

DYNAMIQUE DU CLIMAT ET IMPACT SUR LA PRODUCTION D'ORGE DANS LA ZONE DE BÉJA AU NORD-OUEST DE LA TUNISIE

Sonia Mansouri

Laboratoire de grandes cultures, Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT), Ariana, Tunisie

Leila Radhouane

Laboratoire des Sciences et Techniques Agronomiques, Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT), Ariana, Tunisie

Abstract

This study aims to evaluate the effects of climate change on barley production in the Beja region in north western Tunisia. Precipitation and temperature are among the most critical factors that influence agricultural sector.

The results showed that the average annual precipitation has increased. It was also shown that the distribution of rainfall has changed significantly. In fact, February rain is more than doubled; while the June precipitation is diminished. For temperature, it was seen an increase in average temperatures due to the increase in minimum temperatures.

The trend of barley production appears stable and even slightly positive. This improved yields of barley appear related primarily to the increase in average temperatures (especially minimum) and secondly to rainfall increase.

Keywords: Climate Change, Barley, Precipitation, Temperature, Beja, Sub-Humid

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer les effets du changement climatique sur la production d'orge dans la région de Béja au Nord Ouest de la Tunisie. Parmi les facteurs les plus déterminants pour le secteur agricole, se trouvent les précipitations et la température.

Les résultats ont montré que les précipitations moyennes annuelles ont augmenté. Il a été démontré également que la répartition des pluies a beaucoup changé. En effet, le mois de Février a vu ses précipitations plus que doublée; alors que les pluies de mois de Juin vont à la baisse. Pour le

deuxième facteur important, il a été enregistré une augmentation des températures moyennes suite à l'augmentation des températures minimales. La tendance de la production d'orge dans la zone semble stable et même légèrement positive. Cette amélioration des rendements d'orge semblent liée en premier lieu à l'augmentation des températures moyennes (particulièrement les minima) et en deuxième lieu à l'augmentation des précipitations.

Motsclés: Changement climatique, orge, précipitation, température, Béja, sub- humide

Introduction

Les menaces liées à la variabilité climatique et à la dégradation de l'environnement sont de nature à porter atteinte à la sécurité environnementale et alimentaire. En effet, une des conséquences du changement climatique est son impact actuel et futur sur l'agriculture (Mozny et al., 2009). Ainsi, l'accroissement de la teneur en gaz carbonique et autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère, l'élévation de la température, la modification des régimes pluviométriques, et donc des différents termes du bilan hydrique (évaporation, drainage, ruissellement), l'évolution de la couverture nuageuse, et donc du bilan radiatif sont autant de composantes dont il faut prévoir les modifications et quantifier les conséquences. En ce sens, le changement climatique va fortement intensifier et accélérer des problèmes existants plus qu'il ne va en créer de nouveaux (Downing et al, 1997).

Les conséquences observées ou prévisibles du changement climatique sont multiples. Elles vont de simples perturbations météorologiques et écologiques à des impacts plus sérieux et plus déterminants pour l'avenir de l'humanité et qui concernent sa sécurité alimentaire et sa survie (Kurukulasuriya et Rosenthal (2003). En effet, on estime que certains phénomènes climatiques peuvent expliquer entre 15% et 35% de la variation globale du rendement chez le blé, les oléagineux et les céréales secondaires (Howden et al., 2007). Dans ce sens, Challinor et al. (2014) auraient prévu des diminutions du rendement de blé de 45% et 15% respectivement dans les régions tropicales et dans les zones tempérées.

Les effets du changement climatiques seraient plus perceptibles dans les zones arides et semi-arides qui sont qualifiées comme étant les zones les plus vulnérables aux changements climatiques (Giorgi, 2006). En effet, le modèle MAGICC (Hulme et al. 2000) et le Plan Bleu (2008), centrés sur la région du Maghreb dont fait partie la Tunisie, estiment un réchauffement de l'ordre de 1°C entre 2000 et 2020 et une perturbation des régimes pluviométriques avec une tendance à la baisse, de l'ordre de 5 à 10 %. A plus

long terme, la température pourrait augmenter de 3°C d'ici 2050 et dépasser les 5°C en 2100, alors que les précipitations diminueraient de 10 à 30 % d'ici 2050 et de 20 à de 50 % en 2100. Des changements dans les moyennes, mêmes faibles, impliquent une augmentation de la fréquence des extrêmes climatiques (Katz et Brown, 1992). Les risques principaux concernent alors une probable augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses et de la concentration des épisodes pluvieux sur un faible nombre de jours faisant ainsi peser des risques considérables sur l'agriculture (Dias de Oliveira et al., 2013). D'après le Houérou (1992), le processus de changement climatique se traduira par un déplacement vers le nord des étages bioclimatiques méditerranéens, conduisant en Afrique du Nord à une remontée des zones arides et désertiques. Tous les modèles prévoient une baisse des rendements agricoles au Maghreb (Rozenzweig et Tubiello, 2007). Au Maroc, le modèle Cropwat appliqué aux cultures de céréales hivernales et pluviales (Bouazza et al. 2002) montre des rendements en baisse de 10 % en année normale à près de 50 % en année sèche d'ici 2020. Avec une fréquence des sécheresses d'une année sur trois à l'horizon 2020, la production nationale accuserait une baisse de 30 %. De son côté, l'Algérie anticipe des réductions moyennes des rendements de 5,7 % à près de 14 %. Le changement climatique touchera également les légumes dont les rendements diminueraient de 10 à 30 % en Algérie, à près de 40 % au Maroc à l'horizon 2030 (Moriondo et Bindi, 2006).

Pour l'agriculture, les incidences du changement climatique sur l'écophysiologie et le potentiel de production des cultures dépendent essentiellement de trois composantes (le taux de CO₂, la température et l'eau) et de leurs interactions sans toutefois prédire lequel de ces trois facteurs serait le plus déterminant ou le plus dominant pour l'agriculture (Houghton, 2010).

Pour le facteur température, ses effets seraient différents sur les plantes selon leur distribution géographique. Ainsi, pour les zones arides et semi-arides, les moyennes de température et des extrêmes des maxima, seront plus importantes et supérieures aux températures moyennes du reste de la planète (Labelle et al. 2008; Touchan, 2010). En effet, la fréquence des jours au cours desquels la température dépasserait 30 °C serait élevée (Giannakopoulos et al. 2009; Rosenzweig et al, 2002). Ce réchauffement raccourcirait les cycles de culture, principalement les céréales, provoquerait une anticipation importante de la floraison, entraverait les capacités photosynthétiques provoquant ainsi de forts risques d'échaudage et de faibles rendements (Chakrabarti et al. 2012; Lehmann et al., 2013). Le problème peut s'aggraver lorsque aux grandes chaleurs s'ajoutent le risque de manque d'eau (stress hydrique), ce qui affectera les rendements moyens (en quantité et en variabilité). En effet, dans les zones arides et semi-arides, l'élévation de

température est accompagnée d'une augmentation de l'évapotranspiration (Polley et al. 2008) et d'un déficit hydrique (Schroter et al. 2005) conduisant à une baisse de la photosynthèse (Nösberger et al. 2000; Clausen et al., 2011).

