STRATEGIE POUR L'AMELIORATION DE LA FERTILISATION PHOSPHATEE DANS LES SOLS CALCAIRES

MIHOUB A.[1,2] **DADI BOUHOUN M.**[2]

[1] *Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Touggourt 30200, Algérie*
[2] *Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi Arides (ECO-SYS), Ouargla 30000, Algérie*
adilmihoub15@yahoo.com

Résumé : L'étude réalisée sur la biodisponibilité du phosphore (P) dans les sols calcaires et son amélioration a pour objectif de mieux pratiquer la fertilisation phosphatée et de prédire l'exigence phosphatée des cultures. Une évaluation fiable de la biodisponibilité du phosphore passe en premier lieu par la quantification des différents paramètres régissant la sorption du phosphore. Dans ce contexte, notre objectif général, est de faire une analyse de l'effet de la présence du calcaire sur la limitation en phosphore, et cela afin d'augmenter la productivité des sols cultivés et de gérer la fertilité des sols en diminuant l'utilisation des intrants très coûteux en engrais P.
Les résultats ont montrés que la fertilisation phosphatée de ces sols pourrait mieux être rationalisée selon leurs teneurs en calcaire, et à travers les isothermes de sorption employés (Langmuir et Freundlich). La sorption de phosphore et ses indices descriptifs ainsi que les exigences phosphoriques des sols ont été déterminées. Les résultats de ce travail serviront à limiter l'action du calcaire sur la rétrogradation du phosphore et d'optimiser l'assimilation de ce dernier dans les sols calcaires cultivés. Tous cela, dans le but d'assurer la rentabilité des cultures par une meilleure conduite culturale permettant une valorisation optimale des ressources hydro-édaphiques et des apports fertilisants de type phosphaté.

Mots clés : Phosphore, dynamique, fertilisation, sol calcaire, Algérie.

إستراتيجية لمراجعة وتحسين التسميد الفوسفوري في الترب الكلسيــة

ملخص : تهدف الدراسة التي أجريت بشأن توافر وجاهزية الفوسفور في التربة الكلسية لهدف تحسين ممارسة التسميد الفوسفوري والتنبؤ بالاحتياجات الفوسفورية للمحاصيل . وفي هذا السياق، يتمثل هدفنا العام في دراسة تأثير وجود كربونات الكالسيوم بكميات مرتفعة في التربة على الحد من توافر و جاهزية عنصر الفوسفور ، وذلك من أجل زيادة إنتاجيه الترب الكلسية المزروعة وإدارة خصوبة التربة عن طريق ترشيد إستخدام الأسمدة المكلفة للغاية منها الفوسفورية. وأظهرت النتائج أن التسميد الفوسفوري لهذه الأنواع من الترب يمكن أن يرتكز بشكل أفضل على محتواها من مادة كربونات الكالسيوم، و من خلال دراسة إمتزاز الفوسفور عن طريق معادلات كل من لانكماير و فرندلخ تمكنا من وصف عملية الإمتزاز الفوسفوري مع تحديد خصائصها و كذلك تحديد المتطلبات الفوسفورية للتربة. تستخدم نتائج هذا البحث للحد من تأثيركربونات الكالسيوم على توافر الفوسفور ولتحسين إمتصاص هذا الأخير في التربة الكلسية المزروعة. كل ذلك، بهدف ضمان مردودية جيدة للأراضي المزروعة من خلال إدارة مزرعية أفضل مما تسمح بالإستغلال الأمثل للموارد المائية و التربة بالإضافة إلى حوكمة إستعمال الأسمدة الفوسفورية.

كلمات دالة : فسفور، حركية، تسميــد، تربة كلسية، الجزائر

1. INTRODUCTION

Dans beaucoup de systèmes agricoles, le phosphore est un aliment minéral le plus limitant pour les plantes [1]. Le fait que le P soit un élément limitant et lié d'une part, à sa faible teneur dans les sols et, d'autre part, à sa très forte rétention par les constituants du sol. Ainsi, les ressources minérales en P peuvent être importantes mais peu biodisponibles dans les sols présentant des pouvoirs fixateurs très élevés. L'utilisation de fertilisants phosphatés permet d'augmenter les stocks de P dans les sols notamment les fractions biodisponibles et de faire face aux problèmes de carence des plantes.

En effet, le calcaire est considéré parmi les principaux facteurs impliqués dans la dynamique des éléments nutritifs essentiels pour les plantes, dont notamment le phosphore. La dynamique du phosphore dans les sols met en jeu les réactions d'adsorption, désorption, fixation, précipitation et dissolution.

