

ÉFFICACITÉ DE PRÉLÈVEMENT DU PHOSPHORE PAR UNE CULTURE DE BLÉ DUR *TRITICUM DURUM* DESF. SOUS L'EFFET DE DIFFÉRENTES SOURCES ET DOSES DE PHOSPHORE EN CONDITIONS IRRIGUÉES SAHARIENNES

BOUKHALFA-DERAOUIN¹, SALHI N.¹, HANIFI-MEKLICHE L.², MEKLICHE A.²

¹Laboratoire de Bio ressources Sahariennes : Préservation et Valorisation, UKM Ouargla

²Laboratoire de production végétale(ENSA)

Boukhalfan2005@yahoo.fr

Résumé : L'objectif de notre travail est d'étudier en plein champ l'effet de trois sources de phosphore (Fosfactyl NP 3 :22, Superphosphate triple P 46 et NPKs 8 :36 :13,5+15) apportés à quatre doses (80, 120, 160 et 200 kg.ha⁻¹) sur l'efficacité d'utilisation du phosphore (EUP) par le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et l'évolution du phosphore assimilable et total du sol au cours du cycle de la culture conduite en conditions irriguées sahariennes (El-Menia, Ghardaia). Les résultats obtenus ont montré que l'EUP, le phosphore assimilable et le phosphore total sont fortement affectés ($P < 0,001$) par les doses d'engrais. La teneur en phosphore assimilable augmente avec l'accroissement des doses quel que soit le stade de la culture : deux nœuds, floraison et maturité. Les meilleures teneurs en P assimilable sont présentées par la dose 200 kg P.ha⁻¹. L'efficacité d'utilisation du phosphore (EUP) est étroitement liée aux teneurs du phosphore assimilable et total dans le sol. Les relations sont négatives et significatives avec le phosphore assimilable, et elles sont positives et significatives avec le phosphore total.

Mots clés : Fertilisation minérale - Blé dur - Efficacité d'utilisation P - Phosphore assimilable - El-Menia - Sahara.

كفاءة استخدام الفسفور من طرف نبات القمح الصلب تحت تأثير مختلف مصادر وكميات الأسمدة الفسفورية في ظروف السقي بالمناطق الصحراوية

ملخص: هدفنا من هذا العمل، هو دراسة بالحقل أثر مختلف أنواع الأسمدة الفسفورية (TSP، NPKs و Fosfactyl)، المطبقة بمختلف الكميات (80, 120, 160, 200 كغ/هـ) على كفاءة استخدام الفسفور لنبات القمح الصلب، من جهة ودراسة حركية العنصر الفسفور القابل للاستيعاب و الكلي في التربة خلال 2006/2007 بالمنطقة الصحراوية المنيعية. ظهر النتائج المتحصل عليها أن كفاءة استخدام الفسفور، الفسفور القابل للاستيعاب و الكلي في التربة قد تأثر بشدة بكميات الأسمدة. يزداد تركيز الفسفور القابل للاستيعاب في التربة، كلما ازدادت كميات الأسمدة في كل مراحل نمو نبات القمح (عقدتين، الإزهار والنضج). أحسن تراكيز الفسفور القابل للاستيعاب في التربة تمّ التحصل عليها عند كمية الأسمدة 200 كغ/هـ. ترتبط كفاءة استخدام الفسفور بشدة مع تراكيز الفسفور القابل للاستيعاب و الكلي. بحيث كانت العلاقة سلبية مع الفسفور القابل للاستيعاب وإيجابية مع الفسفور الكلي.

كلمات دالة: التسميد المعدني - القمح الصلب - كفاءة استخدام الفسفور - الفسفور المتوافر - المنيعية - الصحراء.

