

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences agronomiques



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection de la Ressource Sol, Eau et Environnement

Présenté par : **Saouli Nour El Houda**

Mansouri Bekhta

Thème

Contribution à l'étude de l'effet de quelques engrais
sur la disponibilité du phosphore dans les sols
calcaires à Touggourt

Soutenu publiquement

Le : 22/05/2016

Devant le jury

M	CHELOUFI Hamid	Pr	Président	UKM Ouargla
M	DADDI BOUHOUN Mustapha	MA (A)	Encadreur	UKM Ouargla
M	SAKER Med Lekhder	Pr (A)	Co-promoteur	UKM Ouargla
M	IDDER Abd El Hak	MA (A)	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciement

Au nom d'ALLAH, le Clément et le Miséricordieux. A travers cette thèse de master, nous tiens à remercier toutes les personnes qui ont eu contribué de près ou de loin à construire ce travail, et à nos former des nos tendre enfance.

*Nous aimerons d'abord exprimer nos gratitude à notre encadreur Mr. **DadiBouhoun. M** pour avoir accepté de bon gré de participer à cette thèse, ainsi que pour ses efforts fournis, pour ses conseils judicieux prodigués et pour sa patience et sa persévérance dans notre suivi, malgré ses charges intenses.*

*Nos profonds remerciements vont aux membres du jury le Pr. **CHELOUFI. A** , le Mr. **IDDER. A**. qui nous ont fait l'honneur de participer et de juger ma thèse malgré leurs plans de charge.*

*Nous tiens aussi à remercie le personnel de **CRSTRA** et en particulier Mr **MIHOUB. A** que nous remercions vivement pour leurs conseils précieux et encouragements*

Nous adressons également nos reconnaissances aux enseignant(e) s qui nous ont donné les bases de la recherche scientifique et qui grâce à leurs soutien, ont su nos créer les conditions favorables à la poursuite de notre étude.

Merci à mes parents pour qui m'ont toujours encouragé et donné le goût d'avancer et aux personnes qui nous ont aidé directement ou indirectement

Sincères remerciements.



Dédicace

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes parents

À mes frères,

À mes sœurs,

À mon fiancé,

À toute ma famille,

À mes amis,

À tous.

Nour El Houada

Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux :

Les deux personnes que j'aime le plus dans la vie, qui méritent tout le respect du monde qu'il trouvent ici le témoignage de mon profond amour et dévouement infini ;

A mon très cher père ,l'homme le plus parfait dans le monde ,mon grand exemple et mon directeur et mon éducateur ;

Ma mère, source du compassion et de tendresse, l'exemple de patience et sacrifice ,la raison de mon existence et le support de ma vie ;

Que dieu vous protège et vous réserve une longue vie pleine de bonheur et de santé .

Ma très chère sœur GHANIA pour l'amour qui nos unis , mes très chers frères chaque un a son nom AHMED ,FATHI,NACEUR,HICHAM,BRAHIM ,ZOUBIR , ABD EL MALEK ;

Pour les femmes de mes frères :DZIRIA et SAMIHA .

Pour ma petite chère nièce :INTISSAR ;

A mes très chères amies : ZINEB , NESSRINE , ZAKIA

A tous mes amies qui sont toujours à ma coté dans les bons et les mauvais moments : RIM, HANA , NORA , FAYROUZ , SHAHIRA , HASSIBA , SOUMIA,ICHRAK ...

A mon intime et binôme : Nour El Houda .

A tous la famille MANSOURI et TALBI.

Et a tout que j'aime dans ma vie

Bekhta

Liste d'abréviation

%	Pourcent
‰	Pour mille
ASP	Ammonium sulfate phosphate
ATP	Adénosine triphosphate
BS	biomasse aérienne sèche
C/N	Rapport carbone sur l'azote
C/P	Rapport carbone sur phosphore
C°	Degré processus
Ca CO₃	Calcaire
Ca₁₀(PO₄)₆X₂	Calcium-phosphate (X représente les anions comme le F ⁺ Cl OH ⁻ CO ₃)
CaSO₄	Gypse
CE	Conductivité électrique
CR	Acide citrique
CRSTRA	Centre de Recherche Scientifique de la Région Aride Touggourt
DAP	Di ammonium phosphate
ED	Eau distillée
EF	Extrait du fumier de volaille
H₂PO₄⁻	Phosphore monovalents
H₂SO₄	Acide sulfurique
H₃PO₄	Acide phosphorique
HF	Fluorure d'hydrogène
HPO₄⁻	Phosphore divalents
K	Potassium
LR	Longueur de la racine

LT	Longueur de la tige
MAP	Mono ammonium phosphate
MS	Matière sèche
MST	Matière sèche totale
N	Azote
N.P.K	Elément majeurs
N.S	Non significatif
N°	Numéro
P	Phosphore
P0,P1,P2,P3,P4	Dose du phosphore
P₂O₅	Phosphore
PT	Phosphore totale
R	Réactif
RF	Réactif final
S	Sous
S	Significatif
Sp	Espèce
SSP	Super phosphate simple
T.H.S	Tri hautement significatif
TSP	Superphosphate triple

Liste des figures

Figure 1 : Changement dans la forme du P soluble du sol en fonction du pH (Pierzynski et al., 1994)	4
Figure 2 : Cycle du phosphore dans le sol (d'après Pierzynski et al., 1994).....	9
Figure 3 : Schéma de fabrication des engrais phosphatés (Moughli, 2000).	10
Figure 4 : Compartiments du P du sol obtenus par fractionnement chimique (Parent, 2000)	10
Figure 5 : Distribution des différentes formes solubles du phosphore en fonction du pH (Drouet, 2010)	12
Figure 6 : Variation de phosphore assimilable en fonction du pH (Demers, 2008)	13
Figure 7 : Cycle végétative de blé (Ait-Kaki et al., 2008).....	20
Figure 8 : Situation géographique de la région de Touggourt (Google-Earth, 2016)...	24
Figure 9 : Situation géographique du site expérimentale (CRSTRA Touggourt).....	26
Figure 10 : Dispositif expérimentale en bloc aléatoire complet.	32
Figure 11 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur la longueur de la tige	35
Figure 12 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur la longueur des racines	37
Figure 13 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur de la matière sèche du blé.....	38
Figure 14 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur la biomasse sèche totale.....	39
Figure 15 5a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur le phosphore total du blé	41
Figure 16 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur le phosphore exporté	42
Figure 17 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur le phosphore assimilable du sol.....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Quantité de calcaire apporté pour avoir des traitements à 25% CaCO ₃ ...	30
Tableau 2 : Doses de phosphores employés et quantités d'engrais apportés	31
Tableau 3 : Effet des doses du phosphore sur la longueur de la tige	35
Tableau 4 : Effet des doses du phosphore sur la longueur de la racine	36
Tableau 5 : Effet des doses du phosphore sur la teneur de la matière sèche du blé	37
Tableau 6 : Effet des doses du phosphore sur la production de biomasse totale sèche	39
Tableau 7 : Effet des doses du phosphore sur la teneur du phosphore total du blé	40
Tableau 8 : Effet des doses du phosphore sur le phosphore exporté par le blé	41
Tableau 9 : Effet des doses du phosphore sur le phosphore assimilable du sol	42

Liste des Photos

Photo 1 : Pots des traitements sol-calcaire-engrais P.....	30
Photo 2 : Prélèvement des échantillons sol-plante.....	34
Photo 3 : Echantillons des plantes prélevées	34

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste photos	
Table des matières	
Introduction.....	1
Première partie : Synthèse bibliographique	
Chapitre I. Fertilisation phosphatée	3
I.1. Définition du phosphore	3
I.2. Formes du phosphore.....	3
I.2.1. Forme minérale	3
I.2.2. Forme organique	4
I.3. Phosphore assimilable du sol	5
I.4. Phosphore dans la plante et ses fonctions	6
I.4.1. Fonctions métaboliques	6
I.4.2. Fonctions plastiques	7
I.5. Dynamique du phosphore dans le système sol-plante	8
I.6. Engrais phosphatés.....	9
I.7. Réaction des engrais phosphatés dans le sol.....	9
I.8. Contraintes de l'assimilation phosphorique.....	11
I.8.1. Température du sol.....	11
I.8.2. Texture	12
I.8.3. PH.....	12
I.8.4. Calcaire.....	13
I.8.5. Action des racines	14
I.8.6. Humidité du sol	14
I.8.7. Sels solubles	15
I.9. Effet de l'irrigation sur la disponibilité du P	15
I.10. Mode d'assimilation.....	16
Chapitre II. Culture de blé	17
II.1. Définition de blé	17

II.2. Classification du blé dur	17
II.3. Exigences du blé.....	17
II.3.1. Exigences climatiques.....	17
II.3.2. Exigences édaphique.....	18
II.4. Cycle végétatif du blé dur.....	20
II.4.1. Période végétative	20
II.4.2. Période reproductrice	21
II.5. Structure et composition du grain de blé.....	22

Deuxième partie: Matériels et méthodes

Chapitre III. Matériels d'étude.....	23
III.1. Choix de la région d'étude	23
III.2. Présentation de la région d'étude	23
III.2.1. Situation géographique	23
III.2.2. Géomorphologie	23
III.2.3. Climat	24
III.2.4. Ressources en eaux	25
III.2.5. Agriculture.....	25
III.3. Station expérimentale du CRSTRA	25
III.4. Matériel d'essai utilisé	27
III.4.1. Sol.....	27
III.4.2. Plante test.....	27
III.4.3. Engrais phosphaté utilisé	27
III.4.4. Pots	28
III.4.5. Eau d'irrigation	28
Chapitre IV. Méthode d'étude	29
IV.1. Approche méthodologique	29
IV.1.1. Préparation des pots de l'essai.....	29
IV.1.2. Installation du dispositif expérimental	31
IV.1.3. Diagnostic expérimental.....	33

Troisième partie: Résultats et discussion

Chapitre V. Impact de la fumure phosphaté sur le blé et le sol	35
V.1. Impact du phosphore sur la longueur de la tige.....	35
V.2. Impact du phosphore sur la longueur de la racine.....	36
V.4. Impact du phosphore sur la biomasse totale.....	38

V.5. Impact de la fumure phosphatée sur le phosphore total du blé.....	40
V.6. Impact de la fumure phosphatée sur le phosphore exporté	41
V.7. Impact de la fumure phosphatée sur le phosphore assimilable du sol.....	42
Références bibliographiques	45

Introduction

Introduction

Le phosphore est un macro-élément essentiel qui joue un rôle capital dans le transfert d'énergie, le règlement métabolique, et l'activation de protéine (Priya et Sahi, 2009). Il a un rôle important dans tous les processus de croissance et sa répartition dans les tissus végétaux est très inégale et augmente généralement avec la teneur en azote (Gervy, 1970). Le phosphore a pour rôle de renforcer la résistance au froid et aux maladies des plantes et contribue à la croissance et au développement des racines, de la fructification et de la mise à graine (Matthieu, 2010).

Dans beaucoup de systèmes agricoles, le phosphore est un aliment minéral le plus limitant pour les plantes (Ramaekers et al, 2010). Dans certaines régions arides les sols sont généralement riches en calcaire. Un sol calcaire est un sol contenant du CaCO_3 libre en quantité suffisante pour présenter une effervescence visible sous l'action d'HCl dilué à froid. Le CaCO_3 est souvent accompagné de MgCO_3 (Lozet et al, 1990).

Dans le sud de l'Algérie, la pratique de l'agriculture n'est possible qu'avec l'amélioration de la fertilité chimique de ces sols squelettiques via les pratiques de la fertilisation qui demeure la seule solution afin d'établir une production agricole acceptable dans ces zones (Mihoub, 2012).

La présence du calcaire en quantité importante dans le sol, a une influence défavorable sur les propriétés physico-chimiques, notamment sur la disponibilité et l'absorption des éléments minéraux nécessaires pour la vie végétale essentiellement compris le phosphore (Mihoub et Draoui, 2014).

