

Productivité de l'eau de pluie et céréaliculture pluviale Cas des hauts plateaux de Sétif et de Bordj Bou Arreridj

D. Smadhi^{*(1)}, L. Zella⁽²⁾, M. Amirouche⁽²⁾

¹ Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie, Division de Recherche de Bioclimatologie et Hydraulique Agricole, Alger, Algérie

² Université Saad Dahlab, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Biotechnologies, Blida, Algérie

*Auteur de correspondance : dalsmadhi@yahoo.fr

Reçu : 20 novembre 2023

Révisé : 30 septembre 2024

Accepté : 23 octobre 2024

Résumé : Les hauts plateaux de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, considérés comme des greniers à céréales, subissent régulièrement les caprices du climat, aggravés par l'absence de gestion de l'eau de pluie pour leur développement. Cette étude examine les séries mensuelles de pluie sur une période de 80 ans, en les divisant en trois périodes distinctes (1940-1970), (1970-2000) et (2000-2020), évaluées selon des seuils prédéfinis de 0,1, 5, 10, 20 et 30 mm. Les résultats mettent en lumière le début (septembre) et la fin (mai) des saisons pluvieuses, avec une variabilité des quantités de pluie et du nombre de jours pluvieux d'un mois à l'autre et d'un endroit à l'autre. La première période se distingue par des mois plus pluvieux que la moyenne sur 80 ans, tandis que la deuxième est caractérisée par des mois plus secs. La dernière période semble indiquer des mois plus pluvieux que les deux précédentes, bien que les séries mensuelles révèlent une diminution notable des quantités de pluie dépassant 5 mm, accompagnée d'une réduction du nombre de jours pluvieux nécessaires au cycle de développement des céréales. L'évolution dans le temps et dans l'espace de la productivité agronomique de l'eau de pluie montre des valeurs très faibles ($0,562 \text{ kg/m}^3$), confirmant l'efficacité limitée de l'eau de pluie en céréaliculture pluviale. Bien que ces paramètres soient des déterminants essentiels pour la production céréalière à Sétif et à Bordj Bou Arreridj, ils ne sont pas exclusifs.

Mots clés : Pluie mensuelle, productivité, production, céréale pluviale.

Summary : The high plateaus of Setif and Bordj Bou Arreridj, considered granaries for cereals, regularly face the whims of the climate, exacerbated by the lack of rainwater management for their development. This study examines monthly rainfall series over an 80-year period, dividing them into three distinct periods (1940-1970), (1970-2000), and (2000-2020), evaluated based on predefined thresholds of 0.1, 5, 10, 20, and 30 mm. The results highlight the onset (September) and end (May)

of the rainy seasons, with variability in rainfall amounts and the number of rainy days from month to month and from location to location. The first period stands out with months wetter than the 80-year average, while the second is characterized by drier months. The last period seems to indicate wetter months than the two preceding ones, although monthly series reveal a notable decrease in rainfall quantities exceeding 5 mm, accompanied by a reduction in the number of rainy days necessary for the cereal development cycle. The evolution over time and space of the agronomic productivity of rainwater shows very low values (0,562 kg/m³), confirming the limited efficiency of rainwater in rainfed cereal farming. Although these parameters are essential determinants for cereal production in Sétif and Bordj Bou Arreridj, they are not exclusive.

Key words : Monthly rainfall, productivity, production, rainfed cereals.

INTRODUCTION

La céréaliculture prédominante dans les hauts plateaux semi-arides de l'Est d'Algérie, est pratiquée en pluvial sur une superficie moyenne de 1,5 million d'hectares. Elle est composée principalement, de blé dur, de blé tendre, d'orge et d'avoine et s'étend sur des terrains allant des plus fertiles aux moins fertiles. Sa mise en culture présente un caractère d'homogénéité spatiale, avec une rotation biennale « céréales-jachère » (Haïchour et Souiher, 2013).

La céréaliculture est pratiquée sur des exploitations en nombre de 130 573 dont 12% sont localisées dans les wilayas de Sétif (12 350) et de Bordj Bou Arreridj (3 365) (Chambre nationale d'agriculture : CNA, 2022). Ces exploitations parmi les plus productives, contribuent significativement aux revenus d'un grand nombre d'agriculteurs.

Au cours des cinq dernières années, selon les chiffres publiés dans les Bulletins de Statistiques Agricoles (BSA, 2015/2020), la céréaliculture dans ces wilayas, a généré une moyenne de près de 1,1 million de quintaux (q) et contribué à hauteur de 4% à la production céréalière nationale, jouant un rôle crucial dans l'alimentation de la population algérienne. Malgré ces implications socio-économiques, la production nationale, ne parvient pas à répondre à la demande croissante (>70 millions de q), faisant de l'Algérie l'un des principaux importateurs mondiaux de céréales. En 2021 et 2022, le pays a importé près de 106 millions de q pour un coût de 6,4 milliards de dollars (Bouzaïd, 2022). La dépendance aux importations et l'incapacité à atteindre l'autosuffisance, représentent une menace pour la sécurité alimentaire du pays. Bien que la production céréalière dans les wilayas considérées, ait connu des améliorations

depuis les années 2000, elle demeure peu productive à l'hectare. En bonne année, les moyennes n'excèdent pas 17 q/ha (Sétif : 2009/2010 ; 2013/2014 ; Bordj Bou Arreridj : 2011/2012), reflétant la moyenne nationale mais restant en deçà de la moyenne mondiale (40,7 q/ha) et de la moyenne de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient (23,4 q/ha) selon les statistiques de la Banque mondiale (BM, 2020). Ouramdane (2019), souligne que même si les céréales, sont considérées comme plus rentables sur les vastes étendues des hauts plateaux, elles génèrent moins de valeur financière que d'autres cultures.

La céréaliculture pluviale dans les régions de l'Est du pays, évolue sous des conditions de pluviométrie très irrégulières. Les quantités moyennes, fluctuant entre 300 et 600 mm, caractérisent des déficits hydriques pouvant dépasser 10%, impactant ainsi la production céréalière (Smadhi et Zella, 2009). Par exemple, une pluviométrie de 349 mm a produit 16,9 q/ha (2013/2014), tandis qu'une quantité équivalente au double (531 mm) n'a généré que 7 q/ha.

La variabilité de la pluviométrie et les déficits marqués, soulèvent la question du régime pluviométrique en termes de qualité et de quantité. Cette question, traitée dans de nombreux travaux (Bensaâd, 1994 ; Smadhi et al. 2022), demeure d'actualité dans les

régions semi-arides et mérite d'être étudiée en tant que telle. Les situations pluviométriques dans ces régions, sont compliquées par la nature des sols squelettiques, peu fertiles et sujets à l'érosion, ainsi que par l'inadaptation des pratiques agricoles (Lahmar, 1993 ; Chergui, 2019). Selon Amigues et al. (2006), les quantités d'eau qui retournent vers les hydrosystèmes, sont influencées par la sécheresse elle-même, ainsi que par les modes d'occupation des sols et les pratiques agricoles.

Dans cette perspective, les préoccupations socio-économiques se tournent vers la nécessité d'anticiper les situations à risque. Ainsi, la question posée est la suivante : comment limiter la vulnérabilité des systèmes de production céréalière face au manque d'eau ? En d'autres termes, quelles sont les sensibilités des systèmes de culture et des productions à la pénurie d'eau ?

