

ZONES SEMI-ARIDES: REVISITER LA FERTILISATION PHOSPHATEE DES CEREALES.

Communication au 1er séminaire international
Problématiques agronomiques en régions arides et semi-arides
(SIAZA1). Batna du 28-29 au 30 octobre 2013.

BELAID Djamel.

L.E.G JEAN ROSTAND. Laboratoires de Sc. de la Vie et de
la Terre. Place G. Paquier. BP 60329 60634 CHANTILLY
CEDEX. FRANCE. djamel.belaid@ac-amiens.fr

Résumé: Les sols des zones semi-arides algériennes sont caractérisés par un fort pouvoir fixateur vis à vis du P_2O_5 . Aussi, le coefficient réel d'utilisation d'un engrais phosphaté, tel le superphosphate, diminue rapidement selon la durée de contact avec le sol. L'objectif de ce travail est d'envisager les moyens de réduire ces risques d'insolubilisation. La méthode utilisée a consisté en des essais durant trois années à Batna afin de déterminer la réponse du blé dur aux engrais phosphatés. Les résultats obtenus amènent à considérer les formes d'engrais phosphatés les plus adaptées ainsi que leurs modalités d'apport. Par ailleurs, en fonction de différents essais sont examinés des seuils d'apports de P_2O_5 . Il apparaît que la dose d'engrais phosphatés à apporter est spécifique de chaque type de sol. La détermination des doses adéquates passe donc par l'établissement de références régionales (essais en stations, enquêtes sur des réseaux de parcelles agriculteurs). L'acide phosphorique apporté par pulvérisation foliaire s'avère être également un complément intéressant de la fertilisation au sol. Des apports de boues résiduaires contribuent à une meilleure phytodisponibilité du P. Par ailleurs, le semis direct, en permettant une plus longue conservation de l'humidité du sol assure une meilleure assimilation du P du sol malgré une moindre répartition de cet élément en profondeur.

Mots clés: phosphore, phytodisponibilité, doses, boues, non-labour.

Le phosphore (P) est primordial pour la croissance des plantes même s'il ne représente que 0,2% de leur matière sèche. Cet élément est l'un des plus difficile à acquérir pour les plantes. Il est souvent le facteur minéral limitant des cultures; des pertes de 5 à 15% ne sont pas rares voire beaucoup plus en sols calcaires (HINSINGER, 2001). Aussi, appréhender comment les plantes maintiennent leur homéostasie en P et contournent les carences du sol est un défi pour l'agriculture en milieu semi-aride. L'absorption du P est tributaire d'un niveau minimum d'humidité du sol. La majorité des racines des espèces cultivées sont associées à des champignons (mycorhizes) qui permettent une meilleure absorption. Le seul facteur susceptible de limiter la nutrition P est le flux FARDEAU et al., (1991). Aussi la présence d'eau dans le sol est un facteur prioritaire pour assurer une nutrition P satisfaisante. Peu d'études concernent la richesse en P du sol des zones semi-arides algériennes. Le P organique est souvent peu présent (BENHASSINE et al., 2008).

LA RETROGRADATION DU PHOSPHORE EN SOL CALCAIRE.

Le P améliore la fertilité des épis de blé dur BELAID (1987), ATI (2010) et du poids du grain BELAID (1987), AISSA et MHIRI (2002). Le fort pouvoir fixateur des sols calcaires entraîne une rapide rétrogradation du P (HALITIM 1996). Selon FARDEAU (2005), le coefficient réel d'utilisation (CRU) du tri-superphosphate (TSP), un à deux mois après épandage, est de 15 à 20% et de moins de 2% après un an dans un sol limoneux. Dans le cas d'un apport de TSP sur labour de

jachère, on peut s'attendre à de très faibles CRU.

Mois	Sol de limon (pH 6,5)	Sol argilo-calcaire (pH 8)
0	20	12
2	15	4
4	8	2
8	5	0,5
12	2	0,1

Tableau . Evolution du CRU du TSP selon le type de sol (FARDEAU 2005).

