

## Quelle stratégie de semis du blé dur en Algérie pour s'adapter au changement climatique ?

Nacira Chourghal<sup>1,\*</sup> et Tarik Hartani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Laboratoire de caractérisation et valorisation des ressources naturelles, 34030 Bordj Bou Arreridj, Algérie

<sup>2</sup> Centre universitaire Morsli Abdallah Tipaza (CU4201), Oued Merzouk, Laboratoire maîtrise de l'eau en agriculture, ENSA, 42022 Tipaza, Algérie

**Résumé** – Face à un changement climatique sévère projeté, les agriculteurs dans les pays de l'Afrique du Nord expérimentent habituellement des stratégies d'adaptation basées sur la précocité du semis, l'utilisation de variétés précoces et la fertilisation. Cependant, l'information concernant l'efficacité de la précocité des semis comme stratégie d'adaptation de la culture du blé dur au changement climatique reste très limitée. Cet article a pour objectif d'aider les gestionnaires à proposer des pratiques de semis plus efficaces. Deux options de semis sont examinées ; une date prescrite (fixe) et une date dynamique (dépendant du début des pluies utiles). Un modèle de culture à deux types d'entrées, culturales et climatiques, est utilisé pour simuler, au pas de temps journalier, la phénologie, le bilan hydrique et les rendements du blé dur en Algérie. Le comportement futur du blé dur est simulé en utilisant les projections climatiques du modèle ARPEGE-Climat de Météo-France sous le scénario médium A1B SRES pour le futur lointain (2071–2100). Dans le cas de semis à date prescrite, le réchauffement climatique raccourcit le cycle de 31 jours durant la phase végétative, le bilan hydrique est négatif, l'accumulation de la matière sèche est réduite et le rendement réel diminue de 36%. En semis à date dynamique, un allongement de la phase reproductive accompagne le raccourcissement de la phase végétative et le cycle est raccourci de seulement 15 jours. La matière sèche totale est réduite, mais le bilan hydrique, favorisé par le semis précoce, est positif. Par conséquent, le rendement dans le probable climat futur est maintenu au même niveau que celui de la situation actuelle. Nos résultats permettent d'outiller les gestionnaires en leur proposant une stratégie de semis basée sur une date dynamique, pour faire face aux défis du changement climatique et de son impact sur la culture du blé dur.

**Mots clés** : Algérie / changement climatique / stratégies d'adaptation / date de semis / blé dur

**Abstract** – **Which sowing strategy for durum wheat in Algeria to adapt to climate change?** Given the projected climate change, farmers in North African countries usually experiment adaptation strategies based on early sowing, use of early varieties and fertilization. However, information on the effectiveness of early sowing as a strategy for adaptation to climate change on durum wheat crop is very limited. This article aims to help managers advising more effective sowing practices. Two sowing strategies are studied: a dynamic date (depending on the onset of useful rainfall), and a prescribed (fixed) date. A crop model, with two types of input (crop and climate), is used to simulate, at the daily time step, phenology, water balance, and durum wheat yields. The future behaviour of durum wheat is simulated using climate projections provided by the ARPEGE-Climate model of Météo-France under the medium A1B SRES scenario for the distant future (2071–2100). In the case of a fixed sowing date, global warming shortens the growing cycle by 31 days during the vegetative phase, water balance is negative, accumulation of dry matter is reduced and the actual yield decreases by 36%. With a dynamic sowing date, an extension of the reproductive phase accompanies the shortening of the vegetative phase and the crop cycle is shortened by only 15 days. Total dry matter is reduced, but the water balance, favoured by early sowing, is positive. Consequently, the yield in the possible future climate is kept at the same level as in the current situation. Our results suggest a sowing strategy based

\* Auteur de correspondance : [chourghaln@gmail.com](mailto:chourghaln@gmail.com),  
[n.chourghal@univ-bba.dz](mailto:n.chourghal@univ-bba.dz)

on a dynamic date; they provide managers with tools for facing the challenges of climate change impacts on durum wheat cropping.

**Keywords:** Algeria / climate change / adaptation strategies / sowing date / durum wheat

## 1 Introduction

Les projections climatiques futures pour l'Afrique du Nord indiquent des changements considérables dans la moyenne, la variabilité et les extrêmes de températures et de précipitations au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, faisant de la région l'un des principaux « points chauds » du changement climatique (Diffenbaugh et Giorgi, 2012 ; Schilling *et al.*, 2020). En matière de températures, un réchauffement annuel et saisonnier est systématiquement prévu par divers modèles de circulation globale (GCM) et générale (RCM) (Patricola et Cook, 2010 ; Bucchignani *et al.*, 2018) et les températures sont prévues pour augmenter de 4,5 °C en été et de 2,5 °C en hiver dans le scénario optimiste « *Representative Concentration Pathways* » (RCP4.5) (Christensen *et al.*, 2013). Le modèle GCM CMIP5 ENSEMBLE prévoit une diminution des précipitations d'environ 10 % à 20 % (IPCC, 2013), avec une baisse de la pluviométrie hivernale, des étés plus secs et une augmentation des sécheresses (Hertig et Trambly, 2017).

Par ailleurs, les études montrent que l'agriculture nord-africaine est susceptible d'être parmi les plus affectées, non seulement du fait de sa forte dépendance à la pluviométrie, mais aussi et surtout en raison de sa faible capacité d'adaptation aux changements climatiques (Mertz *et al.*, 2009). En Algérie, la surface agricole utile (SAU) ne représente qu'un peu moins de 3,6 % de la surface totale du pays, et seulement 30 % de cette SAU reçoivent plus de 400 mm de pluie par an. La céréaliculture, dominée par le blé dur, représente 85 % de la SAU et est localisée dans les zones semi-arides, se caractérisant par des pluies variables, aléatoires et déficitaires (Bessaoud, 2019). La perte de terres agricoles et la croissance démographique ont fait passer la superficie disponible par habitant de 0,75 ha en 1962 à 0,24 ha en 2008. Ceci n'est pas seulement le résultat des pressions humaines (industrie, construction, pollution...) mais aussi du changement climatique qui induit une dégradation de la biodiversité et contribue à la fragilisation des sols et à la réduction de la couverture végétale, entraînant une désertification progressive (Sahnoune *et al.*, 2013).

