

# LE CLIMAT RECENT OBSERVÉ ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FUTURS DANS LA RÉGION DE BORDJ BOU ARRERIDJ

## THE RECENT CLIMATE AND FUTURE CLIMATIC CHANGES IN BORDJ BOU ARRERIDJ REGION

NACIRA CHOURGHAL<sup>(1)</sup>, FREDERIC HUARD<sup>(2)</sup>, HASSINA BOUKHALFA<sup>(3)</sup>, MOHAMED BELHAMRA<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratoire CVRN, Département des sciences agronomiques, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj

<sup>(2)</sup>INRA (US AGROCLIM), Domaine Saint Paul, CS 40 509, 84914 Avignon, France

<sup>(3)</sup>Laboratoire DEDSPAZA, Département des sciences agronomiques, Université Mohamed Khider Biskra  
chourghal@gmail.com

### RESUME

Dans cette étude, nous présentons et analysons les caractéristiques du climat récemment observé et des changements climatiques futurs dans la région de Bordj Bou Arreridj. Des données climatiques observées (température, pluviométrie, humidité relative de l'aire, rayonnement solaire et vitesse du vent) couvrant la période 1980-2009, et des simulations futures du climat actuel (même période que l'historique) et du futur lointain (2071-2100), obtenues à partir du modèle climatique ARPEGE de Météo-France, exécutées selon le scénario SRES moyen A1B, ont servi pour la réalisation du présent travail. La comparaison entre climat actuel et futur est basée sur la méthode des anomalies. L'analyse du climat passé récent, montre une augmentation de la température et une diminution des précipitations à Bordj Bou Arreridj. Les projections climatiques futures indiquent à un réchauffement de la région de 3,3°C, une diminution moyenne des précipitations de -8 % et une augmentation de l'évapotranspiration moyenne annuelle de +10 %. En terme de saisons, les anomalies indiquent un réchauffement particulier pendant l'été (+4,2°C) et le printemps (+3,8°C). Les précipitations saisonnières diminuent en moyenne dans la région, mais s'améliorent considérablement en été (+37%). L'évapotranspiration et en réponse aux conditions climatiques futures augmente, particulièrement, au printemps (+20%).

**MOTS CLES:** Bordj Bou Arreridj, climat récent observé, changements climatiques, projections futures, Modèle climatique ARPEGE, scénario A1B.

### ABSTRACT

In this study, we present and analyze the characteristics of recent observed climate and future climatic changes in the Bordj Bou Arreridj area. Climatic data (temperature, rainfall, relative humidity, solar radiation and wind speed) covering the period 1980-2009, and future simulations of the current climate (same period as the historical one) and the distant future (2071 - 2100), obtained from the ARPEGE-Climate model of Météo-France run under the medium A1B SRES scenario, were used for the realization of the present work. The comparison between current and future climate is based on the anomaly method. Recent climate analysis shows an increase in temperature and a decrease in precipitation in Bordj Bou Arreridj. Future climate projections indicate a global warming of 3.3 ° C, an average decrease in rainfall of -8% and an annual average increase in evapotranspiration of + 10% in the region. In terms of seasons, the anomalies indicate a particular warming during summer (+ 4.2 ° C) and spring (+ 3.8 ° C). Seasonal precipitations decrease globally in the region, but increases considerably in summer (+ 37%). In response to future climatic conditions, evapotranspiration increases especially in spring (+ 20%).

**KEYWORDS:** Bordj Bou Arreridj, recent climate, climatic changes, futures projections, ARPEGE climate model, scenario A1B.

## 1 INTRODUCTION

Les différents rapports du Groupe d'experts Intergouvernementaux sur l'Evolution du Climat (GIEC), indiquent le bassin Méditerranéen, particulièrement la zone Nord Africaine, parmi les régions les plus vulnérables aux changements climatiques futurs.

Les analyses statistiques du climat récent montrent que les précipitations changent différemment entre la partie nord et sud du bassin (Alpert et al., 2002). Dès le début des années 1990, Førland et al., (1996) et Schonwiese et Rapp (1997), constatent une tendance positive dans le nord de l'Europe contre une tendance négative dans les régions sud. Dans la partie sud du bassin méditerranéen, de 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 and Ferrari, 2003) et des pluies annuelles dans d'autres (De Luis et al., 2000).