Dans certaines régions arides, les sols sont généralement riches en calcaire. Les sols calcaires couvrent plus de 30 % de la terre, leurs teneurs en $CaCo_3$ peuvent atteindre jusqu'à

95 % [2]. Un sol calcaire peut être défini comme étant un sol contenant du $CaCo_3$ libre en quantité suffisante, existant en carbonate de calcium ou de magnésium [3]. Ces types de sol sont très fréquents dans les régions méditerranéennes et désertiques. Notamment en Algérie, où on les rencontre aussi bien dans les régions semi-aride et arides [4]. La présence du calcaire en quantités importantes, dans le sol, a une influence défavorable sur les propriétés physicochimiques, notamment sur la disponibilité et l'absorption des éléments minéraux nécessaires pour la vie végétale y compris le phosphore [5].

Les pratiques de la fertilisation phosphatée ainsi que l'évaluation des besoins en P dans les sols riches en calcaire restent évaluées exclusivement via l'utilisation de méthodes chimiques conventionnelles. La gestion de la fertilité phosphatée des sols calcaires doivent-elles s'orienter à des pratiques agricoles permettant de limiter au maximum la forte adsorption du phosphore et optimiser l'acquisition de phosphore à partir du sol.

Le présent travail, est une partie d'un programme de recherche sur la fertilisation phosphatée du blé dur en zones sahariennes mené sur plusieurs campagnes agricoles [6,5,7,8,9,10 et 11]. L'objectif général de ce travail a alors été de proposer une telle stratégie afin de revisiter les pratiques de la fertilisation phosphatée pratiquée dans les sols riches en calcaires.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Sol étudié

En général, le sol saharien ne constitue qu'un simple support à toute activité agricole. Un agriculteur au Sahara est appelé à utiliser beaucoup plus d'engrais qu'un agriculteur dans les régions du Nord du pays. Les sols calcaires au sud algérien sont concentrés surtout dans les sols alluvionnaires [12].

Des échantillons de sol ont été prélevés sur la couche superficielle (à 0-30 cm de profondeur), appartenant à un type de sol Psamment à Oued Righ (sud de l'Algérie) avec une classe de texture loamy-sand (Tableau 1), le site se localise à 33°29′47″ N, 5°39′39″ E (à droite de la route qui mène Djamaa à M'Rara).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimique du sol étudié

Propriétés	***Unité***	***Valeurs***
Sable	%	81.3
Limon	%	13.3
Argile	%	5.4
U.S.D.A texture	—	Loamy sand
U.S.D.A soil taxonomy (Suborder)	—	Psamment
$pH_{water\ (1:2.5)}$	—	7.88
$E.C_{(1:5)}$	$dS\ m^{-1}$	1.63
$CaCO_3$ totale	%	4
M.O	%	0.87
P-assimilable	$mg\ kg^{-1}$	1.48

2.2. Matériel d'essai utilisé

Le sol étudié est le sol issu de site choisi évoqué précédemment. Le sol est amendé en calcaire et en phosphore :

- D'une manière générale, la majorité des sols cultivés en Algérie ont une teneur en calcaire plus ou moins appréciable. De ce fait, afin de ressentir le comportement du phosphore dans le sol en fonction de sa teneur en calcaire, des apports en calcaire ont été employés. Le calcaire apporté est à l'origine d'un minerai de calcaire. Trois

niveaux de doses du calcaire ont été employés à savoir : Traitements sans apport (témoin), des traitements à 25 % de $CaCO_3$ (traitements modérément calcaires) et 50% de CaCo3 (traitements fortement calcaires).

- Pour cette expérimentation le KH_2PO4 (Hydrogéno-phosphate de potassium) est pris comme source de phosphore.

2.3. Approche méthodologique

A l'heure actuelle, les pratiques de la fertilisation phosphatée ainsi que l'évaluation de la biodisponibilité du P dans les sols riches en calcaire restent évaluées exclusivement via l'utilisation de méthodes chimiques dont il n'y a aucune information sur les différents paramètres régissant la sorption (adsorption et précipitation) des ions phosphates, ainsi que sur les besoins en phosphore pour un rendement optimal des cultures. Or, nous venons de voir que ces méthodes sont approximatives et qu'une approche mécaniste serait plus appropriée intégrant mieux les processus écologiques, et favorisant à la fois une production de qualité et le maintien de la productivité des sols sur le long terme. Cela implique notamment de développer les solutions pour avoir une meilleure fertilisation de productions agricoles. Ce constat soulève l'objectif de l'étude qui vise à trouver les relations qui peuvent exister entre le niveau de calcaire et la capacité d'adsorption du phosphore dans les sols de l'Oued Righ et leurs effets sur le phosphore disponible. Des expérimentations au laboratoire étaient conduites sur les deux types de sol sélectionnés pour atteindre les objectifs suivants :

- Modélisation de la sorption du phosphore dans les sols calcaires et ses indices descriptifs ;
- Caractérisation des indices de la sorption du phosphore : une approche pour prédire les besoins en phosphore des sols calcaires ;
- Développer des relations entre les niveaux de calcaire des sols et les besoins en phosphore calculées afin de pouvoir calculer les apports phosphatés à n'importe quel niveau de calcaire dans le sol.