Compte tenu de l'importance socio-économique de l'agriculture, il est fondamental d'évaluer les effets futurs du changement climatique sur le rendement des cultures (Bindi et Olesen, 2011). Les travaux sur le blé d'hiver en région méditerranéenne montrent que les augmentations futures des températures induisent un avancement dans l'apparition des stades phénologiques, accompagné d'un raccourcissement de leurs durées (Mo *et al.*, 2016 ; Rezaei *et al.*, 2018), ce qui se traduit par une plus faible accumulation de matière sèche totale et une réduction des rendements (Tubiello *et al.*, 2000 ; Giannakopoulos *et al.*, 2009 ; Moriondo *et al.*, 2011). Toutefois, ces résultats peuvent être influencés par la prise en considération de pratiques culturales telles que la fertilisation, l'irrigation et le choix de la date de semis (Iglesias et Minguez, 1995 ; Ventrella *et al.*, 2012). Dans les pays méditerranéens, les pratiques habituellement mises en

œuvre pour s'adapter au changement climatique sont la précocité du semis et l'utilisation de variétés précoces (Kapetanaki et Rosenzweig, 1997). Diverses approches, basées sur la température quotidienne moyenne, ont été décrites dans la littérature pour déterminer les dates de semis du blé d'hiver (Sacks *et al.*, 2010 ; Ferris *et al.*, 2011). Toutes ont fait valoir que l'ensemencement devait correspondre au début de la saison des précipitations et à la baisse de la température de l'air en dessous d'un seuil qui permet de remplir pleinement les exigences de vernalisation dans les premières étapes du développement (Saadi *et al.*, 2015).

En zones céréalières algériennes, les dates de semis habituellement adoptées s'étalent du 10 novembre au 15 décembre pour les variétés précoces et du 25 octobre au 31 novembre pour les variétés tardives (ITGC, 2001). L'objectif de cet article est d'évaluer l'impact du choix de la date de semis sur le comportement de la culture du blé dur dans les conditions climatiques futures. En joignant le savoir-faire de l'agriculteur concernant le semis du blé dur à la modélisation, on cherche à faire émerger des stratégies efficaces d'adaptation aux effets du changement climatique futur. Rezaei *et al.* (2018) expliquent que l'information concernant les contributions des changements dans les dates de semis et les cultivars aux tendances à long terme de la phénologie des cultures, en particulier pour le blé d'hiver, est limitée. Waha *et al.* (2013) ajoutent que l'ajustement des dates de semis et le changement de cultivars pourraient être une adaptation utile aux changements climatiques.

## 2 Matériels et méthodes

### 2.1 Zones d'étude et données climatiques

Notre étude a été réalisée dans la région de Bordj Bou Arreridj, localisée dans l'arrière-pays méditerranéen où s'étendent les hautes plaines de l'est de l'Algérie (Fig. 1). C'est une région à vocation céréalière associée à l'élevage ovin et bovin (ITGC, 2001). Les sols ont une texture argileuse lourde à très lourde, une faible profondeur et une teneur modérée en matière organique (Bouzerzour et Dekhili, 1995). La principale variété de blé dur cultivée est Waha, caractérisée par sa précocité et sa productivité allant jusqu'à 4,5 t/ha, mais aussi par sa sensibilité à la sécheresse (Amokrane *et al.*, 2002). Dans ce contexte, les aléas climatiques et les sécheresses sont des données décisives pour la production de céréales menée en pluvial. La région est caractérisée par un climat méditerranéen semi-tempéré et se trouve sous la triple influence de l'Atlas tellien qui limite les précipitations hivernales, du Sahara et de l'Atlas saharien, responsables de masses d'air sec. Selon les années, les précipitations varient entre 350 et 450 mm et la température moyenne du mois le plus froid varie entre 0 et 10 °C (Baldy, 1974).

Le climat historique à Bordj Bou Arreridj est représenté par une série de 30 ans de données climatiques journalières (précipitations, température moyenne, humidité relative, durée



Fig. 1. Localisation de la région d'étude.  
Fig. 1. Location of the study area.

d'ensoleillement et vitesse du vent) observées sur la période 1980–2009, collectées auprès de la station météorologique de Bordj Bou Arreridj. Le rayonnement solaire incident ( $R_s$ ) est estimé à partir de la durée d'insolation ( $n$ ) au moyen de la formule d'Angstrom et l'évapotranspiration de référence ( $ET_0$ ) est calculée par la méthode définie dans FAO-56 (Allen et al., 1998).

Le climat journalier synthétique s'étend sur 30 ans et est de deux types : un climat actuel représentant la période 1980–2009 observée et un climat futur possible de 2071 à 2100 selon le scénario médium SRES A1B (IPCC, 2001). Les séries simulées sont fournies par le modèle climatique ARPEGE-CLIMAT version 4 de Météo-France (Déqué, 2007).

L'estimation du changement climatique futur est réalisée par la méthode des anomalies (Gibelin et Déqué, 2003). Dans le cas de la température, l'anomalie ( $\delta T$ ) est définie comme étant la différence en degré Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) dans la moyenne mensuelle interannuelle des températures, entre le scénario futur ( $f$ ) et celui représentant la période de référence ( $c$ ) :

$$\delta T(^{\circ}\text{C}) = T_f(^{\circ}\text{C}) - T_c(^{\circ}\text{C}). \quad (1)$$

Dans le cas des autres paramètres climatiques, elle est égale à leur rapport exprimé en pourcentage.

## 2.2 Simulation de la culture du blé dur

En suivant l'approche agro-météorologique régionale de simulation de cultures annuelles développée par Lhomme et al. (2009) et Sanabria et Lhomme (2013), un modèle simple et générique permettant de calculer la phénologie de la culture, le bilan hydrique, la matière sèche totale et le rendement en grain a été développé, adapté et validé pour la culture du blé dur (Chourghal et al., 2016). Dans ce qui suit, il est utilisé pour tester des stratégies de semis.

### 2.2.1 Tester les stratégies de semis

En se basant sur les périodes traditionnellement adoptées pour le blé dur dans la région, deux options de semis sont testées :

- un semis dynamique, pour lequel la date de semis n'est pas fixe ; la culture est semée si pendant cinq jours consécutifs ( $N_s=5$ ) une précipitation cumulée minimale  $P_s$  de 20 mm survient. Dans la situation présente, la date de semis est limitée à la période traditionnelle de semis du blé en Algérie qui est définie du 1<sup>er</sup> novembre au 31 décembre. Pour le scénario futur, elle est plus étendue : elle va du 1<sup>er</sup> octobre au 31 janvier afin de prendre en compte les effets possibles du changement climatique ;
- un semis prescrit, pour lequel la date de semis est fixée au 1<sup>er</sup> novembre avec une irrigation d'appoint (égale à la pluie cumulée minimale  $P_s$ ) apportée le jour même (Teixeira et al., 1995).