Cette recherche tente de répondre à cette question en mettant l'accent sur l'évolution spatiale de la pluviométrie à une échelle mensuelle, en lien avec l'évaluation de la productivité agronomique de l'eau de pluie (PAEP) en céréaliculture pluviale.

Depuis les années 1990, un intérêt grandissant, est porté à la productivité de l'eau, à l'échelle globale et intersectorielle. Cette notion fournie selon Seckler et al. (2003) ; Perry (2007), des informations supplémentaires pour

la planification des ressources en eau. Ce paramètre permet par conséquent, de définir la production et le rendement des cultures par mètre cube (m^3) de consommation d'eau en pluviale, à l'échelle régionale.

MATERIEL ET METHODES

Région d'étude

La région d'étude englobe les hauts plateaux telliens de Sétif et Bordj Bou Arreridj, situés dans le territoire oriental semi-aride de l'Est algérien, entre $35^{\circ}39'$ et $36^{\circ}43'$ de latitude Nord et entre $4^{\circ}20'$ et $6^{\circ}26'$ de longitude Est (Figure 1). Sur cette étendue de 1 748 200 hectares,

au cours des cinq dernières années, les céréales d'hiver (blé dur et tendre, orge et avoine) ont été semées sur une moyenne totale de 328 381 hectares, représentant ainsi 18,8% de la superficie totale. (Figure 1)

Données agricoles des céréales pluviales

Les données relatives aux surfaces cultivées, aux productions et aux rendements sont extraites des Bulletins de Statistiques Agricoles (BSA, 1970-2021). Ces données seront utilisées pour analyser et évaluer la productivité de la céréaliculture en relation avec le facteur de production prédominant, à savoir la

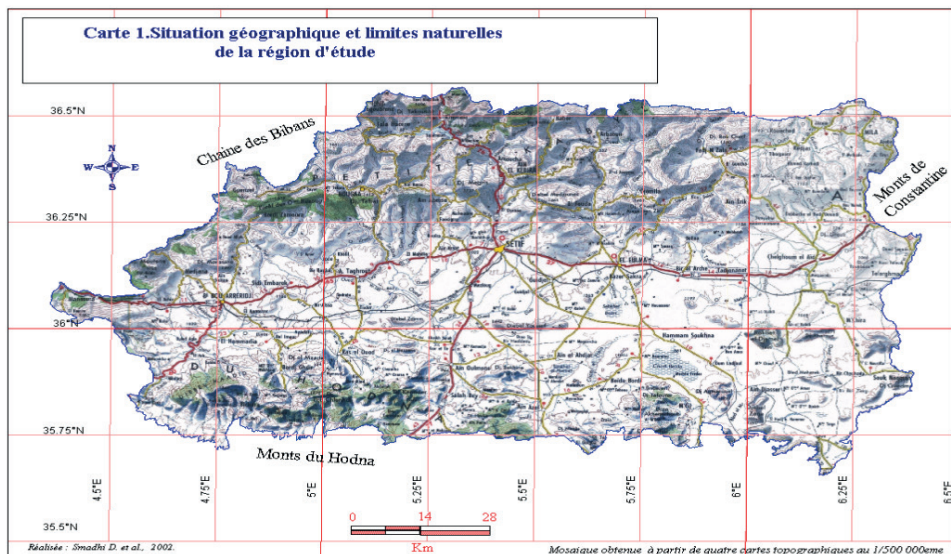


Figure 1. Situation géographique des hautes plaines de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, semi-arides (Smadhi, 2002).

Tableau 1. Répartition des surfaces, des productions et des rendements céréaliers par périodes dans les wilayas de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, (1970-2021).

Facteurs agricoles	Sétif			Bordj Bou Arreridj		
Périodes	1970/2000	2000/2021	1970/2021	1970/2000	2000/2021	1970/2021
Surfaces	168802	168874	168833	82397	83094	82702
Productions	1152166	1906257	1482081	533752	883895	686939
Rendements	7,1	11,1	8,9	6,4	10,5	8,2

pluviométrie, reflétée par la répartition des lames d'eau (mm) et le nombre de jours pluvieux. Les relations seront établies en quantifiant la variation des productions et des rendements résultant des aléas pluviométriques.

Réseau météorologique et données pluviométriques

Le réseau météorologique des hauts plateaux de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, se compose de deux stations synoptiques seulement, enregistrant tous les paramètres climatiques. Ces stations, appartenant à l'Office National de la Météorologie (ONM), disposent de données sur de longues séries, en particulier pour le facteur pluviométrique. Les données pluviométriques collectées sur 80 ans (1940-2021) permettent d'analyser les aléas associés, tels que le nombre de jours pluvieux, sur une échelle mensuelle de septembre (S) à août (Ao). Ces données ont été obtenues à partir des Bulletins Nationaux de Météorologies, de documents d'archives et de sites web spécialisés (Ogimets et infos climat).

Evaluation spatio-temporelle des pluies

Les pluies mensuelles, reflétées par le nombre de jours pluvieux sur des séries de 80 ans, sont analysées et évaluées par le modèle stochastique reposant sur la méthode de la chaîne de Markov d'ordre 1, avec une loi initiale π_0 et une matrice de transition P tel que défini par Méliot (2022).

Soit la série de donnée $(X_n)_{n \in \mathbb{N}}$. Pour tout $n \geq 0$, la loi π_n est donnée par le produit matriciel : $\pi_n = \pi_0 P^n$.

Le calcul de $\pi_n(x)$, est obtenu en sommant toutes les possibilités pour les variables $X_0, X_1, \dots, X_{n-1}$

$$\begin{aligned} \pi_n(x) &= \sum_{((x_0, x_1, \dots, x_{n-1}) \in X_n)} P \pi_0 [X_0 = x_0, X_1 = x_1, \dots, X_{n-1} = x_{n-1}, X_n = x] \\ &= \sum_{((x_0, x_1, \dots, x_{n-1}) \in X_n)} \pi_0(x_0) P(x_0, x_1) P(x_1, x_2) \dots P(x_{n-1}, x) \end{aligned}$$

Katz (1977) et Augustin (2019), souligne que la méthode, contribue à modéliser le processus des occurrences et des cumuls journaliers de précipitations. Quant

à Srikanthan et McMahon (2001), Herrera et al. (2006) et Berglund (2014), rapportent l'utilisation de ce type de modèle dans les travaux de recherches sur l'évolution du climat historique et dans les simulations de Modèle de Circulation Générale couplés Atmosphère Océan (MCGAO).

Les différentes étapes de la méthode, permettent d'analyser la saison agricole en se basant sur la répartition des quantités de pluies et du nombre de jours pluvieux. Le début et la fin des pluies, sont déterminés en référence à des seuils choisis, tels que 0,1 mm ($P \geq 0,1\text{mm}$), 5 mm ($P \geq 5\text{mm}$), 10 mm ($P \geq 10\text{mm}$), 20 mm ($P \geq 20\text{mm}$) et 30 mm ($P \geq 30\text{mm}$), conformément à la définition de Hills et Morgan (1981). Ces seuils permettent de différencier les pluies météorologiques des pluies agronomiques.