L'expérimentation a nécessité deux étapes. La première est l'incubation des échantillons des sols et la deuxième consiste à étudier la sorption de phosphore :

- *Expérimentation d'incubation :* les échantillons des sols, séchés à l'air libre sont bien mélangés avec le calcaire ($CaCO_3$) ; trois traitements y compris les témoins (sol sans amendement de $CaCO_3$), S-25 (sol avec 25 % de $CaCO_3$) et S-50, (sol avec 50 % de $CaCO_3$) ont été développés. Un kilo de chaque traitement a été pris dans des pots en plastique et mouillé avec de l'eau distillée pour atteindre la capacité au champ et équilibré pendant 15 jours dans l'obscurité à 25°C. Tous les traitements sont maintenus à 80 % de leurs capacités au champ tout au long de l'expérimentation par des apports d'eau. À la fin de l'incubation, les traitements ont été mélangés, séchés et passés à travers un tamis de 2 mm et stockés dans des bouteilles en plastique pour l'utilisation dans les études d'adsorption.
- *Etude de la sorption de phosphore :* L'adsorption du phosphore dans le sol est assez complexe et ne peut pas s'expliquer par une simple et unique réaction. L'adsorption du phosphore aux sols étudiés est mieux décrite par l'isotherme de sorption. Pour établir ces isothermes d'adsorption, le sol (1 mm) est mis en suspension dans une solution de $CaCl_2$ 0.01M contenant du phosphore sous forme de KH_2PO_4 à des concentrations variant entre 0 et 100 µg P mL^{-1}. après une semaine d'incubation, les suspensions sont filtrées et dosées en phosphore par colorimétrie en présence du mélange sulpho-molybdique. Les quantités de phosphore retenues par les sols correspondent à la différence des concentrations en P des solutions initiales et à l'équilibre. Un bon établissement des isothermes d'adsorption va nous permettre de (1) quantifier la capacité d'adsorption de phosphore par les sols, (2)

estimer les besoins phosphoriques des sols et des cultures, (3) quantifier l'effet résiduel des engrais phosphatés.

2.4. Paramètres étudiés

A partir de l'étude de la sorption de phosphore, nous estimons la quantité de phosphore absorbée pour les différents traitements et modulée selon Langmuir et Freundlich, comme suit :

- La quantité de phosphore adsorbée (Q) a été calculée par l'équation suivante :

$$Q = (V \times \Delta C)/M \text{ ------ } (1)$$

Où : Q = Quantité adsorbée (µg g^{-1}), ΔC = Différence entre la concentration initiale et finale (à l'équilibre) de phosphate dans le surnageant (mg P L^{-1}), V = Volume de la solution d'équilibre (40 mL), M = Masse du sol (4 g). La mesure a été faite en quatre répétitions de mesure, dont les moyens ont été utilisés pour les calculs prochains. Les données obtenues par cette expérience ont été modulée en utilisant le formalisme de Freundlich.

- Modèle de Langmuir

$$C/X = C/X_{max} + 1/(k \times X_{max}) \text{ ------ } (2)$$

Où : C = Concentration de phosphore dans la solution à l'équilibre (mg P L^{-1}), S = mg of P adsorbé (mg P kg^{-1}), k = Constante reliée à l'énergie de liaison (mLµg-l de phosphore), et où X_{max} = Capacité maximale d'adsorption de Langmuir (µg g^{-1} de phosphore). Les différentes constantes sont obtenues par le calcul de la pente de l'équation ($1/X_{max}$) et de l'ordonnée à l'origine (1/kb) dans la représentation C/X en fonction de C.