Le facteur eau est au coeur du débat sur les principaux impacts attendus du changement climatique sur l'environnement naturel en zones arides (El-Quosy, 2009). En effet, ces zones seront particulièrement affectées par les sécheresses, qui seront plus fréquentes, plus intenses et plus durables, particulièrement en été (Elrafy, 2009). De plus, les précipitations y seront diminuées (28% de diminution pour le cas de la Tunisie en 2030), les pluies torrentielles seront plus fréquentes (PNUE, 2008) et le recours à l'irrigation sera le seul palliatif pour combattre le manque à gagner (Hulme et al. 2001). Dans ce contexte, IPCC (2007) prévoit que les rendements de l'agriculture pluviale dans les régions arides seraient diminués de 50% vers l'an 2020. Aussi, les revenus agricoles baisseraient d'environ 90% en 2100 (Boko et al. 2012). D'autre part, la raréfaction des eaux de bonne qualité avec la diminution des précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration et la montée du niveau marin font que les eaux et les sols ont tendance à la salinisation (Abou-Hadid, 2006). Cette nouvelle contrainte (salinisation) aura des répercussions négatives sur l'agriculture.

Les cultures pluviales seront directement affectées, les zones d'irrigation privées et de petite ou moyenne hydraulique souffriront également de la rareté de l'eau, certaines pouvant être vouées à redevenir des cultures pluviales, et les zones irriguées verront leurs besoins s'accroître.

Pour le cas de la Tunisie, et d'après les données de l'atlas climatique de la Tunisie, l'ensemble des stations dans différents étages bioclimatiques et reliefs montrent par la méthode des moyennes mobiles une tendance au réchauffement depuis 1975. En effet, il a été enregistré une élévation de température de +1.1°C au cours du siècle passé alors qu'à l'échelle globale, le rapport d'IPCC (2007) indique une élévation de +0.6°C.

Pour les précipitations, aucune tendance significative n'a été notée, cependant une augmentation de la variabilité a été observée. De plus, une augmentation des inondations depuis 1958 et des sécheresses depuis 1988 ont été constatées (GIZ, 2011).

Des projections de dernière génération pour l'avenir climatique pour la Tunisie à l'horizon 2020 et 2050 (GIZ, 2011) ont montré un réchauffement de l'ordre de +1 à 1,7°C d'ici 2030, une faible baisse des cumuls pluviométriques de l'hiver et du printemps et de fortes incertitudes sur l'évolution des fortes précipitations avec les projections les plus pessimistes donnant une augmentation de +25%. Ces projections stipulent aussi une forte disparité régionale des modifications des régimes thermiques et pluviométriques (le Sud sera beaucoup plus impacté que le Nord (plus

grande augmentation des températures et baisse des précipitations). Le centre est en situation intermédiaire.

Le présent travail se propose d'étudier la dynamique du climat et son impact sur la production d'orge dans la zone de Béja au nord-ouest de la Tunisie. Le choix de l'étude est justifié par l'importance du secteur céréalier dans cette zone et aussi par l'importance des superficies emblavées en orge. En effet, environ 57% des terres cultivées sont occupées par les cultures céréalières (Chebil et al. 2011) et 13,5% de ces terres produisent de l'orge (DGPA, 2009). De plus, le secteur céréalier est le plus menacé par le changement climatique (Melki et al. 1995; Alemayehu et al., 2013; Challinor et al., 2014).

L'objectif principal de ce papier est de quantifier statistiquement les modifications climatiques (température et pluviométrie) sur une période de 25 ans et aussi de voir leurs effets respectifs sur le rendement de l'orge.

Matériels et méthodes

Choix de la zone d'étude

Le gouvernorat de Béja fait partie du secteur Nord Ouest de la Tunisie. Il se situe entre la Latitude : 36°43'32" Nord et la Longitude : 9°10'54" Est. Son altitude par rapport au niveau de la mer est de 222 m.

Béja couvre une superficie de 374.000 ha dont la partie agricole représente 341.000 ha soit 91% de la totalité. La partie agricole est elle-même divisée en 251 mille hectares de terres cultivables et 90 mille hectares de terres forestières et d'herbages. Les cultures céréalières constituent une spéculation abondante, environ 57% des terres cultivées sont occupées par les cultures céréalières, faisant de cette région la première en termes de superficies dédiées à la céréaliculture. La céréaliculture est quasi totalement menée en régime pluvial (95%).

Au niveau économique, la région se caractérise par son aspect agricole grâce aux capacités importantes. Elle participe dans la production nationale à raison de 20 % des céréales, 20% de légumineuses, 12,5 % du lait et 10 % des viandes rouges.

Il existe à Béja deux types de climats: au Nord un climat humide avec une pluviométrie entre 600 et 1200 mm et au Sud un climat assez sec avec une pluviométrie entre 350 et 450 mm.

Collecte des données statistiques

Les données utilisées pour l'analyse statistique ont été collectées auprès des différents organismes nationaux. Les rendements sont fournis par la Direction Générale de la Planification Agricole (DGPA, 2013). Les données sur les précipitations et les températures sont obtenues auprès de la

Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE, 2013), et auprès de l’Institut National de la Météorologie (INM, www.meteo.tn).

Analyse des données collectées

Toutes les données climatiques ainsi que celles relatives aux rendements de l’orge sont étudiées sur une période de 23 ans (1990-2013).

Tous les paramètres étudiés sont traités statistiquement grâce au logiciel Excel et au programme STAT-ITCF.

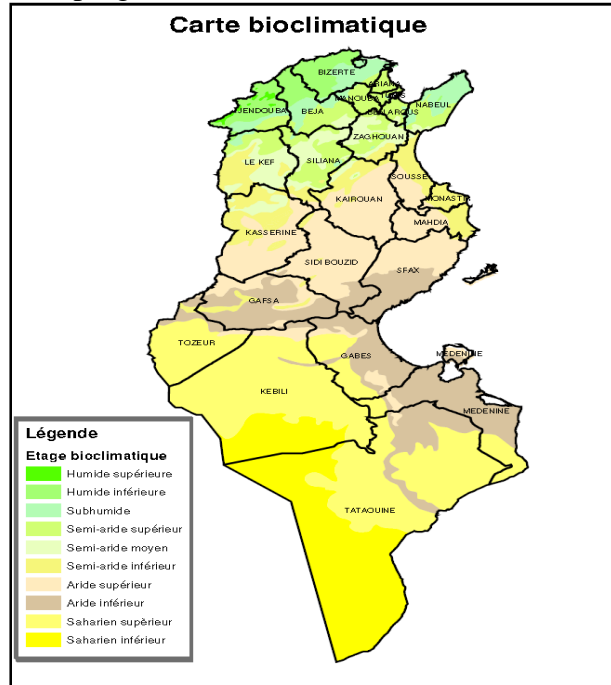


Fig.1. Carte bioclimatique de la Tunisie

Calcul des températures mensuelles minimale, maximale et moyenne

Les températures mensuelles minimale, maximale et moyenne ont été calculées selon les formules suivantes:

$$T_{min(moy)} = \sum T_{min_j} / NB$$

$$T_{max(moy)} = \sum T_{max_j} / NB$$

$$T_{moy} = T_{min(moy)} + T_{max(moy)} / 2$$

$T_{min(moy)}$ est la température minimale moyenne en °C; $T_{max(moy)}$ est la température maximale moyenne en °C; T_{moy} est la température moyenne mensuelle en °C ; NB est le nombre de jours.