1. INTRODUCTION

Le phosphore est considéré comme un facteur limitant dans de nombreux sols, en particulier dans les régions arides algériennes. Ces derniers sont caractérisés par des taux de calcaire élevés et une texture sableuse. Les sols sableux sont très pauvres en éléments nutritifs et sont caractérisés par une rétention de l'eau et une teneur en matière organique faibles [1]. Les ions phosphates sont soumis à de nombreuses interactions avec les constituants du sol et sont fortement retenus par la phase solide [2, 3]. En tant qu'élément peu mobile dans le sol [4], il est donc peu accessible pour les plantes, une fois apporté sous forme de fertilisant. Environ 80 % du phosphore apporté est immobilisé et devient donc indisponible, au moins à court terme pour les plantes à cause de l'adsorption, de la précipitation ou de la conversion sous forme organique [5].

Chez les céréales, la déficience phosphatée entraîne une diminution de la biomasse aérienne, en réduisant la surface foliaire qui se traduit par un retard dans le rythme

d'apparition des feuilles et la réduction de la vitesse de leur expansion entraînant la réduction de la taille finale des feuilles [6, 7].

L'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs a longtemps intéressé plusieurs chercheurs. Ce paramètre est influencé par plusieurs facteurs liés à la plante, en particulier, l'enracinement (densité et longueur) [8], la colonisation par des mycorhizes [9, 6], et les exsudats racinaires [10].

Dans le but d'améliorer la productivité des céréales en général et du blé en particulier, nous nous sommes intéressés à l'étude des effets de la fertilisation phosphatée sur l'efficacité de prélèvement du P par une culture de blé dur et l'évolution du phosphore dans le sol d'El-Menia.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Site expérimental

Notre essai a été conduit durant la campagne 2006/2007, au niveau de l'exploitation agricole Hadjadj Mahmoud (latitude 30°57', longitude 2°87' et une altitude de 397 m) sur un sol sableux, non salin et à pH (eau) alcalin, faiblement pourvu en matière organique et en P (Olsen) (tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques physiques et chimiques du sol

Sable (%)	Limon +Argile(%)	Calcaire total (%)	Calcaire actif (%)	pH eau (1/5)	CE (dS/m)	MO (%)	P _{Olsen} (mg/kg)	N (mg/kg)
93,3	7	5,93	3,1	7,8	2,9	0,06	6,52	0,054

Le climat de la région d'El-Menia est de type continental désertique, caractérisé par des températures hivernales faibles, températures estivales élevées, des vents de sable violents et une hygrométrie faible [11].

L'eau d'irrigation est pompée à partir de la nappe du continental intercalaire qui se trouve à une profondeur de 250 m. cette eau appartient à la classe C₂S₁ [12] caractérisée par un faible risque de salinité et de sodicité [13].

2.2 Protocole expérimental

Le dispositif expérimental est un modèle hiérarchisé à deux facteurs fixes. L'essai présente au total 24 parcelles élémentaires espacées de 1 m, chaque parcelle mesure 75 m de long sur 24 m de large, soit une superficie de 1800 m² au total 43 200 m².

Les engrais solides testés sont le Fosfactyl NP 3 :22, Superphosphate triple P 46 et NPKs 8 :36 :13,5+15 sur la culture de blé dur. Les trois engrais sont apportés au semis à quatre doses (80, 120, 160 et 200 kg.ha⁻¹).

Le matériel végétal utilisé est une variété de blé dur Carioca, caractérisé par une faculté germinative de 98% et un poids de 1000 grains de 54,8 g.

2.3 Conduite de la culture

L'essai au champ est conduit en irrigué par centre pivot. Le semis est réalisé le 03-12-2006 à une dose de 2q/ha. Du semis jusqu'à la maturité, la culture a reçu une pluviométrie d'environ 750 mm et 220 kg/ha d'azote sous forme d'UAN (32%). La récolte a eu lieu le 22-05-2007.

2.4 Paramètres étudiés

- **Efficienc e d'utilisation du phosphore** : A maturité du blé, des prélèvements de cinq échantillons par parcelle sont utilisés pour déterminer le rendement en grains.

D'après [14], l'efficienc e d'utilisation du phosphore (EUP) est calculée selon la formule suivante :

$$EUP = \frac{RDTGr}{P_{disponible}}$$

où $P_{disponible} = P_{sol} + P_{apporté}$

P sol : L'estimation de la fourniture totale en phosphore par le sol.