### 2.2.2 Phénologie

Les longueurs des phases de développement du blé dur sont exprimées en temps thermiques, appelés aussi sommes de température ( $ST$ ), avec une température de base de  $0^{\circ}\text{C}$  (Soltner, 1987). Quatre phases phénologiques sont prises en considération (Jonard et al., 1952) : la phase initiale  $P1$  (semis-germination), la phase de développement végétatif  $P2$  (tallage), la phase de mi-saison  $P3$  (montaison) et la phase de fin de saison de croissance  $P4$  (floraison-remplissage des grains). Les sommes des températures ( $ST_k$ ) nécessaires à leurs réalisations sont respectivement de 400, 300, 750 et 1000 degrés jours. L'obtention de la somme des températures nécessaires à la réalisation d'une phase donnée définit automatiquement sa longueur et donc la date de sa fin. La date du stade semis étant désignée par  $S1$ , quatre autres dates relatives aux stades début tallage, début montaison, floraison et récolte ( $S2$ ,  $S3$ ,  $S4$  et  $S5$ ), sont ainsi définies :

$$S2 = S1 + P1, S3 = S2 + P2, S4 = S3 + P3, S5 = S4 + P4. \quad (2)$$

### 2.2.3 Bilan hydrique

Le calcul des besoins en eau s'inspire de la méthodologie de la FAO (Allen et al., 1998). L'évapotranspiration de la culture dans des conditions standard ( $ET_c$ ) est calculée à partir de l'évapotranspiration de référence utilisant le coefficient de culture ( $ET_c = K_c ET_0$ ), puis l' $ET_c$  est injectée avec le coefficient de stress hydrique ( $K_{ws}$ ), pour calculer l'évapotranspiration de la culture dans les conditions réelles ( $ET = K_{ws} ET_c$ ). Les valeurs de l' $ET_c$  et de l' $ET$  permettent de définir l'indice de stress hydrique comme suit :

$$ISH = \sum_{j=S1}^{S5} [ET_c(j) - ET(j)] / \sum_{j=S1}^{S5} ET_c(j). \quad (3)$$

### 2.2.4 Matière sèche totale et rendements

La matière sèche totale est modélisée selon la relation de Monteith (1977), qui relie l'accumulation de la matière sèche

maximum  $TDM_m$  (*total dry matter*) au rayonnement solaire incident ( $R_s$ ) multiplié par l'efficacité climatique ( $\epsilon_c=0,48$ ), l'efficacité d'absorption ( $\epsilon_a$ ) et l'efficacité biologique de conversion ( $\epsilon_b$ ), comme suit :

$$TDM_m = \epsilon_c \epsilon_b \sum_i a(i) R_s(i). \quad (4)$$

L'efficacité d'absorption est une fonction du LAI (*leaf area index*) (Monteith, 1977 ; Jamieson *et al.*, 1998) et l'efficacité biologique de conversion ( $\epsilon_b$ ) est calculée en fonction de la concentration en  $CO_2$  de l'air (C), en se basant sur les travaux de Manderscheid *et al.* (2003).

Le rendement maximum ( $Y_m$ ) est obtenu en multipliant la production de matière sèche maximum ( $TDM_m$ ) par l'indice de récolte  $HI$  (*harvest index*). Le rendement réel ( $Y_a$ ) est défini en utilisant les fonctions linéaires de production végétale-eau, développées par Doorenbos et Kassam (1979), qui permettent de lier le rendement potentiel à l'indice de stress hydrique à travers le facteur de réponse du rendement ( $K_y$ ) comme suit :

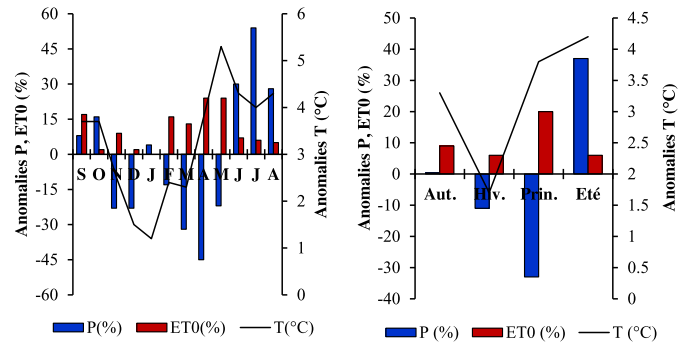
$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (K_y \cdot ISH). \quad (5)$$

L'impact du changement climatique sur le bilan hydrique, la matière sèche totale et le rendement est évalué par le calcul de l'écart relatif entre les scénarios actuel ( $a$ ) et futur ( $f$ ).

### 3 Résultats

#### 3.1 Le climat prévu dans le futur à Bordj Bou Arreridj

Sur la période 2071–2100, la température moyenne interannuelle serait de  $19,6 \pm 0,71^\circ C$  à Bordj Bou Arreridj, soit un réchauffement moyen de  $+3,5^\circ C$  par rapport à la période 1980–2009, en accord avec d'autres prévisions (Schilling *et al.*, 2020). Le calcul des anomalies indique que le réchauffement est minimum en hiver ( $+1,7^\circ C$ ) et maximum en été ( $+4,5^\circ C$ ). Le réchauffement moyen en automne est de  $+3,1^\circ C$ , et il est de  $+3,7^\circ C$  au printemps où les anomalies indiquent jusqu'à  $+5,4^\circ C$  pendant le mois de mai (Fig. 2). Les précipitations diminuent en moyenne de 8 % à Bordj Bou Arreridj dans le climat futur. La tendance à la baisse est généralement confirmée par des évaluations dynamiques (Ozturk *et al.*, 2018 ; Trambly et Somot, 2018) et statistiques de réduction d'échelle (Dubrovský *et al.*, 2014). Le printemps, avec une décroissance des précipitations de 33 %, semble devenir la saison la plus sèche de l'année, suivie par l'hiver ( $-11\%$ ). À l'inverse, le climat futur semble être plus généreux en été, où les anomalies indiquent une augmentation moyenne des précipitations de 37 %. En effet, Tanasijevic *et al.* (2014) montrent que les précipitations estivales sur l'Europe pourraient diminuer, tandis qu'une légère augmentation est prévue pour certaines régions d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Les précipitations en automne s'améliorent de 0,4 % dans le climat futur, avec la valeur de  $+16\%$  calculée sur le mois d'octobre. L'évapotranspiration de référence passe de 1442,1 à 1599,5 mm entre l'état actuel et le scénario futur, soit une augmentation moyenne de 11 %, qui concerne particulièrement le printemps ( $+20\%$ ), en accord avec les conclusions de Todorovic *et al.* (2013).