Les températures quinquennales minimale, maximale et mensuelle ont été également formulées. Il s'agit de calculer la moyenne de chaque type de température sur une période de 5 ans.

Calcul des précipitations mensuelles, annuelles et quinquennales

Les précipitations mensuelles, annuelles et quinquennales ont été obtenues d'après les formules suivantes:

$$P_m = \sum P_j / NB$$

$$P_a = \sum P_m$$

$$P_q = \sum P_a / 5$$

P_m est la pluie moyenne mensuelle en mm; P_j est la pluie journalière en mm; P_a est la pluviométrie annuelle en mm; P_q est la précipitation moyenne annuelle sur une période de 5 ans; NB est le nombre de jours.

Les précipitations moyennes quinquennales estivales (Juin, Juillet, Août) et celles hivernales (Décembre, Janvier, Février) ont été également formulées.

Calcul des rendements moyens annuels et quinquennaux de l'orge

Les formules suivantes ont été appliquées pour le calcul des rendements.

R_a est le rendement annuel de l'orge pour l'année considérée en qx/ha.

R_q est le rendement quinquennal (qx/ha). C'est un rendement moyen annuel sur une période de 5 ans obtenu comme suit:

$$R_q = \sum R_a / 5$$

Détermination des droites de régression

Les droites de régression des différents paramètres étudiés ont été définies d'après l'équation suivante $Y = Ax + B$ avec $A = \text{cov}(x,y) / X^2$ et $B = m(y) - am(x)$ avec A est la pente de la droite de régression par rapport à l'axe des x, ou encore le taux moyen de croissance des précipitations par unité de temps; B est la coordonnée verticale de l'intersection entre la droite de régression et l'axe des ordonnées y.

La régression pour certains paramètres a été de type polynomial et non linéaire.

Résultats

Evolution des températures pour la période 1991-2013

Les températures mensuelles minimale, maximale et moyenne pour une période de 23 ans sont représentées dans la figure 2.

Le graphique montre que les mois les plus froids sont Décembre, Janvier et Février où les températures minimales oscillent entre 5 et 6°C. Par

contre, la période la plus chaude s'étale sur 4 mois (Juin, Juillet, Août, Septembre) avec des maxima allant de 31 à 37 °C.

Si nous regardons de plus près l'évolution de chacune de ces températures, en divisant la période d'étude sur des intervalles de 5 ans, nous obtenons le graphique 2 qui montre que les températures moyennes ont évolué vers la hausse. En effet, il a été enregistré une augmentation de 0.78 °C par rapport à l'année de référence (1991). Cette élévation trouve son explication dans l'augmentation des températures minimales; celles-ci ont augmenté de 1.61 °C par rapport au quinquennal 1991-1995. Ces constatations sont confirmées par la figure 3 qui montre que la droite de régression des températures minimales quinquennales est de type linéaire et où le taux moyen de croissance des précipitations par unité de temps est positif. Les températures moyennes suivent la même évolution que les températures minimales. En revanche, l'évolution des températures maximales est de type polynomial indiquant que cette évolution ne suit pas une logique ordonnée dans le temps.

Evolution des précipitations pour la période 1991-2013

La répartition mensuelle moyenne des pluies sur une période de 23 ans (fig.4) montre que les mois le plus pluvieux est le mois de Décembre avec une moyenne de 116 mm. Il est suivi par les mois de Janvier et de Février où la pluviométrie est en moyenne de 85 mm. En revanche, l'été reste la saison la plus sèche avec le mois de Juillet comme le mois le moins arrosé (en moyenne 6 mm).

L'analyse de la variation des précipitations sur la période d'étude (1991–2013), montre une augmentation des précipitations annuelles moyennes avec une moyenne de 500,5 mm pour la quinquennale 1991–1995, alors que la moyenne des 10 dernières années dépasse les 700 mm (figure 5). La courbe de régression confirme cette tendance à l'augmentation.

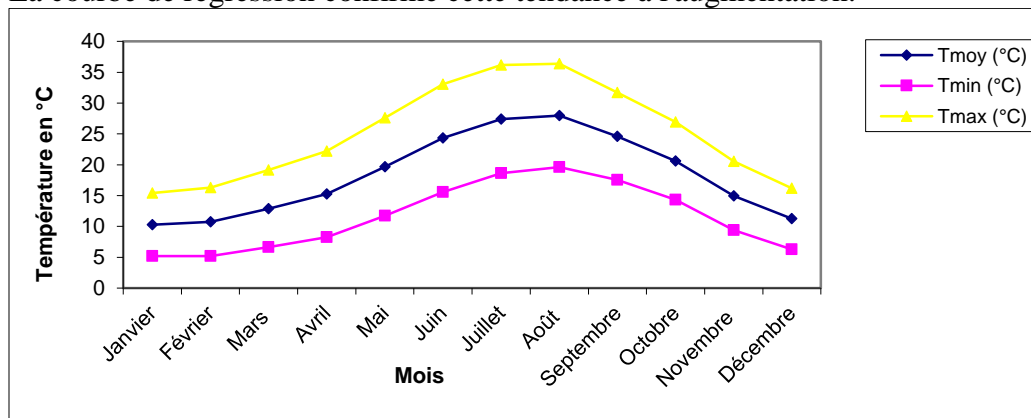


Fig.2. Evolution des températures mensuelles minimale, maximale et moyenne pour la région de Béja pour la période allant de 1991-2013

Pour expliquer cette augmentation, nous avons décortiqué la distribution temporelle quinquennale des pluies durant la période d'étude. Il a été démontré que la répartition des pluies a beaucoup changé. En effet, si les pluies des mois de Décembre et Janvier ne suivent pas une logique mathématique bien déterminée (elles peuvent augmenter ou diminuer d'un quinquennal à un autre, mais la tendance générale est vers la hausse), les précipitations du mois de Février suivent une fonction puissance: elles ont augmenté avec une vitesse vertigineuse (fig.6). En effet, les pluies du mois de Février pour la quinquennale 1991-1995 étaient d'environ 55.2 mm; alors que celles des dernières années frôlent les 160 mm.