RDTGr : rendement en grain de la culture.

- **Phosphore total et assimilable** : Dans le but de suivre l'évolution du phosphore total et assimilable dans le temps, cinq (5) échantillons du sol par parcelle sont prélevés à une profondeur de 0-20 cm aux stades deux nœuds, floraison et maturité. Après séchage et homogénéisation (2 mm), nous avons déterminé le phosphore assimilable [15] et total à différents stades.

- **Analyse statistique** : L'analyse de la variance à deux critères de classification (engrais solide, doses d'engrais) a été effectuée à l'aide du logiciel STATISTICA N°10. La comparaison des moyennes a été faite selon le test de Newman-keuls au seuil de probabilité de 5 %.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Efficienc e d'utilisation du phosphore

Les résultats portés sur le tableau 2 montrent que l'efficienc e d'utilisation du phosphore (EUP) est fortement affectée ($P < 0,001$) par les doses de phosphore. Les meilleures valeurs sont obtenues par la dose 80 kg P.ha⁻¹ (82,31 kg grains/kg P sol), en dépassant de 16,13%, 28,86% et 41,7% respectivement les doses 120, 180 et 200 kg P.ha⁻¹.

Bien que l'effet type d'engrais soit statistiquement non significatif, les meilleures valeurs d'efficienc e d'utilisation du phosphore sont obtenues par l'engrais NPKs (72,82 kg de grain/kg P sol), alors que les plus faibles valeurs sont enregistrées par l'engrais TSP (56,33 kg grains/kg P sol).

Tableau 2. Effet des engrais solides et des doses sur les EUP (kg de grains/kg Psol)

Effet engrais solides	Valeurs d'EUP
Fosfacyl	61,27
TSP	56,33
NPKs	72,82
Signification	ns
Effet doses d'engrais (kg/ha)	
80	82,31 a
120	69,04 b
160	58,56 b
200	47,99 c
Signification	***
Ppds	12,54
Moyenne générale	64,47

Légende : EUP : efficienc e d'utilisation P, Gr : grains, Psol : P disponible (sol + apport). (*, **, ***) : Significatif à $P < 0,05$, $P < 0,01$, $P < 0,001$ respectivement ; ns : non significatif, C.V. : coefficient de variation, ppds : plus petite différence significative (5%).

La figure 1 montre que l'efficacité d'utilisation du phosphore (EUP) est corrélée négativement avec les doses de phosphore, quel que soit l'engrais utilisé. L'engrais NPKs présente les meilleures valeurs quel que soit le stade de la culture.

L'augmentation de l'efficacité d'utilisation des engrais peut être atteinte par l'amélioration des pratiques de gestion des engrais par un meilleur approvisionnement en éléments nutritifs temporelle et spatiale correspondant à la demande de la plante et/ou en cultivant des cultures caractérisées par une utilisation efficace de ces éléments minéraux [16, 17, 18, 19]. Ce paramètre est influencé par plusieurs facteurs liés à la plante, et qui sont surtout liés à l'enracinement (densité et longueur) [8], la colonisation par des mycorhizes [6, 9], et les exsudats racinaires [10]. En raison de la faible mobilité du phosphore dans le sol, la croissance des racines est très importante pour l'acquisition de phosphore [20,21]. Gahoonia *et al.* [22] ont trouvé que la longueur des poils racinaires était corrélée positivement avec l'acquisition de phosphore chez l'orge.

Sandaña et Pinochet [8], étudiant l'efficacité d'utilisation du phosphore (EUP) de deux espèces végétales, blé tendre (*Triticum aestivum*) et pois (*Pisum sp.*), ont conclu qu'en conditions de déficience phosphatée, le blé a montré une EUP supérieure à celle du pois. Alors qu'à l'échelle intra spécifique, White et Brown [23] explique la réponse à la fertilisation phosphatée des différents génotypes du blé étudié par les corrélations qui existent souvent entre les rendements en grain et l'efficacité d'absorption du phosphore.