Le changement du climat récent est différent en allant du Nord-Ouest au Nord-Est de l'Afrique. La température a une tendance générale à la croissance à travers toute la zone (Hertig et Jacobeit, 2008). Le climat observé dans la partie Nord-Ouest de l'Afrique montre une tendance décroissante des précipitations (Hertig, 2004 ; Gerstengarbe et Werner, 2007 ; Born et al., 2008, Meddi et Talia, 2008 ; Hamlaoui-Moulai et al., 2013). Le changement climatique à travers la région méditerranéenne est caractérisé par une augmentation des températures, un accroissement de la fréquence d'occurrence des stress thermique et hydrique (sécheresse), et par une tendance négative concernant les événements froids (IPCC, 2007 ; 2013). La zone apparaît comme un point chaud (hot spot) possible dans les décades à venir (Kostopoulou and Jones 2005, Ventrella et al., 2012). Selon les prévisions de l'IPCC (2007) utilisant les scénarios A2 et B2, le réchauffement du continent européen durant les périodes 2020, 2050 et 2080 par rapport à la période 1961-1990 sera de l'ordre de 0,1 à 0,4 °C par décade.

Les études montrent que le réchauffement vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle pendant l'été dans les régions sud du continent sera deux fois plus important que dans le nord du continent (Rosenzweig et Tubiello, 1997 ; Hulme & Carter, 2000 ; Parry, 2000 ; Alpert et al., 2008). Les prévisions montrent en effet que la zone sud du bassin méditerranéen est l'une des zones les plus exposées au réchauffement climatique. En Afrique du nord, le modèle dynamique régional REMO prévoit une augmentation de la température de l'ordre de 2 à 3 °C vers 2050 avec le scénario médium A1B (Paeth et al., 2009). L'application de différents modèles (régionaux et globaux) par Patricola et Cook (2010) au nord de l'Afrique montre un très étrange réchauffement de l'ordre de 6 °C à travers la zone ouest vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle en comparaison avec le 20<sup>ème</sup> siècle. Ces résultats sont devenus visibles à l'ouest de l'Afrique du Nord grâce aux analyses statistiques de Hertig et Jacobeit (2008b).

Appliqué en Tunisie, le modèle ARPEGE de Météo- France avec le scénario A1B, prévoit un réchauffement moyen de 3,6 °C à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle (Lhomme et al., 2009).

En termes de saisons, certaines projections utilisant un ensemble de simulations de modèles GCM (Giorgi and Lionello, 2008) et d'autres basées sur des traitements régionaux (Paeth et al., 2009) montrent une baisse des précipitations hivernales dans la région méditerranéenne nord-africaine, et un climat futur avec des étés beaucoup plus secs (Viner et al., 2006). Dans les projections de changement climatique pour le 21<sup>ème</sup> siècle dans les scénarios A1B et A2 (Giorgi and Lionello 2008; Paeth et al., 2009; Patricola and Cook 2010; Barkhordarian et al., 2013), les extrêmes sont marquées par un signal annuel et saisonnier de sécheresse/réchauffement constant sur la région nord-africaine constant.

Cette étude a pour objectif de compléter l'information concernant l'évolution du climat récent ainsi que les changements climatiques future en zone Nord- Africaine, précisément à l'Est de l'Algérie. Cette dernière est à la fois rare et insuffisante pour caractériser le phénomène à l'échelle de la région (IPCC, 2013). Il est important de noter que ce travail vise à compléter l'étude réalisée par Chourghal et al., (2015). Nous développons ici de nouveaux aspects concernant le climat récent et futur dans les régions de l'Algérie, à travers une analyse plus approfondie et détaillée des températures, des précipitations et des évapotranspirations à l'échelle annuelle, mensuelle et saisonnier.