Les séries de quantités de pluies mensuelles nouvellement obtenues, de septembre (S) à août (Ao), sont évaluées statistiquement en utilisant les moyennes (My), les écarts-types (Et) et les coefficients de corrélation (r), ainsi que le rapport à la normale des pluies. Ce dernier permet de comparer les moyennes mensuelles entre les périodes inter et intra-annuelles. Il est calculé en utilisant les pluies enregistrées par mois par rapport aux pluies normales (moyennes) des périodes considérées et en multipliant par 100. Cet indice, selon l'OMM (2016) et l'OWM (2020),

contribue à évaluer les changements de moyennes climatiques et à détecter et suivre les impacts des sécheresses.

Evaluation du nombre de jours pluvieux

L'évaluation du nombre de jours pluvieux (jp) par mois à Sétif et à Bordj Bou Arreridj, prend en compte les matrices markoviennes obtenues à partir de séries de données, basées sur le calcul des cumuls pluviométriques selon les différents seuils définis, de septembre à août. Ces matrices sont représentées par des valeurs égales à zéro (0) et à un (1), la première indiquant un jour sec ou un état sec (toutes les valeurs nulles au cours des mois), et la deuxième indiquant un jour pluvieux ou un état pluvieux (toutes les valeurs de pluies considérées). Ce processus est lié à la détermination des probabilités d'occurrence des quantités de pluies au cours des mois de l'année.

Evaluation des occurrences des pluies

Le calcul des probabilités d'occurrence des pluies significatives prend en considération les volumes moyens, minimums et maximums des pluies à l'échelle mensuelle, estimés aux seuils de 20%, 30%, 50% et 80%. Ces pourcentages, dérivés de données historiques, évaluent les volumes mensuels par rapport au début et à la

fin des pluies significatives, contribuant ainsi à évaluer les déficits mensuels en relation avec l'efficacité de l'eau de pluie, selon Stern (1982) et CRET (1993).

Evaluation de la productivité agronomique de l'eau de pluies de la céréaliculture pluviale

La productivité agronomique de l'eau de pluie (PAEP) est un indicateur, des pertes en eau au cours de son utilisation par unité d'eau consommée (FAO, 2020). Cette notion devenue cruciale en agriculture, définit le rapport du produit à l'eau consommée ou disponible, avec une valeur type pouvant être optimisée, surtout dans les zones marquées par la rareté absolue ou relative de l'eau (FAO, 2016). Son efficacité représente la mesure du processus physiologique de production de biomasse et de rendement des cultures, en relation avec la consommation réelle en eau, comme le souligne Donkora et al. (2014).

Ainsi, la PEP de la céréaliculture pluviale dans la région de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, de septembre à mai, est évaluée en référence à la théorie de Doorembos et Pruitt (1986) et Stern et al. (1982). La théorie suppose que plus de 50% soit, 60% des volumes d'eau de pluie mensuels sont stockés dans le sol, et calculé comme suit : "Pluie disponible = (pluie brute * 60%)/100%". Les quantités d'eau

simulées par l'utilisation du logiciel 'Instat', spécifiquement, conçu à des fins agrométéorologiques, sont utilisées pour simuler la préparation des sols et satisfaire la consommation en eau des céréales, du semis à la récolte. Des fichiers de données mensuels sont obtenus ($50 * 9$), soit 450 valeurs, ont été analysés. Des modèles de régressions simples ($x = ay + b$) sont établis avec la production et le rendement pour les campagnes céréalières de 1970 à 2021, en utilisant le logiciel 'Statistica'. Ces modèles permettent d'estimer l'efficacité de l'eau de pluie au cours de tous les mois et d'évaluer les risques de productions et de rendement en régime pluvial. La démarche vient consolider le calcul de la productivité agronomique de l'eau de pluie (PEP), évaluée par le rapport entre la production, le rendement des cultures et la pluviométrie disponible au cours du cycle agricole. La productivité ainsi, calculée en $\text{kg/m}^3 = \text{production ou rendement (kg/ha) / pluie disponible (m}^3\text{/ha)}$.

Résultats et interprétations

Pluviométrie spatio-temporelle au seuil supérieur à 0,1 mm

Tendance mensuelle

Les changements de moyennes de pluies mensuelles au seuil supérieur

de 0,1 mm, sur une échelle de 80 ans, évoluent selon des tendances polynomiales de septembre (S) à août (Ao), au niveau des deux wilayas. Ces tendances expliquent la variabilité des pluies à 36 (Sétif) et 35% (Bordj Bou Arreridj). Pour les deux premières périodes pluviométriques (1940-1970; 1970-2000), la variabilité oscille successivement, autour des moyennes de 38 (Sétif) à 34% (Bordj Bou Arreridj) ; et 33 (Sétif) à 28% (Bordj Bou Arreridj), alors qu'elle reste en deçà des moyennes, pour la troisième période (2000-2001) en dépassant pas simultanément 4,7 et 17% entre (Figure 2).

Septembre 'S' reste le mois où les pluies météorologiques (0,1 mm)

s'installent (Figure 2). Les quantités moyennes comprises entre 35 (Sétif) et 27 mm (Bordj Bou Arreridj), évoluent à 34 et 30 mm en octobre 'O' pour diminuer progressivement à 32 et 31 mm en novembre 'N'. Décembre (D : 49, 48 mm) et janvier (J : 43, 42 mm) enregistrent des pluies moyennes plus importantes que février 'F' qui capte des pluies plus faibles (34 et 33 mm) que mars 'M'. Les mois d'avril sont eux aussi relativement moins arrosés avec des moyennes de 39 (Sétif) et 37 (Bordj Bou Arreridj) mm ; quant aux mois de mai, les quantités de pluies illustrées semblent supérieures à 39 mm dans les deux wilayas. À partir de l'été juin, juillet et août, partout les moyennes

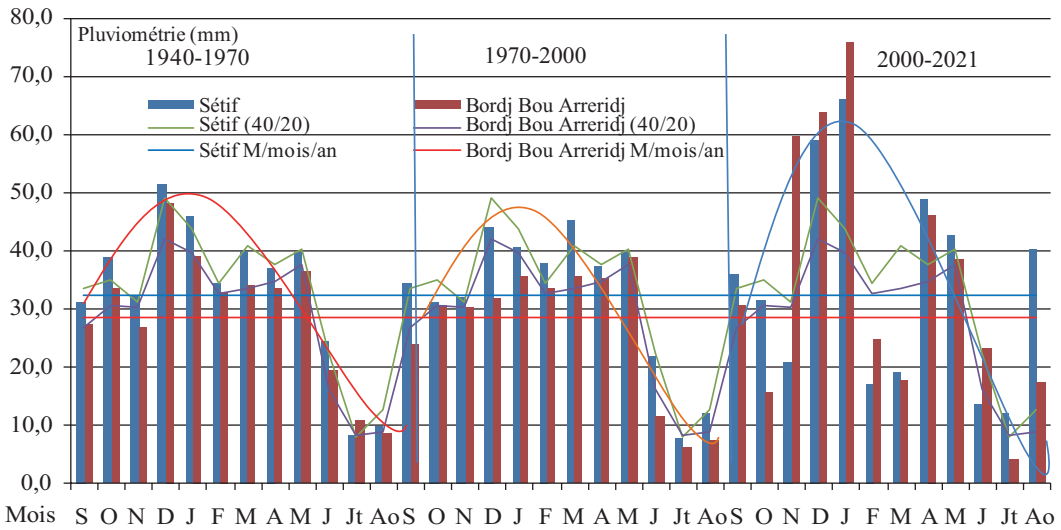


Figure 2. Variabilité de la pluviométrie mensuelle au niveau des wilayas des hauts plateaux orientales, de Sétif et de Bordj Bou Arreidj, période (1940-2020).

pluviométriques mensuelles marquent la fin des pluies avec des quantités inférieures à 20 mm. La wilaya de Sétif plus continentale, que la wilaya de Bordj Bou Arreridj (33 mm), reste plus arrosée.