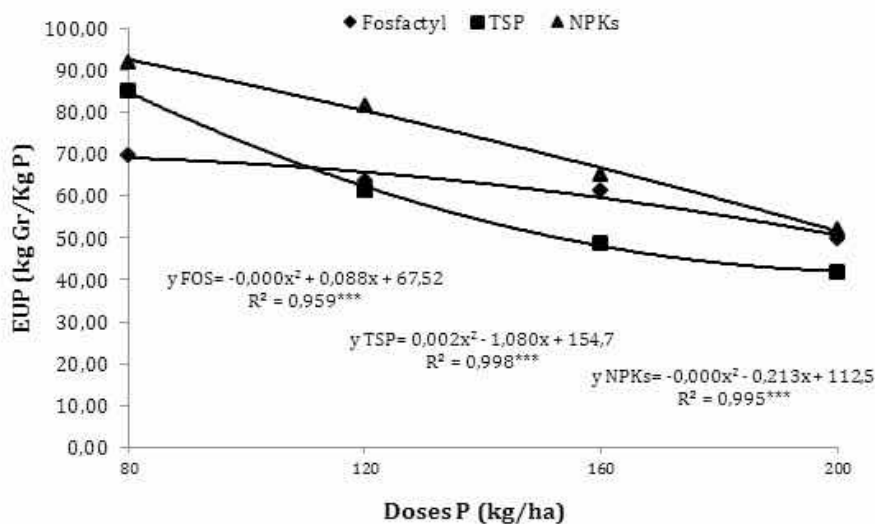


Figure 1. Effet des engrais NPKs, TSP et Fosfactyl sur l'EUP

3.2. Phosphore assimilable et phosphore total

Les teneurs en phosphore assimilable et total dans le sol à différents stades (deux nœuds, floraison et maturité) sont significativement ($p < 0,001$) affectés par les doses d'engrais. L'effet type d'engrais (solide) est significatif ($p < 0,05$) sur les teneurs en P total du sol aux stades floraison et maturité seulement.

Effet du type d'engrais

Les résultats du tableau 3 montrent que les teneurs de phosphore assimilable les plus élevées ($15,82 \text{ mg.kg}^{-1}$, $16,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ et $16,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) sont obtenues par le TSP, et celles du phosphore total ($48,80 \text{ mg.kg}^{-1}$, $50,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ et $48,81 \text{ mg.kg}^{-1}$) sont obtenues par l'engrais NPKs pour les trois stades deux nœuds, floraison et maturité. Par contre les plus faibles valeurs sont obtenues par l'engrais fosfactyl quel que soit le paramètre étudié et le stade de prélèvement.

Effet des doses d'engrais

La teneur en phosphore assimilable augmente avec l'accroissement des doses d'engrais phosphatés à différents stades : deux nœuds, floraison et maturité de la culture. Les meilleures teneurs en P assimilable sont réalisées par la dose 200 kg.ha⁻¹. Alors que cette même dose, 200 kg.ha⁻¹ a enregistré les plus faibles valeurs de phosphore total à trois stades de prélèvement du sol (tableau 3).

L'évolution du phosphore assimilable en fonction des stades du blé a été illustrée par la figure 2, montrant que les concentrations de cet élément sont élevées chez les parcelles traitées au TSP, contrairement au NPKs, où les concentrations en phosphore assimilable sont plus faibles quel que soit le stade de la culture.

La figure 3 indique que la diminution des teneurs du phosphore assimilable dans le sol est très marquée au début du cycle du blé (stade deux nœuds), puis une stabilité des teneurs est observée au niveau des différentes doses.