À l'heure actuelle, les pratiques de la fertilisation phosphatée dans les sols sahariens riches en calcaires demeurent non maîtrisables. Dans ce contexte, il est urgent de faire évoluer la gestion de toutes les pratiques agricoles y compris la fertilisation vers des pratiques durables, 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.

Certains amendements peuvent contribuer à valoriser encore mieux les apports phosphatés appliqués en sols calcaires. En particulier, les substances organiques grâce à leurs

intérêts bénéfiques dans l'acidification du pH des sols calcaire, ce qui rend le phosphore plus assimilable (Iyamuremyeet Dick, 1996; Guppy et al., 2005; Agbenin et Igbokwe, 2006; Gichangi, 2009).

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre recherche qui porte essentiellement sur la mise en évidence de l'intérêt de l'application de quelques combinaisons sous forme des substances organiques sur l'amélioration de la biodisponibilité du phosphore apportés dans les sols riches en calcaire.

La démarche de notre travail de mémoire de recherche présente en trois parties, comme suit :

- **Première partie** : est consacrée à la synthèse bibliographique sur le phosphore dans le sol, son origine et ses différentes formes et aussi les facteurs et processus physiques, chimiques et biologiques, régissant son comportement et enfin le phosphore dans la vie du végétale, aussi les sols calcaires.
- **Deuxième partie** : présente le matériel édaphique et végétal utilisés dans l'expérimentation ainsi que l'approche méthodologique, le dispositif expérimental et les techniques analytiques et statistique adoptés.
- **Troisième partie** : est consacrée aux résultats de l'essai et leurs interprétations.

Première partie.
Synthèse
bibliographique

Chapitre I. Fertilisation phosphatée

I.1. Définition du phosphore

Le phosphore est l'un des 17 éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes. Ses fonctions ne peuvent pas être effectuées par tout autre élément nutritif, et une quantité suffisante de P est nécessaire pour favoriser la croissance et la reproduction. Le phosphore est classifié comme substance nutritive importante, ce qui signifie qu'est souvent insuffisante pour la production agricole. Le phosphore (P) est vitale pour la croissance des plantes et se trouve dans chaque cellule vivante de la plante et sa concentration varie généralement de 0,5 à 1 % (Better Crops, 1999).

I.2. Formes du phosphore

I.2.1. Forme minérale

C'est le phosphore inclus dans des minéraux comme les apatites, dans tous les composés d'oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium, ainsi que dans les phosphates tricalciques associés au calcaire actif, très insolubles dans les milieux calcaires. Les teneurs des sols classés normales en P varient entre 50 à 1500 mg/Kg du sol avec 50 à 70% sous forme inorganique (Pierzynski et al., 1994).

D'après Holford (1997) la fraction inorganique du P du sol, contient 170 formes minérales. Selon ce même auteur dans la plupart des sols altérés les minéraux dominants sont les apatites : Calcium-Phosphate, sous la forme chimique générale $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{X}_2$ où le X représente les anions comme le F, Cl, OH ou CO_3^{-2} .

D'après Norihiro et al., (1997), quand le phosphore solide des sols est dissous ou désorbé, il entre dans la solution du sol sous la forme inorganique, qui est largement contrôlée par le pH du sol. Aux différents niveaux du pH des sols agricoles, le phosphore existera sous ces formes monovalentes (H_2PO_4^-) ou divalente (HPO_4^{2-}) qui sont facilement absorbées par les plantes (Pierzynski et al., 1994 ; Frossard, 1996 ; Morel et al., 2000).

Dans les sols acides le phosphate soluble est adsorbé par les hydroxydes de Fe et d'Al et par les argiles, alors que dans les sols neutres et alcalins la réaction principale est la précipitation de di- et triphosphate de calcium. En général, le maximum de la solubilité du phosphore se rencontre dans les sols faiblement acide ou neutre, entre un pH de 6,0 et 7,0 (Fig. 1).

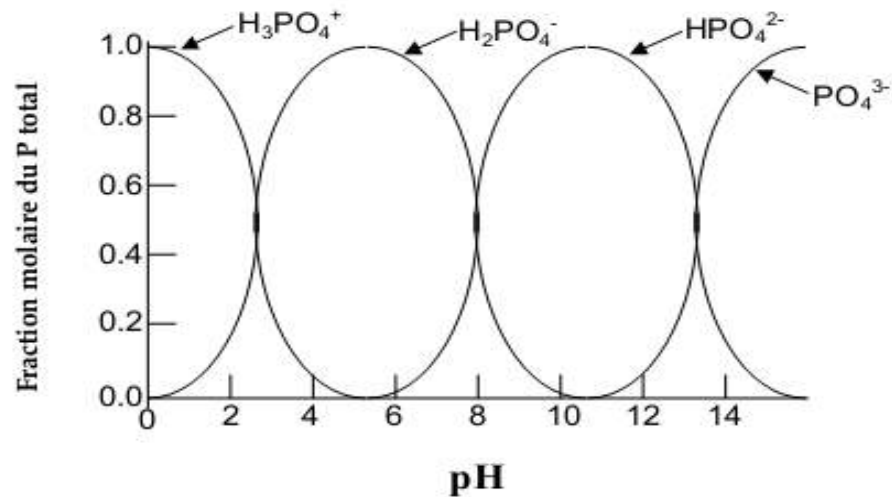


Figure 1 : Changement dans la forme du Phosphore soluble du sol en fonction du pH (Pierzynski et al., 1994)

Cependant, dans les sols avec un pH basique au-dessus 7, la production des acides organiques par les racines des plantes et microorganismes réduit le pH dans la rhizosphère ce qui tend à augmenter la solubilité du phosphate des apatites et des phosphates de Calcium (Whitehead, 2000).

La solubilité des ions phosphates associés aux hydroxydes de Fer et d'Aluminium augmente grâce aux acides organiques (citrique ou malique) qui sont capable de former des complexes stables mais solubles avec les ions Fe et Al (Kucey et al., 1989).

I.2.2. Forme organique

Le phosphore organique correspond à celui que l'on retrouve dans la matière organique fraîche et l'humus. Dans les sols cultivés de longue date, sa proportion varie entre 25 et 30 % du phosphore total, tandis que dans les zones dotées d'une couverture végétale permanente naturelle (forêts et prairies), elle oscille entre 75 et

80% (Fardeau et Conesa, 1994), où l'acide phytique est souvent un composant majeur. D'après Chapuis-Lardy et Brossard (1998), jusqu'à 41% du phosphore total du sol se trouve dans les horizons superficiels.

Avant que le phosphore organique soit recyclé et utilisé par les plantes il est décomposé par les microorganismes du sol (minéralisation) et libéré sous forme d'ions phosphates qui peuvent soit être absorbés par les racines des plantes ou réagir avec les particules du sol, ou encore être immobilisés par les microorganismes (Pierzynski et al., 1994 ; Schachtman et al., 1998 ; Chapuis-Lardy et Brossard, 1998 ; Frossard et al., 2000).

D'après les travaux de Frossard (1996), les quantités de P transitant par la biomasse microbienne seraient de la même grandeur que celles prélevées par les cultures.

I.3. Phosphore assimilable du sol

Fardeau (1993), définit le phosphore assimilable ou bio-disponible comme celui constitué par la quantité de phosphore présent dans le système sol-solution, capable d'atteindre la solution sous forme d'ions phosphatés à un rythme compatible avec la vitesse d'absorption végétale, en période de pleine croissance. Les végétaux absorbent le phosphore sous différentes formes anioniques : PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$. Certains de ces anions se trouvent dans la solution du sol, d'autres sont adsorbés sur les surfaces externes des minéraux argileux, et sur les surfaces des oxyhydroxydes de fer et/ou d'aluminium. La biodisponibilité pour les plantes du P apporté est faible puisqu'on considère qu'environ 80 % du P apporté est immobilisé et devient donc indisponible, au moins à court terme à cause de l'adsorption, de la précipitation ou de la conversion sous forme organique (Holford, 1997).

Le phosphore dit assimilable est alors définie pour caractériser la fraction de phosphore susceptible d'être absorbée par les racines, dont il est devenu nécessaire de corréliser la production agricole à une quantité de phosphore dit « assimilable » ou « labile » extrait par des procédures analytiques. Le terme de phosphore « labile » désigne la fraction de phosphore absorbé facilement par la plante et la fraction à extraire et à mesurer avec le phosphore soluble par les réactifs chimiques (Pierzynski et al, 2000).

En effet, dans le sol il y a uniquement quelques kilogrammes de phosphore présents en solution dans le sol sous forme d'orthophosphates directement assimilables par les plantes (Frossard et al., 2004 in Beaudin, 2008). Gervy(1970), Estime qu'un sol est considéré comme riche en phosphore assimilable lorsque sa teneur dépasse 0,3‰, moyennement riche quand cette dernière est comprise entre 0,15‰ et 0,3 ‰, et pauvre quand elle est inférieure à 0,15‰.

En pratique, la notion du phosphore assimilable est insuffisante ; de ce fait, on doit prendre en considération et exploiter certains nombres de paramètres à savoir : les interactions entre les composants organiques et minérales du phosphore, les teneurs en solution et l'activité des racines et des microorganismes d'où la notion de «biodisponibilité du P». D'après Frossard et al. (2004), cette biodisponibilité est définie comme étant la quantité totale de phosphore dans le sol susceptible d'aboutir dans la solution du sol sous forme d'ions orthophosphates pendant une période équivalente à la durée de croissance de la culture (Mihoub ,2012).

I.4. Phosphore dans la plante et ses fonctions

Les concentrations de phosphore dans les tissus végétaux varient entre 0,1 et 0,5 %, soit près du dixième des teneurs en azote et en potassium (1 à 6 %). Dans les cellules de la plante, le phosphore se répartit entre un pool métabolique, situé dans le cytoplasme et les chloroplastes et un pool non métabolique dit de réserve, sous forme inorganique au sein des vacuoles. Une fois absorbé, les ions phosphates peuvent rester sous cette forme mais sont le plus souvent combinés à des molécules organiques qui ont des fonctions essentielles dans la synthèse et le développement des cellules végétales(Matthieu, 2010).

I.4.1. Fonctions métaboliques

Les fonctions métaboliques montrent le rôle du phosphore dans le fonctionnement de la matière vivante. Le phosphore est un:

- Constituant de l'ATP : l'ATP fournit toute l'énergie nécessaire pour toutes les réactions de synthèse; formation de protéines, hydrates de carbone, d'acides nucléiques et autres réactions exigeant de l'énergie tel que l'absorption des éléments nutritifs à travers les membranes des cellules racinaires en cas d'absorption active. Ceci explique la forme chétive des plantes carencées en phosphore par une réduction de la croissance générale (élongation des racines) qui exige l'ATP.

- Composant structurel des acides nucléiques (supports du patrimoine génétique) : le phosphore est nécessaire pour la réplication et la transcription de l'ADN. (Matthieu, 2010).

I.4.2. Fonctions plastiques

Les fonctions plastiques montrent le rôle du phosphore dans la constitution de la matière vivante. Le phosphore est:

- Constituant essentiel des membranes cellulaires sous la forme de phospholipides
- Implication dans la structure des protéines (phosphoprotéines) et des sucres (Comme le glucose-6-P impliqué dans la photosynthèse)

Ces fonctions essentielles au niveau moléculaire se traduisent par divers effets du phosphore à l'échelle de la plante :

- Il favorise la croissance précoce, essentiellement par une stimulation de la croissance des racines. Un apport localisé de phosphore entraîne une prolifération des racines dans cette zone. La réponse des racines est moindre pour des apports localisés de potassium ou d'ammonium.
- Il accélère le développement avec pour conséquence une maturation plus précoce des grains.
- Il contribue à la rigidité des tissus et favorise donc la résistance à la verse.
- Il permet une augmentation de la résistance au froid et aux maladies.
- Il est essentiel à la formation des grains où des quantités importantes de phosphore sont stockées dans les semences sous forme de phytine.
- Il a également été montré que le phosphore améliore la réponse de plusieurs cultures à la fertilisation azotée, surtout les céréales. En effet, pour que les plantes utilisent le supplément d'azote (par exemple pour la synthèse des protéines ou de la chlorophylle), elles ont besoin de plus de phosphore pour fournir l'ATP nécessaire.

