

Amélioration de l'efficacité d'utilisation du phosphore et de potasse par la culture du blé dans les régions sahariennes

A. Laaboudi⁽¹⁾, B. Mouhouche⁽²⁾

¹ INRAA - Division de Recherche en Bioclimatologie, station expérimentale d'Adrar, Algérie.

² Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, El-Harrach, Algérie.

*Auteur de correspondance : Laaboudiaek@gmail.com

Reçu : 11 mai 2020

Révisé : 07 octobre 2020

Accepté : 23 novembre 2020

Résumé : Dans le but de rentabiliser les investissements et garantir la durabilité de l'agriculture dans les régions sahariennes d'Algérie, une bonne conduite de la fertilisation phospho-potassique de la culture du blé, est indispensable. Dans ce contexte, des essais ont été menés durant trois campagnes consécutives à la station expérimentale, d'Adrar. Quatre traitements ont été utilisés : témoin (T0), K₂O (T1), P₂O₅ (T2), et K₂O + P₂O₅ (T3). Dans cette étude, les doses utilisées lors de l'expérimentation, font référence à celles que les agriculteurs utilisent dans la région (184 unités P₂O₅ et 100 unités de K₂O). Les résultats obtenus ont mis en évidence l'importance de la fertilisation phosphatée pour l'amélioration du rendement du blé. A cet effet, l'utilité d'une intervention précoce par des apports de correction, a amélioré l'efficacité d'utilisation des engrais apportés. Ainsi, les rendements obtenus sont de 56,46 ; 53,71 et 78,78 q/ha avec un effet significatif pour le phosphore ($P < 0,01$) respectivement pour les trois campagnes consécutives. Le coefficient apparent d'utilisation des engrais appliqués (CUA), varie selon les campagnes et le type d'engrais ; de 13,92 à 28,84 % pour le potassium et de 7,56 à 15,67 % pour le phosphore. L'efficacité d'utilisation des engrais apportés (EUE), varie de 10,03 à 28,42 kg de blé/ kg de K₂O/ha et de 24,76 à 26,32 kg de blé/ kg de P₂O₅/ha.

Mots clés : Durabilité, régions sahariennes, blé, fertilisation, efficacité d'utilisation.

Summary : In order to make the investments profitable and guarantee the agriculture sustainability in the Saharan regions, it is essential to ensure good phosphoric and potassium fertilization of the wheat crop. In this context, Field experiments were conducted during three consecutive campaigns at the Adrar experimental station. Four treatments were used; Control (T0), K₂O (T1), P₂O₅ (T2), and K₂O + P₂O₅ (T3). The doses used during the experiment, refer to those that farmers use in the region (184 units of P₂O₅ and 100 units of K₂O). The obtained results have highlighted the importance of phosphate fertilization for the improvement of wheat yield. For this purpose, the usefulness of an early intervention by corrective contributions improved the use efficiency of fertilizer. Thus the yields obtained are 56.46; 53.71 and 78.78 q / ha with a significant effect for phosphorus ($P < 0.01$) respectively for the three consecutive campaigns.

The recovery efficiency of applied fertilizers has varied according to the campaigns and the type of fertilizer, from 13.92 to 28.84% for potassium and from 7.56 to 15.67% for phosphorus. The use efficiency of the applied fertilizers has varied from 10.03 to 28.42 kg of wheat / kg of K₂O / ha and from 24.76 to 26.32 kg of wheat/kg of P₂O₅/ha.

Mots clés : Sustainability, Saharan regions, wheat, fertilization, use efficiency

INTRODUCTION

Avec l'accroissement démographique, les besoins alimentaires de la planète, augmentent sans cesse. Plusieurs régions du monde, souffrent d'insuffisance alimentaire, en dépit que, l'offre de blé reste, suffisante, sur les marchés mondiaux (FAO, 2018a).

En 2017, le nombre de personnes sous-alimentées dans le monde, s'établissait d'après les estimations de la FAO (2018b), à 821 millions. En 2016, ce chiffre est estimé à 815 millions, Ce chiffre qui ne représentait que 777 millions en 2015, reste toutefois inférieur à 900 millions de personnes sous-alimentées, recensées en 2000 (FAO, 2017).

Dans la région de l'Afrique subsaharienne (ASS), bien que le nombre de personnes sous-alimentés, soit diminué, passant de 33% en (1990/1992) à 23% en (2014/1916), le pourcentage de personnes sous-alimentées, reste le plus élevé dans le monde en développement. La lenteur des progrès à l'égard de la sécurité alimentaire, est attribuée à la faible productivité des ressources agricoles, à la forte croissance de la population, à l'instabilité politique et aux troubles civils (FAO, 2016). Pour avoir une réelle « sécurité alimentaire » pour les populations du « Tiers-monde » un accroissement sensible de la productivité de leurs agricultures est indispensable (Dufumier, 2007).

En Algérie, la production céréalière, a connu une faible croissance comparativement à la consommation qui a fortement augmenté sous l'effet de la croissance démographique (Djermoun, 2009). En effet, malgré que durant la dernière décennie, la production céréalière a été supérieure à la moyenne décennale (2000/2008) de 2,97 millions de tonnes. Cependant, elle reste bien en deçà des 8 millions de tonnes nécessaires à la consommation intérieure (Hales, 2019).

Le déficit est largement, comblé par les importations, caractérisées par une augmentation sans cesse (Bessaoud, 2016). Le blé et ses produits dérivés, sont les principaux aliments de la population, ce qui leurs confèrent un rôle stratégique localement. Aujourd'hui, l'Algérie ne couvre que 30% de ses besoins alimentaires. Assurer la sécurité alimentaire de l'Algérie, recouvre un enjeu politique primordial (Ammar, 2015). Afin de relever les défis actuels et imminents, y compris l'augmentation de la consommation des céréales, il est nécessaire d'améliorer le potentiel de rendement du blé (Curtis, 2014). Il convient de noter que dans le monde, depuis les années cinquante, l'augmentation de la production agricole, est due à l'amélioration de la productivité agricole entre autre, la gestion efficiente de la fertilisation (Yara, 2008). En Algérie, malgré ses richesses, ses

potentialités et ses capacités, utilise peu d'engrais, comparativement au Maroc et à la Tunisie (FAO, 2005). L'utilisation semble se stabiliser autour de 45 unités d'éléments nutritifs/ha, mais reste en deçà des normes d'intensification des cultures et d'amélioration de la productivité. Durant la période 1990-2000 l'utilisation de l'Azote dans les trois pays est estimée à environ 48000, 52000 et 150 000 tonnes de N respectivement par l'Algérie, la Tunisie et le Maroc (FAO, 2005).