**Fig. 2.** Anomalies mensuelles et saisonnières de précipitations, évapotranspirations de référence et températures, calculées entre situation actuelle et scénario futur.

**Fig. 2.** Monthly and seasonal anomalies of precipitations, reference evapotranspirations and temperatures, calculated between current situation and future scenario.

#### 3.2 Impact de la stratégie de semis sur la culture du blé dur dans le climat futur

##### 3.2.1 Cycle de culture et phénologie

Dans le cas du semis dynamique, la date de semis avance fortement dans le climat futur en comparaison avec celle du climat actuel, et a lieu le 20 octobre au lieu du 26 novembre : le semis est plus précoce de 37 jours à Bordj Bou Arreridj. La date de récolte avance aussi du 28 juin au 7 mai, soit de 52 jours en moyenne, et le cycle du blé dur passe ainsi de 214 à 199 jours, accusant un raccourcissement de 15 jours (Tab. 1).

La phase végétative, qui dure en moyenne 107 jours dans la situation actuelle, est réduite à seulement 50 jours dans le scénario futur. Le raccourcissement calculé sur cette phase est de 57 jours et concerne plus son début P1 (39 jours), que sa fin P2 (18 jours). La phase végétative, qui se réalisait pratiquement en hiver dans le climat actuel, se déplace complètement vers l'automne dans le scénario futur et est accélérée sous le double effet du déplacement saisonnier, avantageux thermiquement, et du réchauffement climatique, qui est plus important au début de la phase qu'à sa fin ( $+3,7^\circ C$  en septembre et octobre contre  $+2,5^\circ C$  en novembre). À l'inverse, la phase reproductive est plus longue de 41 jours dans le scénario futur en comparaison avec la situation actuelle (149 jours contre 108 jours). Cette phase se déroulait du 12 mars au 28 juin dans la situation actuelle, mais avance vers la période 9 décembre–7 mai dans la situation future. L'augmentation future des températures saisonnières ne sera pas suffisante pour compenser le déplacement de cette phase de croissance vers une période plus fraîche de l'année, et est incapable d'assurer à elle seule l'accomplissement de la phase pendant la même durée que dans la situation actuelle : un allongement sera nécessaire pour pouvoir compléter l'accumulation de la somme de températures requise (Fig. 3).

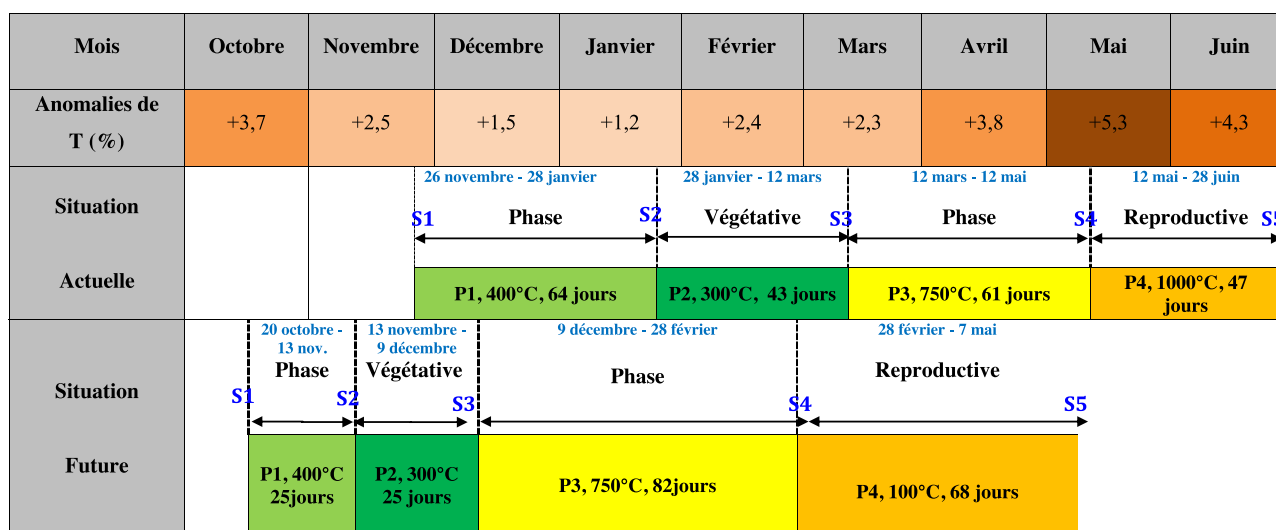
Dans le cas du semis prescrit, la date de semis (1<sup>er</sup> novembre) ne change pas entre la situation actuelle et le scénario futur. La récolte se produit le 17 mai au lieu du 17 juin, et la longueur moyenne du cycle du blé dur passe de 228 à 197 jours, soit un raccourcissement de 31 jours. La phase végétative s'achève 31 jours à l'avance dans le climat futur en comparaison avec la situation actuelle, et le raccourcissement

**Tableau 1.** Changements dans les dates et durées des phases phénologiques entre situation actuelle et scénario futur pour les deux options de semis.

**Table 1.** Changes in dates and durations of the phenological phases between current situation and future scenario for the two sowing options.

	Phase végétative		Phase reproductive	
	L1 : D1–D2	L2 : D2–D3	L3 : D3–D4	L4 : D4–D5
<i>Semis dynamique</i>				
Situation actuelle	26 novembre–28 janvier <b>64 jours</b>	28 janvier–12 mars <b>43 jours</b>	12 mars–12 mai <b>61 jours</b>	12 mai–28 juin <b>47 jours</b>
Situation future	20 octobre–13 novembre <b>25 jours</b>	13 novembre–9 décembre <b>25 jours</b>	9 décembre–28 février <b>82 jours</b>	28 février–7 mai <b>68 jours</b>
<i>Semis prescrit</i>				
Situation actuelle	1 <sup>er</sup> novembre–18 décembre <b>46 jours</b>	18 décembre–6 février <b>51 jours</b>	6 février–23 avril <b>76 jours</b>	23 avril–17 juin <b>55 jours</b>
Situation future	1 <sup>er</sup> novembre–28 novembre <b>28 jours</b>	28 novembre–6 janvier <b>38 jours</b>	6 janvier–22 mars <b>75 jours</b>	22 mars–17 mai <b>56 jours</b>

P1, P2, P3, P4 sont respectivement : début de la phase végétative, fin de la phase végétative, début de la phase reproductive, fin de la phase reproductive et S1, S2, S3, S4 et S5 sont respectivement les dates de : semis, début tallage, début montaison, floraison et récolte.