Le phosphore dans la plante est surtout abondant dans les organes jeunes en croissance dont les cellules en phase de multiplication contiennent une grande proportion d'acides nucléiques et sont le siège de synthèses particulièrement actives réclamant de l'énergie (ATP), du potentiel réducteur (NADP) et des sucres phosphorylés. A la récolte, le phosphore est

localisé majoritairement dans les grains. La teneur dans les pailles est généralement faible (Matthieu, 2010).

I.5. Dynamique du phosphore dans le système sol-plante

La dynamique n'est rien d'autre qu'un mouvement sous l'effet d'une force. Comme pour tout autre élément nutritif, ou potentiellement disponible. Selon Fardeau (2010), ces forces sont au moins au nombre de quatre. Elles contrôlent:

- la satisfaction des besoins de phosphore des cultures et les exportations de phosphore par les récoltes associées.
- les apports de phosphore par les matières fertilisantes phosphatées.
- le lessivage du phosphore.
- l'érosion des terres. (Fardeau, 2010)

D'après Pierzynski et al. (1994), pour comprendre comment contrôler le mouvement du phosphore dans les sols, il faut étudier son cycle naturel (Fig. 2). Le phosphore résulte d'un cycle complexe de réactions chimiques et microbiologiques qui contrôlent sa disponibilité dans les systèmes agricoles. Le phosphore dans les sols provient de l'altération des minéraux résiduels, additions de phosphore sous forme d'engrais, et de résidus végétaux. Le type de phosphore portant les minéraux qui se forment dans le sol est très dépendant du pH du sol.

La libération de phosphore du sol aux racines des plantes et son mouvement potentiel de surface des eaux est contrôlée par plusieurs procédés chimiques et biologiques. Le phosphore est libéré à la solution du sol que les minéraux portant du phosphore dissolvent, en tant que le phosphore lié à la surface des minéraux du sol est découplée, et en tant que la matière organique du sol se décompose (minéralise). La plupart du phosphore ajouté au sol sous forme d'engrais ou bien fumier est rapidement lié aux minéraux du sol sous des formes chimiques qui ne sont pas soumis à une libération rapide; ainsi, les concentrations de phosphore de la solution du sol sont généralement très faible (Gregory, 2009).

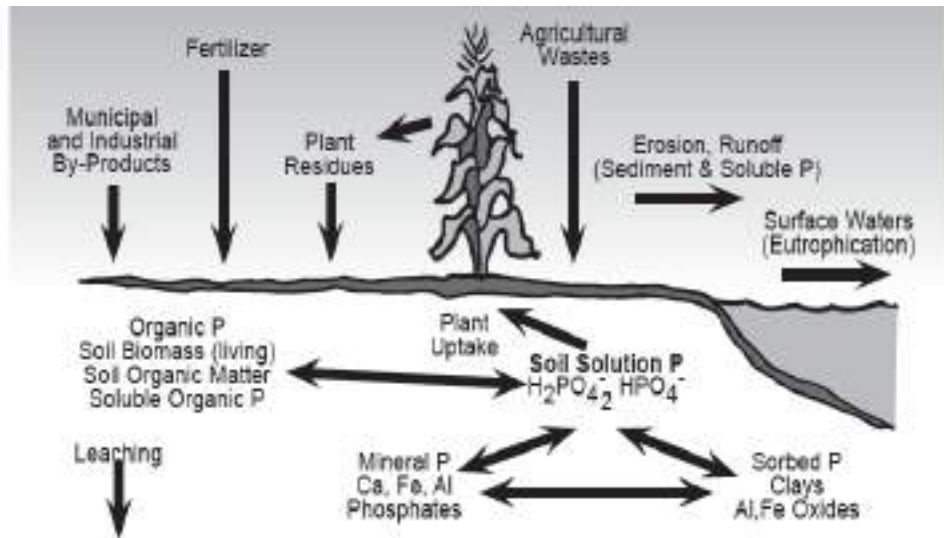


Figure 2 : Cycle du phosphore dans le sol (d'après Pierzynski et al., 1994)

I.6. Engrais phosphatés

Les engrais phosphatés sont fabriqués à partir des roches phosphatées qui sont extraites de la terre. Le phosphore présent dans ces roches n'est pas disponible pour les plantes surtout dans les sols basiques. Pour rendre le phosphore soluble, ces roches sont attaquées avec l'acide sulfurique pour produire de l'acide phosphorique. Les processus de fabrication aboutissent au superphosphate simple ou triple, qui sont utilisés directement comme engrais phosphatés (Fig. 3). Ils sont aussi utilisés en combinaison avec d'autres sources d'azote ou de potassium pour fabriquer des engrais composés (Moughli, 2000).

I.7. Réaction des engrais phosphatés dans le sol

La figure 4 montre la répartition de l'engrais phosphaté commercial ou organique après son application en sol acide à neutre. Ce diagramme est une approche thermodynamique (probabilité élevée de succès d'une réaction d'extraction) et séquentielle (extractions successives sur le même échantillon de sol) utilisant des méthodes d'analyse assez spécifiques à la forme du P dans le sol, ou des solutions d'extraction reliées à son énergie de rétention. La méthode de fractionnement du P inorganique en sol acide comprend le P faiblement lié extrait par un sel ou par de l'eau distillée, le P lié à l'aluminium, au fer ou au calcium, et le P occlus dans les oxy-hydroxydes (Parent, 2000).

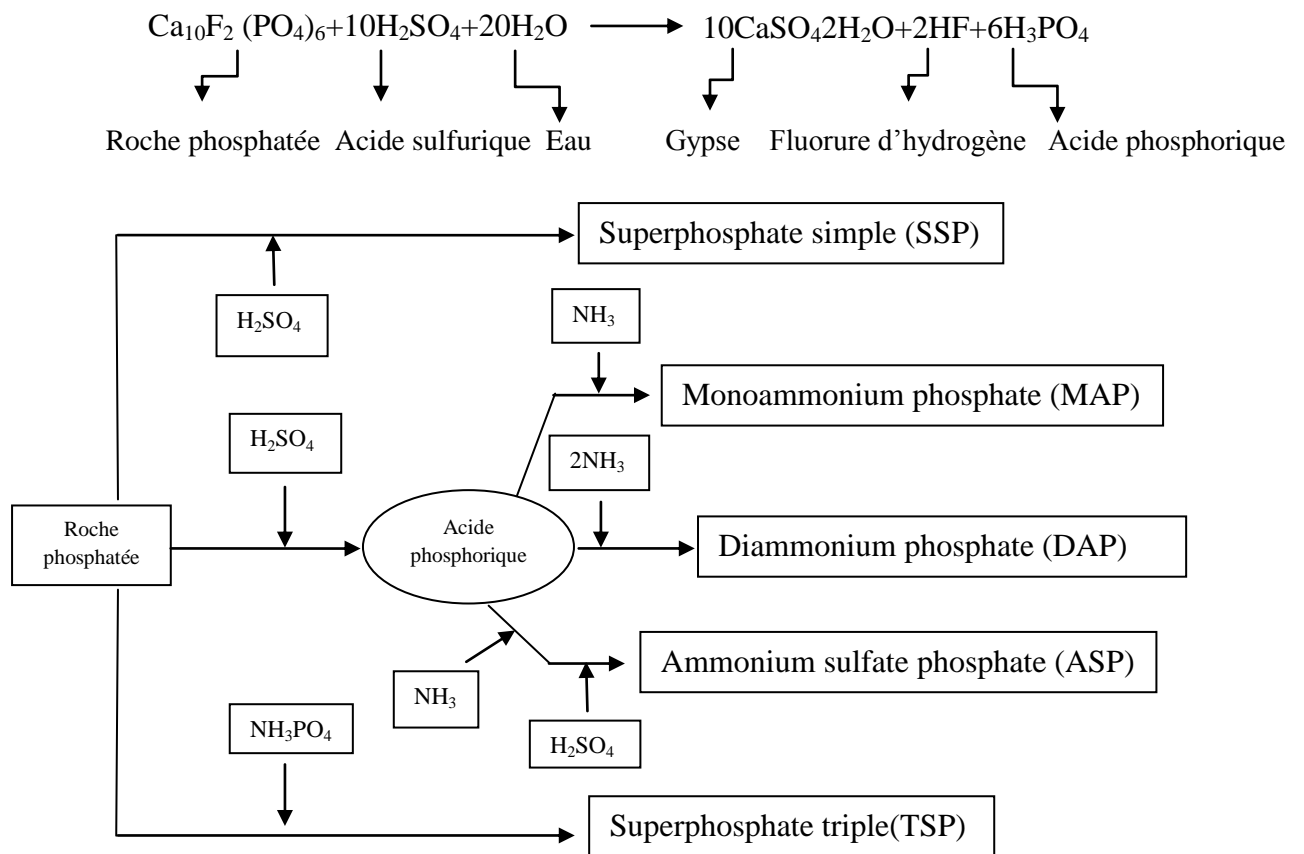


Figure 3 : Schéma de fabrication des engrais phosphatés (Moughli, 2000).

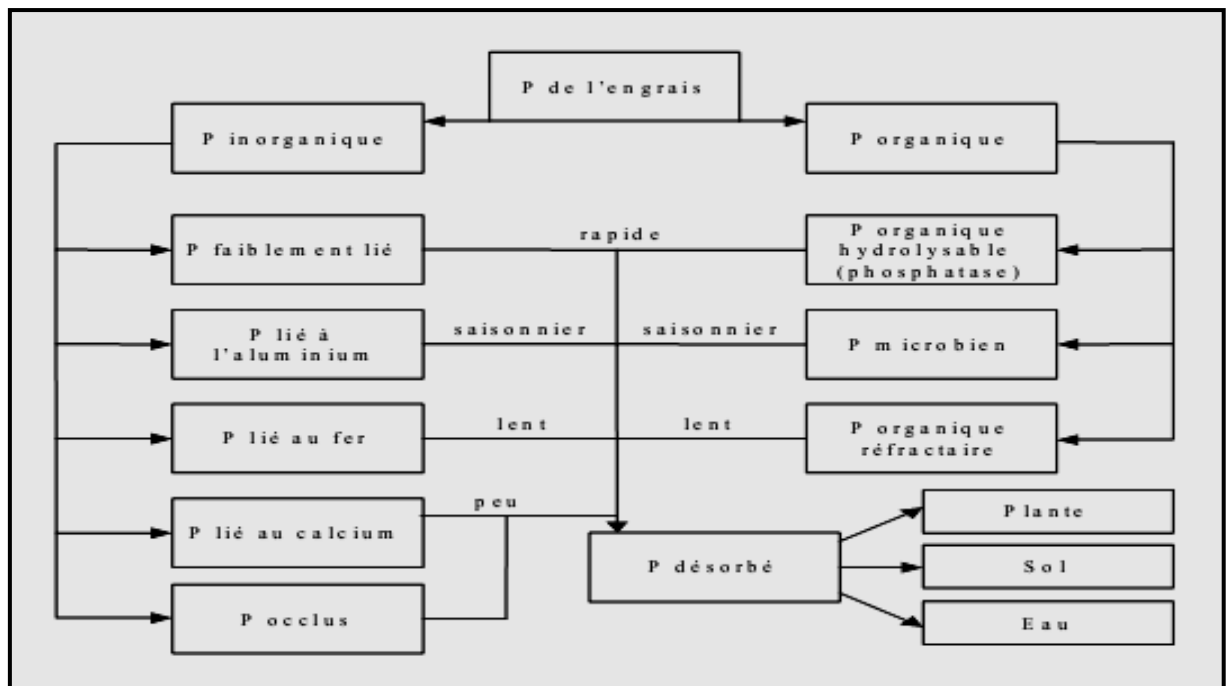


Figure 4 : Compartiments du P du sol obtenus par fractionnement chimique (Parent, 2000)

Le P organique lié à la matière organique du sol (Fig. 4) comprend les compartiments facilement hydrolysables, microbiens et réfractaires (humus). Les flèches représentent des taux souvent exprimés de façon qualitative comme du P rapidement, modérément ou lentement disponible ou diffusible vers la solution du sol. Ici, les flèches ont des unités de débit (unité de masse ou de volume par unité de temps) plutôt que de flux. Lorsque le cycle est appliqué à une surface de sol, les flèches ont des unités de flux. Les rectangles sont des compartiments du P dans le sol déterminés par l'analyse séquentielle (Parent, 2000).