Le changement de la répartition pluviale a touché également la saison estivale réputée par ses pluies éparses et de faibles intensités. En effet, nous avons remarqué que les pluies de mois de Juin vont à la baisse alors que celles de Juillet ne suivent aucune logique; mais ce qui est remarquable ce sont les pluies du mois d'Août qui ont augmenté intensément. En effet, elles ont été pratiquement multipliées par dix: elles passent ainsi de 3.5 mm lors de la première quinquennale à 34.5 mm lors des dernières années (fig. 7)

Evolution des rendements d'orge pour la période 1991-2013

L'évolution des rendements moyens céréaliers, durant la période 1991–2013, montre de fortes variations d'une année à l'autre (fig.8). La moyenne générale sur la période d'étude est d'environ 15 qx/ha avec de grands écarts à la moyenne allant de 8 à 24 qx/ha.

L'étude de la distribution quinquennale des rendements d'orge montre que la tendance générale est vers la stabilité ou une légère hausse (fig.9)

Relations liant le rendement aux éléments climatiques

L'amélioration des rendements d'orge semblent liée en premier lieu à l'augmentation des températures moyennes (particulièrement les minima) (fig. 10) et en deuxième lieu à l'augmentation des précipitations (fig. 11 et 12). Toutes les courbes ont la même tendance et indiquent que le taux moyen d'accroissement est positif et stipule une légère hausse.

Discussion

La connaissance du comportement possible du climat d'une région donnée en cas des changements climatiques, est un élément de base pour toute évaluation de la vulnérabilité de cette région. Les changements climatiques en Tunisie vont subir des modifications importantes au futur (aux horizons 2020 et 2050) selon les projections faites par le modèle HadCM3 (GTZ, 2007). D'une façon générale, tous les scénarii prévoient une

augmentation des températures dans la région méditerranéenne (Tabari et al. 2011).

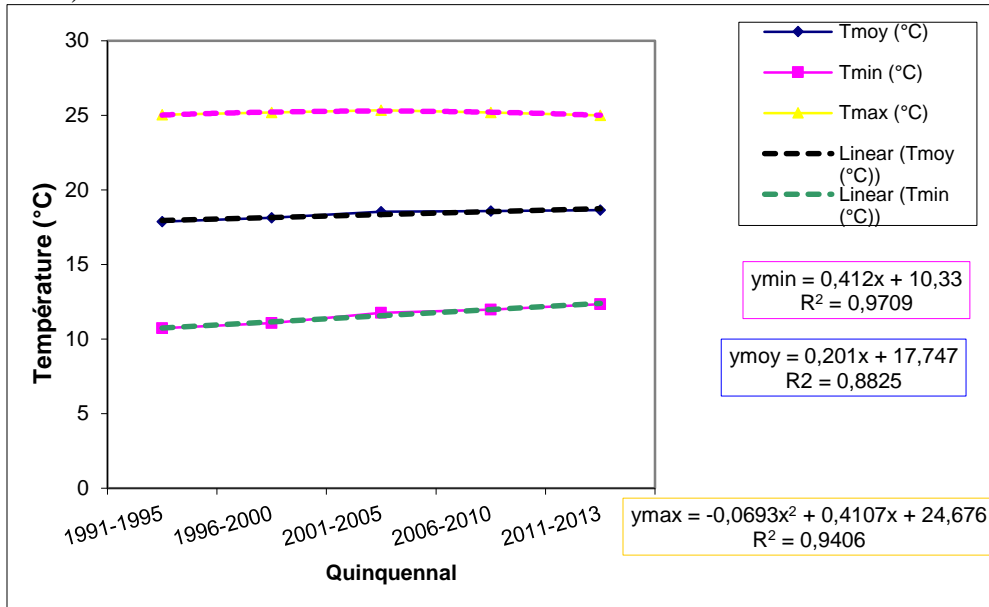


Fig.3. Températures moyenne, minimale et maximale quinquennales pendant la période d'étude (1991-2013)

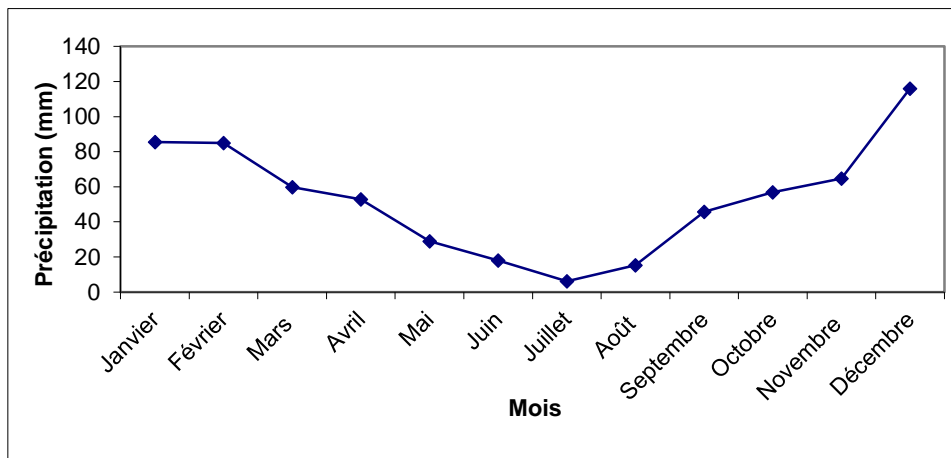


Fig.4. Précipitations mensuelles moyennes pendant la période d'étude (1991-2013)

Pour la région de Béja située au Nord ouest de la Tunisie, il a été constaté que les températures moyennes ont évolué vers la hausse suite à l'augmentation des températures minimales. Un tel résultat a été signalé par Chebil et al. (2011).

L'étude réalisée par la GTZ (2007) a montré qu'à l'échelle régionale et à l'horizon 2030, la région du Nord tunisien connaîtra, selon les prévisions, des élévations des températures annuelles et saisonnières.

L'analyse de la variation des précipitations sur la période d'étude a montré une augmentation des précipitations annuelles moyennes (Chebil et al., 2011) principalement la pluviométrie du mois de Février. Ces résultats ont été cités dans le rapport de la GTZ (2007) qui a trouvé que le Nord-Ouest bénéficierait d'une légère augmentation des précipitations, De plus, la répartition a beaucoup changé. En effet, les pluies de mois de Juin ont baissé alors que celles du mois d'août ont augmenté intensément. Ce résultat est corroboré par Chaouch et al. (2010) qui ont trouvé que le mois de Juin est devenu moins pluvieux dans la zone méditerranéenne.

La production céréalière réalisée essentiellement en zones pluviales est sujette aux fortes fluctuations interannuelles de la pluviométrie.