Tableau 3. Effet des engrais solides et des doses sur les différents caractères

	Pass S1	Pass S2	Pass S3	Ptot S1	Ptot S2	Ptot S3
Effet solides						
Fosfacyl	14,31	14,32	13,90	37,01	36,28 b	36,77 b
TSP	15,67	16,06	15,87	43,36	43,17 ab	43,7 ab
NPKs	13,03	13,00	13,13	48,56	49,56 a	49,10 a
Signification	ns	ns	ns	ns	*	*
Ppds	-	-	-	-	12,88	12,28
Effet doses						
80	12,76 c	12,4 d	12,53 c	43,23 b	42,78 b	43,47 b
120	13,09 c	13,32 c	13,55 b	45,23 a	45,33 a	45,51 a
160	15,07 b	15,16 b	15,12 a	43,66 ab	43,52 ab	43,84 a
200	16,42 a	16,85 a	15,99 a	39,79 c	40,38 c	39,95 c
Signification	***	***	***	***	***	***
Ppds	0,763	0,873	1,087	1,998	1,846	1,639
Moyennes générales	14,34	14,46	14,30	42,98	43,00	43,19

Légende : Pass= P assimilable (ppm), Ptot= Ptotal (ppm), S1= stade deux nœuds, S2= floraison, S3= maturité, (*, **, ***) : Significatif à P<0.05, P<0.01, P<0.001 respectivement ; ns : non significatif, plds= petite différence significative, C.V. = coefficient de variation.

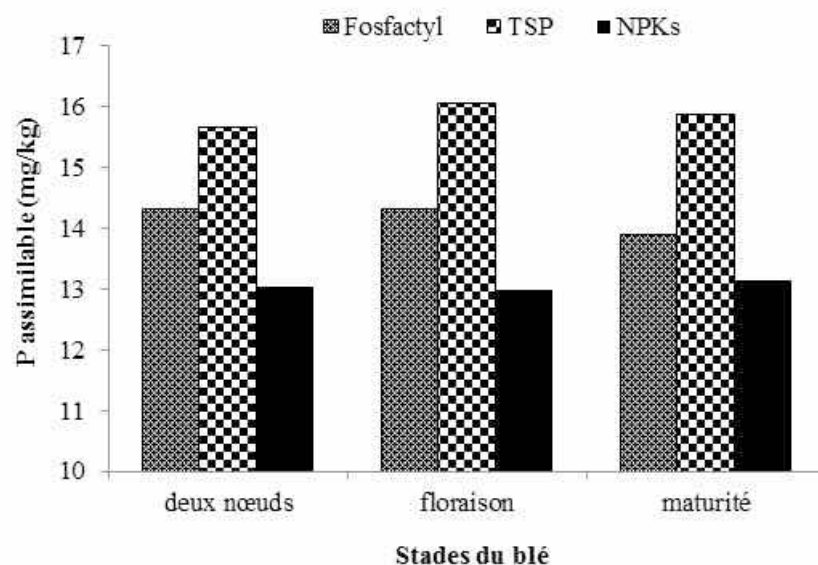


Figure 2. Evolution du phosphore assimilable en fonction des stades du blé

Les taux de réduction entre le stade semis et deux nœuds du blé pour les doses étudiées ($80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ et $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) sont respectivement de 56,57 %, 67,93 %, 71,16 % et 74,21 %. On note également que les taux de diminution augmentent avec les doses croissantes de P ajouté.