I.8. Contraintes de l'assimilation phosphorique

La disponibilité du P organique pour les plantes dépend d'une part de la vitesse de minéralisation et d'autre part du rapport entre minéralisation et immobilisation. La vitesse de minéralisation est influencée par les facteurs qui affectent l'activité microbienne (température, humidité, régime d'aération et pH), tandis que l'immobilisation dépend principalement du rapport C/P des résidus subissant la décomposition. La matière organique peut augmenter la disponibilité de P minéral du sol par la libération d'acides organiques. Dans les sols calcaires, les acides organiques peuvent augmenter la solubilité des phosphates de Ca, ils peuvent avoir aussi un effet négatif dans les sols acides où ils forment des complexes avec le Fe ou l'Al (Hue, 1995).

Les mycorhizes jouent un rôle très important dans l'absorption du phosphore. Des expériences ont montrés que les hyphes sont capables d'adsorber des quantités importantes de phosphore (Li et al., 1991). Les mycorhizes permettent aux plantes d'utiliser les formes organiques de P dans le sol ; l'hydrolyse de P organique par les hyphes et le transport de P vers la plante hôte, a été démontré in vitro par Joner et al. (2000).

I.8.1. Température du sol

Les changements de température affectent plusieurs des mécanismes impliqués dans le prélèvement des éléments nutritifs par les plantes (Gagnon et Beaulieu, 2002). La température du sol affecte les réactions qui régissent la dissolution, l'adsorption et la diffusion du phosphore et affecte également le potentiel de prélèvement du phosphore par les racines (Barker et Pilbeam, 2007). Elle influence aussi la croissance racinaire (Ching et Barber, 1979 in Gagnon et Beaulieu, 2002) et la diffusion du phosphore dans le sol (Mackay et Barber, 1984 in Gagnon et Beaulieu, 2002).

I.8.2. Texture

La texture influe sur la disponibilité du phosphore : lorsque la teneur en argile augmente, la rétention en phosphore augmente d'où un phosphore moins soluble dans les sols argileux que dans les sols sableux. Le type d'argile influe aussi car la kaolinite et les oxydes de fer et d'aluminium retiennent beaucoup plus de phosphore que les argiles de type 2/1 (Badraoui et al, 1995).

Généralement, les niveaux de phosphore tendent à être moyens à élevés sur des sols qui ont des textures plus lourds. Dans des sols avec une texture plus légère, ils ont généralement des niveaux moyens à faible. Les sols ayant une texture plus légère répondent habituellement mieux à l'application des engrais phosphatés que des sols plus lourds (Mullen, 2003).

I.8.3. pH

Le pH du sol joue un rôle majeur dans la disponibilité du phosphore : quand le pH est inférieur à 6, la disponibilité de certains minéraux bénéfiques pour les plantes comme le phosphore est réduit (Michel, 2005). Pour un pH du sol inférieur à 6,8 la forme de phosphore qui domine est le monophosphate, l'anion monovalent (H_2PO_4^-) : c'est une forme facilement absorbée par les racines des plantes. Pour un pH entre 6,8 et 7,2 la forme prédominante est le HPO_4^{2-} (Fig. 5), forme d'ion phosphorique absorbable plus difficilement par la plante (Hopkins, 2003).

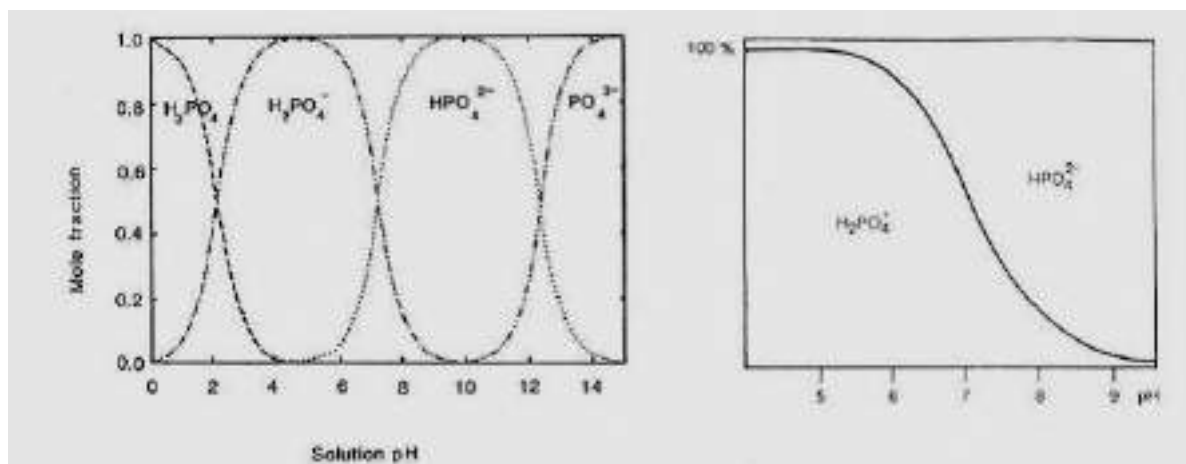


Figure 5 : Distribution des différentes formes solubles du phosphore en fonction du pH (Drouet, 2010) .

Dans la gamme des valeurs de pH communément rencontrées dans les sols agricoles (pH 4,0 – 9,0), le phosphore est soit sous forme d'anion monovalent (H_2PO_4^-) ou bivalent (HPO_4^{2-}), tous deux facilement disponibles dans la solution du sol pour la nutrition de la plante (Hountin, 1996). Les réactions réduisant la disponibilité du P se produisent à toutes les valeurs de pH mais sont plus prononcées dans les sols alcalins ayant un pH $>7,3$ et dans les sols acides ayant un pH $<5,5$ (Demers, 2008). Ainsi, la plus grande solubilité du P dans les sols minéraux se situe entre les pH de 6,2 et de 7,0. La figure (6) illustre l'importance du pH dans la fixation du P (Lindsay, 1979 in Demers, 2008). Dans les sols à pH alcalin > 7 , ce qui est le cas de la majorité des sols Algériens, le phosphore contenu dans les réserves est indisponible (Fig. 6), il faut donc l'apporter sous forme soluble et acide permettant une dynamique d'échange dans la solution (Bennai et Benabbas 2007 in Mihoub, 2012).

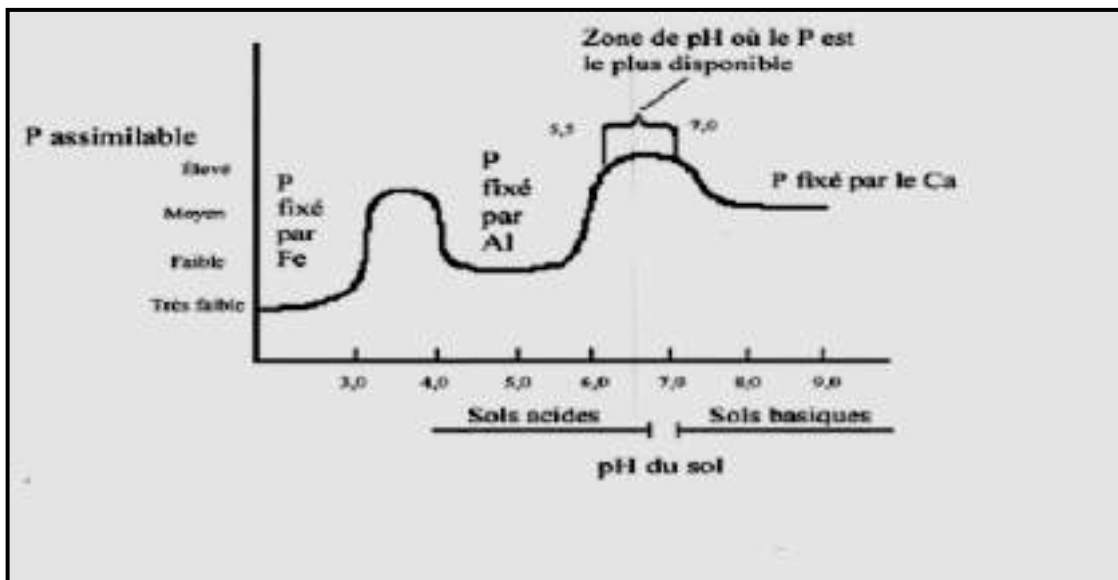


Figure 6 : Variation de phosphore assimilable en fonction du pH (Demers, 2008)

I.8.4. Calcaire

L'application des engrais phosphatés dans les sols calcaires provoque généralement certains problèmes à savoir la fixation et l'accumulation des ions phosphates dans le sol. Pour connaître la dynamique de cet élément dans ces sols, il doit y avoir des connaissances sur les formes chimiques du phosphore et leurs interactions dans les sols calcaires (Halajnia et al., 2009).

Le calcaire dans le sol influe sur son pH qui influe à son tour sur l'assimilation du phosphore. Dans les sols calcaires, riches en Ca^{2+} , la forme dominante du

phosphore est celle du P-Ca (phosphate lié au calcium) (Mckenzie et al, 2003), caractérisée par une faible labilité (Gachon, 1988).

La connaissance du calcaire total dans d'un sol agricole est un moyen de caractérisation du sol de point de vue fertilité physique, chimique et même biologique; de donner une vision sur l'activité biologique du sol mais aussi d'évaluer le pouvoir fixateur du sol vis-à-vis des ions phosphoriques et connaître par conséquent les interactions des autres éléments nutritifs avec le phosphore (Mihoub, 2012).

I.8.5. Action des racines

Dans les conditions de déficience phosphatée, notamment dans les sols riches en calcaire où le phosphore serait très lié aux ions Ca^{+2} , il a été montré que les plantes sécrètent au niveau de la rhizosphère des acides organiques pour mobiliser le phosphore fixé (Lopez-Bucio et al., 2000).

Dans la plupart des sols, la quantité du phosphore dans les 10 premiers centimètres du sol est un bon indicateur sur la capacité du sol de fournir le phosphore à la culture. Comme les racines tendent à se concentrer dans cette zone, elles peuvent gagner l'accès facile aux ions phosphoriques pour une croissance précoce des plantes (Mullen, 2003).

I.8.6. Humidité du sol

La dissolution du phosphore des engrais et de tous les composés amorphes et minéraux de phosphore dans le sol dépend de l'eau du sol ; l'eau affecte les réactions du sol en régissant la diffusion du phosphore dans la solution du sol et finalement la disponibilité du phosphore pour la croissance relative des racines (Barker et Pilbeam, 2007).

Dans la plupart des conditions, le phosphore est appliqué près de la surface du sol. Ainsi, pendant des périodes sèches dans les systèmes de production non irrigués, les déficiences en phosphore peuvent surgir (Hanway et Olsen, 1980 in Barker et Pilbeam, 2007). Mullen (2003), a considéré que la gestion de l'humidité du sol influence d'une grande part sur la réponse profitable de la plante vis-à-vis les engrais phosphatés ; il ajoute que les racines de céréale peuvent arriver à des profondeurs d'un mètre ou de plus pour accéder à l'humidité et les éléments nutritifs, particulièrement azote : quand l'humidité du sol est basse, le phosphore devient moins accessible (Mihoub, 2012).