## 2 MATERIELS ET METHODES

### 2.1 Région d'étude

La région de Bordj Bou Arreridj (lat. 36.07° N, long. 4.77°E, alt. 930 m) occupe une place stratégique dans l'Est Algérien (Fig. 1). Elle est composée de trois zones géographiques qui se succèdent : une zone montagneuse au nord avec la chaîne des Bibans, une zone de hautes plaines qui constitue la majeure partie de la région, et une zone steppique, au sud-ouest, à vocation agropastorale. L'altitude varie entre 302 m et 1 885 m. Bordj Bou Arreridj est caractérisée par un climat méditerranéen du type « D » (Baldy, 1992), et se trouve sous la triple influence de « l'Atlas Tellien » qui limite les précipitations hivernales (350-450 mm), le Sahara et « l'Atlas Saharien », responsables de masses d'air sec.

Le climat de la région est semi-tempéré avec une température moyenne du mois le plus froid comprise entre 0 et 10°C (Baldy, 1974). Dans cet environnement, les aléas climatiques et les sécheresses sont des données décisives pour les systèmes de production dominés par les céréales (Baldy, 1986). Les sols de la région sont caractérisés par une texture lourde à très lourde, une faible profondeur et une teneur modérée en matière organique (Bahlouli, 2006). Selon Zitouni (1991) et Mohamedou (2000), les sols bruns calcaires, développés sur des alluvions, colluvions ou sur des marnes, représentent la principale unité pédologique de la région.

## 2.2 Climat observé et projection futures

Trente années (1980-2009) 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. Le rayonnement solaire incident ( $R_s$ ) est estimé à partir de la durée d'insolation ( $n$ ) au moyen de la formule d'Angstrom comme suit:

$$\frac{R_s}{R_{s0}} = a + b \left(\frac{n}{N}\right) \quad (1)$$



Figure 01: Localisation de la région d'étude

$R_{s0}$  est le rayonnement solaire extraterrestre, ou rayonnement solaire à la limite de l'atmosphère,  $N$  la durée maximum possible d'ensoleillement,  $a$  et  $b$  sont des coefficients qui représentent la fraction du rayonnement solaire extraterrestre qui atteint la terre en jour clair. Les valeurs de  $a$  et  $b$  sont prise égales respectivement à 0,25 et 0,50, comme recommandé par FAO-56 (Allen et al., 1998) dans le cas de où les valeurs calibrées de ces deux coefficients ne sont pas disponibles. L'évapotranspiration de référence  $ET_0$  est calculée par la méthode définie dans FAO-56 (Allen et al., 1998).

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, 2007). Il a été utilisé dans différentes études (Garcia de Cortazar, 2006; Lhomme et al., 2009, Chourghal et al., 2015) et il s'agit de l'un des modèles retenus par l'IPCC (2007). Le modèle génère une première série de 30 ans représentant le climat présent, couvrant la période historique observée, et une deuxième série de données représentant le climat futur possible de 1971 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  $CO_2$  de l'atmosphère et de la croissance économique.

La correction des variables simulées est réalisée par la méthode Quantile-Quantile. Le principe de la méthode repose sur la transformation des données « biaisées » simulées en de nouvelles données qui préservent la même distribution de fréquence observée (Déqué, 2007). Dans un premier temps, une fonction de correction est générée en confrontant quantile par quantile le scénario simulé pour la période de référence avec les données observées. Les quantiles sont utilisés pour dresser une table de correction à partir des deux fonctions de distribution cumulative de la période de référence: l'une correspond aux données observées  $F_0$  et l'autre à celles simulées  $F_s$ . Pour une valeur donnée  $x_f$  du scénario futur, nous cherchons dans la fréquence cumulative correspondante de la donnée simulée de la période de référence :

$$F_s(x_f) = F_s(x_s < x_f) \quad (2)$$

La valeur de la même fonction de distribution cumulative  $F_0$  est ensuite cherchée sur la colonne des données observées et cette valeur  $x_{f,c}$  est utilisée comme valeur corrigée de  $x_f$ . Des interpolations linéaires sont appliquées entre les deux quantiles. Ce qui donne :

$$F_0(x_{f,c}) = F_s(x_f) \quad (3)$$

## 2.3 Analyse du climat observé et étude des changements climatiques future

L'étude du climat récent observé est faite à travers le calcul des principaux paramètres statistiques (moyenne et écart type) des différentes composantes, à savoir :