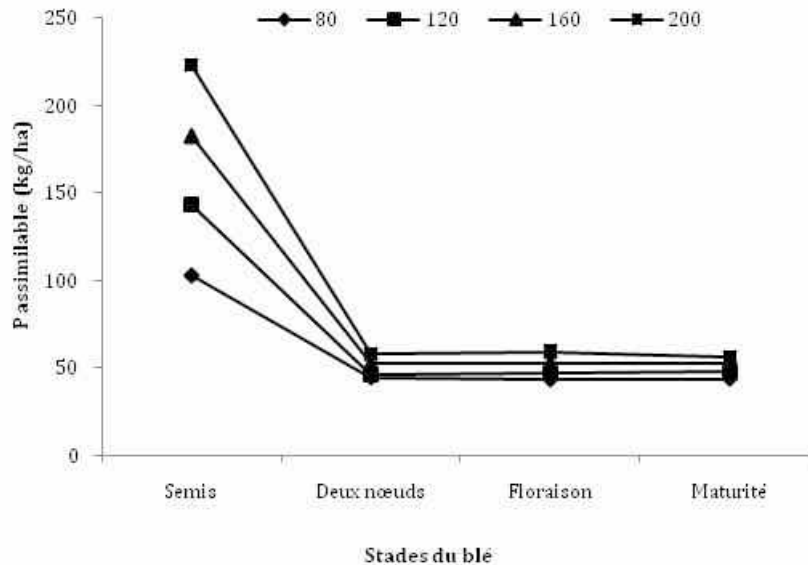


Figure 3. Evolution du phosphore assimilable en fonction des stades du blé

Le changement dans la composition de la solution du sol suite à un apport peut affecter la dynamique du phosphore [24].

Bulut et Askoy [25] ont mis en évidence une relation linéaire entre les pertes en phosphore et les niveaux d'engrais phosphatés appliqués. Ces résultats sont confirmés par Rubaek *et al.* [26] qui ont trouvé dans leur étude que les pertes en phosphore par ruissellement ou lixiviation augmentent avec l'accroissement des concentrations de phosphore du sol. Ce qui explique qu'une partie importante des éléments nutritifs issus des engrais apportés au champ n'est pas prise par les plantes, et est perdue par différents processus [27].

Storia *et al.* [28] ajoutent que même si les niveaux de phosphore dans le sol augmentent avec la fertilisation phosphatée, la teneur en phosphore disponible reste faible dans la solution du sol, d'où l'importance de raisonner les apports de phosphore pour satisfaire les besoins des plantes.

La disponibilité du phosphore dans le sol provient de la dissolution (ou mobilisation) de phosphore sous forme d'orthophosphates et sa diffusion dans la solution du sol, qui représente la principale limite à l'approvisionnement de phosphore adéquat pour la croissance des plantes [29]. Des travaux antérieurs ont montré que la carence en phosphore est très répandue dans les sols calcaires, il est le principal facteur limitant des rendements des cultures annuelles [30, 31, 32].

D'autres recherches ont montré que les apports élevés d'engrais phosphatés diminuent la disponibilité des micro-éléments essentiels pour les plantes [33,34], parmi eux le zinc est considéré comme un composant essentiel dans la synthèse des protéines. Des apports excessifs de phosphore diminuent sa biodisponibilité dans le sol [35] et l'efficacité des mycorhizes associées aux racines [36], ainsi que sa teneur dans les organes végétaux, suite à une diminution de sa translocation vers les parties aériennes [34, 35, 37, 38].

3.3. Etude des corrélations

L'efficacité d'utilisation (EUP) est étroitement liée aux teneurs du phosphore assimilable et total dans le sol. Les relations sont négatives et significatives avec le phosphore assimilable, les coefficients sont de $-0,544^{***}$, $-0,514^{**}$ et $-0,506^{**}$ aux stades deux nœuds, floraison et maturité du blé. Par contre elles sont positives et significatives avec le phosphore total ($0,392^*$, $0,377^*$ et $0,409^*$) successivement pour les trois stades de la culture.

En ce qui concerne l'évolution du phosphore, la teneur en P assimilable est corrélée positivement et significativement avec les doses d'engrais phosphatés quels que soient les stades, deux nœuds ($0,585^{***}$), floraison ($0,593^{***}$) et maturité ($0,593^{***}$) du blé. Des corrélations significatives sont aussi observées entre les teneurs en phosphore total dans le sol et les sources d'engrais phosphatés apportées. Les coefficients de corrélation enregistrés sont de $0,617^{***}$ à deux nœuds, $0,652^{***}$ à la floraison et $0,649^{***}$ à maturité.

Des liaisons négatives sont notées entre le phosphore total et phosphore assimilable dans le sol quel que soient le stade, deux nœuds ($-0,418^*$), floraison ($-0,425^*$) et maturité ($-0,377^*$) du blé.