I.8.7. Sels solubles

Il est évident que les éléments nutritifs peuvent avoir un effet synergique ou antagoniste vis-à-vis des ions phosphoriques. D'après Gachon (1969), en milieu salin un apport phosphaté est susceptible d'augmenter le rendement ; ceci est dû à une interaction positive entre le phosphore et les sels lorsque la concentration est modérée (Mihoub, 2012).

Plusieurs travaux ont montré la synergie existant entre les différents éléments nutritifs NPK. D'après Hafsi (1990), il existe des interactions synergétiques entre les deux engrais azotés et phosphatés qui font améliorer le rendement, la solubilité et l'absorption du phosphore. D'importantes corrélations ont été observées entre le phosphore total et certains éléments traces métalliques tels que Cu, Ni, Pb, Zn, Cd et Ti selon les types de sols considérés (Baize, 2000).

I.9. Effet de l'irrigation sur la disponibilité du P

Barrow (1974) a constaté une diminution importante de P résiduelle dans l'air sol sec et le sol avec teneur en eau autour du point de flétrissement permanent du sol. Entre flétrissement permanent le point et à proximité de la capacité sur le terrain, l'efficacité continue de diminuer, même si entre l'exploitation forestière de l'eau et 0,015 MPa (Mega Pascal), il y avait un peu de changement. Un effet similaire a été observé par Sharpley et Ahuja (1982).

Hussain (2000) a conclu que le stress hydrique pendant les mois de Mars et Avril ont montré une diminution de 400 kg acre⁻¹ dans le rendement du blé. Un essai sur le terrain a été mené par Wang et al. (2000) avec le blé de printemps dans la zone semi-aride de Ou na et a observé qu'il y avait une corrélation étroite entre rendement élevé et l'utilisation de l'eau et de l'irrigation limitée et engrais P l'application, l'irrigation étant le facteur clé. Quand il était sévère déficit en eau du sol avant le semis, l'irrigation avant le semis, mais pas pendant la croissance des cultures a été nécessaire pour encourager la culture à absorber l'eau du sol rendement entièrement P a augmenté de plus sans que de irrigation. Hernandez et Meurer (2000) ont rapporté que l'état d'inondation vidange Diminution de la disponibilité de P à planter en raison de l'adsorption de P avec récemment précipité haute formes de réactivité de l'oxyde de fer. Processus Redox affecte la réactivité de l'oxyde de fer et cette effet augmente

la disponibilité du P dans le sol au cours des inondations et a diminué pendant la période de séchage (Abdur, 2009).

I.10. Mode d'assimilation

L'absorption de phosphate est plus dépendante de l'activité des racines des plantes que ce qui est le cas pour les autres éléments majeurs. La géométrie de la racine et la morphologie sont importantes pour optimiser l'absorption de P, parce que les systèmes racinaires qui ont des rapports plus élevés de la zone de la surface au volume seront plus efficaces d'explorer un plus grand volume de sol (Lynch, 1995). Pour cette raison, les mycorhizes sont également importants pour l'acquisition de P, puisque les hyphes fongiques augmentent considérablement le volume de sol que les racines des plantes explorent (Smith and Read, 1997).

Dans certaines espèces végétales, des grappes de racines (racines protéoïdes) sont formées en réponse à des limitations de P. Ces racines spécialisées dégagent des quantités élevées d'acides organiques (jusqu'à 23% de la photosynthèse nette), qui acidifient les ions du sol et de métal chélate autour des racines, ce qui entraîne la mobilisation de P et de certains micronutriments (Marschner, 1995 in Amarth, 2012).

Chapitre II. Culture de blé

II.1. Définition de blé

Le blé est une monocotylédone de la famille des Poaceae appartenant au genre *Triticum*. Cette plante annuelle produit un fruit sec indéhiscent, le caryopse. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) sont les deux espèces les plus cultivées dans le monde (Débitons, 2011).

Le blé dur qui fait l'objet d'étude dans notre mémoire est cultivé dans les pays de climat chaud et sec. Les grains de blés durs sont allongés, souvent même pointus, les enveloppes sont assez minces et légèrement translucides. Ils donnent moins de son que les blés tendres. (Ait et al., 2008).

II.2. Classification du blé dur

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille. D'après la classification de Bonjean et Picard (1990 in Kaki et al., 2008), le blé dur est une monocotylédone classé comme suit:

- **Embranchement** : Spermaphytes.
- **S/Embranchement** : Angiospermes.
- **Classe** : Monocotylédones.
- **Super ordre** : Commeliniflorales.
- **Ordre** : Poales.
- **Famille** : Graminacées.
- **Genre** : *Triticum* sp.
- **Espèce** : *Triticum durum*

II.3. Exigences du blé

II.3.1. Exigences climatiques

II.3.1.1. Température

La majorité des variétés peuvent supporter un gel modéré pendant l'hiver si la plante est suffisamment développée. Par contre le blé ne supporte pas les fortes températures et les

déficits hydriques en fin de cycle pendant le remplissage du grain. En effet, la température conditionne à tout moment la physiologie du blé. Une température supérieure à 0°C (le zéro de végétation) est exigée pour la germination, cependant l'optimum de croissance se situe entre 20 et 26°C. Un abaissement de la température pendant l'hiver est nécessaire à certaines variétés dite d'hiver, cette exigence conditionne la montaison et la mise à fleur (Clement et Prats, 1970).

II.3.1.2. Eau

L'eau joue un rôle important dans la croissance de la plante (Soltner, 1990), la germination ne se réalise qu'à partir d'un degré d'imbibition d'eau de 30 %. En effet, C'est durant la phase épi 1 cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe entre 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison. C'est pour ça que le semis est toujours recommande en culture pluviale (Loue, 1982).

II.3.1.3. Lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (Soltner, 1990). Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la floraison et le développement des plantes (Nedjah, 2015).

II.3.2. Exigences édaphiques

II.3.2.1. Nature du sol

Le blé exige un sol bien préparé, meuble et stable, résistant à la dégradation par les pluies d'hiver pour éviter l'asphyxie de la culture et permettre une bonne nitrification au printemps. Sur une profondeur de 12 à 15 cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire aux bons rendements. Particulièrement un sol de texture argilo-calcaire, argilo-limoneux, argilo-sableux ne présentant pas de risques d'excès d'eau pendant l'hiver (Soltner, 1990).

Les séquences de travail du sol à adopter doivent être fonction du précédent cultural, de la texture du sol, et de la pente. Le pH optimal se situe dans une gamme comprise entre 6 à 8. La culture de blé est modérément tolérante à l'alcalinité et à la salinité du sol (Nedjah, 2015).

II.3.2.2. Fertilisation du sol

Les cultures annuelles telles que les blés craignent la carence en phosphore (P) et en Potassium (K) quand elles sont jeunes car leurs racines n'exploitent qu'une faible partie du sol.

Le phosphore est un élément fondamental parmi les trois éléments majeurs (N, P, K) apportés par les engrais et le plus anciennement connu. Le phosphore se trouve dans la plante sous forme minérale (Duthil, 1973). Mais il est beaucoup plus fréquemment présent combiné sous forme organique. Sa répartition dans les tissus est très inégale et augmente généralement avec la teneur en azote (Gervy, 1970). D'après ce dernier auteur, la teneur des végétaux en phosphore est soumise à des variations très importantes ; elle dépend principalement de la nature de l'espèce, de l'âge de la plante et de l'organe analysé ; elle dépend également, dans une moindre mesure, de la richesse du sol en P_2O_5 ; elle dépend enfin très faiblement de la présence d'autres éléments minéraux donnant lieu à des antagonismes avec l'acide phosphorique.

Le phosphore joue également plusieurs rôles dans la vie des plantes. Il est considéré comme un constituant essentiel des chromosomes, il intervient partout où il y a multiplication cellulaire d'où l'importance du phosphore dans les phénomènes de croissance et de reproduction. Il joue aussi, un rôle déterminant dans le transfert d'énergie, il est indispensable à la photosynthèse et aux processus chimio-physiologiques de la plante (Lambert, 1979). Selon Moughli (2000), le phosphore participe dans la croissance du blé, au niveau (Nedjah, 2015):

- De la stimulation de la croissance des racines: un apport localisé de phosphore (et nitrate) entraîne une prolifération des racines dans cette zone. Par contre, on a constaté moins de réponse de la racine à des apports localisés de potassium ou d'ammonium.
- De la formation des graines nécessite du phosphore: des quantités importantes de phosphore sont stockées dans les semences.

- De la maturation des grains : des teneurs élevées en phosphore réduisent le temps de maturité et donne une paille plus solide.

II.4. Cycle végétatif du blé dur

Le cycle de développement de blé est composé de deux périodes la première végétative et la seconde reproductrice (Fig. 7).

II.4.1. Période végétative

II.4.1.1. Phase germination-levée

Cette phase correspond à la mise en place du nombre de pied/m². Le sol est percé par la coléoptile qui est un étui protecteur de la première feuille. La levée est notée quand 50% des plantes sont sorties de la terre. Pendant cette phase les jeunes plantes sont sensibles au manque d'eau qui provoque une perte des plantes et au froid qui provoque le déchaussage (Karou et al ., 1998).

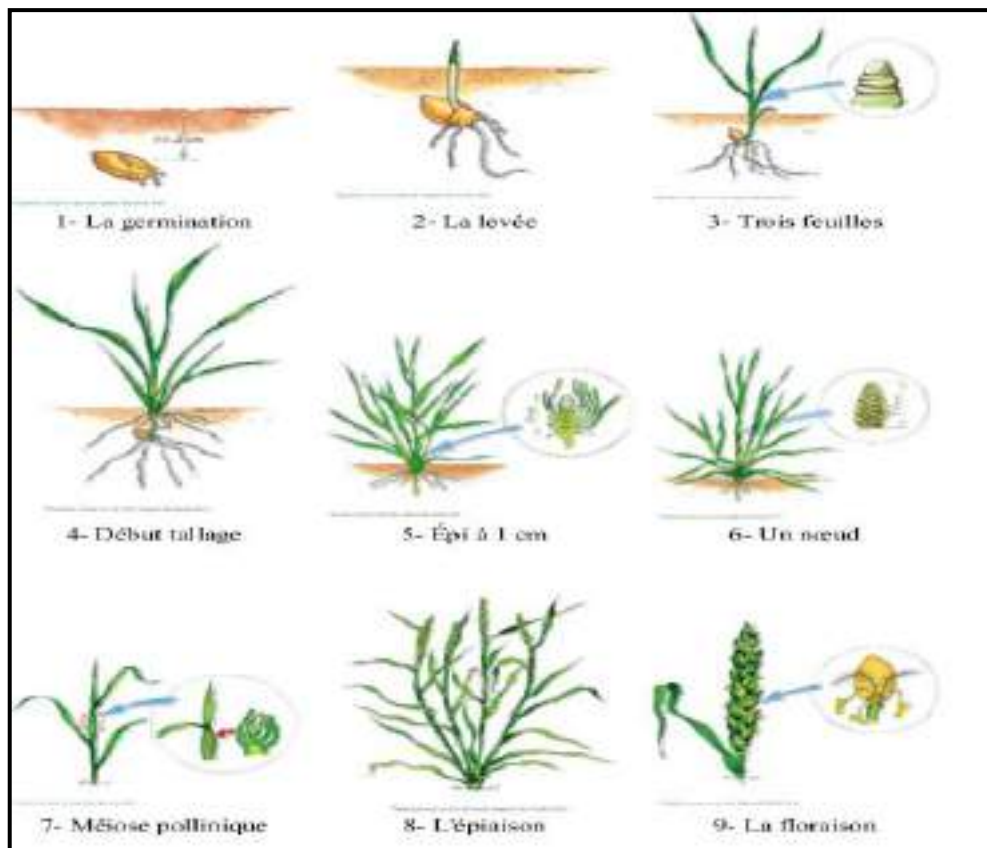


Figure 7 : Cycle végétative de blé (Ait-Kaki et al., 2008).