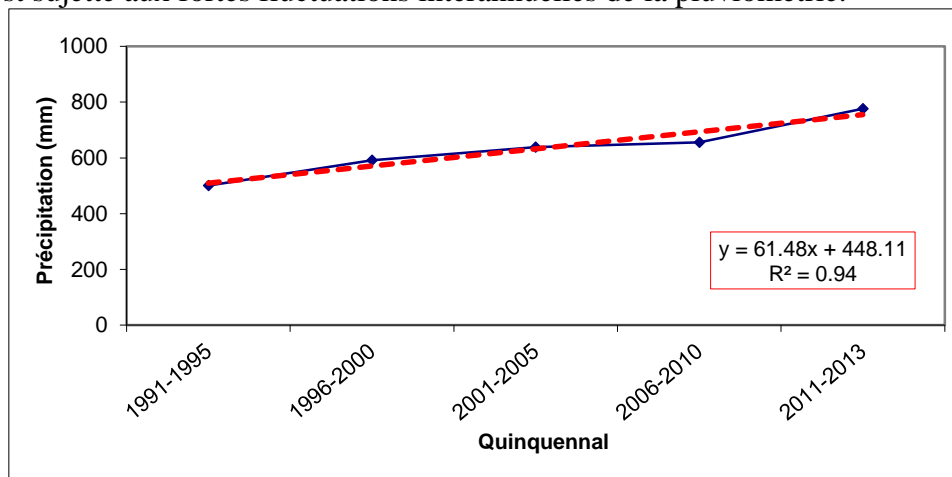


Fig.5. Précipitations quinquennales moyennes pendant la période d'étude (1991-2013)

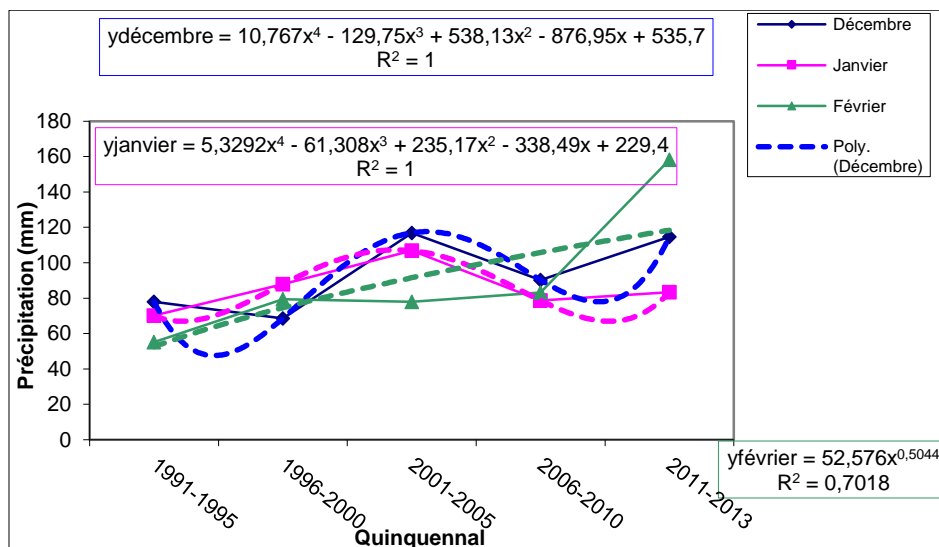


Fig.6. Précipitations quinquennales moyennes des mois les plus pluvieux (Décembre, Janvier, Février)

L'évolution des rendements moyens de l'orge dans la région de Béja durant la période 1991–2013 a montré de fortes variations d'une année à l'autre mais la tendance générale est vers la stabilité ou une légère hausse.

Le changement climatique semble bénéficier davantage à la culture d'orge. Une hausse des rendements est prévue pour les régions subhumides de l'ordre de 15 à 30% (Najlaoui, 2011).

Le potentiel du rendement d'une céréale dépend largement des conditions agro-climatiques sous lesquelles les céréales sont cultivées mais aussi des caractéristiques des cultivars utilisés telles que l'adaptation aux aléas du milieu , la capacité de tallage, la précocité d'épiaison, la stabilité du rendement, le poids de 1000 grains et la vitesse de remplissage. Mais généralement dans ces zones ou dans d'autres, les variétés d'orge utilisées par les céréaliculteurs sont exactement les mêmes. Cette erreur technique très répandue en Tunisie, est imposée par le manque de cultivars réellement adaptés à chaque région (Ben Ammar, 1996). Le choix des variétés par un grand nombre de céréaliculteurs est surtout dicté par les quantités et les prix des semences disponibles au moment des semis. Selon les régions de culture, on a affaire a un ensemble d'autres facteurs limitants qui peuvent expliquer les niveaux assez bas des rendements. Ainsi au sub-humide, la lutte contre les mauvaises herbes et les maladies est la première préoccupation des agriculteurs, les céréales sont cultivées souvent dans des sols froids et lourds qui ne se ressuient que très lentement ce qui affecte la végétation.

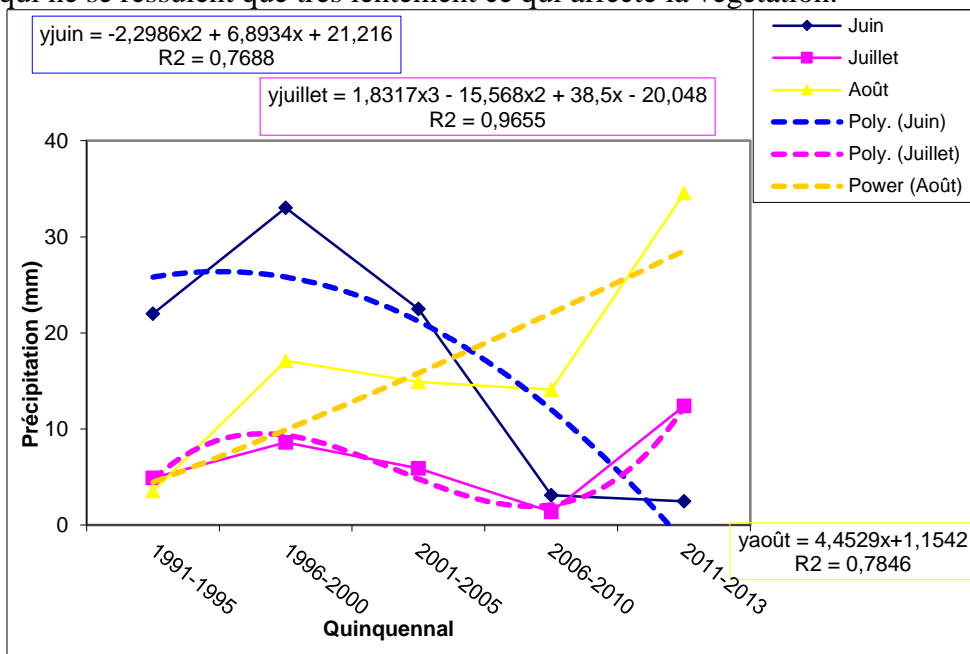


Fig.7. Précipitations quinquennales moyennes des mois les moins pluvieux (Juin, Juillet, Août)

L'amélioration des rendements d'orge semblent liée en premier lieu à l'augmentation des températures moyennes et en deuxième lieu à l'augmentation des précipitations.