- Modèle de Freundlich

$$X = a \times C^n \text{ ------ } (3)$$

Où : X = Quantité de phosphore adsorbé par gramme de sol (µg P g^{-1}de sol), C = Concentration de P dans la solution de l'équilibre (mg L^{-1}), (a) = Capacité de sorption (µg g^{-1}), et n = Energie de sorption de phosphate (mL g-1). Les paramètres (a) et (n) ont été estimés par la régression de la forme logarithmique des données obtenues par l'isotherme de sorption. Le paramètre de Freundlich a été employé pour être un paramètre pratiquement utile en récapitulant les propriétés d'adsorption de sols par rapport à plusieurs concentrations d'équilibre. Le Langmuir a ses mérites à la basse concentration de P et il est justifiable pour employer le paramètre de Langmuir KX_{max} pour caractériser le sol seulement à de basses intensités de P. Puisque les sols dans cette étude étaient enclins à la fixation élevée de P, donc, les deux modèles de Freundlich et celle de Langmuir ont été employés pour calculer les exigences externes en phosphore (EPR). Plusieurs études ont prouvé que, la quantité de P en équilibre avec 0,2 mg de P L^{-1} ($EPR_{0.2}$) a montré qu'est le seuil optimum pour le développement de la plupart des cultures [13,14 et 15].

Dans notre cas, le calcul des $EPR_{0.2}$ pour atteindre le niveau de 0,2 mg de P L^{-1} dans la solution du sol est fait en utilisant dans le cas du modèle de Freundlich, la version linéaire comme suit :

$$EPR_{0.2} = 10^{logX} \text{ ------ } (4)$$

Où : log X = log a + n log C ; C = Concentration désirée en P dans la solution du sol (0,2 mg de P L^{-1}). Quant au deuxième modèle, le calcul des $EPR_{0.2}$ ont été déterminés en substituant la concentration désirée (0,2 mg de P L^{-1}) dans les équations de Langmuir [16].

$$EPR_{0.2} = (X_{max} \times k \times C)/(1 + (k \times C)) \text{ ------ } (5)$$

Où : C = Concentration désirée en P dans la solution du sol (0,2 mg de P L^{-1}). k = Constante reliée à l'énergie de liaison (mL μg^{-1} de phosphore), et où X_{max} = Capacité maximale d'adsorption de Langmuir (µg de P g^{-1} sol).

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Modélisation de l'adsorption du phosphore dans le sol

Les quantités de phosphore retenues par les différents types sols (X en mg P kg^{-1} de sol) correspondent aux différences des concentrations en P des solutions initiales (Cpi en mg L^{-1}) et après une semaine avec une agitation quotidienne de 2 heures (Cpe en mg L^{-1}). On a déterminé les isothermes d'adsorption de phosphate des sols étudiés (Fig. 1).

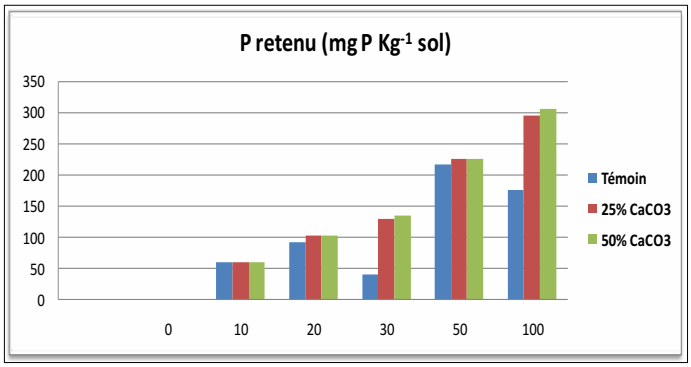

Figure 1. Rétention du phosphore par le sol.

Les isothermes d'adsorption de phosphate de deux types de sols ont été réalisées le tracer des concentrations du phosphate à l'équilibre contre les quantités de phosphate adsorbé. D'après les données obtenues, la quantité du P retenu ainsi que la concentration du P dans la solution à l'équilibre ont été augmentés régulièrement avec l'accroissement de la dose du P qu'on a apportée. Les isothermes de rétention du P par les sols étudiés présentent un aspect hyperbolique, dont les quantités du P retenu augmentent avec la teneur des sols en $CaCO_3$. Cette tendance pourrait être expliquée par des réactions d'adsorption et de précipitation qui auront lieu suite à l'addition du calcaire aux sols. La rétention du P par les sols est dominée par le mécanisme d'adsorption pour les Cpi inférieures à 10^{-3} M (31 mg P L^{-1}) et que pour des Cpi supérieures à cette valeur, il y a une précipitation [17]. L'affinité de rétention du P par les sols est très élevée pour les faibles Cpi dont plus de 90% de P en solution est retenu par les sols. En effet, la quantité du P restant en solution après l'équilibre a diminué sous l'effet du calcaire apporté. Cela signifie que les sols contenant plus de calcaire ont une grande affinité à retenir le phosphore apporté.

- ***Modèle de Langmuir***

Quand les données de la sorption tracés dans l'isotherme d'adsorption de Langmuir en prenant C/X contre C (Fig. 2), a montré un bon ajustement. La pente des équations a été trouvée plus moins de 0,01. Les capacités maximales d'adsorption du P aux sols ont augmenté régulièrement avec la teneur des sols en calcaire total (Fig. 3).