Selon Si Bennesseur (2004), il faut 1,7 kg de Phosphore (P) et 2,2 kg de Potassium (K) pour produire un quintal de blé. Les besoins de la culture, dépendent du rendement escompté et la fertilité initiale du sol. Elle dépend aussi essentiellement, de la disponibilité en eau. Malghani *et al.* (2010) ont obtenu 51.7 q/ha en appliquant 175-150-125 NPK Kg ha⁻¹. Dans le cas, d'une culture irriguée et d'un rendement de 80 q/ha, les besoins en Azote (N), P et K, sont respectivement de 280, 136 et 176 unités/ha (Si Bennesseur, 2004). Besson *et al.* (2007) ont proposé pour la production du blé d'automne sur limon et limon argileux de pH ≥ 7 , une plage provisoire de teneurs satisfaisantes en P du sol, comprise entre 25 et 50 mg/kg de blé.

Dans les zones sahariennes où la culture du blé est totalement irriguée, les rendements moyens obtenus restent relativement faibles par rapport aux

rendements pics réalisés. En effet, les rendements pics ont oscillé entre 48 et 67 q/ha avec une moyenne de 57,7 q/ha durant la période 1996-2012. Les rendements moyens n'ont pas dépassés les 32 q/ha durant la même période (Laaboudi *et al.*, 2016). Une légère augmentation a été signalée durant la période 2013-2018 avec des rendements moyens qui oscillent autour de 39 q/ha et des rendements pics qui atteignent 78 q/ha (DSA, 2019). La même situation a été constatée dans les régions Sud-est et Centre (Wilayas de Ouargla et Ghardaïa). Selon Ben Ahmed (2018), 25% des rendements sont en dessous de 30 q/ha et 50% sont situés entre 30 et 50 q/ha. Parmi les causes qui ont conduit à cette situation, la faible utilisation des engrais, notamment durant la décennie 1990-2000 (Otmane et Kouzmine, 2013).

Dans ces zones sahariennes où les sols sont hétérogènes et relativement alcalins, le problème de la gestion de la fertilisation, se pose avec acuité. Les engrais potassiques sont très peu utilisés et les symptômes de carences notamment, en phosphore et en potassium ponctuelles ou généralisées dans les champs du blé sont souvent, observés. Une bonne conduite de la fertilisation optimise l'utilisation des intrants, préserve la fertilité du sol et stabilise les rendements. He *et al.* (2012) ont indiqué que la détermination des paramètres d'efficacité d'utilisation des

engrais, a démontré qu'il est possible d'optimiser davantage l'efficacité d'utilisation des éléments fertilisants avec les meilleures pratiques de gestion des nutriments.

Malgré l'importance des éléments P et K pour assurer de bons rendements, garantir la rentabilité des investissements agricoles et permettre la durabilité de l'agriculture dans les zones sahariennes, très peu de travaux ont été réalisés dans ce sens.

L'objectif de ce travail consiste à mettre en évidence une méthode pratique de conduite de la fertilisation phosphopotassique du blé irrigué dans un sol à texture légère et à $\text{pH} > 7$, en conditions sahariennes, cas de la région d'Adrar.

II- Matériels et méthodes

2.1. Description de la zone d'étude

L'étude est réalisée dans la région d'Adrar située dans le Sud-Ouest algérien, de latitude $27^{\circ} 49' \text{ N}$ et longitude: $00^{\circ} 18' \text{ E}$. Elle est caractérisée par des paramètres climatiques extrêmes.

Selon Guillermou (1993), le Touat, le Gourara et le Tidikelt sont parmi les zones les plus arides au monde. Les amplitudes thermiques sont étendues aussi bien au cours de l'année qu'au cours du mois et de la journée. Le maximum absolu avoisine les 50° C en été (juillet, août). Les gelées

sont rares mais, peuvent être enregistrées et causent des dégâts catastrophiques. La pluviométrie est négligeable ($< 25 \text{ mm/an}$). Elle ne peut être considérée comme l'une des sources d'eau pour les cultures. L'humidité relative est souvent inférieure à 50%. La rosée est un événement très rare. Le vent souffle presque en permanence, d'une dominance Est-Nord-Est. Les valeurs moyennes des paramètres météorologiques sur 11 ans (2007-2017) sont synthétisées dans le tableau I.

2.2. Caractéristiques physico-chimiques du sol

L'analyse du sol effectuée avant le déroulement des essais, a donné les résultats suivants (Tableau II) :

Les caractéristiques chimiques qui peuvent avoir des variations au cours des campagnes d'exploitation du sol ont subi des analyse au début de chaque campagne (tableau III).

L'eau d'irrigation provient de la nappe du continentale intercalaire appelée communément « l'Albien ». La conductivité électrique diffère d'une zone à une autre. Pour la zone d'étude, C.E varie de 2 à 5 ms/cm.