Les besoins des céréales pour des rendements acceptables sont de l'ordre de 400-500 mm mais la pluviométrie moyenne minimale nécessaire pour une bonne récolte acceptable diffère d'une région à une autre. Celle-ci doit être supérieure à 550 mm dans les régions sub-humides de Bizerte et de Beja (Marouani et Gharbi, 1999). Il a été également observé que même lorsque la pluviométrie est inférieure à ce seuil, les rendements d'orge étaient satisfaisants dans la région de Béja (fig.8). Ce ci peut être expliqué par le fait que dans ces régions sub-humides et proches de la mer, les cultures sont favorisées par une abondante condensation nocturne de l'humidité de l'air; cette rosée pourrait atténuer les effets de la sécheresse printanière. D'après Tubiello et al. (2007) un léger réchauffement serait bénéfique aux cultures dans les régions tempérées mais néfastes dans les régions semi arides et les régions tropicales. Ce réchauffement ne doit pas dépasser les 3°C et doit être accompagné d'une élévation en CO₂ et en pluviométrie. En effet, des températures plus hautes pourraient avoir un effet positif sur la croissance de certaines plantes. Elles renforceraient aussi l'effet fertilisant du CO₂ ainsi que son effet anti-transpirant sur les plantes C₃ et C₄ (Easterling et al 2008).

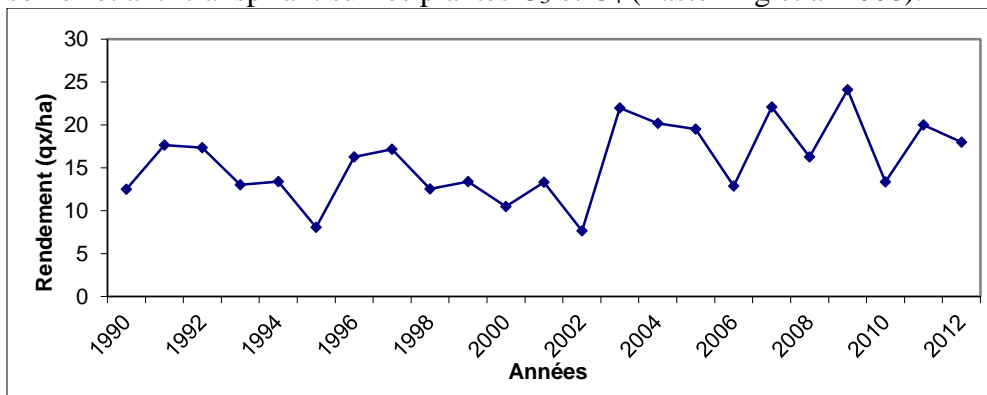


Fig.8. Variation du rendement moyen de l'orge dans le Gouvernorat de Béja (1990-2013)

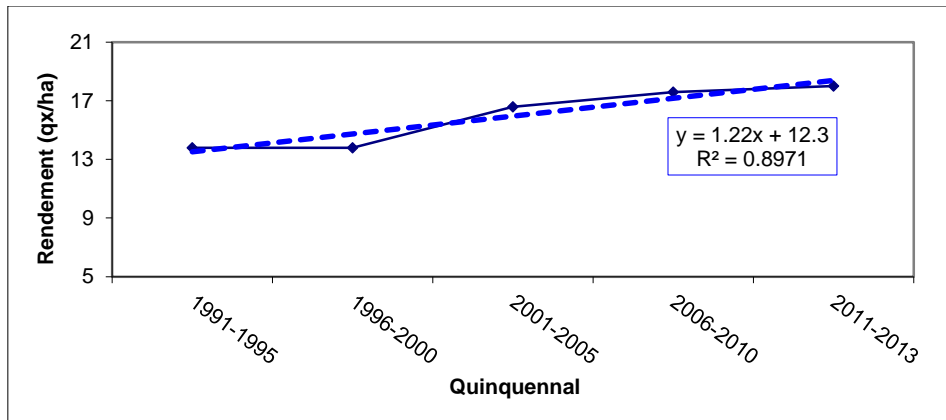


Fig.9. Variation du rendement moyen quinquennal de l'orge dans le Gouvernorat de Béja (1991-2013)

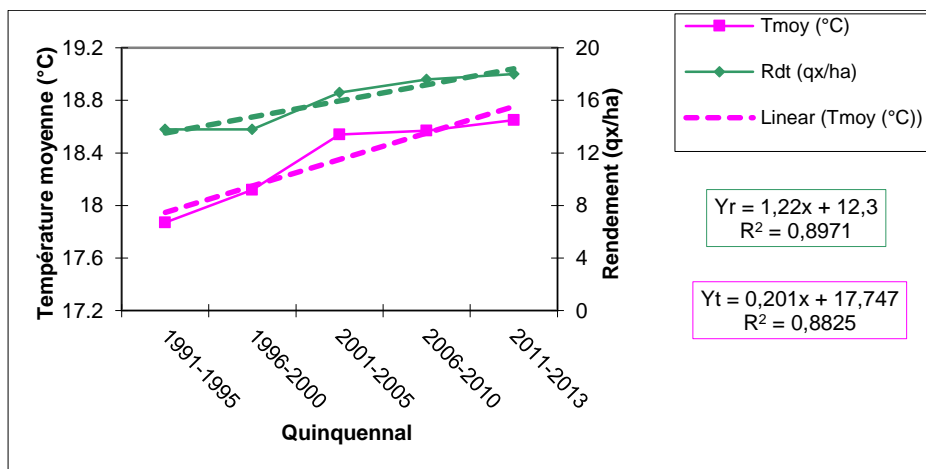


Fig.10. Relation entre les rendements d'orge et les températures moyennes

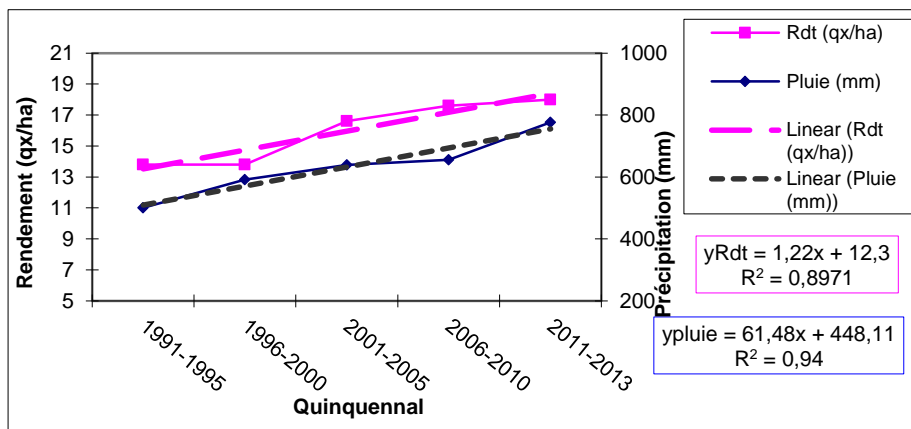


Fig.11. Relation entre les rendements quinquennaux de l'orge et les précipitations moyennes quinquennale