**Fig. 3.** Changement futur dans le cycle et la phénologie du blé dur dans le cas du semis dynamique à Bordj Bou Arreridj (S1 : semis ; S2 : début tallage ; S3 : début montaison ; S4 : floraison ; S5 : récolte ; P1 + P2 = phase végétative ; P3 + P4 = phase reproductive).

**Fig. 3.** Future change in crop cycle and phenology of durum wheat in the case of dynamic sowing at Bordj Bou Arreridj (S1, S2, S3, S4 and S5 are dates of: sowing, beginning of tillering, beginning of stem elongation, anthesis and harvest; P1 + P2 = vegetative phase; P3 + P4 = reproductive phase).

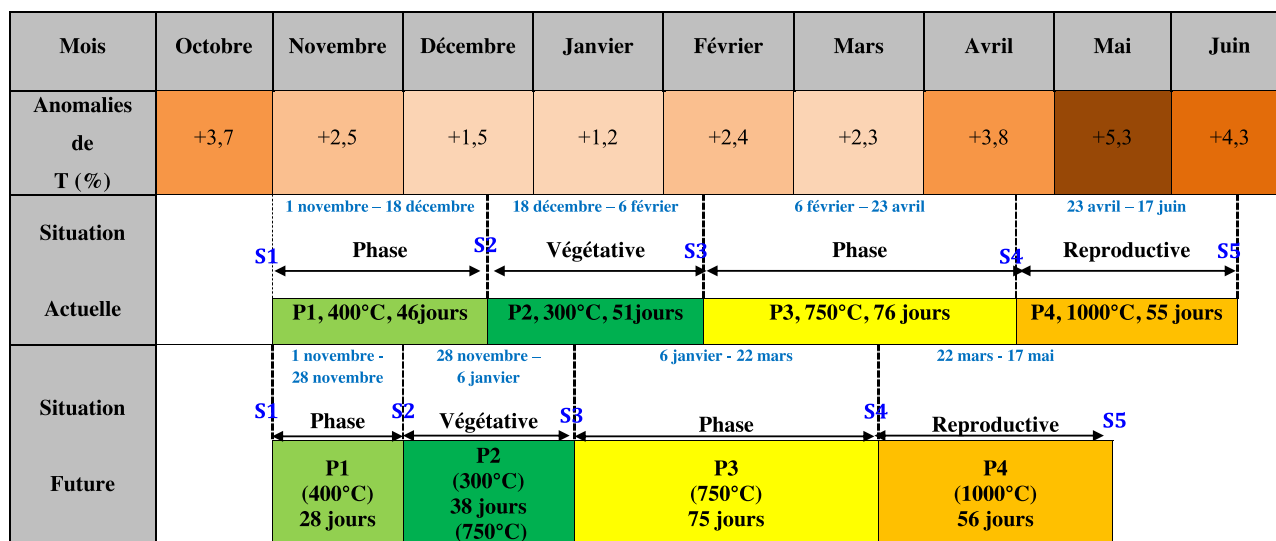
concerne plus la phase de début P1 (18 jours) que la fin P2 (13 jours). La période reproductive reste inchangée dans le climat futur, avec un allongement d'un seul jour de la P3 contre un raccourcissement d'un seul jour de la P4 (Fig. 4).

### 3.2.2 Bilan hydrique, matière sèche et rendements

Le bilan hydrique dans le climat futur semble être avantageux pour le blé dur à Bordj Bou Arreridj dans le cas où le semis est dynamique, et désavantageux dans le cas du semis prescrit (Tab. 2). La pluie cumulée sur le cycle de la culture augmente de 7 % lorsque la date de semis est dynamique, contre une diminution de 32 % dans le cas où

la date de semis est prescrite au 1<sup>er</sup> novembre. De même, l'évapotranspiration moyenne de la culture (ETMc) passe de  $167,6 \pm 71,2$  à  $180,1 \pm 68,1$  mm, soit une augmentation de 6 % dans le cas du semis dynamique, et de  $255,5 \pm 30,4$  à  $172,3 \pm 28,7$  mm, soit une diminution de 34 % dans le cas d'une date de semis prescrite. L'indice de stress hydrique diminue de 6 % dans le cas du semis dynamique, contre une augmentation de 23 % dans le cas où le semis est prescrit au 1<sup>er</sup> novembre.

Dans le climat futur, la matière sèche totale (TDM) et le rendement potentiel (Ym) diminuent tous deux de 10 et 13 %, quel que soit le protocole de semis choisi. Dans le cas où le semis est prescrit, le rendement réel (Ya), sous l'effet de



**Fig. 4.** Changement futur dans le cycle et la phénologie du blé dur dans le cas du semis dynamique à Bordj Bou Arreridj (S1 : semis ; S2 : début tallage ; S3 : début montaison ; S4 : floraison ; S5 : récolte ; P1 + P2 = phase végétative ; P3 + P4 = phase reproductive).

**Fig. 4.** Future change in the cycle and phenology of durum wheat in the case of dynamic sowing at Bordj Bou Arreridj (S1, S2, S3, S4 and S5 are dates of: sowing, beginning of tillering, beginning of stem elongation, anthesis and harvest; P1 + P2 = vegetative phase; P3 + P4 = reproductive phase).

l'augmentation de l'ISH (indice moyen de stress hydrique), diminue de 1,4 t/ha à 0,9 t/ha, accusant un écart potentiellement négatif (-36%). À l'inverse, dans le cas du semis dynamique, les calculs indiquent un écart nul entre la situation actuelle et le scénario futur.

#### 4 Discussion et conclusion

Les projections climatiques indiquent une augmentation de la température moyenne annuelle avec des printemps particulièrement chauds et secs, d'une part, et, d'autre part, des automnes et surtout des étés chauds et plus humides. Pour faire face à l'aléa climatique, les agriculteurs expérimentent habituellement des stratégies d'adaptation basées sur la précocité du semis, l'utilisation de variétés précoces et la fertilisation (Kapetanaki et Rosenzweig, 1997). Le semis précoce permet d'échapper aux périodes de stress hydrique et thermique survenant vers la fin du cycle de culture (Rosenzweig et Tubiello, 1997; Iglesias et Minguéz, 1995) et de réduire l'effet du changement climatique (El-Shaer *et al.*, 1996; Waha *et al.*, 2013). Dans les hautes plaines algériennes où la céréale est cultivée en pluvial, les pratiques agricoles de semis sont ancestrales et débutent dès l'apparition des premières pluies, pendant les périodes traditionnelles du 10 novembre au 15 décembre si la variété est précoce et entre le 25 octobre et le 30 novembre si elle est tardive. Poursuivant la démarche initiée par Chourghal *et al.* (2016), deux stratégies de semis ont été étudiées ici.