Sur 80 ans, les années (1940-1970) ont cumulé à l'échelle mensuelle des pluies supérieures à celles des années (1970-2000). Les années (2000-2021) ont réuni quant à elles, des quantités de pluie mensuelles supérieures à celles des deux précédentes, en particulier en novembre, décembre, janvier, avril et mai des années. Ces mois à eux seuls, ont comptabilisé des surplus de près de 91% en références aux moyennes. Les changements brusques observés, sont probablement, liés à l'augmentation des températures, provoquées par l'accroissement des dioxydes de carbone (CO_2), comme le souligne les travaux de Kourat et al. (2020). En effet, au cours des vingt dernières années, la wilaya de Bordj Bou Arreridj en particulier, a évolué vers une wilaya industrielle par excellence (APS, 2014).

Description statistique

Les statistiques descriptives des pluies mensuelles de Sétif et de Bordj Bou Arreridj laissent voir des variations des moyennes mensuelles, des médianes, des minimums (0 mm) et des maximums exceptionnels en décembre (161, 133, 90 mm ; 161, 109 et 98 mm) et janvier (181,

133, 131 mm ; et 111, 114 et 122 mm). Les intervalles interquartiles sur 80 ans (de 34,8 mm au mois de septembre; atteignant 45 mm en janvier et chutant à 10,5 en juillet) sont confirmés par la dispersion des valeurs autour des moyennes mensuelles.

Indice du rapport à la normale de la pluviométrie (IP)

Le tableau 3 montre les écarts pluviométriques (positifs et négatifs) mensuelles sur 80 ans. Toutefois, Sétif a enregistré des déficits de pluies plus importants durant les mois des premières périodes que durant les mois de la troisième période en comparaison à Bordj Bou Arreridj. Ces résultats renvoient à ceux du GIEC (2018) qui énoncent que les précipitations pourraient diminuer dans certaines régions tandis qu'elles s'intensifieraient dans d'autres régions. Les écarts ne sont pas sans conséquence sur la gestion des risques et des ressources en eau.

Pluies supérieures à 5 mm

Les tendances pluviométriques au seuil significatif, supérieur à 5 mm évoluent dans le sens de celles de 0,1 mm, d'un mois à l'autre et d'un seuil à l'autre (Figure 3). Septembres qui signalent, le début des pluies climatiques, à l'échelle spatio-temporelle, ne comptent réellement, que 25 mm et 19 mm, soit des diminutions de -26 et -29% des

Tableau 2. Statistique descriptive des pluies mensuelles par période pluviométrique (1940-2021)

Wilaya	1940-1970						1970-2000					2000-2021				
	Mois	M	Md	Min	Max	Et	M	Md	Min	Max	Et	M	Md	Min	Max	Et
Sétif	S	31	20	0	95	28	34	29	0	120	29	36	30	5	111	29
	O	39	22	0	170	43	32	23	0	104	24	29	26	1	64	21
	N	32	26	6	102	23	32	29	0	102	22	36	27	9	90	23
	D	52	48	4	161	32	45	38	1	133	31	35	26	0	90	29
	J	46	38	7	181	36	39	26	2	133	33	42	38	7	131	32
	F	34	25	0	101	24	37	34	6	105	25	33	29	0	96	23
	M	40	35	5	101	26	44	40	5	163	33	40	38	0	101	28
	A	37	30	4	109	24	37	28	8	81	22	51	52	2	93	30
	Ma	40	31	0	137	32	41	37	2	102	31	40	45	3	81	25
	J	24	15	0	106	26	22	20	0	62	16	22	21	0	59	18
	Jt	8	4	0	35	10	8	3	0	38	10	10	8	0	38	11
	Ao	10	6	0	53	12	12	9	0	38	12	20	17	0	104	23
	S- Ma	351	274	25	1156	270	342	284	24	1042	251	342	311	27	856	241
	S- Ao	393	299	25	1349	318	383	316	24	1180	288	393	357	27	1057	293
Bordj	S	27	16	0	112	29	24	20	0	72	18	30	25	5	76	21
Bou	O	34	22	0	140	32	30	27	8	86	19	29	25	1	64	20
Arreridj	N	27	23	3	90	18	30	26	0	76	18	41	35	11	90	23
	D	48	46	4	161	33	33	22	5	109	28	36	25	0	98	29
	J	39	31	8	111	29	36	29	1	114	27	37	22	9	122	32
	F	33	33	0	82	20	34	33	3	73	16	28	27	0	63	15
	M	34	32	3	112	26	35	34	3	74	18	35	36	2	86	20
	A	33	22	4	79	23	34	32	2	81	19	43	40	0	118	31
	Ma	36	30	1	92	25	39	35	3	92	23	32	27	4	105	30
	J	20	11	0	106	25	12	7	0	31	11	16	6	0	50	16
	Jt	11	3	0	121	23	6	2	0	38	10	8	7	0	24	8
	Ao	8	7	0	53	10	8	3	0	34	10	11	6	0	52	15
	S- Ma	312	254	22	979	236	295	258	25	778	186	311	262	32	822	221
	S- Ao	351	275	22	1258	295	321	271	25	882	217	342	281	32	948	260

Moyenne (M) ; Médiane (Md) ; Minimum (Min) ; Maximum (Max) ; Ecart-type (Et)

totaux reçus mensuellement, dans chaque wilaya. Octobre et novembre qui correspondent au travail du sol et au semis, ne reçoivent respectivement, que 16 et 24 mm (soit 46%) et 12 et 23 mm (soit 38%). Décembre (18 et

17 mm), février (13 et 22 mm) et mars (10 et 19 mm), qui synchronisent avec la germination et la croissance de la culture des blés, ne comptabilisent visiblement, que 37, 41 et 38% (Sétif) et 28, 22 et 19 mm (Bordj Bou Arreridj)

Tableau 3. Ecarts pluviométriques par période pluviométrique en références aux moyennes sur 80 ans.

Régions	Sétif	Sétif	Sétif	Sétif	BBA	BBA	BBA	BBA
Mois	40/21	40/70	70/01	01/21	40/21	40/70	70/01	01/21
S	33,6	-7	3	7	26,8	2	14	14
O	35,1	11	-11	-10	30,8	9	-49	-49
N	31,3	3	2	-33	30,4	-12	96	96
D	49,2	5	-10	20	42,2	14	51	51
J	44,0	4	-8	50	39,9	-2	91	91
F	34,5	0	10	-51	32,7	1	-25	-25
M	40,8	-2	11	-53	33,5	2	-48	-48
A	37,8	-2	-1	29	34,7	-3	33	33
M	40,3	-1	-1	6	37,8	-4	2	2
J	22,4	8	-3	-40	16,1	21	44	44
Jt	8,1	1	-4	50	8,2	34	-51	-51
Ao	12,9	-24	-7	211	8,7	-4	99	99
S-Ma	346,6	351,0	342,5	341,4	308,6	312,0	295,2	372,1
S-Ao	390,0	393,3	384,0	341,4	341,7	351,0	320,3	416,8
Pmeteo-Pagro	43,4	42,3	41,5	0,0	33,1	38,9	25,2	44,7

des totaux mensuels. Enfin, avril et mai qui marquent la fin des pluies, ne cumulent successivement, que 21 et 27 mm de pluies utiles. Ces quantités de pluies en deçà des moyennes, coïncident avec la fructification et la maturation des grains céréaliers. Enfin, il faut souligner que les pluies cumulées de S et Ma, déterminantes de la production et du rendement des céréales pluviales, ne dépassent pas 153 mm (Sétif) et 248 mm (Bordj Bou Arreridj), annuellement.