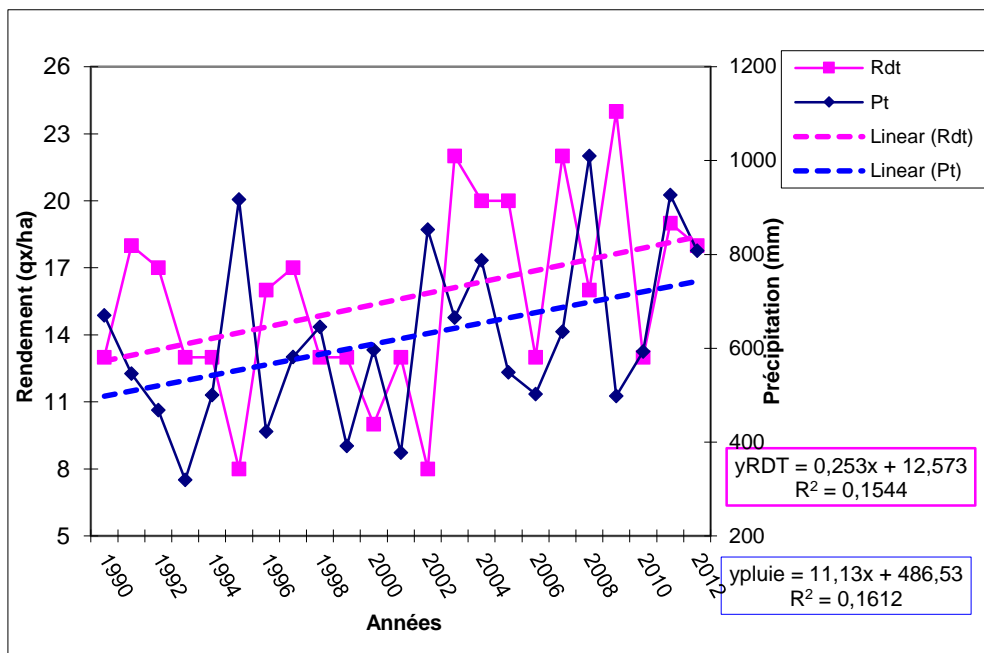


Fig.12. Relation entre les rendements d'orge et les précipitations moyennes

Conclusion

Si l'agriculture du Maghreb est déjà extrêmement vulnérable à la variabilité climatique et à l'occurrence d'évènements extrêmes, le changement climatique pourrait exacerber des dynamiques en cours d'approfondissement des déficits hydriques et de dégradation des terres subies par ce secteur. Cependant, pour la région de Béja sise dans la zone sub-humide de la Tunisie, les différentes estimations ont montré que les précipitations et les températures moyennes annuelles vont à la hausse et que le rendement de l'orge n'est pas pénalisé jusqu'à présent dans cette zone. Au contraire, une légère amélioration est constatée.

Le présent travail pourrait être amélioré en introduisant d'autres variables climatiques et les techniques culturales. Mais face aux capacités limitées des pays, la communauté internationale doit avancer dans l'élaboration et l'opérationnalisation d'un protocole sur l'adaptation pour les pays en développement en particulier, qui puissent compléter les efforts de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

References:

Abou-Hadid, A.F., 2006: Assessment of Impacts: Adaptation and Vulnerability to Climate Change in North Africa: Food Production and Water Resources. Washington, DC, 127 pp.

- Alemayehu, F.R.; Frenck, G.; Linden, L.; Mikkelsen, T.N.; Jørgensen, R.B. 2013. Can barley (*Hordeum vulgare* L. s.l.) adapt to fast climate changes? A controlled selection experiment. *Genet Resour Crop Evol.* doi: 10.1007/s10722-013- 0021-1
- Ben Ammar, F.; 1996. La culture des céréales dans la région semi-aride tunisienne du Kef, *Medit*, 3 (96) :58-60.
- Bouazza, Z.; Jalil, M.; Chafil, R. and Zerouali, A.; 2002. Vulnérabilité et adaptation du secteur irrigué du Maroc face aux impacts des changements climatiques. *Revue H.T.E. N° 124 - Septembre / Décembre 2002.*
- Boko, M., I. Niang, A. Nyong, C. Vogel, A. Githeko, M. Medany, B. Osman-Elasha, R. Tabo and P. Yanda, 2012: IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Chakrabarty, R.; Pervez, S.; Chow, J.C.; Watson, J.G.; Dewangan, S.; Robles, J. and Tian, G.; 2012. Funeral pyres in South Asia: Brown carbon aerosol emissions. *Environmental Science & Technology Letters*, 1: 44–48
- Challinor, A.J.; Watson, J.; Lobell, D.B.; Howden, S.M.; Smith, D.R.; Chhetri, N.; 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nat. Clim. Chang.*, 4: 287–291.
- Chaouche, K.; Neppel, L.; Dieulin, C.; 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Comptes Rendus Géoscience* 342 (3): 234–243.
- Chébil, A.; Mtimet, N. and Tizaoui, H.; 2011. Impact du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières dans la région de Béja (Tunisie). *AfJARE*, 6(2): 144-154.
- Clausen, S.K.; Frenck, G.; Linden, L.G.; Mikkelsen, T.N.; Lunde, C.; Jørgensen, R.B.; 2011. Effects of Single and Multifactor Treatments with Elevated Temperature, CO₂ and Ozone on Oilseed Rape and Barley. *J. Agron. Crop Sci.*, 197: 442–453.
- DGPA, 2013. (Direction Générale de la Planification Agricole), 2013. *Annuaire des statistiques agricoles (1990–2013)*. DGPA, Tunisie.
- DGRE, 2013. (Direction Générale des Ressources en Eau), 2013. *Rapports annuels des situations pluviométriques (1990–2013)*. DGRE, Tunisie.
- Dias de Oliveira, E.; Bramley, H.; Siddique, K.H.M.; Henty, S.; Berger, J. and Palta, J.; 2013. Can elevated CO₂ combined with high temperature ameliorate the effect of terminal drought in wheat? *Funct. Plant. Biol.*, 40: 160-175.