- Valeurs interannuelles
- Valeurs annuelles
- Valeurs mensuelles interannuelles

L'analyse des tendances climatiques est faite par simple régression linéaire, et par calcul de la différence relative entre décade. La période historique est divisée en trois décade, ainsi, si la précipitation moyenne de la première décade est  $P_{d1}$ , la précipitation moyenne de la deuxième décade est  $P_{d2}$  et la précipitation moyenne de la troisième décade est  $P_{d3}$ , on a :

$$Dr_{12} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (4)$$

La comparaison des valeurs annuelles et mensuelles des différents paramètres climatiques, entre les séries simulées pour la période de référence (désignées  $s$ ) et les séries

observées (désignées obs), est faite en utilisant le test de Student-Fisher avec une probabilité  $P < 0,05$ .

Le changement dans le climat est estimé par la méthode des anomalies. Le calcul est fait entre les valeurs mensuelles interannuelles simulées du scénario futur (désignées f) et celles du scénario de référence. Dans le cas de la température, l'anomalie est définie comme étant la différence en °C dans la moyenne mensuelle interannuelle des températures entre le scénario futur et celui représentant la période de référence :

$$\delta T(^{\circ}C) = T_f(^{\circ}C) - T_s(^{\circ}C) \quad (5)$$

L'anomalie dans le cas des autres paramètres climatiques (précipitation, humidité relative, rayonnement solaire, vitesse du vent et évapotranspiration) est définie comme le rapport exprimé en pourcentage de la différence des moyennes mensuelles interannuelles du paramètre considéré relatives aux deux scénarios simulés (futur et de référence) sur celle du scénario de référence. Dans le cas des précipitations par exemple, elle s'exprime comme suit :

$$\rho P(\%) = \frac{P_f - P_s}{P_s} \cdot 100 \quad (6)$$

Une anomalie peut être positive pour indiquer une élévation du paramètre dans le futur et négative pour indiquer l'inverse.

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 Caractéristiques du climat récent observé

La précipitation moyenne interannuelle calculée sur la série historique de la région de Bordj Bou Arreridj est caractérisée par une moyenne de 413,1 mm et d'un écart type de 90.5 mm. La température moyenne interannuelle est de 15,2°C, l'écart type est de 0,61°C. L'évapotranspiration de référence est caractérisée par une moyenne interannuelle de 1302.3 mm et un écart type de 82,7 mm. L'aridité du climat marque bien les valeurs mensuelles interannuelles (Fig. 2). Les précipitations mensuelles interannuelles évoluent entre un maximum de 53,8 mm calculé sur le mois de Décembre et un minimum de 9,9 mm calculé sur le mois de Juillet.

La température moyenne mensuelle interannuelle de Bordj Bou Arreridj varie entre la valeur de 5,7°C en Janvier et la valeur de 26,4°C en Juillet. La température maximale journalière interannuelle est de 38,2°C et la température minimale journalière interannuelle de -3,4°C.

L'évapotranspiration de référence à Bordj Bou Arreridj augmente jusqu'au mois de Juillet, puis décroît vers les valeurs minimales de 40,1mm et 28,9 mm en Décembre,.

#### 3.2 Les tendances du climat récent observe

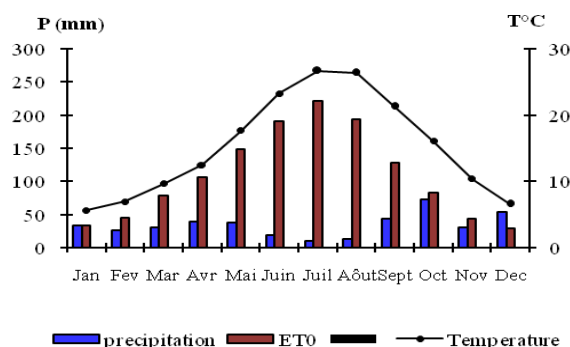


Figure 02 : Moyennes mensuelles interannuelles des précipitations, évapotranspiration de référence et température moyenne de l'air à Bordj Bou Arreridj (données historiques).