La relation inverse entre le phosphore total et le phosphore assimilable pourrait être expliqué en partie par le transfert du phosphore vers des formes non assimilables quand le temps de contact entre l'engrais apporté et les particules du sol augmentent dans les conditions de l'intervalle expérimental [39].

4. CONCLUSION

Dans les régions sahariennes algériennes, l'aridité du climat, la nature squelettique des sols, l'alcalinité du pH de la solution du sol et la présence de calcaire semblent constituer de véritables contraintes pour la croissance et le développement des cultures. Le recours à la fertilisation phosphatée pour corriger la déficience en cet élément en plus d'être coûteux et nuisible pour l'environnement, ne bénéficie pas totalement à la plante. Les apports de phosphore doivent donc tenir compte de la nature chimique des engrais et des doses appliquées d'une part, et de l'efficacité de son utilisation par la culture à mettre en place, d'autre part.

REFERENCES

- [1] Ghoname A., Shafeek M.R., 2005. - Growth and Productivity of Sweet Pepper (*Capsicum annum* L.) Grown in Plastic House as Affected by Organic, Mineral and Bio-N-Fertilisers. *J. Agro.* 4(4): 369-372.
- [2] Ragothama K.G., 1999. - Phosphate acquisition. *Annu. Rev. plant physiol. plant mol. Biol.*, 50: 665-693.
- [3] Hinsinger P., 2001. - Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, 237: 173-195.
- [4] Munns D.N., Mosse B., 1980. - Mineral nutrition of legume crops. In *Advances in legume Science* (Summerfield, R.J. and Bunting, A.H., eds). HMSO. London, UK. pp: 115-125.
- [5] Holford I.C.R., 1997. - Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Aust. J. Soil Res.*, 35 : 227-240.
- [6] Djadjaglo D., Richter C., 2008. - Efficacité de prélèvement du phosphore par les plantes *Sorghum bicolor* (L.) Moench et *Phaseolus vulgaris* L. *Agro solutions*, 19 : 45-50.
- [7] Basirat M., Malboodi M.A., Mousavi A., Asgharzadeh A., Samavat S., 2011. - Effects of phosphorus supply on growth, phosphate distribution and expression of transporter genes in tomato plants. *Australian journal of crop science*, 5(5): 537-543.
- [8] Sandaña P., Pinochet D., 2014. - Grain yield and phosphorus use efficiency of wheat and pea in a high yielding environment. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 14 (4): 973-986.