- Collins, M.; Knutti, R.; Arblaster, J.; Dufresne, J.L.; Fichet, T.; Friedlingstein, P.; Gao, X.; Gutowski, W.J.; Johns, T.; Krinner, G.; Shongwe, M.; Tebaldi, C.; Weaver, A.J.; Wehner, M.; 2013. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 580 pp.
- Downing, T.E.; Ringius, L.; Hulme, M. and Waughray, D.; 1997. Adapting to climate change in Africa. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2(1): 19–44.
- Easterling, W.; Aggarwal, P.; Batima, P.; Brander, K.; Erda, L.; Howden, M.; Kirilenko, A.; Morton, J.; Soussana, J.F.; Schmidhuber, J.; Tubiello, F.; 2008. " Food, fibre, and forest products " in Climate Change 2007: Climate Change Impacts, adaptations and vulnerability, IPCC Working Group II, Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Elrafy, M.; 2009. Impact of Climate Change: Vulnerability and Adaptation of Coastal Areas. Report of the Arab forum for Environment and Development. Mostafa K.Tolba and Najib W.Saab Eds
- El-Quosy, D.; 2009. Impact of Climate Change: Vulnerability and Adaptation. Fresh Water pp 75-86 Report of the Arab forum for Environment and Development. Mostafa K.Tolba and Najib W.Saab Eds.
- Giannakopoulos, C.; Le Sager, P.; Bindi, M. et al.; 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. Glob Planet Change, 68(3): 209-224
- Giorgi, F.; 2006. Climate change hot- spots. Geophysical Research Letters, 33 (L08707): 1-4
- GTZ et MARH, 2007. Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques. Cahier n°3. Projections. 28 pp.
- GIZ, 2011. Elaboration de la "Stratégie Nationale sur le Changement Climatique" de la Tunisie. Rapport de diagnostic (Version finale). 145 pp.
- Houghton, R.A.; 2010. How well do we know the flux of CO₂ from land-use change? Tellus B, 62(5): 337-351.
- Howden, S.; Soussana, M.; Tubiello, J.F.; Chhetri, F.N.; Dunlop, N.; Meinke, H.; 2007. "Adapting to Climate Change", Proceedings of the National Academy of Science, 104: 19691– 19696.
- Hulme, M.; Wigley, T.M.L.; Barrow, E.M.; Raper, S.C.B.; Centella, A.; Smith, S. and Chipanshi, A.C.; 2000. Using a Climate Scenario Generator

- for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook, Climatic Research Unit, UEA, Norwich.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.
- Katz, R. W. and Brown, B. G.; 1992. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21: 289-302
- Kurukulasuriya, P. and Rosenthal, S.; 2003. Climate change and agriculture: A review of impact and adaptation. Environmental Department, Climate change series, paper n°91, World Bank, Washington, DC.
- Labelle, R.; Rodschat, R. and Vetter, T.; 2008. ICTs for e-Environment: Guidelines for Developing Countries with a Focus on Climate Change. International Telecommunication Union (ITU), Geneva .<http://www.itu.int/ITU-D/cyb/app/docs/ituictsforenvironme>
- Lehmann, N.; Finger, R.; Klein, T.; Calanca, P.; Walter, A.; 2013. Adapting crop management practices to climate change: Modelling optimal solutions at the field scale. *Agric. Syst.*, 117: 55–65
- Le Houérou, H.N.; 1992. An overview of Vegetation and land degradation in world arid lands. In: *Degradation and Restoration of Arid Lands* [Dregne, H.E. (ed.)]. Internat. Center for Arid and Semi-Arid Lands Studies (ICAS-ALS), Texas Tech University, Lubbock, Texas, pp. 127-163.
- Marouani, M. et Gharbi, M.; 1999. Etude des rapports des pluies saisonnières et annuelles avec les rendements et la production des céréales dans les régions sub-humides et semi-arides de la Tunisie. *MEDIT* (2): 36-44.
- Melki, M.; Dahmane, K. and Garoui, A.; 1995. Effet de la variation saisonnière des facteurs climatiques sur les composantes du rendement des céréales (blé dur et orge). *Revue de l'INAT*, 10(1): 105–14.
- Moriondo, M. and Bindi, M.; 2006. Comparison of temperatures simulated by GCMs, RCMs and statistical downscaling and their potential application in studies of future crop development. *Climate Research*, 30: 149- 160
- Mozny, M.; Tolasz, R.; Nekovar, J.; Sparks, T.; Tmka, M. and Zalud, Z.; 2009. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 913 - 919.
- Najlaoui, H.; 2010. Impact du changement climatique sur la productivité des cultures européennes majeures. Rapport de stage Master 2. Université de Nancy. 48 pp.
- Nösberger, J.; Blum, H. and Fuhrer, J.; 2000. Crop ecosystem response to climatic change: productive grassland. In *Climate Change and Global Crop*

- Productivity, eds. KR Reddy and H.F. Hodges, Wallingford Oxon, UK: CAB International, pp. 271-291.
- Plan Bleu, 2008. Gestion de la demande en eau : progrès et politiques. Athènes, MAP. (MAP Technical Report Series n° 168).
- P.N.U. 2008. Climate change and energy in the Mediterranean. Plan Bleu. Centre d'Activités Régionales. Sophia Antipolis. Juillet 2008.
- Polley, H.W.; Johnson, H.B.; Fay, P.A. and Sanabria, J.; 2008. Initial response of evapotranspiration from tall grass prairie vegetation to CO₂ at sub ambient to elevated concentrations. *Functional Ecology*, 22: 163–171.
- Rosenzweig, C.; Tubiello, F.N.; Goldberg, R.; Mills, E. and Bloomfield, J.; 2002. Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environ. Chang.*, 12: 197–202.
- Rosenzweig, C. and Tubiello, F.N.; 2007: Adaptation and mitigation strategies in agriculture: an analysis of potential synergies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12: 855-873.
- Schröter, D.; Cramer, W.; Leemans, R.; Prentice, I.C.; Araújo, M.B.; Arnell, N.W.; Bondeau, A.; Bugmann, H.; Carter, T.R.; Gracia, A.C.; de la Vega-Leinert, M.; Erhard, F.; Ewert, M.; Glendining, J.I.; House, S.; Kankaanpää, R.J.T.; Klein, S.; Lavorell, M.; Linder, M.J.; Metzger, J.; Meyer, T.D.; Mitchell, I.; Reginster, M.; Rounsevell, S.; Sabaté, S.; Sitch, B.; Smith, J.; Smith, P.; Smith, M.T.; Sykes, K.; Thonicke, W.; Thuiller, G.; Tuck, S.; Zaehle, B. and Zierl, B.; 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310, 1333–1337.
- Tabari H.; Marofi, S.; Aeini, A.; Talaei, P.H. and Mohammadi, K.; 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2): 128–136.
- Touchan, R.; Kevin, J.; Anchukaitis, D.; Meko, M.; Sabir, M.; Said, A. and Aloui, A.; 2010. Spatiotemporal drought variability in north western Africa over the last nine centuries. *Climate Dynamics*, 2010; DOI: 10.1007/s00382-0100804-4.
- Tubiello, F.N.; Soussana, J.F. and Howden, S.M.; 2007. Crop and pasture response to climate change. *PNAS*, 104 (50): 19686–19690.