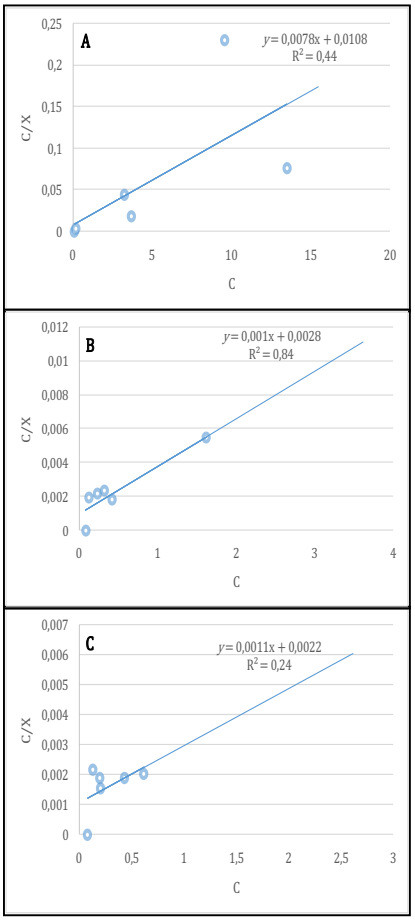

Figure 2. Isothermes de Langmuir pour le sol étudié. A, B et C représentent : Sol sans amendement calcique, sol avec 25% $CaCO_3$ et sol avec 50% $CaCO_3$, respectivement.

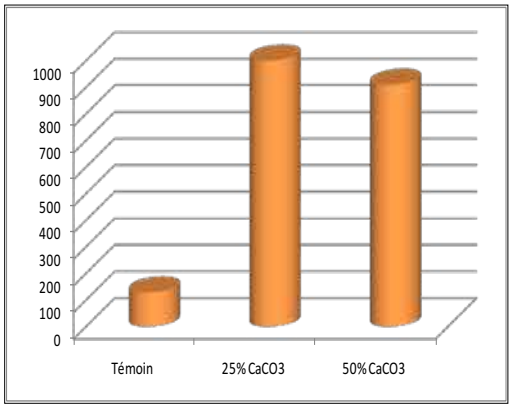

Figure 3. Capacité maximale d'adsorption.

- ***Modèle de Freundlich***

Les tracés des isothermes d'adsorption du phosphore des sols étudiés sont présentés dans la figure 4.

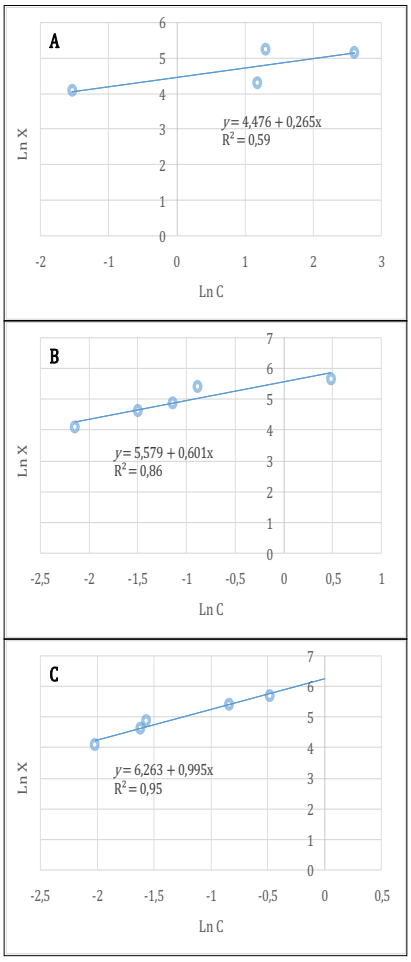

Figure 4. Isothermes de Freundlich pour le sol étudié. A, B et C représentent : Sol sans amendement calcique, sol avec 25% $CaCO_3$ et sol avec 50% $CaCO_3$, respectivement.

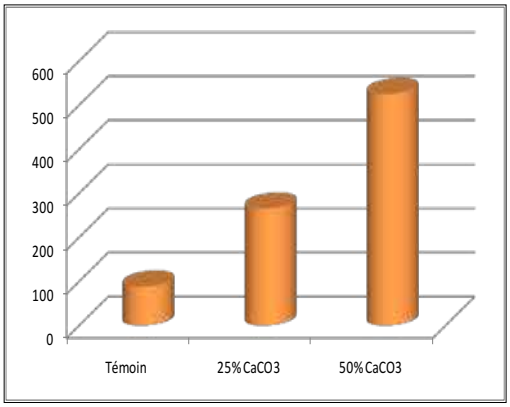

Figure 5. Capacité d'adsorption du phosphore par le sol.