II.4.1.2. Phase tallage

Cette phase s'amorce à partir de la quatrième feuille. le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire puis d'autres talles naissent successivement à l'aisselle des 2^{ème} et 3^{ème} feuille de la tige centrale ,l'ensemble restant court noué formant un plateau de tallage situé juste au niveau du sol.ces talles primaires peuvent ensuite émettre des talles secondaires ,lesquels à leur tour émettent des talles tertiaires (Belaid,1986 ; Gates,1995) la fin tallage. Une période reproductrice est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductrice, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

II.4.2. Période reproductrice

II.4.2.1. Phase montaison-gonflement

Elle se manifeste, à partir du stade épi à 1cm, par l'élongation du premier entre-nœud. Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin-maitre atteint 1cm de hauteur à partir de la couronne ou plateau de tallage (Gate, 1995).

Ce stade est sensible aux basses températures variant entre +4 et 0°C .selon Baldy(1984) la montaison constitue la phase la plus critique du développement du blé. Tout stress hydrique ou thermique au cours de cette phase réduit du nombre d'épis montant par unité de surface. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle d'où la nomination stade gonflement (Mazouz, 2006).

II.4.2.2. Phase épiaison-floraison :

L'épiaison se détermine par l'apparition de l'épi hors de la gaine de la dernière feuille.les épis dégainés fleurissent généralement entre 4à8 jours après l'épiaison (Bahlouli et al., 2005). Les basses températures au cours de ce stade réduisent fortement la fertilité des épis (Abbassenne et al., 1998).

II.4.2.3. Phase remplissage du grain

Après la fécondation, l'évolution du poids du grain se fait en trois étapes .la première est une phase de multiplication des cellules du jeune grain encore vert, dont la teneur en eau est élevée .suit la phase de remplissage actif du grain avec les assimilés provenant de la photosynthèse de la feuille étendard et du transfert des hydrates de carbonés non structuraux stockés dans le col de l'épi.la quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser : c'est le pallier hydrique.

Les fortes températures au cours de cette période provoquent l'arrêt de la migration des réserves des feuilles et de la tige vers le grain : c'est l'échaudage du grain. Puis suit la phase de dessèchement du grain, qui perd de son humidité pour atteindre son poids sec final (Wardlaw, 2002).

II.5. Structure et composition du grain de blé

Le grain de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes. Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70 % de la matière sèche du grain et qui est situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15 % de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche à aleurone (Pomeranz, 1988). Les pentosanes (polysaccharides non amyliques) représentent quant à eux entre 2 et 3 % de la matière sèche et sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen, compris entre 70 à 80 % (Débitons, 2011).

Deuxième partie.
Matériels et méthodes

Chapitre III. Matériels d'étude

III.1. Choix de la région d'étude

Nous avons choisi la région de Touggourt pour réaliser notre travail expérimentale vue son importance agronomique dans la vallée de l'Oued Righ. Elle comprend plusieurs périmètres de mise en valeur cultivent le blé où les conditions hydro-édaphique notamment calcaire limitent l'expression de la fertilisation phosphaté. L'expérimentation a été réalisée dans la station du centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides (CRSTRA).

III.2. Présentation de la région d'étude

III.2.1. Situation géographique

Le haut Oued-Righ est une région agro écologique représentée par ce qu'on appelle communément le Grand Touggourt qui constitue le prolongement de la vallée de l'Oued Righ au sud. Il est situé au Nord-est du Sahara Algérien, à 160 km au nord-est d'Ouargla et de la zone pétrolière de Hassi Messaoud et à 600 km environ au sud-est de la capitale Alger (**Fig.8**). Touggourt est la plus grande ville de la région d'Oued-Righ, c'est un centre de commerce et de tourisme important, et situé sur l'axe routier desservant les villes de Hassi Messaoud et Ouargla au Sud, Biskra au Nord et El-Oued à l'Est. Le haut Oued-Righ abrite trois grande agglomération: Touggourt au Centre, Temacine au Sud et Meggarine au Nord, et relèvent toutes administrativement de la wilaya d'Ouargla (Bouammar et Merrouchi, 2015). Elle est située entre la latitude Nord $32^{\circ} - 34^{\circ},9'$ et la longitude $5^{\circ},30'$ et $6^{\circ},20'$. Est, l'altitude est proche de 70m (Helal et Ourihane, 2004).

III.2.2. Géomorphologie

Cette région a une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud / Nord. La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement de 90m à Goug, pour atteindre la cote 45 m à Djamaa. Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. (Bouznad, 2009).

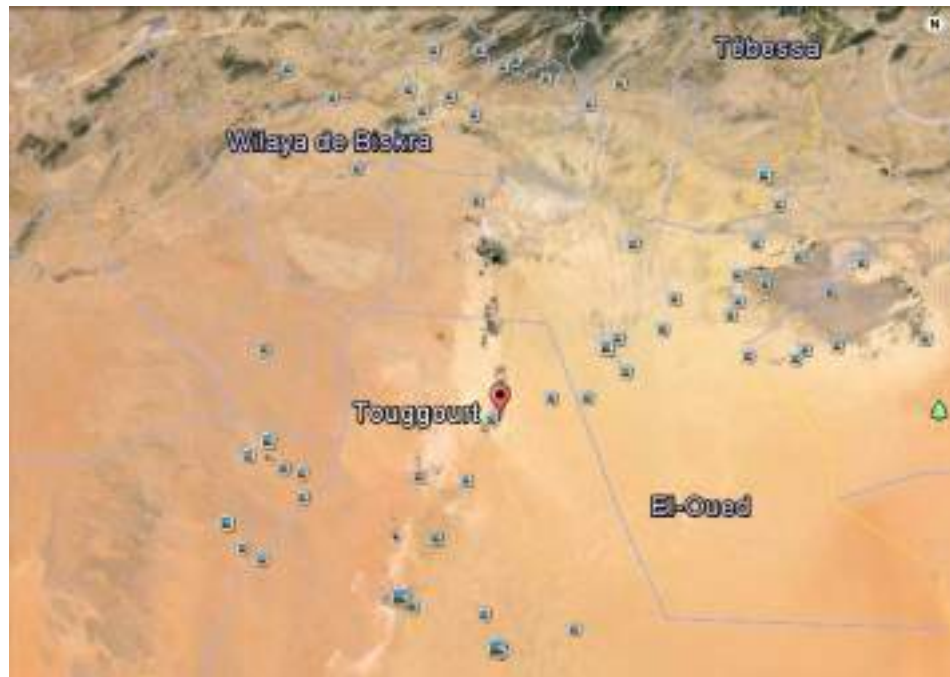


Figure 8 : Situation géographique de la région de Touggourt (Google-Earth, 2016).

III.2.3. Climat

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité où la pluviométrie est aléatoire, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation. La température est très élevée en été et une humidité très faible. La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région d'Oued Righ, elle est développée et occupe entre 10 % à 15 % de la superficie de la région (Bouznad, 2009).

La synthèse des données climatiques (ONS 2013) nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat hyper aride de type saharien, présenté par une irrégularité annuelle et interannuelle parue par deux périodes différentes :

1. L'une est sèche et chaude se prolonge entre les mois de Mars et Novembre,
2. L'autre est humide et froide s'étend entre Novembre et Février.

La plus forte température de l'ordre de 41,24 C° est enregistrée au mois de Juillet au cours duquel l'évaporation est maximale et est de 385,83 mm tandis que la plus faible température est de 4,56 C° correspond au mois de Janvier durant lequel l'évaporation est minimale atteignant une valeur de 85,21 mm.

Quant aux précipitations, la quantité maximale a été observée en Janvier avec une valeur de 15,13 mm et le taux minimal de 0,47 mm a été observé au mois de Juillet. Le mois le plus humide est Janvier caractérisé par une forte humidité de 48,90% et mois le plus sec est Juin caractérisé par une faible humidité de l'ordre de 22,88 % (Chellat, 2013).

III.2.4. Ressources en eaux

Le Sahara renferme d'importantes réserves d'eau souterraines qui sont à la base du développement agricole et urbain dans cette zone, notamment à Oued Righ. Cette dernière région souffre de la remontée des eaux phréatiques fortement salées et les ressources hydriques pour l'irrigation proviennent de deux principales aquifères : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal. La gestion des eaux souterraines présente l'un des grands problèmes dans cette région, vu son effet sur la détérioration de la qualité des sols et l'abaissement des rendements agricoles (Daddi Bouhoun et al ., 2011).

III.2.5. Agriculture

L'agriculture de la région d'étude se base sur la culture de palmier dattier. En plus de la phoeniciculture, des cultures diverses associées aux palmiers mais de faible importance. On trouve [des cultures fourragères, maraichères, légumières, fruitières et condimentaires] (Boammar et Merrouchi, 2015) .

III.3. Station expérimentale du CRSTRA

Notre expérimentation a été effectuée dans la station de recherche (CRSTRA). Cette station a été créée en 2007. Elle se situe au sud de la ville de Touggourt sur la limite sud de la commune de Nezla à gauche de la route nationale N°3(**Fig. 9**). La station s'étend sur une superficie de 0,9 hectare. La station expérimentale est dotée par : une station météorologique, une petite bibliothèque, un laboratoire de pédologie, un laboratoire de phytologie, un laboratoire des analyses de l'eau, un laboratoire de zootechnie, un laboratoire vétérinaire, une mini station d'épuration des eaux usées, une pépinière. Le rôle de la Station est de mettre en œuvre et réaliser des programmes de recherche, privilégiant les aspects physiques et biologiques et répondant aux préoccupations techniques des autorités et populations

locales, agriculteurs et éleveurs. Ses missions évoluent pour tenir compte des nouvelles problématiques régionales. La Station est une source de références scientifiques et techniques dans des filières très spécifiques (Agriculture oasienne, Elevage camelin, Zones humides, Ensablement, et également un lieu d'échange scientifique et techniques), elle permet ce qui suit :

- Valorisation des techniques de lutte contre l'ensablement.
- Edition des fiches techniques et des guides au profit des agriculteurs, des techniciens et chercheurs dans tous les domaines.
- Collection et préservation de toutes les bio-ressources caractéristiques de la région.
- Gestion et pilotage des irrigations des palmerais par les différents essais ayant pour objectif à préserver la ressource en eau.
- Valorisation et caractérisation des zones humides de la région.
- Amélioration des techniques d'épuration des eaux usées.
- Caractérisation des pathologies dominantes dans l'élevage camelin en Algérie.



Figure 9 : Situation géographique du site expérimentale (CRSTRA Touggourt)

III.4. Matériel d'essai utilisé

III.4.1. Sol

Le sol sélectionné pour notre travail est un sol sableux, non salé avec 4% de CaCO_3 . L'analyse du sol nous a permis de déterminer les critères physico-chimiques de notre substrat (Tabl. 1). Le sol est à prédominance sableux, neutre, moyennement calcaire, pauvre en matière organique et même en phosphore.

III.4.2. Plante test

Pour notre expérimentation, nous avons choisi une graminée qui est le blé dur (variété Boussalem) qui s'adapte mieux à nos conditions climatiques et produit des rendements souvent acceptables.

III.4.3. Engrais phosphaté utilisé

L'engrais sélectionné est le TSP (super phosphate triple) (46% de P_2O_5), contenant des oligoéléments : Bore (61ppm), Fer (3638 ppm), Manganèse (114 ppm), Zinc (170 ppm), Cuivre (5 ppm).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Paramètres	Valeur
Sable (%)	81.32
Limon (%)	13.25
Argile (%)	5.43
Texture	sable Limoneux
pH	7,24
Calcaire total (%)	4,2
Carbone organique (%)	0,5
Matière Organique	0.8
Phosphore assimilable (mg/kg)	1,48
Phosphore soluble (mg/l)	0,100

III.4.4. Pots

Des pots en plastiques d'une capacité de 1kg sont utilisés. Ils sont d'une forme rectangulaire, à un diamètre de 10cm. Les pots sont perforés à la base pour permettre l'aération.