- [9] Li H., Smith S.E., Holloway R.E., Zhu Y., Smith F.A., 2006. - Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to phosphorus uptake by wheat grown in phosphorus-fixing soil even in the absence of positive growth responses. *New phytologist*, 172: 536-543.
- [10] Dakora F.D., Philips D.A., 2002. - Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and soil*, 254 : 35-47.
- [11] Office national de météorologie (ONM), 2011. - Données climatiques de la région d'El-Goléa.
- [12] USDA, 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkaline soils. Agri. Hand b. n°60. United states salinity laboratory, Riverside, C.A. 160p.
- [13] Boukhalfa-Deraoui N., Hanifi-Mekliche L., Mekliche A., 2015. - Effet de la nutrition phosphatée sur le rendement en grain et la concentration des grains en P, Mg²⁺ et K⁺ du blé. *Revue BioRessources*, 5 (1): 10-17.
- [14] Moll, R.H., Kamprath E.J., Jackson W.A., 1982. - Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization utilization. *Agronomy journal*, 74: 562-564.
- [15] Olsen S.R., Cole C.V., Watanab F.S. et Dean L.A., 1954. - Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA circular N°939, United States Department of Agriculture. Washington, DC., USA., 5-16.
- [16] Tilman D., Kenneth G., Cassman K.G., Pamela A., Matson P.A., Naylor R., Polasky S., 2002. - Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677.
- [17] Vance C.P., Uhde-Stone C., Allan D.L., 2003. - Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New physiologist*, 157: 423-447.
- [18] Hirel B., Le Goulis J., Ney B., Gallais A., 2007. - The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58: 2369-2387.
- [19] Fageria, V.D., Filho M.P.B., Moreira A., Guimarães C.M., 2009. - Foliar fertilization of crop plants. *J. Plant Nutr.*, 32: 1044-1064.
- [20] Watt M., Evans J.R., 2003. - Phosphorus acquisition from soil by white lupin (*Lupinus albus* L.) and soybean (*Glycine max* L.), species with contrasting root development. *Plant Soil*, 248: 271-283
- [21] Lynch J.P., 2007. - Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, 55: 493-512.
- [22] Gahoonia T.S., Care D., Nielsen N.E., 1997. - Root hairs and phosphorus acquisition of wheat and barley cultivars. *Plant and Soil*, 191: 181-188.
- [23] White P.J., Brown P.H., 2010. - Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of botany*, 105: 1073-1080.
- [24] Delgado A., Madrid A., Kassem S., Andreu L., del Campillo M.C., 2002. - Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant Soil*, 245: 277-286.
- [25] Bulut E., Aksoy A., 2008. - Impact of fertilizer usage on phosphorus loads to lake Uluabat. *Desalination*, 226 (3): 289-297.
- [26] Rubaek GH, Kjaergaard C., Glaesner N., Heckrath G., Magid J., 2010. - Adapting agricultural practice to minimize P leaching. In: International phosphorus workshop 6, 27 Sep-1 Oct 2010. Seville, Spain, p 176.
- [27] Timilsena Y.P., Adhikari R., Casey P., Muster T., Gill H., Adhikari B., 2015. - Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. *Journal of the science of food and agriculture*, 95 (6): 1131-1142.
- [28] Storia C., Berbecea A., Baghina N., Gaica I., Storia M., Radulov I., 2013. - Phosphorus dynamics on acidic grassland soil. *Res. J. Agr. Sci.*, 45(1) : 78-83.

- [29] Richardson A.E., Simpson R.J., 2011. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant physiology*, 156 (3): 989-996.
- [30] Fageria V.D., 2001. - Nutrient interactions in crop plants. *J. Plant Nutr.*, 24(8): 1269-1290.
- [31] Shenoy V.V., Kalagudi G.M., 2005. - Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. *Biotechnology advances*, 23: 501-513.
- [32] Naseri A.A., Hosseini Y., Moazed H., Abbasi F., Samani H.M.V., 2010. - Determining of soil phosphorus requirement with application of freundlich adsorption isotherm. *Asian J. Agri. Res.* 4 (4): 226-231.
- [33] Mousavi S.R. 2011. - Zinc in crop production an interaction with phosphorus. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, 5(9): 1503-1509.
- [34] Gao X., Grant C.A., 2012. - Cadmium and Zinc Concentration in Grain of Durum wheat in Relation to Phosphorus Fertilization, Crop Sequence and Tillage Management. *Applied and environmental soil scienc*, 10 pages.
- [35] Mousavi S.R., Galavi M., Rezaei M., 2012. - The interaction of zinc with other elements in plants: a review. *Int. J. Agri. Crop Sci.*, 4 (24): 1881-1884.
- [36] Monreal M.A., Grant C.A., Irvine R.B., Mohr R.M., McLaren D.L., Khakabazan M., 2011. - Crop management effect on arbuscular mycorrhize and root growth of flax. *Can. J. Plant Sci.*, 91 (2): 315-324.
- [37] Kaya C., Higgs D., 2001. - Growth enhancement by supplementary phosphorus and iron in tomato cultivars grown hydroponically at high zinc. *J. Plant Nutr.*, 24(2): 1861-1870.
- [38] Li H., Yang X., Luo A., 2001. - Ameliorating effect of potassium on iron toxicity in hybrid rice. *J. Plant Nutr.* 24 (12) : 1849-1860.
- [39] Fardeau J. C., 1993. Le devenir du phosphore dans le sol et dans les systèmes sol plante. *Perspectives agricoles*, 181 : 17-22.