Trop souvent les préconisations ont été d'épandre les engrais P lors des labours de jachère comme « fumure de fonds ». Actuellement, il est préconisé d'apporter le P au plus près des besoins des plantes (ITGC 2010).

OPTIMISATION DES APPORTS FERTILISANTS.

L'optimisation de la fertilisation P en milieu semi-aride nécessite de prendre en considération les contraintes liées aux risques de rétrogradation. Différentes stratégies sont possibles.

A-Teneurs de P, dates d'apports des engrais.

Les relations établies entre rendement et teneur du sol en P assimilable sont propres à chaque type de sol. Afin d'obtenir le rendement optimal de blé la teneur du sol doit être de 8 mg/kg de P (Olsen) en sol limon-argileux, 13 mg/kg en sol argilo-calcaire et de 24 mg/kg en sol sableux (MOREL, 1992). La détermination de ces seuils passe par la réalisation d'essais en stations mais aussi par des enquêtes culture associant collecte des rendements obtenus et teneur en P du sol (BELAID, 1993). Il est intéressant d'apporter le P assez tôt en localisé (AISSA 1992). Un essai d'Arvalis, sur un sol très pauvre en P (P Olsen = 10.6 mg /kg), montre qu'un apport de 30 kg de P par ha avant le semis permet un gain de 10 % de rendement (VALE, 2011).

B-Concernant les modes d'apport.

Les modes d'apport du P sont variés: localisation de l'engrais, combinaison de l'engrais avec d'autres fertilisants ou pulvérisation foliaire d'un engrais liquide. Un apport localisé de P permet une prolifération des racines HINSINGER (2001). La demande en P est la plus forte chez les jeunes plants. Aussi, c'est très tôt que les carences en P peuvent s'installer. La forme ammoniacale du Di-Ammonium de P (DAP) possède une action acidifiante sur le sol; elle permet une meilleur bio-disponibilité en P (MIHOUB 2012). Le rendement du blé dur est amélioré (ITGC 2007). Les effets acidifiants du sulfate d'ammonium et du sulfate de potassium sont observés sur un essai de l'ITGC au Khroubs en 2007. Un effet semblable à celui du DAP a été observé avec le TSP utilisé simultanément avec du sulfazote juste avant semis (ITGC, 2010).

	15 jours	30 jours	45 jours
Témoin	64 (8,6)	75 (8,55)	84 (8,44)
MAP	122 (7,84)	145 (7,91)	121 (7,81)
SSP	104 (8,12)	107 (8,14)	102 (8,13)

Tableau: Evolution du taux de P (ppm Olsen) et du pH du sol suite à l'apport de divers types d'engrais P (MIHOUB 2012).

La diminution de pH de la rhizosphère induit par l'apport d'azote sous forme d'ions NH_4^+ exerce une forte influence sur la biodisponibilité du P du sol. La concentration de P dans les parties aériennes du soja augmente linéairement avec la baisse du pH (RILEY et BARBER 1971). Le P combiné à l'azote ammoniacal augmente significativement la croissance des racines du maïs et l'utilisation du P à un stade précoce par stimulation de la prolifération des racines et l'acidification de la

rhizosphère (JING et al., 2010). Le ray-grass fertilisé avec NH_4^+ prélève plus de P que lorsqu'il reçoit NO_3^- (GAHOONIA et al. 1992). Lorsque la racine absorbe un ion ammonium NH_4^+ , elle rejette un ion hydrogène (H^+); le pH baisse. Quand elle absorbe un ion nitrate (NO_3^-), elle absorbe un ion hydroxyle (OH^-); le pH augmente. Un effet acidifiant du soufre est également observé. L'acidification de la rhizosphère peut être de 2 à 3 unité de pH ce qui permet de dissoudre le P modérément assimilable du sol (MARSCHNER, 1995). L'orge réagit particulièrement bien à un apport de P et d'oligoéléments par voie foliaire (MECKLICHE et al., 2011). AISSA et MHIRI (2002) observent en conditions semi-arides, l'effet significatif de 2 pulvérisations foliaires de sulfate de potassium sur blé dur. La fertilisation foliaire vient en complément d'une fertilisation au sol et ne peut en aucun cas se substituer à elle (VALE 2011).