III.4.5. Eau d'irrigation

Afin de déceler l'effet seul du calcaire et limiter les facteurs qui peuvent affecter la nutrition phosphatée de la plante (ex. salinité de l'eau d'irrigation), on a utilisé l'eau distillée comme source d'eau d'irrigation.

Chapitre IV. Méthode d'étude

IV.1. Approche méthodologique

Notre travail consiste à mettre en évidence l'intérêt de l'application de quelques combinaisons d'engrais phosphaté sur l'amélioration de la biodisponibilité du phosphore dans les sols sahariens calcaires.

La méthode adoptée est celle de culture en pots avec l'utilisation d'une graminée dont les teneurs en phosphore dans le sol et dans la plante sont déterminées, données qui fournissent une image sur la cinétique d'absorption de cet élément, image imparfaite dans la mesure. Par l'analyse de ces paramètres en fin de l'essai, il est possible de mesurer le phosphore immobilisé dans les organes végétaux.

L'expérimentation passe par plusieurs phases, comme suit :

- 1. Préparation des pots de l'essai**
 - a.** Préparation des mélanges sol-calcaire
 - b.** Préparation des traitements sol-calcaire-engrais phosphaté
 - c.** Préparation des solutions d'irrigation
- 2. Installation du dispositif expérimental**
 - a.** Semis
 - b.** Conduite de l'essai
 - i.** Irrigation des pots
 - ii.** Fertilisation de base
- 3. Diagnostic expérimental**
 - a.** prélèvement des échantillons sol-plante
 - b.** mesures biométriques et analytiques

IV.1.1. Préparation des pots de l'essai

La préparation des pots de l'essai nécessite la préparation des mélanges sol-calcaire, la préparation des traitements sol-calcaire-engrais phosphaté et la préparation des solutions à utiliser dans l'irrigation des plantes de blé.

IV.1.1.1. Préparation des mélanges sol-calcaire

Pour notre étude, nous avons opté pour la teneur en calcaire de 25 % qui représente une teneur moyenne des sols calcaires en CaCO_3 . Cette teneur nous permettra une meilleure appréciation de l'effet de combinaisons étudiées sur la disponibilité du P. En prenant en considération la teneur de minerai de calcaire en calcaire pur de 65,45 % et la teneur de sol en calcaire total. Pour avoir 1 kg de chaque mélange qui sera mis en pots, les teneurs en calcaire à ajouter sont estimés par calcul (Tabl. 2).

Tableau 1 : Quantité de calcaire apporté pour avoir des traitements à 25% CaCO_3

Sol à 25% calcaire	Quantité de sol (g)	Quantité de calcaire (g)	Poids total (g)
	682,21	317,79	1000

IV.1.1.2. Préparation des traitements sol-calcaire-engrais

Avant de commencer l'engrais choisi doit être: broyé et tamisé finement (sous forme poudreuse). Pour assurer une bonne homogénéisation, Les doses de phosphores doivent être bien mixées dans les mélanges. Les traitements préparés sont mis dans des pots en plastique 1 kg de chaque traitement. Les doses sont calculées à partir des isothermes d'adsorption selon le model de Freundlich (Tabl. 2, Photo 1). Les traitements P_0 , P_1 , P_2 , P_3 et P_4 sont les concentrations désirées du P dans la solution du sol pour avoir 0, 0.05, 0.10, 0.20 et 0.40 mg P/L.



Photo 1 : Pots des traitements sol-calcaire-engrais P

Tableau 2 : Doses de phosphores employés et quantités d'engrais apportés

	Traitements P	P (mg/kg)	Engrais TSP (g/kg de sol)
Sol à 25% CaCO ₃	P ₀	P ₀ = 00	0.000
	P ₁	P _{0.05} = 44	0,218
	P ₂	P _{0.10} = 66	0,330
	P ₃	P _{0.20} = 101	0,501
	P ₄	P _{0.4} = 153	0,760

IV.1.1.3. Préparation des solutions d'irrigation

Nous avons préparé trois solution pour les utilise au cours de notre essai sur le phosphore, à savoir :

- 1. Une eau distillée (ED) :** comme témoin, sans apport minéral.
- 2. Une solution à base d'acide citrique (CR) :** il y'a plusieurs recherches qui ont montré l'effet bénéfique des acides organiques, y compris l'acide citrique, sur l'amélioration du phosphore dans les sols. Dans notre cas, On a préparé une solution de 0,01M (2,10g d'acide citrique sont ajouté à 1 litre d'eau distillée). Cette solution est caractérisée par son pH acide qui est de l'ordre de 4,7 et une conductivité électrique de 10,09 dS/m.
- 3. Une solution d'extrait de fumier de type fiente de volailles (EF) :** La méthode de préparation a été inspirée des travaux menés par Weltzien (1989), Brinton et al. (1996) et Ingham (2002). Il s'agit de mélanger une quantité déterminée de fumier, bien broyé et tamisé, avec de l'eau, dans une proportion 1:100 et de laisser les mélanges incuber pendant cinq jours (période d'extraction) à l'air libre, dans des conteneurs facilitant l'agitation manuelle journalière du mélange pendant quelques minutes, 5 à 10 minutes. A la fin de la période d'extraction, le mélange est filtré avec un tamis de 40µm, mélange doit être conservé au réfrigérateur à une température de 4 °C et quelques gouttes de toluène sont ajoutées pour inhiber les activités microbiennes. Cet extrait est caractérisé par un pH basique qui est de l'ordre de 8,2 et une conductivité électrique de 16,02 dS/m.

IV.1.2. Installation du dispositif expérimental

Nous avons installé les traitements des pots dans un dispositif expérimental de type bloc aléatoire complet. Il est composé des traitements suivants (Fig. 10) :

- **ED** : traitements irrigués par de l'eau distillée (Témoin),
- **CR** : traitements irrigués par la solution d'acide citrique (0.01M),
- **EF** : traitements irrigués par l'extrait préparé à la base de la fiente de Volaille (1:100),
- **P₀, P₁, P₂, P₃, P₄** sont les concentrations désirées du P dans la solution du sol pour avoir 0, 0.05, 0.10, 0.20 et 0.40 mg P/L.

Après le semis du blé dans les pots, nous avons réalisé un entretien de la culture par l'irrigation et la fertilisation au cours de l'essai.

IV.1.2.1. Semis

Nous réaliser un semis de cinq(05) graines de blé dur « Boussalem » par pot. Le nombre de plants est limité à deux par pot après la levée.

Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3	
P2 CR	P4 CR	P2 EF	P4 EF	P2 ED	P4 ED
P1 CR	P3 CR	P1 EF	P3 EF	P1 ED	P3 ED
P0 CR	P2 CR	P0 EF	P2 EF	P0 ED	P2 ED
P4 CR	P1 CR	P4 EF	P1 EF	P4 ED	P1 ED
P3 CR	P0 CR	P3 EF	P0 EF	P3 ED	P0 ED

Figure 10 : Dispositif expérimentale en bloc aléatoire complet.

IV.1.2.2. Entretien de la culture

IV.1.2.2.1. Irrigation des pots

Au cours de l'irrigation tous les pots sont maintenus à la capacité au champ. Avant le semis, les pots sont irrigués pour arriver à la capacité au champ. La première irrigation est effectuée par un apport de 100 ml/pot des solutions préparées (à base d'acide citrique et extrait du fumier) ; et pour atteindre la capacité au champ on ajoute 20 ml/pot d'eau distillée, et on marque le poids de chaque pot.

Pour maintenir ce niveau d'humidité, nous avons effectué un suivi journalier de l'humidité des pots pour corrigé le déficit. On mesure chaque jour le poids des

pots et on rajoute de l'eau distillé s'il y a une différence pour garder le poids initial des pots.

IV.1.2.2.2. Fertilisation

Afin d'assuré un apport NPK, nous avons compléter l'apport initiale du phosphore par des apports azoté et potassique, selon le fractionnement suivant :

- **Azote (N)** : 200 mg N kg⁻¹ sol, sous forme de (NH₄)₂SO₄ a été fractionnée deux fois (stade 3-4 feuilles et au tallage).
- **Potassium (K)** : 100mg K₂O kg⁻¹ sol, sous forme de K₂SO₄ (50% K₂O) a été donné au stade 3-4 feuilles.

IV.1.3. Diagnostic expérimental

IV.1.3.1. Prélèvement des échantillons sol-plante

Le prélèvement des échantillons du sol et de la plante a été effectué au stage montaison, 90 jours après la levée. Les échantillons des pots éliminés sont séchés et broyés pour effectuer les analyses au laboratoire (Photos 2 et 3).

IV.1.3.2. Diagnostic biométrique et analytique

L'étude des effets des traitements expérimentaux sur la culture du blé, nécessite l'utilisation de deux types de diagnostics :

1. Diagnostic biométrique pour estimer :

- a. Le rendement en biomasse aérienne sèche (BS en g/pot). Elle est mesurée après séchage des plants à l'étuve pendant 24 heures (à 80°).
- b. La matière sèche totale de la tige (MST en %). C'est la différence entre poids avant et après séchage à l'étuve à 80° pendant 24 heures.
- c. La longueur de la tige et des racines (LT et LR en cm). Ce paramètre est mesuré in-situ à l'aide d'une règle.

2. Diagnostic analytiques pour estimer :

- a. Le phosphore totale dans la plante (PT en %MS); par la méthode colorimétrique.

- b. L'exportation de phosphore (mg/pot), par le produit de la matière sèche et de la teneur en phosphore en pourcent de la matière sèche = $PT \times MST$ (mg/pot).
- c. Le phosphore assimilable dans le sol (mg P/kg), par la méthode Olsen recommandée pour les sols calcaires.



Photo 2 : Prélèvement des échantillons sol-plante



Photo 3Echantillons des plantes prélevées

Troisième partie.
Résultats et discussion

Chapitre V. Impact de la fumure phosphatée sur le blé et le sol

V.1. Impact du phosphore sur la longueur de la tige

Le résultat de l'effet des différentes doses du phosphore sur la longueur de la tige du blé dans chaque pot sont variables. L'analyse de la variance montre que le phosphore apporté n'a exercé aucun effet significatif sur la longueur de la tige (Tabl.4).

Tableau 3 : Effet des doses du phosphore sur la longueur de la tige

Traitements	Longueur de la tige (cm)					Moyennes	Signification statistique de la variance
	Doses de P						
	P0	P1	P2	P3	P4		
Témoin	15,27	21,5	20,55	15,5	17,5	18,06	Doses du P: N.S Traitement: N.S Dose*Traitement: N.S
CR	16,87	16,25	21,25	21,12	19,5	20,2	
EF	14,5	17,25	24	22,25	23	18,99	
Moyenne	15,54	18,33	21,93	19,62	20	19,08	

Généralement, les valeurs obtenues de la longueur de la tige oscillent entre 15,54 et 21,93 cm respectivement pour les doses P0 et P2, et dans le cas des sols traités par ED et CR varient respectivement entre 18,06 et 20,2 cm (Fig.11a,b).