Les capacités d'adsorption du P aux sols ont augmenté régulièrement avec l'accroissement de la teneur des sols en calcaire total, les valeurs obtenues oscillent entre 87 à 524 mg kg^{-1} sol (Fig. 5). L'affinité de rétention du P par les sols a été proportionnelle aux teneur des sols en $CaCO_3$. Les valeurs obtenues varient de 0,265 à 0,995 L mg^{-1}. La valeur la plus basse de la constante d'énergie de sorption était due à la nature alcaline du sol. Les valeurs de l'affinité

de rétention du P peuvent varient entre 0,92 et 4,39 L mg^{-1} dans le sol alcalin et acide, respectivement [18]. L'adsorption de P dans les sols calcaires était liée à $CaCO_3$ [19,20]. Un bon ajustement de l'adsorption de P données pour le modèle d'adsorption de Freundlich, Langmuir et Tempkin [21]. Nos résultats rejoignent ceux obtenus par Hussain [22] qui ont déclaré que (a) valeur de l'isotherme de Freundlich est liée à la teneur en calcaire du sol, teneurs en argile et le pourcentage de saturation des sols. Sachant qu'une plus petite valeur de la capacité d'adsorption signifie des quantités plus élevées de phosphore biodisponible dans la solution du sol. Une augmentation dans l'adsorption de P avec l'augmentation des carbonates du sol et contribue à la précipitation des Ca-phosphate [23].

3.2. Exigences en phosphore des sols

L'évaluation de la capacité de fixation du phosphore représente un élément clé pour déterminer les besoins en engrais phosphatés dans les sols calcaires. Plusieurs études ont prouvé que, la quantité de P en équilibre avec 0,2 mg de P L^{-1} ($EPR_{0.2}$) a montré qu'est le seuil optimum pour le développement de la plupart des cultures. C'est pour cette raison on a opté pour l'estimation des exigences phosphoriques du sol (EPR) pour atteindre 0,2 mg de P L^{-1} dans la solution du sol.

Après avoir déterminé la capacité de fixation du phosphore par les sols étudiés, les besoins externes en phosphore (EPR) du sol peuvent être calculés à partir de l'équation de Freundlich et celle de Langmuir (Fig. 6 et 7).

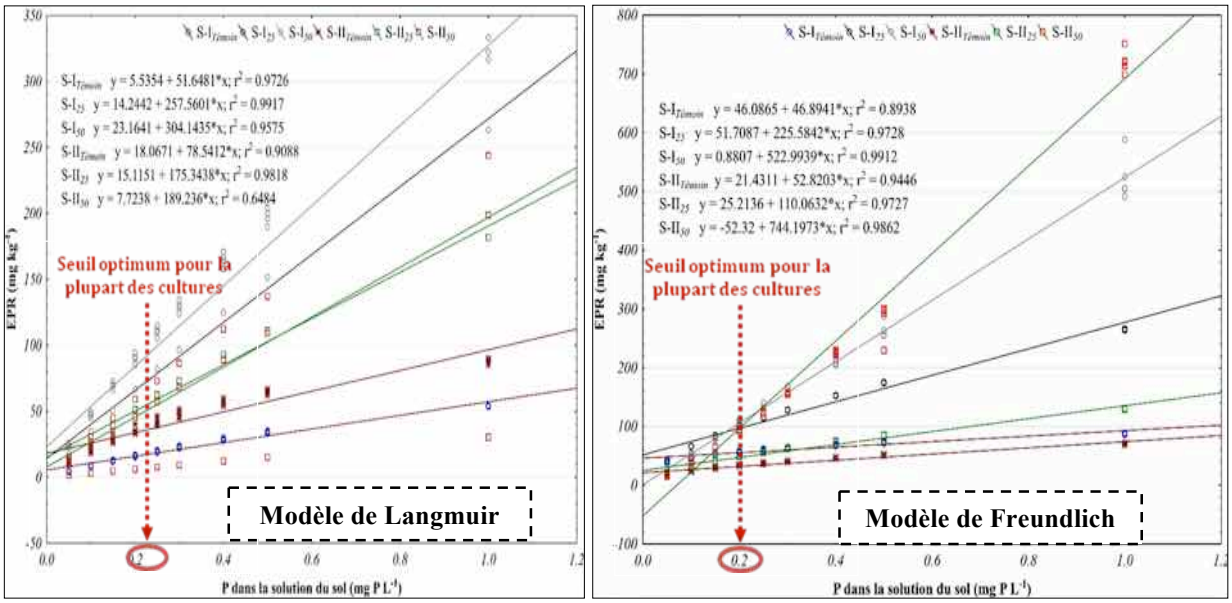

Figure 6. Exigences en phosphore des sols calculé à partir de la forme linéaire des isothermes de Freundlich et Langmuir afin d'établir une solution du sol avec 0,2 mg P L^{-1}.