C-Concernant les amendements organiques.

Un apport de boues résiduaires sur blé dur permet le passage de 14 qx/ha à 34 qx/ha (ATI (2010). La présence des matières organiques de ces boues accroît la biodisponibilité du P (THIEN et MYERS, 1992). La biodisponibilité du P présent dans les boues résiduaires est fonction du type de traitement industriel des eaux FARDEAU (2000). L'apport de boues résiduaires se traduit par une meilleure alimentation hydrique et une augmentation des teneurs en P de la plante (ATI, 2010). En s'inspirant des travaux sur les phospho-composts (HELLAL et al., 2012), on peut se demander quel pourrait être l'effet de composts enrichis en TSP. La production d'acides organiques tels l'acide citrique, oxalique, tartrique durant le compostage peuvent entraîner même la dissolution du P de phosphates naturels (CHIEN, MENON 1995).

ESPECES, VARIETES ET PRATIQUES CULTURALES.

A-Concernant les espèces et les variétés.

Lupinus pilosus acidifie la rhizosphère (PEARSE et al., 2006) cette faculté serait liée à la capacité de certaines plantes à mieux utiliser le P du sol. Le pois-chiche, le lupin blanc et la féverole présentent également une forte capacité à utiliser le P du sol (BOLLAND et GILKS 1990). GAHOONIA et NIELSEN (1997) notent l'abondance des poils absorbants de la variété d'orge Salka et sa faculté à prélever plus de P. Chez le riz, l'insertion du gène PSTOL1 améliore le rendement dans des sol pauvres en P. PSTOL1 agit comme un activateur de la croissance racinaire précoce, permettant ainsi aux plantes d'acquérir plus de P (GAMUYAO et al., 2012). Les hyphes des champignons associés aux racines sont environ 100 plus longs que les poils absorbants (JAVOT et al., 2007).

B-Rotations et cultures associées.

Les légumineuses montrent un meilleur prélèvement du P du sol que le blé (BOLLAND et al., 1999). La croissance et les prélèvements de P d'un maïs en rotation avec des légumineuses sont améliorés (KAMH et al., 1999). Une rotation légumineuse-céréale montre une amélioration de la nutrition P des céréales (HORST et al., 1999). La vesce permet d'améliorer les prélèvements de P du sol au bénéfice de l'avoine (MUZANGWAA et al., 2012). L'association blé-pois améliore la production des grains et le taux en protéines (BEDOUSSAC et JUSTES 2010). Associé au pois chiche, le blé montre une meilleure croissance ainsi qu'une meilleure nutrition en P qui provient de la capacité du pois-chiche à mobiliser le P organique du sol (LI et al., 2003) grâce notamment à la production de phosphatase acide (LI et al., 2004). L'association blé-lupin blanc améliore la croissance et la nutrition P de la céréale GARDNER et BOUNDY (1983), SUONG et al., (2005). L'association féverole-maïs améliore le rendement du maïs (LI et al., 2007). La meilleure utilisation du P du sol par les cultures associées est observée en cas de faibles niveaux de

fertilisation P (LI et al., 2007). Les mécanismes des plantes sont multiples: production accrue et sécrétion de phosphatases, exudation d'acides organiques, meilleur développement des racines, modification de leur architecture, augmentation de la surface racinaire par développement des poils absorbants, surexpression de transporteurs membranaires de P ou stimulation de bactéries et de champignons (HISINGER, 2001).