Une stratégie de semis basée sur une date de semis prescrite (fixe) ne semble pas être avantageuse pour la culture du blé dur pour deux raisons. D'une part, elle ne permet pas de tirer profit des conditions hydriques supposées être meilleures en début d'automne et, de l'autre, elle conduit à un raccourcissement important du cycle de culture durant la phase végétative, induisant une réduction de la matière sèche accumulée. Des

résultats similaires ont été obtenus au Sud de l'Italie (Ventrella *et al.*, 2012). Dans d'autres pays, tels que la Turquie, le Maroc ou les pays des Balkans, où les températures sont supposées connaître une forte augmentation, le cycle du blé d'hiver peut être raccourci de 21 à 40 jours, exclusivement pendant la période végétative (Saadi *et al.*, 2015). Dans cette situation de semis, le statut hydrique est négatif avec une diminution de l'évapotranspiration *ETMc* et une augmentation considérable de l'indice de stress hydrique, ce qui conduit inévitablement à une perte considérable en matière de rendement, comme établi notamment par les travaux de Zairi *et al.* (2003), Supit *et al.* (2010) et Lovelli *et al.* (2010).

En revanche, une stratégie de semis basée sur une date dynamique semble être avantageuse dans le climat futur, car elle permet de faire profiter la culture des augmentations de précipitations en début de saison. Les possibilités de semis précoce sont meilleures et la date de récolte est décalée vers le début du printemps. La période végétative est considérablement raccourcie, fait régulièrement documenté, par exemple par Giannakopoulos *et al.* (2009), Moriondo *et al.* (2011) et Rezaei *et al.* (2018), mais avec un allongement de la phase reproductive, qui conduit à un raccourcissement moindre du cycle du blé dur. Ces résultats rejoignent ceux de Wang *et al.* (2008) qui trouvent que l'accroissement des températures induit le raccourcissement de la période végétative du blé dur de 16,1 jours et l'allongement de la période reproductive de 8,2 jours. La prolongation de la phase de reproduction peut être considérée comme étant un élément en faveur de l'adaptation au changement climatique (Xiao et Tao, 2016). En effet, cela peut donner plus de temps pour le remplissage des grains et, par conséquent, un poids de mille grains plus élevé en cas d'utilisation de variétés de blé dur à gros grains (Ali Dib *et al.*, 1992).

Le semis dynamique induit une précocité du cycle qui assure son achèvement avant l'occurrence des sécheresses de

**Tableau 2.** Changements dans le statut hydrique, matière sèche totale et rendements entre situation actuelle et scénario futur pour les deux options de semis.**Table .** Changes in water balance, total dry matter and yields between current situation and future scenario for the two sowing options.

	Situation actuelle	Situation future	Écart relatif (%)
<i>Semis dynamique</i>			
<i>ETMc</i>	177,2 ± 29,6	187,8 ± 28	+6
<i>Pc</i>	167,6 ± 71,2	180,1 ± 68,1	+7
ISH	50 ± 18	45 ± 15	-10
TDM	11,2 ± 0,8	9,7 ± 0,9	-13
<i>Ym</i>	3,0 ± 0,2	2,6 ± 0,2	-13
<i>Ya</i>	1,4 ± 0,4	1,4 ± 0,4	0
<i>Semis prescrit</i>			
<i>ETMc</i>	255,5 ± 30,4	172,3 ± 28,7	-32
<i>Pc</i>	249,3 ± 70,5	163,5 ± 73,1	-34
ISH	52 ± 11	64 ± 10	+23
TDM	11,3 ± 1,1	10,2 ± 1	-10
<i>Ym</i>	3,1 ± 0,3	2,8 ± 0,3	-10
<i>Ya</i>	1,4 ± 0,4	0,9 ± 0,4	-36

*ETMc* (mm), *Pc* (mm), ISH (%), TDM (t/ha), *Ym* (t/ha), *Ya* (t/ha) sont respectivement : évapotranspiration moyenne de la culture, pluie moyenne cumulée sur le cycle, indice moyen de stress hydrique, matière sèche totale accumulée sur le cycle, rendement maximum et rendement réel.

fin de saison, projetées être plus sévères et plus longues dans le climat futur en comparaison avec le climat présent (Lelieveld *et al.*, 2016). Ainsi, le bilan hydrique est positif avec une augmentation de l'évapotranspiration et un indice de sécheresse plus faible, en comparaison avec le climat actuel ; le rendement réel reste sensiblement au même niveau que celui de la situation actuelle, malgré la diminution de la matière sèche accumulée. Ces résultats sont en accord avec ceux de Saadi *et al.* (2015) qui affirment que « le raccourcissement du cycle du blé dur ne doit pas être considéré comme négatif si la culture peut éviter les périodes chaudes et sèches à la fin du printemps et au début de l'été et être effectuée principalement pendant la saison des pluies ».

C'est pourquoi un semis dynamique devrait être pratiqué plus tôt par rapport à la situation actuelle lorsque les conditions hydriques le permettent : la date de récolte avance alors vers le début du printemps et il s'ensuit un cycle du blé dur raccourci et un meilleur bilan hydrique conduisant à une perte de rendement limitée.

Au-delà des réponses agronomiques liées à la conduite de la culture du blé dur en prévision des changements climatiques, notre analyse renseigne sur la façon dont une gestion intelligente de la date de semis pourrait être initiée pour préserver des niveaux de rendement équivalents à ceux d'aujourd'hui ; elle donne ainsi des clés aux gestionnaires et aux structures d'encadrement agricoles pour conseiller les agriculteurs et faire face aux défis alimentaires à venir. Le climat futur étant probablement plus pluvieux en été, il serait aussi pertinent de tester d'autres pratiques agronomiques telles que le mulch et/ou le semis direct pour valoriser la conservation de l'humidité du sol. À ce titre, Mohammad *et al.* (2012) rapportent, qu'en semis direct, la couverture végétale améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau grâce à un meilleur stockage de la pluviométrie. De plus, il pourrait être intéressant pour cette région de transformer cette humidité

estivale en pâturage vert pour le cheptel. Ceci permettrait au sol de tirer profit des pailles de la céréale de l'été et des restes du pâturage implanté. Cette option, si elle était mise en œuvre, renforcerait le rôle pionnier de la région dans le développement du semis direct (Labad et Hartani, 2015).