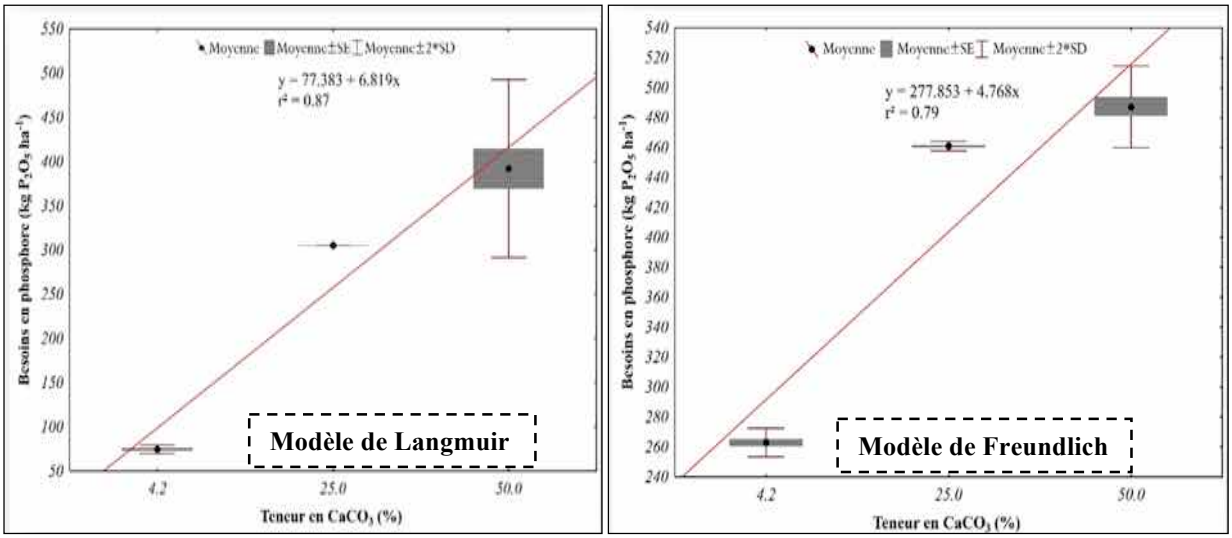

Figure 7. Apports recommandés en phosphore selon la teneur du sol en calcaire.

Il me semblait que dans le sol étudié, le $CaCO_3$ contrôle majoritairement la sorption de P ce qui affecte l'estimation les besoins phosphorique du sol. Des relations entre le niveau souhaité du P dans la solution du sol et P requis (mg P kg^{-1} de sol) sont présentées dans les Figures (6 et 7) à partir de lesquels, les besoins externes en phosphore (EPR) du sol à n'importe quel niveau souhaité du P dans la solution du sol pourraient être calculés.

L'utilisation de l'isotherme de sorption de P, ce qui relie la concentration en P de la solution de sol avec la quantité de P adsorbée dans le sol, pour prévoir les besoins d'engrais P d'un sol spécifique est une meilleure approche plutôt que d'utiliser des analyses du sol. Mais en extrapolant les relations développées entre la teneur en calcaire des sols et la quantité d'engrais aux autres sols de texture similaires à besoin de confirmation. Si c'est vrai, alors il serait tout à fait une approche prometteuse, précise, avec un gain de temps pour prédire les besoins des sols en matière d'engrais phosphatés.

4. CONCLUSION

Le carbonate de calcium est considéré parmi les principaux facteurs de l'indisponibilité de P aux plantes par des réactions d'adsorption et de précipitation. Afin de garantir une gestion durable de la fertilisation phosphatée de ces sols et pour gérer et économiser les apports en matière d'engrais phosphaté dans ces sols, seule la compréhension de la dynamique et des mécanismes d'approvisionnement en nutriments comme le phosphore dans ces sols à forte réactivité, permet d'appliquer le phosphore dans les manières les plus efficaces en complétant l'offre du sol en P dans des conditions économiquement rentables et respectueuses de l'environnement. L'application de l'isotherme d'adsorption du phosphore était efficace en déterminant les caractéristiques de l'adsorption de phosphore et les besoins en phosphore du sol.