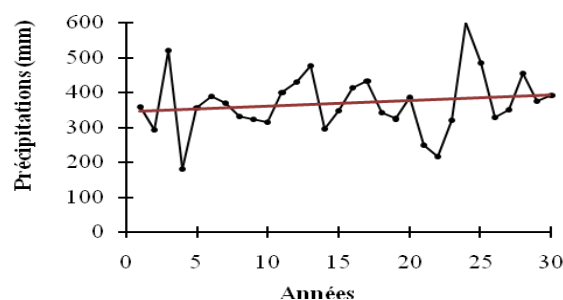


Figure 03 : Tendence des précipitations annuelles durant le passé récent à Bordj Bou Arreridj (1980-2009).

La précipitation moyenne annuelle calculée sur la première décennie de la série observée (1980-1989) est de 344.1mm. Elle augmente significativement à 385.2 mm durant la deuxième décennie (1990-1999), soit un taux de 10,7 %. Durant la troisième décennie, elle diminue légèrement de -2,1 %, pour atteindre la valeur de 377,4 mm. Ces résultats confirment ceux de Brunetti et al., (2002) et Alpert et al., (2002) concernant l'augmentation de l'irrégularité des précipitations dans la partie sud de la zone méditerranéenne.

Durant la période 1980-2009, l'évolution de la température moyenne annuelle la zone d'étude est plutôt croissante (Fig. 4), confirmant les résultats des différentes études statistiques du climat récent méditerranéen (Kostopoulou and Jones 2005, Mougou et al., 2011 ; Lhomme et al., 2009 ; Ventrella et al., 2012). La température moyenne annuelle passe de 14,6°C durant la première décennie à 15,3°C durant la deuxième décennie, puis à 15,9°C durant la troisième décennie, accusant une augmentation moyenne de 1,3°C durant les 30 années observées.

L'évapotranspiration de référence augmente de 0,5% durant la première décennie, puis décroît de -2% durant la deuxième

décade. Ceci est en relation directe avec le rythme d'évolution des précipitations (Fig. 5).

### 3.3 Scénarios climatiques et changements futurs

A l'exception des précipitations, l'ensemble des paramètres climatiques sont bien simulés par le modèle ARPEGE-CLIMATE et le test de Student-Fisher (à  $P < 0.05$ ) n'indique aucune différence significative entre les deux composantes observée-simulée, ainsi que, les courbes représentatives sont similaires (Fig. 6).

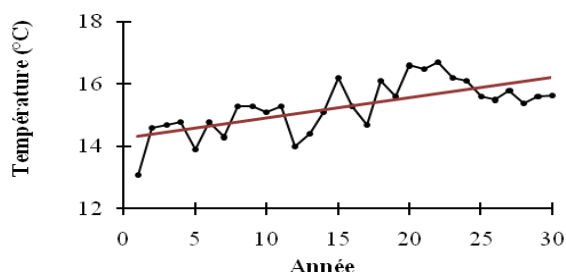


Figure 04 : Evolution des températures moyennes annuelles durant la période 1980-2009 à Bordj Bou Arreridj.

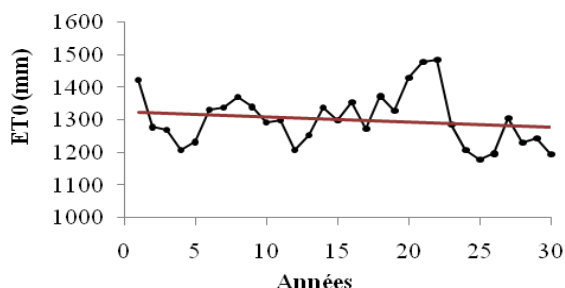


Figure 05 : Evolution des évapotranspirations moyennes annuelles durant la période 1980-2009 à Bordj Bou Arreridj.