2.3. Matériel végétal

Il s'agit d'une variété de blé dur Shèn-S, sélectionnée par CIMMYT/

Tableau I : Valeurs moyennes des paramètres météorologiques

Mois	T. M	T. m	H.R	E	V.V	P
Janvier	29,5	0,0	64,9	4,3	134	3,7
Février	39,0	-1,0	56,5	5,7	137	2,6
Mars	40,0	0,0	49,7	8,0	147	1,6
Avril	44,5	3,2	39,7	10,4	150	3,7
Mai	46,0	10,0	42,4	13,1	164	1,3
Juin	48,5	14,2	34,4	14,4	143	0,3
Juillet	49,5	20,0	31,8	16,0	161	0,0
Août	48,0	19,0	39,3	14,6	160	1,9
Septembre	47,0	14,0	39,8	11,7	142	1,5
Octobre	43,0	5,2	42,9	8,9	133	2,7
Novembre	37,5	4,0	57,1	5,7	135	1,5
Décembre	31,5	0,0	69,3	4,3	131	0,2

T. M : température maximale (°C), T.m température minimale (°C), H.R : Humidité relative (%) E : Evaporation (mm/jour), V.V : Vitesse du vent (Km/j), P : Précipitation moyenne (mm/mois).

Tableau II : Analyses granulométriques et bases échangeables

Analyses granulométriques (%)				
Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
6,9	3,9	4,7	63,6	21,3
Les bases échangeables (méq/100 g)				
Potassium K	Sodium Na+	Magnesium Mg ⁺⁺	Calcium Ca ⁺⁺	CE C
0,31	0,68	1,72	3,25	7,66

Tableau III : Caractéristiques chimiques

Paramètres	Campagnes		
	1	2	3
pH eau	8,25	8,33	8,40
Ce ms/cm	3,64	4,02	4,01
Calcaire total %	8,32	7,5	7,4
Calcaire actif %	0,62	0,56	0,54
K assi meq/100g	0,17	0,06	0,05
P ₂ O ₅ ppm	10,00	12,50	20,88
Azote total (N)	0,12	0,08	0,08
Carbone (C%)	0,67		

ITGC en 1990, de 88 cm de hauteur (Benbelkacem et Kellou, 2000).

2.4. Dispositif expérimental :

Il s'agit d'un dispositif pluriannuel (3 ans) en blocs aléatoires, avec 4 traitements de fertilisation, et 3 trois répétitions, soit 12 parcelles élémentaires :

- Témoin T0,
- Potassium T1,
- Phosphore (triple super phosphate) T2
- Phosphore + Potassium T3.

2.5. Apport d'engrais

Les apports de phosphore (P) et de potasse (K) sont faits avant le semis en fumure de fond à raison de 184 et 100 unités/ha, respectivement. Ceux de l'azote équivalent à 184 u/ha, sont fractionnés sur les 5 premiers stades végétatifs, à raison d'un apport par stade de croissance. Le fractionnement est comme suit : 1/8, 1/4, 1/4, 1/4 et 1/8. Le semis a été réalisé le 12 novembre avec une dose de 200 kg /ha sur un précédent cultural de luzernière.

2.6. Coefficient Apparent d'Utilisation (CAU)

Le coefficient apparent d'utilisation d'un élément fertilisant, correspond

à la fraction absorbée de cet élément par les plantes d'un engrais minéral ou organique.

$$CUA = \frac{Q_c - Q_t}{Q_a} 100 \quad (1)$$

Avec Q_c : Quantité absorbée par la culture fertilisée,

Q_t : Quantité absorbée par le témoin,

Q_a : Quantité d'engrais apportée.

2.7. Efficience d'utilisation d'un élément fertilisant

L'efficience d'utilisation d'un engrais (EUE) chez le blé, est définie comme étant le rendement en grain (Rdt) par unité d'élément fertilisant de l'engrais apporté. Il est calculé par la formule suivante (2) :

$$EUE = \frac{RDTGr}{E. disponible} \quad (2)$$

EUE= Efficience d'utilisation de l'engrais (kg grains/kg E sol)

E disponible = E. sol + E. apporté

E. sol = L'estimation de la fourniture totale en engrais par le sol.

RDTGr : Rendement en grain de la culture.

III- Résultats et discussions

3.1. Comportement végétatif vis-à-vis de la fertilisation phospho-potassique

La réponse du blé à la fertilisation phosphatée, a commencé, dès le stade 3-4 feuilles. Gaj et Rębarz (2014) ont en effet, signalé que l'absorption du phosphore par le blé, commence dès le début de la croissance jusqu'au stade floraison. Au stade tallage, les micro parcelles qui souffrent d'une déficience en phosphore, se distinguent facilement, car la différence en développement végétatif entre les traitements bien alimentés en P₂O₅ et le témoin, devient plus nette. Ce résultat est similaire à celui obtenu par Holzapfel *et al.* (2016). La culture dans les planches où l'engrais phosphaté est appliqué, est plus dense et pousse plus vigoureusement, que celle qui n'en reçoit pas.

Au stade montaison, le décalage en développement végétatif, devient plus important. À ce stade, l'effet de la fertilisation phosphatée sur la croissance apparaît, visiblement et persiste jusqu'à la fin du cycle végétatif de la culture. En effet les longueurs moyennes des tiges à la récolte de 58,33 65, 72,6 et 73,66 cm respectivement pour T0, T1, T3 et T2. L'élément P montre un effet très positif sur l'extension des racines du blé, 37 cm de long pour les endroits ayant reçu un épandage d'engrais phosphaté et 32,2

cm pour les autres endroits qui n'ont pas reçu d'engrais. Hansel et Ruiz Diaz (2017) ont indiqué que la gestion de la fertilisation du phosphore, entraîne des changements importants dans la croissance des racines et l'absorption des nutriments par le blé. En effet, par conséquent, la longueur des racines, augment à un taux qui varie entre 30 à 90%. De même, Hue *et al.* (1997, in Razi, 2006) ont signalé que la déficience en Phosphore diminue l'extension racinaire. Durant la première campagne, les apports en potassium (K) n'ont pas amélioré l'extension des racines.

3.2. Symptômes de carence en phosphore

Le suivi de la culture pendant tout le cycle de développement, a permis de distinguer les symptômes de carences en phosphore selon le degré d'insuffisance. Ces carences se sont manifestés selon plusieurs aspects. Dans notre cas, nous avons pu distinguer trois niveaux :

1- Une coloration violacée au niveau des tiges et à la base des feuilles. C'est un déficit léger et la culture se développe normalement, sans répercussions grave sur la végétation.