Enfin, les quantités de pluie mensuelles supérieures à 10, 20 et 30 mm et qui s'avèrent plus utiles à la

consommation de la culture, connaissent malheureusement, des diminutions progressives le long du cycle céréalière.

Les quantités de pluie significatives durant la saison céréalière pluviale, semblent plus importantes à Bordj Bou Arreridj qu'à Sétif, surtout durant les dernières années (2000-2021). Elles contribuent par conséquent, à expliquer la hausse et la répartition des cumules pluviométriques (0,1 mm) à 40% par rapport à celles de Sétif qui n'est que, de 32%. Les résultats corroborant ceux de Smadhi et al. (2022) au Nord d'Algérie, peuvent être affirmés en modelant les

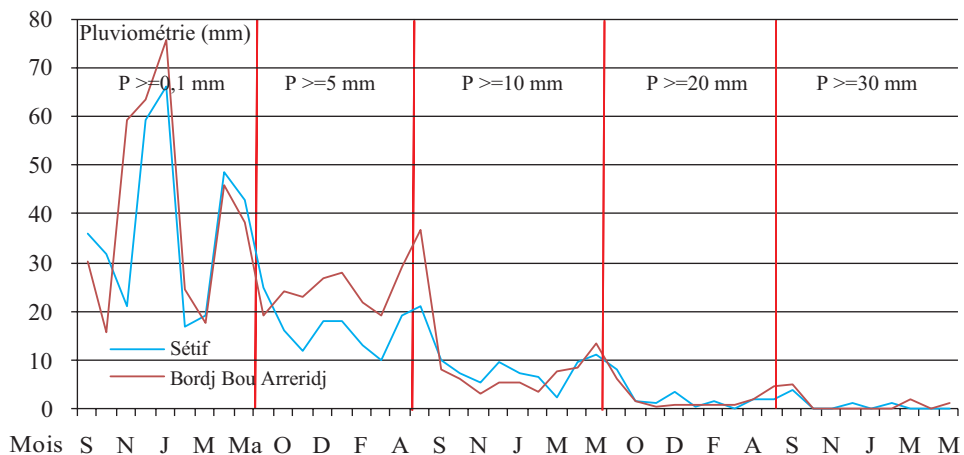


Figure 3. Répartition de la pluviométrie moyenne aux seuils supérieurs à 0,1, 5, 10, 20, et 30 mm

probabilités d’occurrences de pluies pour la planification des opérations agricoles et le suivi de la productivité agronomique de l’eau de pluie au cours du développement de la céréaliculture pluviale en plein champ tel que proposé par la théorie (Bluemling et al. 2007).

Pluviométrie et nombre de jours de pluies

La répartition du nombre de jours de pluies moyen par mois (7 jp/mois) à $P \geq 0,1$ mm dans les deux wilayas, de septembre à mai, est stable sur 80 ans (Figure 4a). Néanmoins, par période pluviométriques, le nombre moyen de jp/mois oscille autour des moyennes à Sétif, il est équivalent à 6 et 7 jp, expliquant une répartition irrégulière des quantités de pluies, soit une fluctuation de 62%, chute à 10% et croît à 25%. Quant au nombre de jours

pluvieux moyens par mois, semble plus réguliers (7 jp/mois) à Bordj Bou Arreridj, quelque soit la période. Il explique cependant, la répartition des quantités de pluies à 83% pour les premières années, elle ne dépasse pas 47% pour les dernières années pluvieuses.

Aux seuils supérieurs à 5, 10, 20 et 30 mm, les nombres de jours pluvieux par mois, évoluent dans le sens des quantités pluviométriques (Figure 4b). Les tendances plus homogènes dans la wilaya continentale de Bordj Bou Arreridj que la wilaya de Sétif, corroborent les résultats précédents. Les relations expliquent les hausses des quantités de pluies significatives, au cours des dernières années, à 52% (Bordj Bou Arreridj) et à 25% (Sétif).

Les caractéristiques de distribution de jp moyens au pas de temps

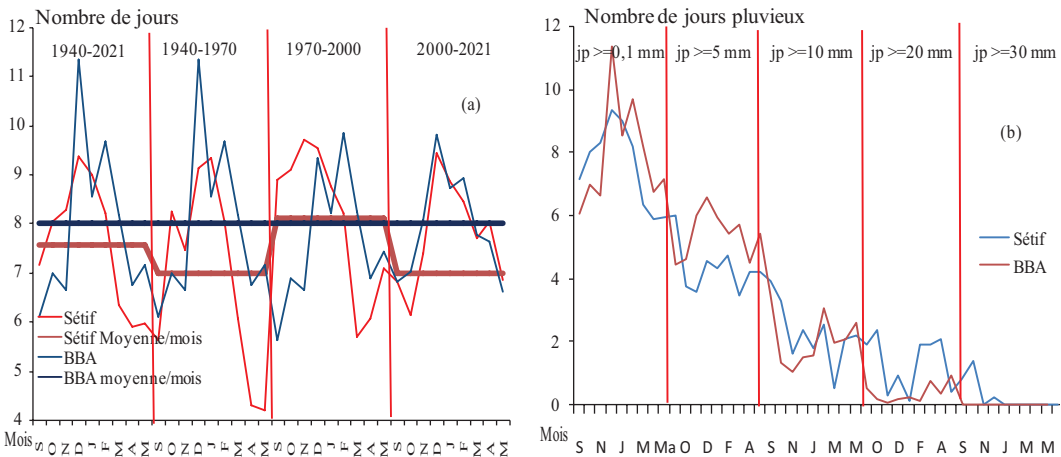


Figure 4. Répartition du nombre de jours pluvieux mensuels par période pluviométrique (a) et tendance globale par seuil (b).

mensuel, visualisées par les différentes courbes, aident à mieux interpréter les caractéristiques des pluies dans les wilayas semi-arides céréalières.

Occurrences des pluies

L'évolution des quantités de pluies de 'S à Ma' dans la wilaya de Sétif et de Bordj Bou Arreridj, est déterminée par la tendance des probabilités d'avoir les différentes valeurs seuils, à l'intérieur de chaque mois, aux pourcentages fixés de 20, 30, 50 et 80% (Figure 5). Les graphiques (a et b), comparent les meilleures occurrences d'avoir des pluies significatives dont bénéficierait le cycle cultural de la céréaliculture pluviale. Il ressort qu'au pourcentage de 20%, l'occurrence de recevoir des $P \geq 5 \text{ mm}$ en 'O' (+48% : Sétif ; +50% : Bordj Bou Arreridj) et en 'N' (+63% : Sétif ; 59%

: Bordj Bou Arreridj), en période de semis et de germination, est relativement moyenne. Ces occurrences ne dépassent pas +65, 52 et 60% (Sétif) ; 28%, 43, 82% (Bordj Bou Arreridj) en 'M, Av et Ma' où se produit la formation et la maturation des grains céréaliers.