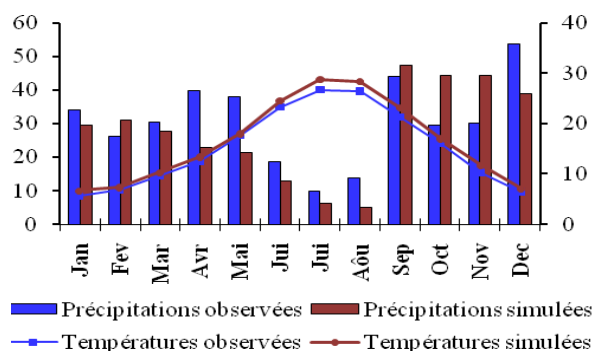


Figure 06 : Précipitations et températures moyennes mensuelles du climat observé et simulé (1980-2009) par ARPEGE dans la région de Bordj Bou Arreridj.

En effet la pluviométrie en région nord Africaine est bien connue par son caractère aléatoire dans l'espace et dans le temps, ce qui rend sa reproduction plus difficile en comparaison aux autres paramètres climatiques. Le climat futur à Bordj Bou Arreridj est caractérisé par une augmentation de la température et de l'évapotranspiration et une décroissance des précipitations. La détection d'un changement climatique est basée sur les anomalies (Tableau 1).

Tableau 01 : Anomalies moyennes mensuelles calculées sur les températures, précipitations et évapotranspirations de référence à partir des scénarios actuel (1980-2009) et futur (2071-2100)

	T(°C)	P (%)	ET0 (%)
Janvier	1,2	4	0
Février	2,4	-13	16
Mars	2,3	-32	13
Avril	3,8	-45	24
Mai	5,3	-22	24
Juin	4,3	30	7
Juillet	4	54	6
Août	43	28	5
Septembre	3,7	8	17
Octobre	3,7	16	2
Novembre	2,5	-23	9
Décembre	1,5	-23	2

Le modèle ARPEGE prévoit une température moyenne interannuelle de l'ordre de 19.6°C, soit un réchauffement moyen de la zone de 3.3°C vers la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. Les températures moyennes mensuelles interannuelles sont clairement plus élevées dans le climat futur en comparaison avec le scénario actuel (Fig. 7). Le réchauffement moyen mensuel minimum concerne le mois de Janvier (+1.2°C), le maximum est calculé sur le mois de Mai (+5.3°C). Les calculs indiquent une diminution moyenne des précipitations de -8 %. La diminution est minimale en Février (-13 %) et maximale en Avril (-45 %). Du mois de Juin au mois d'Octobre les anomalies indiquent plutôt une augmentation des précipitations futures avec un maximum de +54 % au mois de Juillet (Fig. 8).

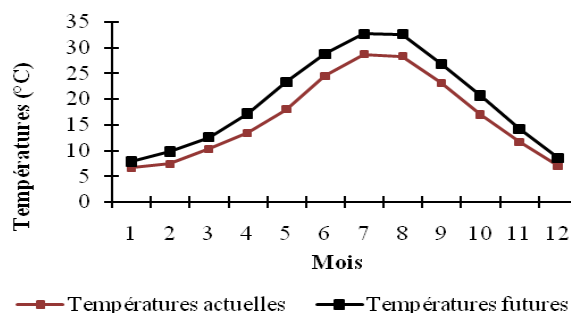


Figure 07: Températures moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel (1980-2009) et futur (2071-2100) à Bordj Bou Arreridj

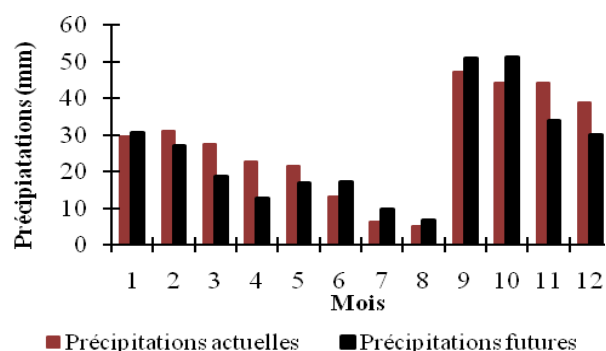


Figure 08: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles du climat actuel et futur à Bordj Bou Arreridj.

Comme l'indique la figure 9, l'évapotranspiration moyenne annuelle augmente de +10 %. Les valeurs mensuelles interannuelles sont influées par les augmentations de températures et les diminutions des précipitations. Elle augmentent systématiquement de l'hiver à l'été, puis diminue de nouveau en automne.