2- Une coloration violée au niveau des tiges, jaunâtre pour les feuilles, croissance ralentie, port végétatif réduit et nombre limité de talles. C'est un déficit important qui se répercute gravement sur la récolte.

3- une végétation chétive à coloration jaune généralisée pour l'ensemble de la plante accompagnée d'un dessèchement partiel des feuilles basales. Le nombre de talles, est très réduit et le développement des parties aériennes et racinaires, se trouve inhibé. Cet aspect indique que la présence du phosphore dans le sol, est presque nulle. Ceci confirme le résultat indiqué par Michel (2002), qui souligne que la carence en phosphore, favorise un faible développement racinaire. Dans cette situation, la teneur du sol en phosphore, est insignifiante (sous formes de traces). En conséquence, la

récolte attendue sera très faible. Pour les deux derniers cas, un apport urgent de correction est nécessaire.

3.3. Effet des engrais apportés sur les rendements et leurs composantes

Les résultats des rendements et leurs composantes obtenues durant les 3 campagnes d'essais, sont synthétisés dans le tableau IV.

Les résultats obtenus, indiquent l'existence d'une variabilité remarquable en rendements obtenus durant les trois campagnes d'essais

Tableau IV : Effet des apports de phosphore et de potassium sur les rendements et leurs composantes durant les 3 campagnes d'essai

C	T	Rdt (q/ha)	B.m (q/ha)	N.G/Epi	PMG (g)	L.T (cm)	L.E (cm)	I. R
Campagne 1	T0	48,10	119,33	53,67	32,40	60,67	5,00	0,36
	T1	48,71	132,67	54,67	33,60	62,67	5,33	0,41
	T2	60,42	163,67	60,33	31,87	66,00	5,50	0,37
	T3	68,59	173,50	57,33	32,00	66,67	5,67	0,40
Campagne 2	T0	36,53	81,67	60,00	44,33	67,67	6,13	0,45
	T1	42,55	115,33	53,33	40,67	76,00	6,77	0,37
	T2	67,28	152,50	57,00	44,33	76,67	7,27	0,44
	T3	68,50	169,00	58,67	43,33	74,67	6,40	0,41
Campagne 3	T0	65,43	156,67	72,00	46,50	52,67	5,33	0,42
	T1	81,20	175,00	75,67	49,50	55,33	5,33	0,47
	T2	81,40	183,33	76,67	50,50	56,33	5,50	0,44
	T3	87,10	173,33	77,00	51,17	59,00	5,50	0,50

C : Campagne, T : Traitement, T0 : Témoin, T1 : Potassium, T2, Phosphore, T3 Phosphore + Potassium, Rp : répétition, Rdt : Rendement, B.m : biomasse, N.G/Epi : Nombre de grain par épi, PMG : poids de mille grains, LT : Longueur de tige L.E : longueur de l'épi, IR : Indice de Récolte.

et sur leurs composantes (tableau IV). Selon l'analyse de la variance, seule le rendement en grains est manifestement, significatif vis-à-vis des apports d'engrais et ce pendant toutes les campagnes d'essais et même inter-campagnes. Parmi les composantes du rendement, la biomasse totale et la longueur des tiges, ont une réponse positive vis-à-vis des apports d'engrais phospho-potassiques, et ce particulièrement pendant la deuxième campagne et inter campagnes (tableau V).

Pour mettre en évidence le type d'engrais qui a porté des améliorations significatives sur les rendements et leurs composantes, nous avons effectué le test de la PPDS (la plus petite différence

significative). Celui ci a indiqué que durant la première campagne, cette amélioration est due uniquement, à la fertilisation phosphorique (T2*). L'apport de la potasse seule n'a pas d'effet sur l'augmentation du rendement. Par contre lorsqu'elle est associée au phosphore, l'amélioration devient hautement significative (T3**).

En deuxième campagne, l'effet de la potasse sur le rendement devient significatif (T1*) et hautement significatif lorsqu'il est associé au phosphore. L'effet significatif de la potasse en deuxième campagne, est du probablement à l'exportation des réserves initiales de cet élément. Pendant la troisième campagne tous les éléments ajoutés, ont contribué à l'amélioration

Tableau V : Résultats d'analyse statistique sur l'effet de la fertilisation vis-à-vis du rendement pour chacune des campagnes et entre elles.

Paramètres	Campagne et inter campagne	Moy	ET	CV %	PPDS P < 0,01	PPDS P < 0,05	Niveau de Signification
Rd (q/ha)	CA 1	56,46	6,95	8,4	9,47	14,36	T2*,T3**
	CA 2	53,71	16,3	5,56	5,96	9,04	T1*,T2**,T3**
	CA 3	78,78	9,17	4,18	6,59	9,98	T1**,T2**,T3**
	ICA	62,98	9,94	9,86	12,41	18,8	T2**,T3**
B.m (q/ha)	CA2	129,6	35,43	7,84	20,3	30,76	T1**,T2**,T3**
	ICA	149,6	21,98	12,26	36,66		T2*,T3*
LT (cm)	CA2	73,75	5,01	3,59	5,29		T1*,T2*,T3*
	ICA	64,53	3,1	2,7	3,48		T1*,T2*,T3*

** : P < 0,01, * : P < 0,05 C.A : campagne agricole, ICA : inter campagnes agricoles, Rdt : Rendement moyen, ET : Ecart type, B.m : Biomasse Total, LT : Longueur des tiges en cm CV : Coefficient de variations (%) PPDS : la Plus Petite Différence Significative.

du rendement d'une manière hautement significative ($P < 0,01$).

L'effet de la campagne s'est manifesté d'une façon hautement significative, en particulier pour le phosphore. Pour les composantes du rendement, la biomasse totale (B.m) et la longueur des tiges (LT), les effets des engrais appliqués, sont significatifs ($P < 0,05$) à hautement significatifs ($P < 0,01$) notamment durant la deuxième campagne et inter campagnes particulièrement pour l'engrais phosphaté.

