المناخ في المستقبل، سوف ترتفع درجات الحرارة وارتفاع درجة حرارة الأرض في المنطقة المحيطة ب 3 ° C وانخفاض هطول الأمطار بنسبة -3٪، مع العكس تحسن كبير في هطول الأمطار في أواخر الصيف إلى أوائل الخريف. يتقدم تاريخ الحصاد ويتم تقصير دورة المحاصيل بنسبة 31 يوماً. تنخفض المردودية بنسبة -21٪، ليس فقط بسبب الانخفاض في تراكم المواد الجافة بسبب التقلص ولكن أيضاً بسبب الإجهاد المائي المتوقع أن يكون أكثر حدة.

الكلمات المفتاحية: تغيرات مناخية، تأثيرات، دورة زراعية، مردود، باتنة، الشعير.

Study of the impact of future climate change on barley cultivation in semi-arid environment: Case of the Batna region

Abstract

The purpose of Our work is to study climate change and its impact on the development and yield of barley (*Hordeum vulgare L.*) in the Batna region. Twenty-nine years (1989-2017) of daily climate data (precipitation, mean temperature, relative humidity, sunshine duration and wind speed) were collected from meteorological stations in the study area, analyzed and used by the model ARPEGE climate version 4 according to the A1B scenario, to generate the future climate (2071-2100). The simulation of the impact of climate change on the barley crop cycle and on its yield was made by a simple daily agro-meteorological model based on thermal weather.

In the context of future climate change, temperatures will increase and global warming in the region will be around 3 ° C and precipitation will decrease by -3%, with a significant improvement in precipitation in late summer and early autumn. The harvest date advances and the crop cycle is shortened by 31 days. Yields decrease by -21%, not only because of the decrease in the dry matter accumulation due to the shortening but also due to the water stress projected to be more severe.

Key Words : climat change, impacts, crop cycle, yield, Batna, barley.