L'augmentation du seuil pluviométrique entraîne un accroissement des probabilités de pluies mensuelles notamment, aux deux derniers seuils. Cet accroissement cache la répartition des pluies totalisées, en majorité aux pourcentages de 80% déterminant une sécheresse agricole le long du cycle céréalier. Cette sécheresse affecte la consommation en eau des céréales, qui nécessite selon Sivakumar et al. (1993) des pluies de 30 mm et plus particulièrement, durant la phase printanière.

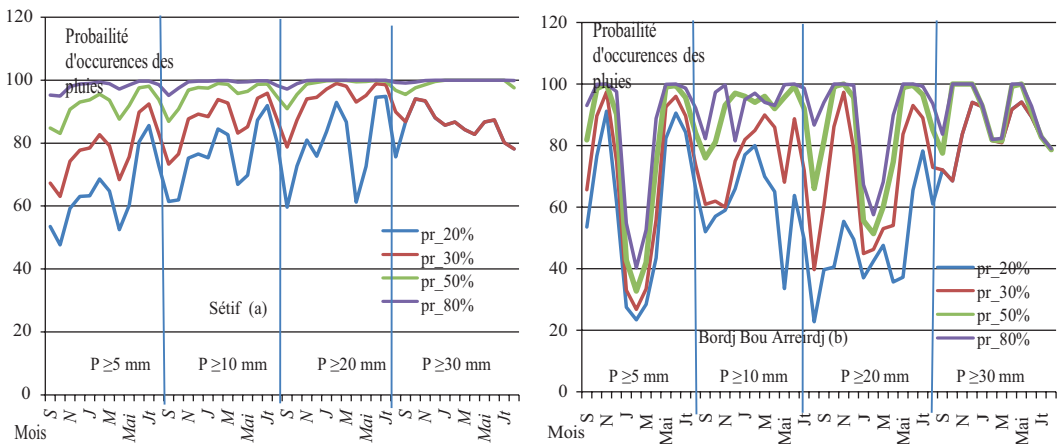


Figure 5. Evolution des probabilités d'occurrences des pluies agricoles, à Sétif et Bordj Bou Arreridj.

Cette répartition signale toutefois, que les probabilités d'avoir des pluies mensuelles à Bordj Bou Arreridj, est supérieures à celles de les avoir à Sétif aux pourcentages séparés de 20%, 30%, 50% et 80%. A titre indicatif, la probabilité d'avoir des $P \geq 5\text{mm}$ en 'O' au pourcentage de 20%, dépasse 60% à Bordj Bou Arreridj, tandis qu'elle approche cette valeur à Sétif. En 'M', ces pourcentages sont équivalents à +70% (Bordj Bou Arreridj), et +60% (Sétif).

Productivité agronomique de l'eau de pluie

Le regroupement des pluies en totaux mensuels et même trimestriels et annuels (S-Ma), sont synthétisés dans le tableau 4.

Les fluctuations remarquables, ont montré des déficits pluviométriques

non négligeables, en comparaison aux besoins en eau de consommations des céréales. Ces déficits compris entre 57 et 76% (mois d'automne) et entre 50 et 77% (mois de printemps), confirment la faiblesse d'occurrences des pluies à satisfaire les besoins de consommations des cultures pluviales. Les besoins théoriques évalués, à 600 mm/an en moyenne, entre S et Ma, ne sont satisfaits alors, qu'à 37 et 38% seulement, au cours des vingt dernières années. Ces situations sont accentuées par des sols de qualités médiocres (sols calcaire et calcique) dont les profondeurs, ne dépassent pas 30 cm (Lahmar, 1993).

Dans ce sens, les valeurs obtenues des productivités agronomiques de l'eau de pluie moyennes, tout au long du cycle cultural, viennent témoigner de ces

Tableau 4. Cumul pluviométrique moyen (mm) disponible, au cours du cycle agricole, en comparaison au besoin de consommation en eau (mm) de la céréaliculture.

Années Mois	Sétif			Bordj Bou Arreridj			Besoin céréalier
	70/21	70/01	01/21	70/21	70/01	01/21	
S	13,2	11,5	23,0	15,9	14,3	18,3	-
O	14,8	13,0	27,3	17,0	18,3	9,4	30
N	11,7	12,1	8,9	20,2	18,2	35,8	60
D	11,8	12,8	6,3	22,1	19,1	38,3	60
J	12,9	12,7	16,6	24,7	21,7	45,6	60
F	14,1	14,0	13,9	19,5	20,1	14,8	60
M	31,8	30,5	38,1	19,7	21,4	10,5	90
A	39,8	36,6	59,2	21,4	21,1	27,6	120
Ma	38,7	39,5	36,8	23,4	23,4	23,1	120
S-O-N	39,8	36,6	59,2	53,0	50,8	63,4	150
D-J-F	38,7	39,5	36,8	66,3	61,0	98,6	180
M-A-Ma	110,3	106,5	134,0	64,5	65,8	61,3	270
S-Ma	188,8	182,6	229,9	183,9	177,5	223,3	600

situations de stress hydriques (Figure 6). Les valeurs moyennes, annuelles sur 50 ans, à l'échelle du temps et de l'espace, sont de l'ordre de 0,859 (Sétif) et 0,689 kg/m³ (Bordj Bou Arreridj). Elles ne dépassent pas 0,674 et 0,448 kg/m³ entre (1970-2000). Ces valeurs qui avoisinent et/ou équivalentes à la moyenne (0,680 kg/m³) mondiale (FAO, 2020), atteignent près de 1,136 et 0,996 kg/m³ entre (2000-2021). Ces chiffres relativement plus élevées, sont probablement liés aux volumes d'eaux de pluies plus importants ainsi, que leurs répartitions aux cours des mois, mais également, à l'utilisation de l'irrigation à Sétif, cas de l'année 2017/2018 (APS, 2018).

Toutefois, des PEP maximales de 5,014 (Sétif : 2013/2014) et 3,575 kg/m³ (Bordj Bou Arreridj : 2016/2017), sont obtenues avec des pluies qui ne dépassent pas successivement, 209 et 200 mm/an. Des PEP minimums de l'ordre de 0,108 kg/m³ (dans les deux wilayas), sont reflétés simultanément par des pluies allant de 270 (2017/2018) à 376 mm (1989/1990). Cette évolution aléatoire, confirme l'ensemble des résultats, obtenus ; ils montrent encore une fois, l'importance de la distribution des pluies et leurs valorisations en biomasses et en rendements.