Selon les résultats obtenus, les apports de phosphore ont toujours un effet significatif sur les rendements du blé. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Laib (2011), même si Bashir *et al.* (2015) soulignent que la réponse du rendement du blé vis-à-vis de la fertilisation phosphaté, dépend de la dose appliquée et la méthode d'application.

Quant aux résultats relatifs aux apports de potasses, ils montrent une fluctuation de l'effet significatif sur les rendements. Non significatif, significatif ($T2^*$) et hautement significatif ($T2^{**}$) pendant les trois campagnes consécutivement.

Pendant la troisième campagne, l'effet de la fertilisation sur le rendement est hautement significatif pour tous les traitements. La PPDS indique que les différences, proviennent simultanément des apports du phosphore et de la potasse. La réponse du rendement vis à

vis des apports de l'engrais potassique, est hautement significative. Dans ce sens Brhane *et al.* (2017) ont affirmé que l'application de différentes doses d'engrais à base de potassium a une incidence importante sur le rendement du blé. Ainsi, dans les conditions de la zone d'étude (aride à semi aride), ces chercheurs ont ajouté 30 kg de K_2O . ha^{-1} à un engrais mélangé recommandé (NPKSZn), ils ont obtenu un rendement de 14 q/ha, avec une amélioration de 30% (10,76 q/ha) par rapport à cet engrais, et une amélioration de 120 % par rapport au témoin (6,33 q/ha).

L'effet de la campagne (inter campagnes) a aussi, son importance, puisqu'il est très hautement significatif. Cet effet est du, non seulement au traitement de fertilisation mais aussi, aux conditions climatiques durant la troisième campagne. Pendant la phase de remplissage des grains les moyennes de la température au mois de Mars, ont atteints près de 21,14, 21,71, et 18°C, respectivement pour la première, la deuxième et la troisième campagne.

En fin, nous pouvons en conclure que dans le cas d'un sol riche en potasse, les apports supplémentaires en cet élément, sont inutiles. L'application des engrais potassiques requiert au préalable, une analyse du sol pour confirmer leur nécessité. Dans ce sens, Saifullah *et al.* (2002) ont obtenu le rendement le plus élevé (45,7 q/ha) avec une d'application

de 225 kg de K_2O/ha , au-delà de laquelle toutes les composantes de rendement, sont diminuées.

3.4. Taux d'amélioration des rendements

Nous avons constaté que les traitements de K en absence de P, n'ont pas amélioré le rendement que de 1,25%. En combinaison avec P, son impact est plus visible. En effet, durant la première campagne, l'amélioration peut atteindre jusqu'à 25,6%. Le taux d'amélioration du rendement en ajoutant le phosphore seul ou combiné avec K, est plus élevé, notamment pendant la deuxième campagne (Figure 1).

Durant la troisième campagne, le taux d'amélioration était faible. Ceci est du probablement à l'effet du reliquat, de ces éléments. Globalement, le taux d'amélioration du à l'apport de potasse (24,1 %), il est beaucoup plus élevé de 0,9% obtenu par Guo *et al.* (2000) avec des traitements de K en l'absence de Phosphore. Dans ce contexte Adnan *et al.* (2016) ont montré que la combinaison de deux éléments N et K a permis d'obtenir un rendement de 30,35 q/ha, avec une amélioration de 33 % par rapport au témoin (22,26 q/ha). Gaj *et al.* (2013) ont obtenu un rendement moyen de 66 q/ha ; 32% supérieur à celui du témoin grâce à un traitement fertilisant combinant K et P

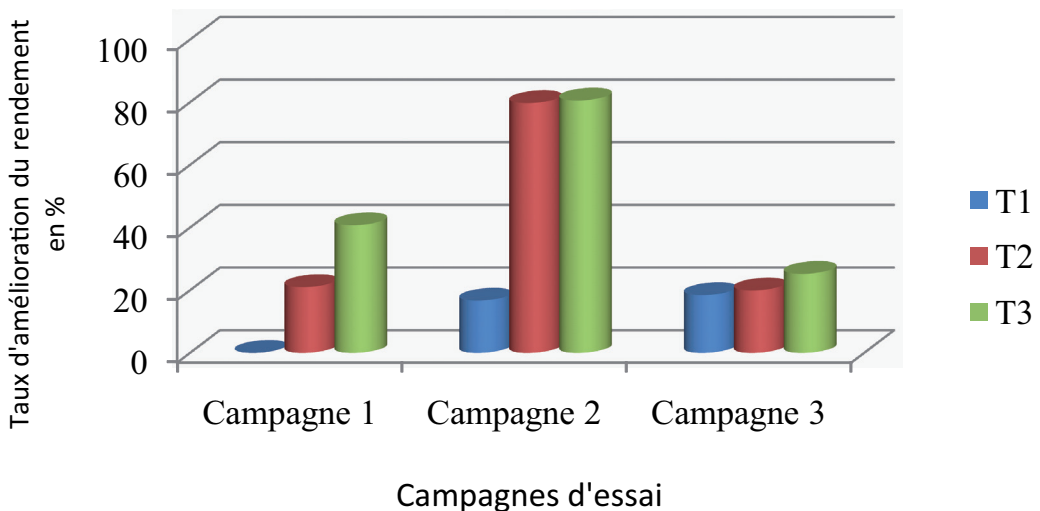


Figure 1 : Taux d'amélioration du rendement du blé sous fertilisation phospho-potassique

3.5. Coefficient d'utilisation apparent des engrais utilisés

Le coefficient d'utilisation du phosphore (CUP), varie d'une campagne à une autre (Tableau VI). La plus grande valeur (15,67%), est obtenue durant la troisième campagne et la plus faible valeur (7,56%), est observée durant la première campagne. La valeur moyenne pour les trois campagnes est de 10,55%, elle est proche de 11,2% trouvée par Boukhalfa-Deraoui *et al.* (2011) et de 11,88% obtenue par Karklin *et al.* (2015). Quant à la valeur moyenne de CUA de la potasse (19,41%) obtenue par cette recherche, est rapprochée de 17,86% obtenue par Karklin *et al.* (2015). Dans le même contexte, Dhillon *et al.* (2019) ont déclaré qu'en utilisant la méthode des différences, le CUK pour la production céréalière dans le monde, a été estimé à 19%.