L'ET0 prend son minimum en Janvier (0 %) et atteint son maximum en Avril et Mai (+24 %).

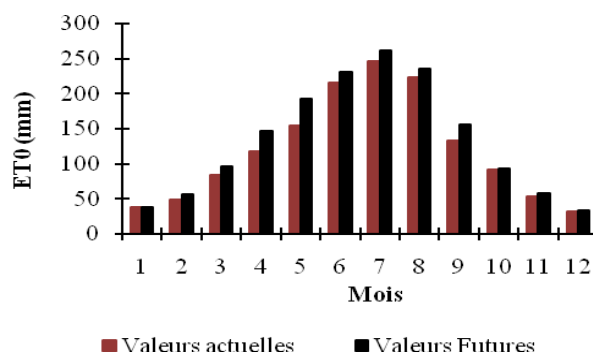


Figure 09: Evapotranspirations de référence mensuelle interannuelle du climat actuel et futur à Bordj Bou Arreridj.

#### 4 CONCLUSION

Les résultats de l'analyse du climat passé (1980-2009), indiquent la présence d'un changement climatique particulièrement concernant la précipitation et la température. La température a augmenté dans la région de Bordj Bou Arreridj durant le climat passé (1980-2009) étudié. La précipitation a diminué a aussi augmenté mais de façon non significative.

A l'exception des précipitations, l'ensemble des paramètres climatiques sont bien simulés par le modèle ARPEGE-CLIMATE. En effet la pluviométrie en région nord Africaine est bien connue par son caractère aléatoire dans l'espace et dans le temps, ce qui rend sa reproduction plus difficile en comparaison aux autres paramètres climatiques.

Bordj Bou Arreridj, déjà située à l'étage bioclimatique semi aride, est indiquée devenir encore plus aride dans le contexte du changement climatique futur. Les températures sont indiquée être encore plus importante, particulièrement en été et au printemps. Le modèle projette une diminution des précipitations, à l'exception de l'été où les résultats indiquent une amélioration du régime pluviométrique. L'évapotranspiration et en réponse à la fois aux augmentations de température et à la diminution pluviométrique, augmente systématiquement de l'hiver à l'été. La distribution saisonnières de l'ensemble des paramètres climatiques est montrée subir un changement au futur.

#### REFERENCES

- [1] Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy
- [2] 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
- [3] Alpert P, Krichak SO, Shafir H, Haim D, Osetinsky I (2008) Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the Mediterranean. Glob and Plan Change 63: 163–170
- [4] Bahlouli F (2006) Etude de la contribution des assimilés de la tige à l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux stress abiotiques sous climat méditerranéen. Thèse de Doctorat, INA, El-Harrach, Alger, 98 p.
- [5] Baldy Ch (1974) Etude fréquentielle du climat, son influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Doc CCCE, Paris, 152 p
- [6] Baldy Ch (1992) Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blé méditerranéens occidentaux In Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Ed INRA, Paris, 397
- [7] Barkhordarian A, von Storch H, Bhend J (2013) The expectation of future precipitation change over the Mediterranean region is different from what we observe. Clim Dyn 40(1-2): 225-244. doi:

- 10.1007/s00382-012-1497-7
- [8] Born K, Fink A, Paeth H (2008) Dry and wet periods in the northwestern Maghreb for present day and future climate conditions. *Meteorologische Zeitschrift* 17: 533–551. doi 10.1127/0941-2948/2008/0313
- [9] 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
- [10] Chourghal N, Lhomme J. P., Huard F., Aidaoui A. (2015) "Climate change impact in Algeria and its impact on durum wheat", *Reg. Env. Change*, 2015, doi 10.1007/s10113-015-0889-8
- [11] De Luis M, Raventos 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
- [12] Déqué M (2007) Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Glob Planet Change* 57:16–26. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.030
- [13] Førland EJ, van Engelen A, Ashcroft J, Dahlstrom B, Demaree G, Frich P, Hanssen-Bauer I, Heino P, Jonsson T, Mielus M, Müller-Westermeier G, Palsdottir T, Tuomenvirta H, Vedin H (1996) Change in "normal" precipitation in the North Atlantic region (2nd edn). *DNMI Report 7/96 Klima*
- [14] Garcia de Cortazar I (2006) Adaptation du modèle STICS a la vigne (*Vitisvinifera* L.). Utilisation dans le cadre d'une étude du changement climatique à l'échelle de la France. Thèse doc, ENSA de Montpellier, 289 pp
- [15] Gerstengarbe FW, Werner PC (2007) Der rezente Klimawandel. In Endlicher W, Gerstengarbe FW (Eds) *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Humboldt University, Berlin, pp 34–43.
- [16] Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet Change* 63(2-1):90–104. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.005
- [17] Hamlaoui-Moulai L, Mesbah M, Souag-Gamane D, Medjerab A (2013) Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfall time series in Western Algeria. *Nat. Hazar.* 65(3):1293-131. doi:10.1016/0304-3800(93)E0103-A
- [18] Hertig E. (2004) Niederschlags- und Temperaturabschätzungen für den Mittelmeerraum unter anthropogen verstärktem Treibhauseffekt. University of Wuerzburg, Wuerzburg. Hertig E, Jacob J (2008) Downscaling future climate change: temperature scenarios for the Mediterranean area. *Global and Planetary Change* 63: 127–131. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.003
- [19] Hulme M, Carter TR (2000) The changing climate of Europe. In: *Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe* [Parry ML (ed.)]. Jackson Environment Institute, Norwich, UK increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Ecophy Res Letters* 29(11): 1536, DOI: 10.1029/2001GL013554
- [20] IPCC (2007) *Climate change 2007: the physical science basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York
- [21] IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- [22] Kostopoulou E, Jones PD (2005) Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol Atmos Phys* 89:69–85. doi: 10.1007/s00703-005-0122-2
- [23] Kostopoulou E, Jones PD (2005) Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol Atmos Phys* 89:69–85. doi: 10.1007/s00703-005-0122-2
- [24] Lhomme JP, Mougou R, Mansour M (2009) Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Clim Chang* 96:549-564. doi:10.1007/s10584-009-9571-9
- [25] Meddi M, Talia A (2008) Pluviometric regime evolution in the North of Algeria. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 26 152–162.
- [26] 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
- [27] Paeth H, Born K, Girmes R, Podzun R, Jacob D (2009) Regional climate change in Tropical and Northern Africa due to greenhouse forcing and land use changes. *J Clim* 22: 114-132
- [28] Parry ML (2000) *Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe*. The Europe ACACIA Project, Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich
- [29] Patricola C, Cook K (2010) Northern African climate at the end of the twentyfirst century: an integrated application of regional and global climate models. *Climate Dynamics* 35: 193–212. doi: 10.1007/s00382-009-0623-7
- [30] Patricola C, Cook K (2010) Northern African climate at the end of the twentyfirst century: an integrated application of regional and global climate models. *Climate Dynamics* 35: 193–212. doi: 10.1007/s00382-009-0623-7
- [31] Rosenzweig C, Tubiello F N (1997) Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future directions An introductory essay. *Mitig Adapt Strat Glob Chang* 1: 219-232. doi:10.1007/BF00517804
- [32] Schonwiese CD, Rapp J (1997) *Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891-1990*, Kluwer

Academic publishers: Dordrecht, The Netherlands.

- [33] Sirangelo B, Ferrari E (2003) Unaverificastatisticadellapresenza di variazioninellapluviometriarecenterelativa ad un bacinodell'Italiameridionale. Convegno su: La
- [34] difesaidraulicadelterritorio, Trieste, 10–12 settembre 2003.
- [35] 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
- [36] 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
- [37] Viner D, Morison J, C Wallace (2006) Recent and future climate change and their implications for plant growth In *Plant Growth and Climate Change*. Blackwell Publishing, UK, 213p
- [38] Zitouni A (1991) Contribution à l'étude de l'influence des brises sur les facteurs climatiques et la production céréalière en Algérie : Région des hautes plaines de Sétif. Thèse CoctIni. Paris, Lab GéoPhy, 199p