Les PEP variables d'un mois à l'autre, d'une période à l'autre et d'un espace

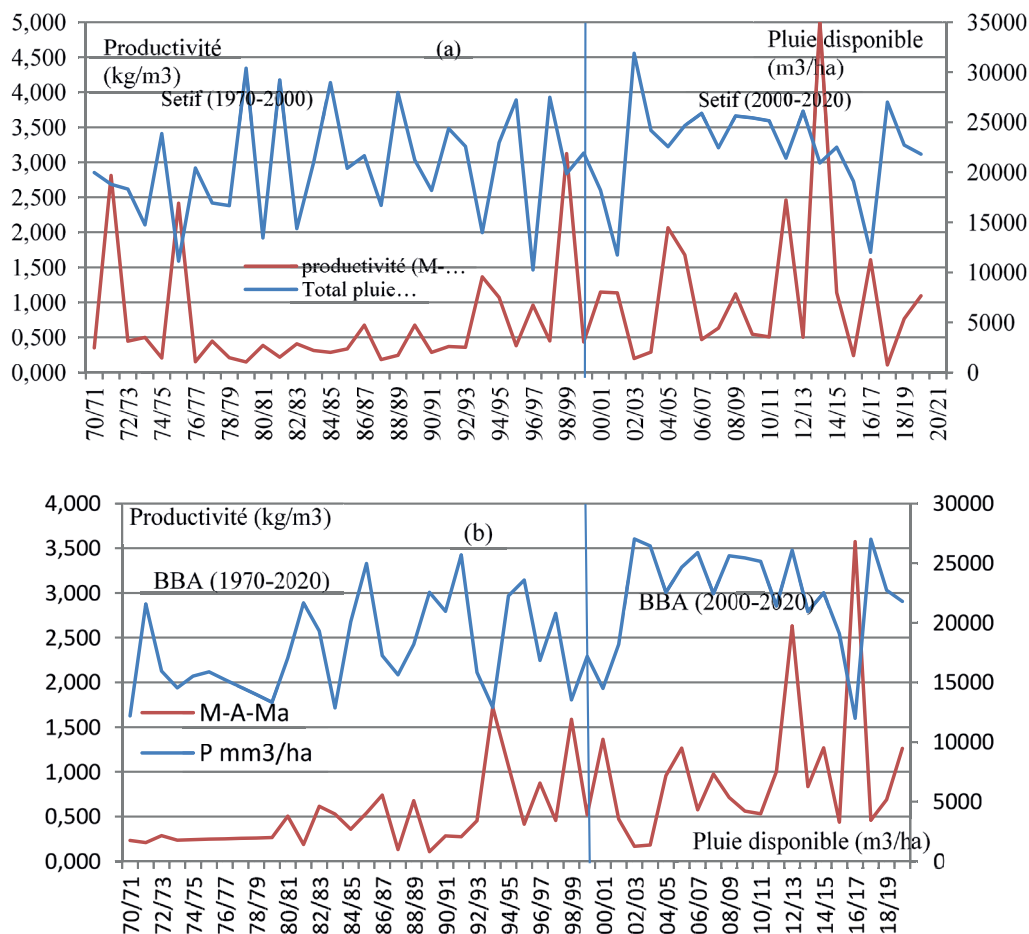


Figure 6. Evolution de la productivité agronomique de l'eau de pluie, cas de la céréaliculture pluviale dans les hauts plateaux de Sétif (a) et Bordj Bou Arreridj (b).

à l'autre, laissent entrevoir la nécessité de revoir les dates de semis appliqués à ce jour et l'utilisation de semences plus acclimatées aux conditions sévères du milieu. La productivité agronomique de l'eau selon Kourat et al. (2020), s'accroîtrait sous l'effet fertilisant de l'enrichissement de l'atmosphère en

CO₂. Ce dernier accélérerait l'activité photosynthétique et induirait la baisse des pertes d'eau par évapotranspiration. Balaghi (2014) a souligné que l'introduction des technologies agricoles, porterait les productivités à 5,8 kg/m³. Amirouche et al. (2023), ont déclaré que la productivité de l'eau en

Tableau 5. Corrélation des pluies disponibles aux productions et rendements céréaliers.

2<ois	Sétif				Bordj Bou Arreridj			
	1970-2000		2000-2021		1970-2021		2000-2021	
	Prod	Rend	Prod	Rend	Prod	Rend	Prod	Rend
S	-0,11	0,32	0,15	-0,18	0,32	0,48	0,11	0,32
O	0,30	0,25	-0,24	-0,04	0,25	0,26	0,14	0,24
N	-0,37	-0,18	0,19	0,28	-0,18	-0,25	-0,07	-0,45
D	-0,21	-0,20	-0,25	-0,32	0,05	0,10	-0,68	-0,70
J	0,23	0,13	0,05	-0,24	0,19	0,28	-0,44	-0,77
F	0,50	0,23	0,33	0,35	0,09	0,21	-0,10	0,08
M	0,20	0,10	0,27	0,18	0,30	0,16	0,39	0,48
A	0,44	0,05	0,20	0,02	0,28	0,07	0,18	0,10
M	0,51	0,40	0,30	0,31	0,22	0,16	0,20	0,23
S-Ma	0,17	0,12	0,11	0,04	0,17	0,16	-0,03	-0,05

culture maraichère, serait de 6,47 kg/m³ sous l'effet de l'irrigation, en régions semi-arides d'Algérie.

Les résultats de corrélations faibles, récapitulés dans le tableau 5, justifient les productions variables et les rendements faibles et aléatoires, au niveau des régions des hauts plateaux de Sétif et de Bordj Bou Arreridj. Statistiquement, ces résultats sont significatifs à une probabilité inférieure à 5% selon le test de Kolmogorov-Smirnov.

CONCLUSION

La sole céréalière des hauts plateaux Sétifiens et de Bordj Bou Arreridj dépend étroitement de la répartition des pluies, de la plantation à la récolte (de septembre à mai). L'irrégularité des pluies agricoles, particulièrement

celles dépassant les 5 mm, se traduit par des volumes faibles accompagnés de journées pluvieuses limitées, tant d'un mois à l'autre que d'un endroit à l'autre. Les écarts de récoltes sont exacerbés en lien avec les déficits pluviométriques mensuels. Ces situations sont corroborées par les faibles rendements agronomiques de l'eau de pluie tout au long du cycle de culture céréalière. L'efficacité et la productivité de l'eau de pluie, en tant qu'indicateurs évaluant les pertes en eau lors de son utilisation par unité d'eau consommée, soulignent une situation critique de la céréaliculture pratiquée en pluviale

La céréaliculture, de nature stratégique et socio-économique, doit s'adapter aux conditions difficiles du climat pour améliorer les rendements à l'hectare. Cette adaptation est liée à la gestion

de la variabilité des régimes de pluies et des sols, ainsi qu'à l'introduction de nouvelles technologies mettant en avant l'ajustement des dates de semis, l'utilisation de variétés résistantes, la fertilisation, et surtout la mise en œuvre de l'irrigation. Ces critères pourraient stimuler la productivité de l'eau à l'hectare. Cependant, dans le contexte actuel marqué par la faiblesse des pluies et la limitation de la ressource en eau, la question de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation se pose, en raison des situations géographiques critiques de la céréaliculture pratiquée en milieu semi-aride.