Selon le tableau ci-dessus, on constate que le coefficient d'utilisation apparent d'un engrais, dépend de la teneur du

sol, de l'efficacité d'utilisation et du reliquat de cet engrais.

3.6. Efficacité d'utilisation des engrais apportés (EUE)

L'efficacité d'utilisation d'un élément fertilisant, varie selon les campagnes. Il dépend des besoins en engrais de la culture et des rendements obtenus (Tableau VII). Dans l'ensemble, pour le phosphore, les valeurs de EUP varient dans l'intervalle de 24,76 à 26,32 kg du blé/kg de P₂O₅. Ces résultats corroborent avec les valeurs de EUP obtenues par Kara (2013) qui varient de 24,2 à 31,5 kg du blé/kg de P₂O₅.

D'après le tableau ci-dessus, l'efficacité d'utilisation des nutriments, diffère d'une campagne à l'autre. Ceci indique que ce paramètre, est sous l'influence de plusieurs facteurs. Dans ce sens, He *et al.* (2012) ont obtenus des valeurs de CUK qui varient entre province de 5,7 à 11 kg du blé/kg de K₂O pour la même campagne et entre

Tableau VI : Coefficients d'utilisation apparents des engrais utilisés (%)

Campagnes	K ₂ O	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ -K ₂ O	P ₂ O ₅ + K ₂ O
Campagne1	13,92	7,56	16,11	10,44
Campagne2	15,49	8,42	19,59	12,69
Campagne3	28,84	15,67	17,77	11,51
Moyenne	19,41	10,55	17,82	11,55

Tableau VII : Efficacité d'utilisation des engrais apportés en unité de fertilisant/ha

Campagnes	K ₂ O	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ et K ₂ O
Campagne1	8,32	24,76	8,27
Campagne2	14,18	25,98	12,25
Campagne3	28,42	26,32	14,64
Moyenne	16,97	25,69	11,72

campagne ; de 5,5 à 10,2 kg du blé/kg de K₂O pour la même province.

Ces résultats ont indiqué, qu'une grande fraction des engrais apportés, n'est pas utilisée par la culture et que l'utilisation des engrais apportés par la culture du blé, dépend de plusieurs facteurs. Par conséquent, il est possible d'augmenter l'efficacité des engrais et d'améliorer ainsi, leur efficacité d'utilisation en améliorant les conditions de consommation des éléments fertilisant par la culture.

Les rendements obtenus pendant les trois campagnes, sont consécutivement, de 56,45, 53,71 et 78,78 q/ha. Durant la troisième campagne, les conditions climatiques, notamment les variations

modérées de la température durant les dernières phases de développement de la culture, ont contribué à l'amélioration du rendement, car elles ont réduit l'ETR et elles ont favorisé la maturation progressive de la culture. De ce fait, il est possible d'intervenir pour échapper à l'effet nuisible de l'élévation de la température pendant les dernières phases de développement de la culture, appelé souvent « stress terminal » et ce par un semis précoce. L'essai mené dans ce sens, confirme ce constat. Les résultats obtenus sont affichés dans le tableau VIII.

Un autre facteur a contribué à l'amélioration des rendements durant la troisième campagne, en plus des

Tableau VIII : Effet de la date de semis sur l'amélioration des rendements (q/ha)

Campagnes agricoles	Semis précoce (14/11)	Semis tardif (23/12)	Amélioration (%)
Campagne 2	57,1	38,3	49,1 %
Campagne 3	56,2	45,3	23,8 %

conditions climatiques favorables, est probablement le reliquat des éléments fertilisants notamment, P2O5 des campagnes précédentes.

L'intervention à temps par les apports de corrections, est un facteur intéressant pour améliorer l'utilisation des autres éléments fertilisants. Ainsi, nous avons noté que l'apport de correction du phosphore était très positif durant la deuxième campagne car il est effectué au stade tallage sur les parcelles qui présentent un grand déficit en cet élément. Durant la troisième campagne où l'apport de correction, s'est effectué pendant le stade montaison, le rendement et ses composantes, sont améliorés mais inférieure au cas précédent (tableau IX).

La réponse du végétal est rapide. Il y a eu un changement de coloration après 15 jours, la croissance est stimulée et la différence entre les hauteurs de végétation dans les deux sites devient importante. La réponse du rendement (Figure 2) et ses composantes diffèrent selon le stade de correction et l'ampleur de la carence.

Cet apport de correction est effectué, d'une manière localisée. Ce mode d'épandage a aussi son importance. Ainsi, Kheith (2003) a signalé que l'engrais épandu en bandes a donné un rendement plus élevé par apport à celui épandu à la volée.

Il faut ajouter que selon la « loi du minimum », le rendement est déterminé par le facteur le plus limitatif. Par conséquent, le rendement d'une culture est pénalisé par l'élément le moins représenté par rapport au besoin de cette culture (facteur limitant), même si tous les autres éléments sont en quantités suffisantes. Pour cela, la disponibilité de tous les éléments nécessaires en quantité suffisante, est indispensable.