## Références

- Ali Dib T, Monneveux P, Araus JL. 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie* 12(5): 381–393. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885484/document>.
- 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: FAO, 50 p.
- Amokrane A, Bouzerzour H, Benbelkacem A, Djeh A, Mahe A. 2002. Étude comparative des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) d'origine algérienne, syrienne et européenne, sous climat méditerranéen. *Sciences et Technologies* 1: 33–38.
- Baldy C. 1974. Étude fréquentielle du climat, son influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Doc CCCE. Paris: CCCE, 152 p.
- Bessaoud O. 2019. Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. [https://www.iamm.ciheam.org/ress\\_doc/opac\\_css/doc\\_num.php?explnum\\_id=18246](https://www.iamm.ciheam.org/ress_doc/opac_css/doc_num.php?explnum_id=18246), site consulté le 5/04/2020.
- Bindi M, Olesen JE. 2011. The responses of agriculture in Europe to climate change. *Reg Environ Change* 11: 151–158. DOI: 10.1007/s10113-010-0173-x.
- Bouzerzour H, Dekhili M. 1995. Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Fields Crops Res* 41: 173–178. DOI: 10.1016/0378-4290(95)00005-B.
- Bucchignani E, Mercogliano P, Panitz H-J, Montesarchio M. 2018. Climate change projections for the Middle East–North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. *Adv Clim Change Res* 9: 66–80. DOI: 10.1016/j.accre.2018.01.004.

- Chourghal N, Lhomme JP, Huard F, Aidaoui A. 2016. Climate change in Algeria and its impact on durum wheat. *Reg Environ Change* 16: 1623–1634. DOI: [10.1007/s10113-015-0889-8](https://doi.org/10.1007/s10113-015-0889-8).
- Christensen JH, Krishna Kumar K, Aldrian E, et al. 2013. Climate phenomena and their relevance for future regional climate change. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, eds. *Climate change 2013: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1217–1310.
- 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](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.030).
- Diffenbaugh NS, Giorgi F. 2012. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Clim Change* 114: 813–822. DOI: [10.1007/s10584-012-0570-x](https://doi.org/10.1007/s10584-012-0570-x).
- Doorenbos J, Kassam A. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome, Italy: Editions FAO, 40 p.
- Dubrovský M, Hayes M, Duce P, Trnka M, Svoboda M, Zara P. 2014. Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Reg Environ Change* 14: 1907–1919. DOI: [10.1007/s10113-013-0562-z](https://doi.org/10.1007/s10113-013-0562-z).
- El-Shaer MH, Rosenzweig C, Iglesias A, Eid HM, Hillel D. 1996. Possible scenarios for Egyptian agriculture in the future. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 1(3): 233–250. DOI: [10.1007/BF00517805](https://doi.org/10.1007/BF00517805).
- Ferris R, Moriondo M, Bindi M. 2011. Probabilistic assessments of climate change impacts on durum wheat in the Mediterranean region. *Nat Hazards Earth Syst Sci* (11): 1293–1302. DOI: [10.5194/nhess-11-1293-2011](https://doi.org/10.5194/nhess-11-1293-2011).
- Giannakopoulos C, Le Sager P, Bindi M, Moriondo M, Kostopoulou E, Goodess CM. 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from global warming. *Glob Planet Change* 68: 209–224. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2008.02.002](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.02.002).
- Gibelin AL, Déqué M. 2003. Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate Dyn* 20: 327–339. DOI: [10.1007/s00382-002-0277-1](https://doi.org/10.1007/s00382-002-0277-1).
- Hertig E, Trambly Y. 2017. Regional downscaling of Mediterranean droughts under past and future climatic conditions. *Glob Planet Change* 151: 36–48. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2016.10.015](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.015).
- Iglesias A, Minguéz MI. 1995. Perspectives for maize production in Spain under climate change. In: Rosenzweig C, Iglesias A, eds. *Agriculture: crop modeling study*. Washington, DC: EPA. DOI: [10.2134/adaspecpub59.c13](https://doi.org/10.2134/adaspecpub59.c13).
- IPCC. 2001. IPCC impacts, adaptation and vulnerability. In: McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DG, White KS, eds. *Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, USA: Cambridge University Press, 1032 p.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: the physical science basis. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, eds. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1535 p.
- ITGC. 2001. La culture intensive du blé, 2<sup>e</sup> éd. actualisée. Alger: Éditions ITGC, 45 p.
- Jamieson PD, Semenov MA, Brooking IR, Francis GS. 1998. Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation. *Eur J Agron* 8: 161–179. DOI: [10.1016/S1161-0301\(98\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00020-3).
- Jonard P, Koller J, Vincent A. 1952. Évolution de la tige et de l'épi chez la variété de blé Vilmorin 27 au cours de la période de reproduction. *Ann Amélior Plant* 2(1): 31–54.
- Kapetanaki G, Rosenzweig C. 1997. Impact of climate change on maize yield in central and northern Greece: a simulation study with CERES-Maize. *Mitig Adapt Strateg* 1(3): 251–271. DOI: [10.1023/B:MITI.0000018044.48957.28](https://doi.org/10.1023/B:MITI.0000018044.48957.28).
- Labad R, Hartani T. 2015. Direct seeding emergence in the agricultural farms of the Setif plain (Algeria). In: *Sixth International Scientific Agricultural Symposium "Agrosym 2015"*. Jahorina, Bosnie-Herzégovine. Book of proceedings. pp. 1217–1221. DOI: [10.7251/AGSY15051217L](https://doi.org/10.7251/AGSY15051217L).
- Lelieveld J, Proestos Y, Hadjinicolaou P, Tanarhte M, Tyrllis E, Zittis G. 2016. Strongly increasing heat extremes in the Middle East and North Africa (MENA) in the 21st century. *Clim Chang* 137: 245–260. DOI: [10.1007/s10584-016-1665-6](https://doi.org/10.1007/s10584-016-1665-6).
- Lhomme JP, Mougou A, Mansour M. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. *Clim Change* 96: 549–564. DOI: [10.1007/s10584-009-9571-9](https://doi.org/10.1007/s10584-009-9571-9).
- Lovelli S, Perniola Di Tommaso M, Ventrella D, Moriondo D, Amato M. 2010. Effects of rising atmospheric CO<sub>2</sub> on crop evapotranspiration in a Mediterranean area. *Agric Water Manage* 97(9): 1287–1292. DOI: [10.1016/j.agwat.2010.03.005](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.005).
- Manderscheid R, Burkart S, Bramm A, Weigel HJ. 2003. Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on growth and daily radiation use efficiency of wheat in relation to temperature and growth stage. *Eur J Agron* 19: 411–425. DOI: [10.1016/S1161-0301\(02\)00133-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00133-8).
- Mertz O, Halsnaes K, Olesen JE, Rasmussen K. 2009. Adaptation to climate change in developing countries. *Environ Manage* 43: 743–752. DOI: [10.1007/s00267-008-9259-3](https://doi.org/10.1007/s00267-008-9259-3).
- Mo F, Sun M, Yan Liu X, et al. 2016. Phenological responses of spring wheat and maize to changes in crop management and rising temperatures from 1992 to 2013 across the Loess Plateau. *Field Crop Res* (196): 337–347. DOI: [10.1016/j.fcr.2016.06.024](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.024).
- Mohammad W, Shah SM, Shehzadi S, Shah SA. 2012. Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 715–727.
- Monteith JL. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 281: 277–294. DOI: [10.1098/rstb.1977.0140](https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140).
- 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](https://doi.org/10.1007/s10584-010-9871-0).
- Ozturk T, Turp M, Türkes M, Kurnaz M. 2018. Future projections of temperature and precipitation climatology for CORDEX-MENA domain using RegCM4.4. *Atmos Res* 206: 87–107. DOI: [10.1016/j.atmosres.2018.02.009](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.02.009).
- Patricola CM, Cook K. 2010. Northern African climate at the end of the twenty-first century: an integrated application of regional and global climate models. *Clim Dyn* 35(1): 193–212. DOI: [10.1007/s00382-009-0623-7](https://doi.org/10.1007/s00382-009-0623-7).
- Rezaei EE, Siebert S, Hüging H, Hüging H, Ewert F. 2018. Climate change effect on wheat phenology depends on cultivar change. *Sci Rep* 8: 489. DOI: [10.1038/s41598-018-23101-2](https://doi.org/10.1038/s41598-018-23101-2).
- Rosenzweig C, Tubiello FN. 1997. Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future