En conclusion, afin d'optimiser l'emploi des engrais P en zone semi-aride, il s'agit de maximiser l'acquisition de cet élément par les plantes. Ainsi, différentes stratégies existent: (i) détermination des doses de P par l'établissement de références régionales selon le type de sols (réalisation d'essais en station et d'enquêtes cultures), (ii) apports de P au plus près des besoins de la plante, (iii) apports d'amendements organiques et notamment les boues résiduaires (apport de P et contribution à une meilleure disponibilité du P), (iv) recours aux engrais « acidifiants ». A moyen terme, il s'agit d'étudier et de développer les cultures associées. La nutrition P des céréales en zones semi-aride a été longtemps cantonnée aux seuls apports de TSP. Des espèces adaptées aux milieux semi-arides telles lupin, féverole ou pois chiche présentent des mécanismes originaux de prélèvement du P. Dorénavant, il s'agit de tenir compte de la réaction des espèces et de leurs éco-types aux apports d'engrais combinés, aux mécanismes de facilitation entre espèces (cultures associées) et aux mécanismes intrinsèques de la rhizosphère (dont la mycorhization).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- Ati, S; 2010. Etude de l'effet des boues résiduaires sur sol cultivé: dynamique du P et son utilisation en zone semi-aride. Thèse. Mag. Université Batna. 62 p.
- Aissa, A.D; MHIRI A., 2002 Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie Cahiers Agricultures. Vol 11 (6), 391-7. Notes de recherche.
- Aissa, A.D; 1992. Effet de la forme de l'engrais phosphaté et de sa méthode d'application sur le rendement en grain du blé dur. Revue INAT., 2 : 145-52.
- Bates, TR; Lynch, JP; 2000. *The efficiency of Arabidopsis thaliana (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition.* In American J. of Botany. 87: 964-970.
- Bedoussac, L; Justes, E; 2010. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. Plant Soil 330: 19-35.
- Belaid, D; 1987. Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (Hedba3) en conditions de déficit hydrique. Thèse. Mag. I.N.A El Harrach. 108p.
- Belaid, D; 1993. Enquête culture betteraves. Chambre d'Agriculture de l'Oise. ODASE 4p.
- Ben Hassine H; Aloui T; Gallali, T; Bouzid, T; EL Amri, S; Ben Hassen, R; 2008. Evaluation quantitative et rôles de la matière organique dans les sols cultivés en zones sub-humides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosolutions. Vol. 19 (2), 1-17.*
- Bolland, MDA; Gilkes, RJ; 1990. Rock phosphates are not effective fertilizers in Western Australian soils: a review of one hundred years of research. *Ferti. Res., 22 : 79-95.*
- Bolland, MDA; Siddique, KHM; Loss, SP; Baker, MJ; 1999. Comparing responses of grain legumes, wheat and canola to applications of SP. *Nutr. Cycl. Agroecosystems 53: 157-175*
- Chien, S.H; Menon, R.G; 1995. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fert. Res., 41: 227-234.*
- Fardeau, JC; Morel, C; Boniface, R; 1991. Cinétiques de transfert des ions phosphate du sol vers la solution du sol : paramètres caractéristiques. *Agronomie 11, 787-797.*
- Fardeau, JC; 2000. Estimation de la biodisponibilité des éléments nutritifs contenus dans les produits résiduaires organiques. *Ingénieries 21, 15-28.*
- Fardeau, JC; 2005. Dynamique du phosphore et du potassium dans le système sol-plante. Dans «Fertilisation P-K : raisonner pour agir », ARVALIS Institut du Végétal, p. 12-19