En ce qui concerne la potasse, les analyses physico-chimiques du sol des régions sahariennes confirment sa richesse en cet élément. Selon la réponse de la culture du blé vis-à-vis des apports de l'engrais potassique durant la période de l'essai, celle-ci n'est pas exigeante en potasse. De ce fait, les quantités

Tableau IX : Effet des apports de correction sur le rendement et ses composantes (stade montaison)

Traitements	Bmt (g/2)	Rdt (g/2)	PMG	L,tige (cm)	N.G/EPI	L. épi (cm)	IR
Apport de correction	930	293	50,5	35	56	4	0,32
Sans apport	690	263	41	21	46	3	0,38

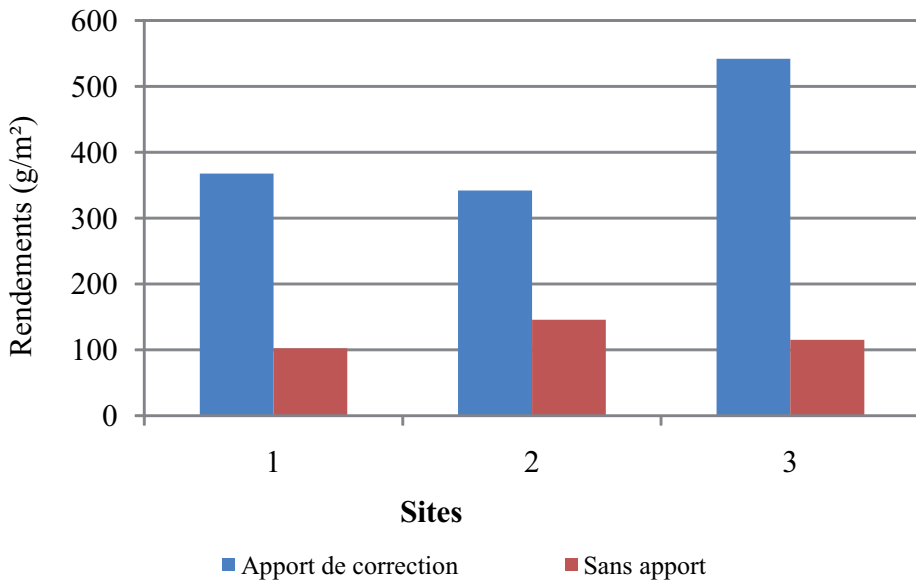


Figure 2 : Effet des apports de correction de phosphore sur le rendement

disponibles permettent d'assurer des rendements acceptables pendant les trois premières campagnes d'exploitation du sol. Des apports légers qui augmentent progressivement sont nécessaires par la suite.

Pour le phosphore, on rappelle que le pH du sol à tendance alcalin peut bloquer et réduire sa disponibilité pour les cultures. De plus, le CUP est faible et la réponse vis-à-vis des apports de corrections effectués durant les premières phases de développement de la culture est positive. De ce fait, on prévoit des quantités de 150 unités/ha (au lieu de 200 unités utilisées actuellement).

IV- CONCLUSION

Bien que les rendements moyens du blé ont légèrement augmenté pendant ces dernières années, ils sont très loin des rendements potentiels qui peuvent être réalisés dans la région d'étude. Les rendements réalisés par ce travail (80 q/ha) et rendement pics (78 q/ha) réalisés par certains agriculteurs témoignent de cette réalité. La faiblesse des rendements est attribuée en partie aux problèmes techniques, entre, autres la fertilisation. Pour cela il faut donner une attention particulière à ce sujet.

Nous avons noté que les symptômes de carence en phosphores apparaissent très tôt dans les parcelles pauvres en cet

élément et prennent plusieurs aspects selon le niveau de déficience. Celle-ci se répercute négativement sur le développement végétatif de la culture et sur le rendement obtenu. Dans ces conditions, des apports de correction précoces sont nécessaires.

En ce qui concerne le Potassium, il est certain que les sols des régions sahariennes, particulièrement les sols de la région d'étude, sont riches en cet élément. Néanmoins, il faut prendre en considération les exportations par les cultures qui sont aussi énormes. De ce fait, il est indispensable de le prendre en compte dans le programme de fertilisation.

En effet, l'amélioration de la fertilité du sol et sa préservation demeurent les clés essentielles pour relever les défis auxquels est confrontée l'agriculture saharienne. La connaissance de la teneur du sol en éléments fertilisants, la dynamique de ceux-ci dans la zone explorée par les racines et les besoins des cultures en ces éléments sont des conditions incontournables pour mieux gérer la fertilisation raisonnée des sols.

Le coefficient d'utilisation apparent des engrais apportés et du phosphore en particulier qui est proche de 10,55% présente une indication importante qui reflète la faiblesse d'utilisation des engrais épandus et oriente la réflexion sur la valorisation des engrais accumulés dans le sol pour leur réutilisation.

Plusieurs facteurs sont susceptibles d'améliorer l'efficacité d'utilisation des engrais. Nous avons évoqué dans ce travail certains d'entre eux, et nous recommandons de prévoir d'autres recherches pour mettre en évidence les plus pertinents pour la région.

Dans ce sens, il est à recommander pour les sols à pH alcalin de fractionner les apports des engrais phosphatés en deux apports en favorisant les endroits où les symptômes de carences se manifestent.

Références

Adnan, M., Shah, Z., Ullah, H., Khan, B., Arshad, M., Mian, I. A., Khan, W. U. (2016). Yield response of wheat to nitrogen and potassium fertilization. *Pure and Applied Biology*, 5(4), 1.

Ammar M. 2015. Les céréales vers l'Algérie. Les études de FrancAgriMer. Édition 2015 121p.

Bashir S., Anwar S., Ahmad B., Sarfraz Q., Khatk W., & Islam M. 2015. Response of wheat crop to phosphorus levels and application methods. *Journal of Environment and Earth Science*, 5(9), 151-155.

Ben Ahmed M. 2018. Étude comparative de la céréaliculture sous pivots Entre les wilayas de Ouargla et Ghar-

daïa. Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme de MASTER Académique Domaine 101P.

Benbelkacem A., et Kellou K. 2000. Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. Station ITGC, B.P. 35 Elkhroub, 25100 Algérie. ISN, Université de Constantine, 25000 Algérie

Bessaoud O. 2016. La sécurité alimentaire en Algérie. Étude réalisée pour le Forum des Chefs d'Entreprise d'Algérie. CIHEAM-IAM Montpellier. 84 p

Besson A., Muller J. et. Gillet A. 2007. Nouvelle interprétation des teneurs en phosphore pour les sols genevois. Ecole d'ingénieurs de Lullier (EIL), filière Agronomie, Axe sols et substrats, 1254 Jussy. E-mail: antoine.besson@hesge.ch. Revue suisse Agric. 39 (4): 183-188, 2007

Boukhalfa-Deraoui N., Halilat M.T et Mekliche A. 2011. Effet d'un apport de phosphore sur une culture de blé tendre conduite en conditions irriguées Revue des bio Ressources 1 (1) 39-46.