RÉFÉRENCES

[1] Ramaekers L., Remansb R., Raoc I. M., Blairc M., Vanderleydena J., 2010.- Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. Field Crops Research, 117: 169-176.

[2] Marschner H., 1995. - Mineral nutrition of higher plants; 2nd Ed. Academic press. London,

889p.
[3] Hopkins B., Ellsworth J., 2005.- Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil. Western Nutrient Management Conference. Vol. 6. Salt Lake City, UT.
[4] HALITIM A., 1988.- Sol des régions arides d'Algérie. Ed. Office des Publications Universitaires., Alger, 384 p.
[5] Mihoub A., Deraoui B. N., 2014.- Performance of Different Phosphorus Fertilizer Types on Wheat Grown in Calcareous Sandy Soil of El- Menia, Southern Algeria. Asian Journal of Crop Science, 6: 383-391.
[6] Deraoui B. N., Halilat M. T., Mekliche A., 2011.- Effet d'un apport de phosphore sur une culture de blé tendre conduite en conditions irriguées. Revue des Bioressources, 1: 39-46.
[7] Deraoui B. N., Hanifi-Mekliche L., Mekliche A., 2015a.- Effet de la nutrition phosphatée sur le rendement en grain et la concentration des grains en P, mg^{2+} et K^{+} du blé. Revue des Bioressources, 5: 10-17.
[8] Deraoui B. N., Hanifi-Mekliche L., Mihoub A., 2015b.- Effect of incubation period of phosphorus fertilizer on some properties of sandy soil with low calcareous content, Southern Algeria. Asian Journal of Agricultural Research, 9: 123-131.
[9] Deraoui B.N., Hanifi-Mekliche L., Mekliche A., Mihoub A., Daddi Bouhoun M., 2015c.- Effect of phosphorus aplication on durum wheat in alkaline sandy soil in arid condition of southern Algeria. Asian Journal of Crop Science, 7: 61-71.
[10] Mihoub A., Daddi Bouhoun M., Saker M. L., 2016a.- Phosphorus adsorption isotherm: A key aspect for effective use and environmentally friendly management of phosphorus fertilizers in calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47: 1920-1929.
[11] Mihoub A., Daddi Bouhoun M., Asif N., Saker M. L., 2016b.- Low-molecular weight organic acids improve plant availability of phosphorus in different textured calcareous soils, Archives of Agronomy and Soil Science, 63: 1023-1034.
[12] Djili K., Daoud Y., Ayache N., 1999.- Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale. Etudes et gestion des sols, 6: 201-213.
[13] Beckwith R. S., 1965.- Sorbed phosphate at standard supernatant concentration as an estimate of the phosphate needs of soils, Australian journal of experimental agriculture and animal husbandry, 5: 52-58.
[14] Iyamuremye F., Dick R. P., Baham J., 1996.- Organic amendments and phosphorus dynamics: II. Distribution of soil phosphorus fractions. Soil Science, 161: 436-443.
[15] Nziguheba G., Palm C. A., Buresh R. J., Smithson P.A.- 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. Plant and Soil, 198: 159-168.
[16] Dodor D. E., Oya K., 2000.- Phosphate sorption characteristics of major soils in Okinawa, Japan; Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31: 277-288.
[17] Holfford I. C. R., Mattingly G. E. G. 1975.- The high and low energy phosphate adsorbing surfaces in calcareous soils. Journal of Soil Science, 26: 407-417.
[18] Olsen S. R., Watanabe F. S. 1957.- A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Science Society of America Journal, 21: 144-418.
[19] Samadi A., Gilkes R. J., 1999.- Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of southern Western Australia. Soil Science Society of America Journal, 63: 809-815.
[20] Samadi A., 2001. - Changes in added available phosphorus with time in contrasting calcareous soils with a Mediterranean type of climate, in Proceedings of the 7th International Meeting on Soils with a Mediterranean Type of Climate, Bari, Italy.
[21] Khan M. A, Kim S. W, Rao R. A. K., 2010.- Adsorption studies of Dichloromethane on

some commercially available GACs: effect of kinetics, thermodynamics and competitive ions. Journal of Hazardous Materials, 178: 963-972.
[22] Hussain A., Abdul Ghafoor., Anwar-Ul-Haq M., Nawaz M., 2003.- Application of the Langmuir and Freundlich Equations for P Adsorption Phenomenon in Saline-Sodic Soils. International journal of agriculture & biology, 5: 1560-8530.
[24] Castro B., Torrent J., 1994.- Phosphate availability in calcareous Vertisols and Inceptisols in relation to fertilizer type and soil properties. Fertilizer Research, 40: 109-119.