- Gahoonia, T.S; Nielsen, N.E; 1997. Variation in root hairs of barley cultivars doubled soil phosphorus uptake. *Euphytica* 12-1997, Vol 98 (3), pp 177-182
- Gahoonia, T.S; Claassen, N; Jungk, A; 1992. Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. *Plant Soil* 140, 241–248
- Gardner, WK; BOUNDY, KA; 1983. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. IV. The effect of interplanting wheat and white lupin on the growth and mineral composition of the two species. *Plant Soil* 70: 391–402.
- Gamuyao, R; Hyoun Chin, J; Pariasca-anaka, J; Pesaresi, P; Catausan, S; Dalid, C; Slamet-Loedin, I; Tecson-Mendoza, EM., Matthias, W; Heuer, S; 2012. The protein kinase Pstol1 from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. *Nature* 488, 535–539
- Halitim, A; 1986 Communication personnelle.
- Hellal, F.A; Nagumo, F; Zewainy, R.M; 2012. Influence of Phospho-Composting on Enhancing Phosphorus Solubility from Inactive Rock Phosphate *Australian J. of Basic and Applied Sci.*, 6(5): 268-276.
- Horst, WJ; Kamh, M; Jibrin, JM; Chude, VO; 2001. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant Soil*. 237: 211-223.
- Hinsinger, P; 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237:173-195
- Hodges, T; Kanemasu, E T; 1977. Modeling daily dry matter production of winter wheat. *Agronomy J.* 69 : 974-978.
- Itgc, 2007. La fertilisation phosphatée. Site internet de l'ITGC.
- Itgc, 2010. Essais de fertilisation combinée azotée et phosphatée. Site internet de l'ITGC.
- Javot, H; Pumplin, N; Harrison, MJ; 2007. Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: transport properties and regulatory roles. *Plant Cell Environ.* 30(3):310-22.
- Jing, J; Rui, Y; Zhang, F; Rengel, Z; Shen, J; 2010. Localized application of phosphorus and ammonium improves growth of maize seedlings by stimulating root proliferation and rhizosphere acidification. *Field Crops Research*. 119, 355–364.
- Li, L; Tang, C; Rengel, Z; Zhang, F; 2003. Chickpea facilitates phosphorus uptake by intercropped wheat from an organic phosphorus source. *Plant Soil* 248: 297–303.
- Li, L; Li, SM; Sun, JH; Zhou, LL; Bao, XG; Zhang, HG; Zhang, FS; 2007. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proc Natl Acad Sci USA* 104: 11192–11196
- Li, SM; Li, L; Zhang, FS; Tang, C; 2004. Acid phosphatase role in chickpea/maize intercropping. *Ann Bot (Lond)* 94: 297–303.
- Kamh, M; Horst, WJ; Amer, F; Mostafa, H; Maier, P; 1999. Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. *Plant and Soil* 211, 19-27.
- Marschner, H; 1995 *Mineral Nutrition of Higher Plants, Ed 2. Ac. Press, London, p 889*
- Mekliche, A; Dahmani, S; Habbes, S; Hanifi-Mekliche, L; 2001. Optimisation de la production d'orge en semis direct dans la région de Meskiana (Oum El Bouaghi). *Options Méditerranéennes : Série A.* 96: 147-151
- Mihoub, A; 2012 *Dynamique du phosphore dans le système sol-plante en conditions pédo-climatiques sahariennes. Thèse. Mag. Université Ouargla.* 101p.
- Morel, C; Plenchette, C; Fardeau, J.C; 1992. La fertilisation phosphatée raisonnée de la culture de blé. *Agronomie* 12 :565-579.
- Mahimairaja, S; Bolan, N.S; Hedley, M.J; 1994. Dissolution of P rock during the composting of poultry manure: an incubation experiment. *Fert. Res.*, Vol 40 (2): 93-104.
- Muzangwaa, L; Chiduzab, C; Muchaonyerwac, P; 2012. Biomass production, weed suppression, nitrogen and phosphorus uptake in white oat and grazing vetch cover crop bicultures under an irrigated no-till system. *S. African J. Plant Soil.* Vol 29: 3-4, 135-141.
- Pearse, SJ; Veneklass, EJ; Cawthray, GR; Bolland, MDA; Lambers, H; 2006. Carboxylate release of wheat, canola and 11 grain legume species as affected by phosphorus status. *Plant and Soil* 288: 127-139.
- Rliey, D; Barbers, SA; 1971. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root-soil interface. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35,301–306
- Stuart, J; Pearse, EJ; Veneklaas, Greg R. Cawthray, Mike Bolland D.A., Lambers H2006 Carboxylate release of wheat, canola and 11 grain legume species as affected by phosphorus status. *Plant Soil*. 288:127–139
- Suong, TT; Hutson, CJ; SCHULLER KA., 2005 Mixed culture of wheat with white lupin improves the growth and phosphorus nutrition of the wheat. *Plant and Soil*. 272:143–151.
- THIEN SJ., MYERS R., 1992. Determination of bioavailable phosphorus in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56 :p. 814-818
- VALE M., 2011 Perspectives d'évolution pour le raisonnement de la fertilisation phosphatée SAS Laboratoire –AGRO-Systèmes, mvale@saslaboratoire.com