Brhane H., Mamo T. and Teka K. 2017. Potassium Fertilization and its Level on Wheat (*Triticum aestivum*) Yield in Shallow Depth Soils of Nor-

thern Ethiopia. Journal of Fertilizers & Pesticides. 8 (2): 182-185.

Curtis T, and Halford N G. 2014. Food security: the challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety Ann Appl Biol. 2014 Jan ; 164 (3): 354-372.

Dhillon J. S., Eickhoff E. M., Mullen R. W., & Raun, W. R. 2019. World potassium use efficiency in cereal crops. Agronomy Journal, 111(2), 889-896.

Djermoun A. 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie. n° 01 45- 53.

DSA (2019) Bilan annuel des céréales sous pivots dans la wilaya d'Adrar. Rapport interne de la Direction des Services Agricoles.

Dufumier M. 2007. Souveraineté et sécurité alimentaires dans les pays du Sud. Institut National Agronomique Paris-Grignon. <http://utopiaconf.free.fr>. 2005 n° 132. Dossier phosphore. www.eau-et-rivieres.asso.fr

FAO (2005) Utilisation des engrais par culture en Algérie. Première édition, publiée par la FAO, Rome, 2005. 56 P

FAO. 2016. L'agriculture en Afrique subsaharienne : Perspectives et enjeux

de la décennie à venir. Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025. pp63-115

FAO. 2017. L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Renforcer la résilience pour favoriser la paix et la sécurité alimentaire

FAO. 2018a. Perspectives de l'alimentation. Les marchés en bref

FAO. 2018b. Résumé de l'état la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition. Disponible à www.fao.org/docrep/pdf.

Gaj, R., Górski, D., & Przybyl, J. 2013. Effect of differentiated phosphorus and potassium fertilization on winter wheat yield and quality. *Journal of Elementology*, 18(1).

Gaj R. and Rębarz K. 2014. Effects of different phosphorus and potassium fertilization on contents and uptake of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg) in winter wheat II Uptake of macronutrients. *Journal of Central European Agriculture*, 15(4), p.188-198

Guillermou Y. 1993. Les oasis du Touat-Gourara-Tidikelt en Algérie. *Survie et ordre social au Sahara*

Guo J., Xing Z., et Liu Z. 2000. Responses to Phosphorus and Potassium Application in a Wheat- Corn Rotation in Hebei Province China. *Better Crops International*. Vol. 14, No. 2, November 2000

Hales N (2019) Algeria, Grain and Feed Annual. GAIN Report Number: AG1904. Global agricultural information network

Hansel F.D. and Ruiz Diaz D.A. 2017. Root Growth and Phosphorus Uptake Affected by Fertilizer Management in Soybean and wheat. 47th north central extension-industry soil fertility conference

He P., Jin J., Wang H., Cui R., & Li C. 2012. Yield responses and potassium use efficiency for winter wheat in North-Central China. *Better Crops*, 96(3), 28-30.

Holzappel C. and Pag MSc. 2016. Wheat and Barley Response to Phosphorus and Potassium Fertilization. Annual Report for the Agricultural Demonstration of Practices and Technologies (ADOPT) Program 12.

Kara B. 2013. Phosphorus use efficiency of some bread wheat cultivars. *Research on Crops* 14(2):389-394.

Kheith R. 2003. Fertilisation pour une culture rentable du blé. Ontario. Bulletin Grande culture. ag.info.omafra@ontario.ca

Laaboudi A., Mouhouche B., Slama A, 2016. Impact des variations des températures sur les rendements de blé sous pivots dans la région d'Adrar. African Review of Science, Technology and Development 01(02) 47-58

LAIB S. 2011. Contribution à l'étude de l'influence des types et doses d'engrais phosphatés sur le prélèvement du potassium par une culture de blé dur dans la région d'El Goléa. Mémoire de Fin d'études En Vue De L'obtention Du Diplôme D'ingénieur d'Etat Spécialité : Agronomie Saharienne 85 P.

Malghani A. L., Ullah Malik A., Sattar A., Hussaina F., Abbasc G. , Hussain J. 2010. Response of growth and yield of wheat to NPK fertilizer Sci. Int.(Lahore),24(2),185-189,2010

Michel L. 2002. Maladies des céréales et de la luzerne. Diagnostic, Dépistage et Prévention. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection. Direction de l'innovation scientifique et technologique. Club des sols du Témiscouata. Avril 2002

Otmane, T., & Kouzmine, Y. (2013). Bilan spatialisé de la mise en valeur

agricole au Sahara algérien. Mythes, réalisations et impacts dans le Touat-Gourara-Tidikelt. Cybergeog: European Journal of Geography. DOI: [10.4000/cybergeog.25732](https://doi.org/10.4000/cybergeog.25732)

Razi S. 2006. Etude expérimentale de l'influence du gypse sur la dynamique du phosphore dans le sol et sa cinétique d'absorption par le ray-grass. Mémoire de Magister en agronomie. Université de El hadj Lakhdar de Batna. 194 P.

Saifullah AM., Ranjha M., Yaseen and Akhtar M.E. 2002. Response of wheat to potassium fertilization under field conditions Pak. J. Agri. Sei., Vol. 39(4)

Si Bennasseur A. 2004. Référentiel pour la conduite technique de la culture du blé dur (*Triticum durum*).

YARA .2008. Fertilisation des cultures. Site : Fert.yara.fr/fr/crop_fertilization/

Remerciements

Je tiens à remercier tous ceux qui ont apporté une contribution de près ou de loin pour la réalisation de ce travail. Je cite en particulier M. Zaki A, Moussaoui A. et tous les ouvriers professionnels de la station expérimentale d'Adrar.