- directions. An introductory essay. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 1: 219–232. DOI: [10.1007/BF00517804](https://doi.org/10.1007/BF00517804).
- Saadi S, Todorovic M, Tanasijevic L, Pereira LS, Pizzigalli C, Lionello P. 2015. Climate change and Mediterranean agriculture: impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agric Water Manage* 147: 103–115. DOI: [10.1016/j.agwat.2014.05.008](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.008).
- Sacks WJ, Deryng D, Foley JA, Ramankutty N. 2010. Crop planting dates: analysis of global patterns. *Glob Ecol Biogeogr* 19(5): 607–620. DOI: [10.1111/j.1466-8238.2010.00551.x](https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00551.x).
- Sahnoune F, Belhamela M, Zelmatb M, Kerbachic R. 2013. Climate change in Algeria: vulnerability and strategy of mitigation and adaptation. *Energy Procedia* 36: 1286–1294. DOI: [10.1016/j.egypro.2013.07.145](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.145).
- 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](https://doi.org/10.1007/s00704-012-0764-1).
- Schilling J, Hertig E, Trambly Y, Scheffran J. 2020. Climate change vulnerability, water resources and social implications in North Africa. *Reg Environ Change* 20: 15. DOI: [10.1007/s10113-020-01597-7](https://doi.org/10.1007/s10113-020-01597-7).
- Soltner D. 1987. Les bases de la production végétale. Tome II. Le climat : météorologie-pédologie-bioclimatologie. Éditions Sciences et techniques agricoles, 314 p.
- Supit I, van Diepen CA, Boogaard HL, Ludwig F, Baruth B. 2010. Trend analysis of the water requirements, consumption and deficit of field crops in Europe. *Agric Forest Meteorol* 150: 77–88. DOI: [10.1016/j.agrformet.2009.09.002](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.09.002).
- Tanasijevic L, Todorovic M, Pereira LS, Pizzigalli C, Lionello P. 2014. Impacts of climate change on olives crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agric Water Manage* 144: 54–68. DOI: [10.1016/j.agwat.2014.05.019](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.019).
- Teixeira JL, Fernando RM, Pereira LS. 1995. Irrigation scheduling alternative for limited water supply and drought. *ICID J* 44: 73–87.
- Todorovic M, Karic B, Pereira LS. 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. *J Hydrol* 481: 166–176. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2012.12.034](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.034).
- Trambly Y, Somot S. 2018. Future evolution of extreme precipitation in the Mediterranean. *Clim Change* 151: 289–302. DOI: [10.1007/s10584-018-2300-5](https://doi.org/10.1007/s10584-018-2300-5).
- Tubiello FN, Donatelli M, Rosenzweig C, Stöckle CO. 2000. Effects of climate change and elevated CO<sub>2</sub> on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *Eur J Agron* 13(2–3): 179–189. DOI: [10.1016/S1161-0301\(00\)00073-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00073-3).
- 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 Change* 3: 204–219. DOI: [10.1007/s10113-011-0256-3](https://doi.org/10.1007/s10113-011-0256-3).
- Waha W, Müller C, Bondeau A, Dietrich JP, Kurukulasuriya P, Heinke J. 2013. Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. *Global Environ Change* 23: 130–143. DOI: [10.1016/j.gloenvcha.2012.11.001](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.001).
- Wang HL, Gan YT, Wanga RY, et al. 2008. Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China. *Agric For Meteorol* 148: 1242–1251. DOI: [10.1016/j.agrformet.2008.03.003](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.03.003).
- Xiao D, Tao F. 2016. Contributions of cultivar shift, management practice and climate change to maize yield in North China Plain in 1981–2009. *Int J Biometeorol* 60: 1111–1122. DOI: [10.1007/s00484-015-1104-9](https://doi.org/10.1007/s00484-015-1104-9).
- Zairi A, El Amami H, Slatni A, Pereira LS, Rodrigues PN, Machado TG. 2003. Coping with drought: deficit irrigation strategies for cereals and field horticultural crops in Central Tunisia. In: Rossi G, Cancelliere A, Pereira LS, Oweis T, Shatanawi M, Zairi A, eds. *Tools for drought mitigation in Mediterranean regions*. Dordrecht: Springer, pp. 181–201.

**Citation de l'article** : Chourghal N, Hartani T. 2020. Quelle stratégie de semis du blé dur en Algérie pour s'adapter au changement climatique? *Cah. Agric.* 29: 22.