Références

- Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. 2006.** Sécheresse et Agriculture : Réduire la Vulnérabilité de l'Agriculture au Risque Accru d'Eau. Alimentation, agriculture et Environnement, INRA. ...P. www.
- Amirouche M., Smadhi D. and Zella Lakhdar, 2023.** Modelling of Water Use Efficiency Using CropWat and AquaCrop : Case of Potato in Semi-Arid Region, *Al-Qadisiyah Journal For Agriculture Sciences* (QJAS), 13(01), 50-58.
- APS. 2014.** Bordj Bou Arreridj, pôle industriel et commercial par excellence. <https://www.djazairess.com/fr/latribune/102916>
- APS. 2018.** Sétif: une production céréalière "record" de plus de 3,6 millions de quintaux engrangée. <https://www.aps.dz/regions/78385-setif>.
- Augustin T. 2019.** Modélisation multivariée de variables météorologiques. These, Doct. Université Paris-Sud Laboratoire. 225 p. file:///C:/Users/pc/Downloads/79988_TOURON_2019_archivage.pdf
- Balaghi R. 2014.** Evaluation de la productivité de l'eau en agricultures pluviales et irriguées au Maroc. Technical Report. DOI: 10.13140/2.1.3551.1363. <https://www.researchgate.net/publication/269810060>
- Bensaâd A. 1994.** Climat et potentialités agricoles en Algérie. In: Travaux de l'Institut Géographique de Reims, n°85-86, 1994. Etudes algériennes. pp. 5-14: https://www.persee.fr/doc/tigr_0048-7163_1994_num_85_1_1296
- Berglund N. 2014.** Processus aléatoires et applications. Master 2, Pro de Mathématiques Université d'Orléans.
- Bluemling B., Yang H. and Pahl-Wostl C., 2007.** Making water productivity operational. A concept

of agricultural water productivity exemplified at a wheat-maize cropping pattern in the North China plain. *Agric. Water Manage.*, 91, 11-23. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377407000704>

B.M. 2020. Rendements des céréales (kg par hectare). *Banque mondiale*. Fichier électronique et site Web. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/ag.yld.crel.kg?>

Bouzid C. 2022. Importation de céréales: L'OAIC poursuit ses achats massifs. <https://www.reporters.dz/importation>.

BSA. 2015/2020. Bulletin de Statistique Agricole. Série B. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural. <http://cereales-loaic-poursuit-ses-achats-massifs/>

BSA. 1970/2021. Bulletin de Statistique Agricole. Série B. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural. <http://cereales-loaic-poursuit-ses-achats-massifs/>

Chergui D. 2019. Variation des propriétés des sols en Agriculture de Conservation, sous climat semi-aride (Sétif et Bordj Bou Arreridj. Mem.

Master II, Scie., Agro. 50 p. <https://www.ummtto.dz>

CNA. 2022. Opération de reconnaissance de la qualité d'agriculteurs. Situation mai 2022. *Chambre Nationale d'Agriculture*, Alger. 1 P

CRET. 1993. L'eau et l'aménagement dans l'Afrique des grands lacs. Coll. Bujumbura. Collection 'Pays Enclaves', n°5, 14-18 Mai, 1991. Ed. CRET. 905081, *Centre de Recherche sur les Espaces Tropicaux*, 136 p. www.culturesfrance.com/adpf-publi/folio/mondes.../02.pdf

Donkora K., Xanthoulis D., Ouattara K. et Degré A. 2014. Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique). *Bio. Agro. Soc. and Env.* 18 (1) : 108-120.

Doorembos J. et Pruitt W.O. 1986. Les besoins en eau des cultures. *Bulletin d'irrigation et de drainage*, n° 24, FAO, 196 p.

FAO. 2016. Renforcement de l'efficience et de la productivité de l'eau à usage agricole à l'échelle africaine et mondiale. <https://www.fao.org>

FAO. 2020. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans

l'agriculture. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1447fr>

GIEC, 2018. Rapport Spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1.5 C°, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Haïchour S. et Souiher N. 2013. Quel avenir pour la céréaliculture dans les hautes plaines Sétifiennes ?. The Egyptian Journal Of Environmental Change., vol 5 (2). <http://ejec.journals.ekb.eg>

Herrera, E., Ouarda, T. B. and Bobée, B. 2006. Méthodes de désagrégation appliquées aux Modèles du Climat Global Atmosphère-Océan (MCGAO). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 19(4), 297–312. <https://doi.org/10.7202/014417>.

Hills R.C. et Morgan J.H.T. 1981. Rainfall statistic: an interactive approach to analysing rainfall records for agricultural purposes. Experimental agriculture 17, 1-16.

Katz, R.W. 1977. Precipitation as a chain-dependent process. Journal of Applied Meteorology (1962-1982), pages 671-676.

Kourat T., Smadhi D., Mouhouche B. and Gourari N., Mostofa Amin M.G.

and Brant C.R. 2020. Assessment of future climate change impact on rainfed wheat yield in the semi-arid Eastern High of Algeria using a crop model. Natural Hazards. <https://link.springer.com>

Lahmar R. 1993. Intensification céréalière dans les hautes plaines sétifiennes : quelques résultats <http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=93400077>

Méliot P.L. 2022. Chaînes de Markov: théorie et applications. 107 p. <https://www.imo.universite-paris-saclay.fr>

OMM. 2016. Manuel des indicateurs et indices de sécheresse. Genève (Suisse). <https://www.droughtmanagement.info/indices/>

Ouramdane M. 2019. Production céréalière : Sétif, le grenier à blé du pays. <https://www.algerie-eco.com/2019/01/06>.

OWM, 2020. Réduction des risques de sécheresse dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau. Edit. Cap-net. 109 p. <https://www.droughtmanagement.info>

Perry C. 2007. Efficient irrigation ; inefficient communication ; flawed recommendations. Irrig. and Drain. 56:

367–378. www.interscience.wiley.com)
DOI: 10.1002/ird.323.

Seckler D., Molden D. and Sakthivadivel R. 2003. The Concept of Efficiency in Water resources Management and Policy. pp.37-51. <https://www.researchgate.net>

Sivakumar M.V.K., Maidoukia A., Stern R.D. 1993. Agroclimatologie de l'Afrique de l'Ouest : Le Niger. 2^{ème} édit. ICRISAT. *Bull. inf.* n°5, DMN. Niger, 107 p.

Smadhi D. et Zella L. 2009. Céréaliculture en sec et précipitations annuelles: le cas de l'Algérie du Nord. SECHERESSE 20 (2), 199-203.

Smadhi D., Zella L. et Amirouche M. 2022. Sécheresse dans les régions orientales de l'Algérie et vulnérabilité de la production céréalière. Cas des hauts plateaux telliens de Sétif et Bordj Bou Arreridj. Conférence Internationale CIRNDD2022, INESG, 12 et 13 déc. 2022

Smadhi D., Zella L., Amirouche M., Bachir H. and Semiani M. 2022. Monthly Rainfall Variability and Vulnerability of Rainfed Cereal Crops in the Tellian Highlands of Algeria. Environmental Earth Sciences, Edit. Springer. <https://link.springer.com/bookseries/8394>

Srikanthan R. and McMahon T.A. 2001. Stochastic generation of annual, monthly and daily climate data: A review. Hydrology and Earth System Sciences, 5(4), 653–670 (2001)

Stern R.D. 1982. Computing a probability distribution for the start of the rains from a Markov chain model for precipitation. *J. Appl. Meteorol.* 21 (3), 420-423.

Stern R.D., Dennett M.D. et Dale I.C. 1982. Analysing daily rainfall measurements to give agronomically useful results. II. A modelling approach. *Exp. Agr.*, 18: 137-153.