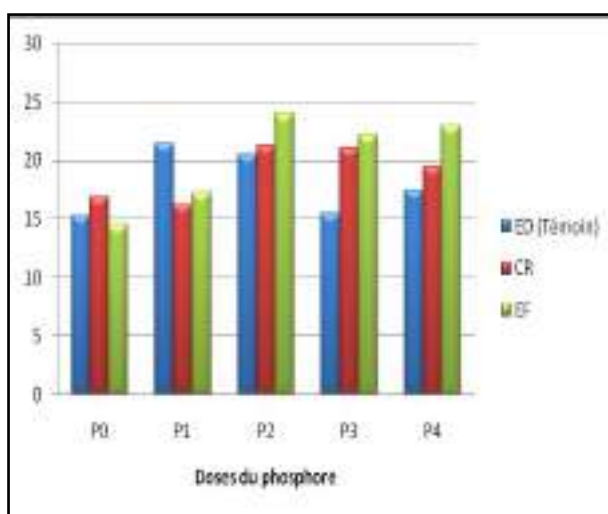


Fig.11a

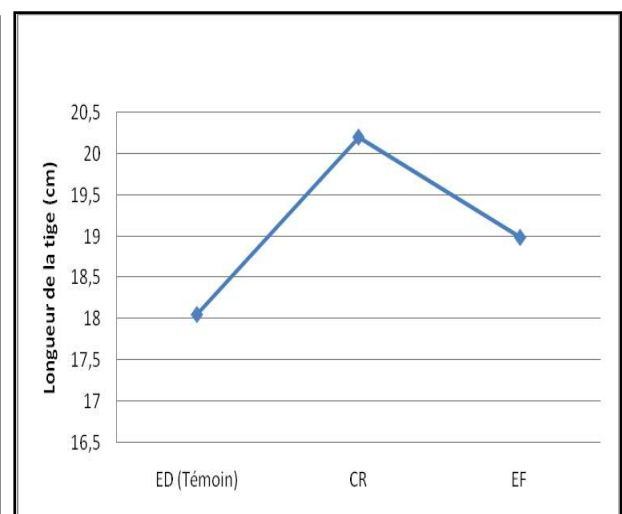


Fig.11b

Figure 11 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur la longueur de la tige

La meilleure combinaison est obtenue par la combinaison: EF*P2 avec une longueur de la tige qui été de l'ordre de 24 cm (Table 4). Nos résultat indiquent que la valeur optimum de la longure de la tige a été enregistrée au niveau du traitement EF. Ceci peut être s'expliquer par la teneur en azote contenu dans l'extrait du fumier qui est relativement élevée favorisant une meilleure croissance végétative de la plante.

V.2. Impact du phosphore sur la longueur de la racine

L'effet des déférentes doses de phosphore et les traitements ajoutés sur la longueur de la racine du blé sont variables .Toutefois, les effets enregistrés restent non significative sur ce paramètre (Tabl. 5). Les valeurs moyennes de la longueur de la racine varient entre 14,41 et 17,25 cm respectivement entre les doses P0 et P4. Par contre, les plus faibles valeurs ont été obtenues par le témoin avec une moyenne générale de l'ordre de 14,77 cm. La combinaison CR*P1 a donnée la longueur maximale des racines qui est de 18cm (Fig.12a,b).

Tableau 4 : Effet des doses du phosphore sur la longueur de la racine

Traitements	Longueur de la racine (cm)						Signification statistique de la variance
	Doses de P					Moy.	
	P0	P1	P2	P3	P4		
Témoin	14	12	17,75	13,34	16,75	14,77	Doses du P: N.S Traitement: N.S Dose*Traitement: N.S
CR	15	18	13,37	15,75	17,25	15,87	
EF	14,25	15,12	17,87	16,5	17,75	16,29	
Moyenne	14,41	15,04	16,33	15,20	17,25	15,24	

Nos résultats indiquent que la valeur optimum de ce paramètre a été obtenue au niveau des sols traités par l'acide citrique (CR). Ceci peut être lié au pH de la solution d'acide citrique qui est un pH acide, ce qui améliore généralement la disponibilité du P dans le sol et stimule le développement racinaire du blé. Les travaux de Hopkins (1999) montrent que l'effet de phosphore stimule préférentiellement la croissance des racines comparée à celle des tiges et les feuilles. Kelly et al. (1979) ont montré aussi que la longueur des racines augmente avec l'accroissement des doses d'engrais phosphaté.

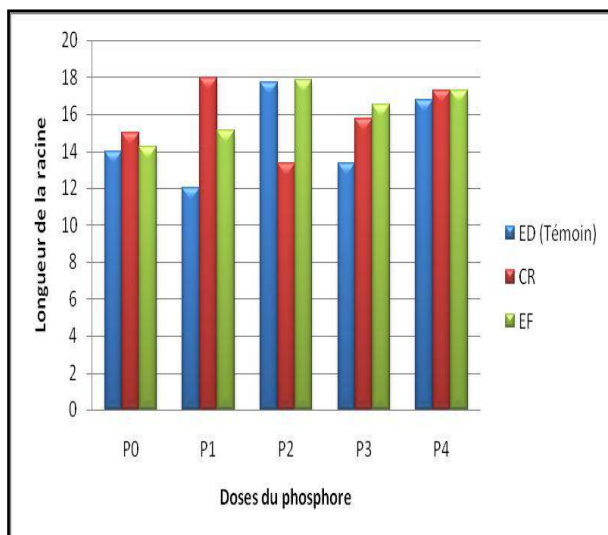


Fig.12a

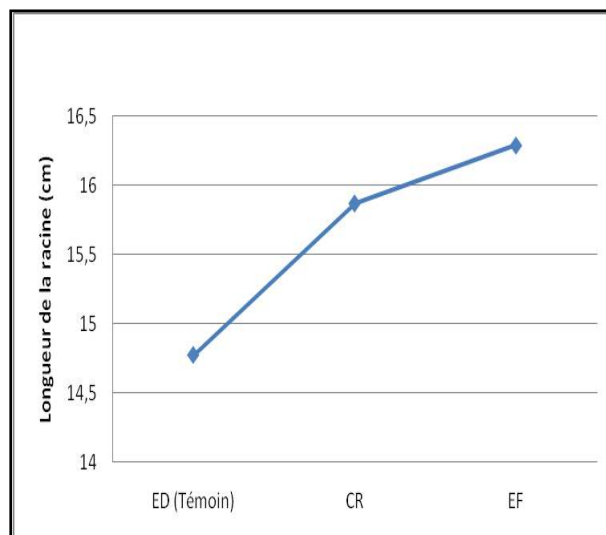


Fig.12b

Figure 12 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur la longueur des racines

V.3. Impact du phosphore sur la matière sèche du blé

La matière sèche est l'un des indicateurs révélateurs des conditions de capture des éléments nutritifs du milieu (Thevenet, 1993). L'évolution de la masse et des surfaces foliaires est corrélée à celle de la teneur en matière sèche totale durant la première moitié de la saison de culture (Benhammouda, 2000). Les résultats de l'étude montrent un effet des apports phosphatés variable sur la teneur en matière sèche (Tabl. 6). Les doses du phosphore ont exercé un effet hautement significatif sur la teneur en matière sèche. Cependant, l'effet des traitements ajoutés est non significatif.

Tableau 5 : Effet des doses du phosphore sur la teneur de la matière sèche du blé

Traitements	Matière sèche du blé (%)						Signification statistique de la variance
	Doses de P					Moy.	
	P0	P1	P2	P3	P4		
Témoin	24,35	95,8	83,3	58,9	51,7	62,81	Doses du P: H.S Traitement: N.S
CR	47	58,5	97	86,95	85,05	51,07	
EF	34,15	22	74,45	97,85	26,9	74,9	
Moyenne	35,16	58,76	84,91	81,23	54,55	62,92	Dose*Traitement: S

Généralement, les valeurs moyennes de la matière sèche oscillent entre 35,16 et 84,9% respectivement entre les doses P0 et P2, et entre 51,07 et 74,9% respectivement pour le traitement CR et EF. La combinaison EF*P3 a enregistré le haut pourcentage avec 97,85% (Fig.13a,b). Ceci peut être s'expliquer par la richesse en azote d'extrait du fumier (101 mg/l). La production de matière sèche est influencée par la fertilisation minérale. Thélier-huché et al. (1996) indiquent qu'il existe une interaction entre l'azote et le phosphore ; des apports importants d'azote ne sont pleinement valorisées que s'il y'a apport de phosphore. Deraoui (2004) a obtenu des valeurs très proches de nos résultats au stage tallage du blé.

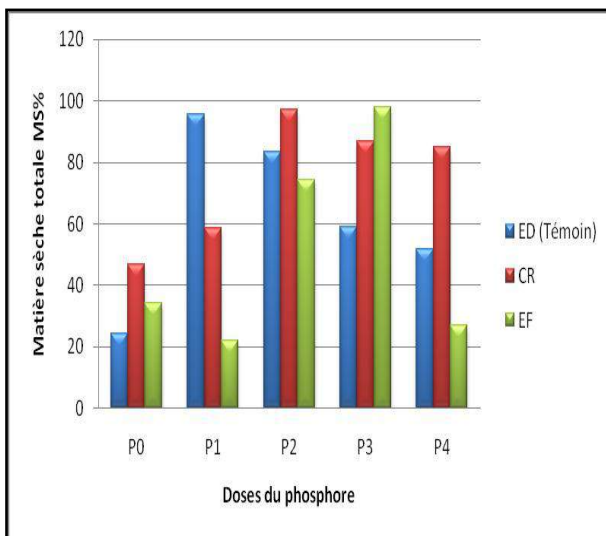


Fig.13a

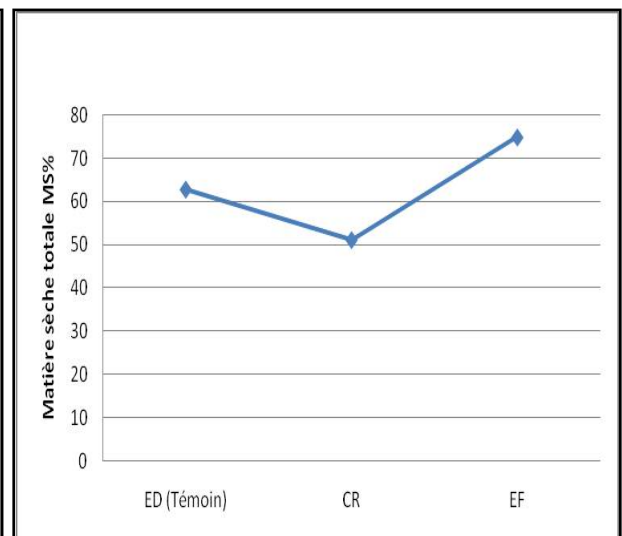


Fig.13b

Figure 13 a,b. :Impact des doses de phosphore et des traitements sur de la matière sèche du blé

V.4. Impact du phosphore sur la biomasse totale

Les résultats de la biomasse totale sèche dans les plantes présentent une variation, mais qui demeure non significative (Tabl. 7 et Fig. 14a,b).

Tableau 6 : Effet des doses du phosphore sur la production de la biomasse totale sèche

Traitements	Biomasse totale sèche (g/pot)						Signification statistique de la variance
	Doses de P					Moy.	
	P0	P1	P2	P3	P4		
Témoin	0,25	0,29	0,23	0,36	0,47	0,32	Doses du P: N.S
CR	0,37	0,29	0,44	0,54	0,37	0,40	
EF	0,40	0,34	0,55	0,58	0,49	0,47	Traitement: N.S
Moyenne	0,34	0,30	0,40	0,49	0,44	0,40	Dose*Traitement: N.S

Les résultats d'analyse de la variance ne révèlent aucun effet significatif des doses du P et les traitements appliquées sur la production de la biomasse sèche. Les valeurs de la biomasse totale sèche varient entre 0,30 et 0,49g/pot respectivement pour les doses P1 et P3, dans le cas des traitements les valeurs obtenues varient entre 0,32 et 0,47g/pot. Cependant, on enregistré la meilleure combinaison EF*P3 qui a donnée une meilleure production de la biomasse sèche qui est de l'ordre de : 0,58g/pot.

Nos résultats obtenus montrent que le rendement en biomasse totale augmente régulièrement avec l'accroissement des doses de P apportées. Ces résultats concordent ceux obtenus par Mehdi et al. (2007).

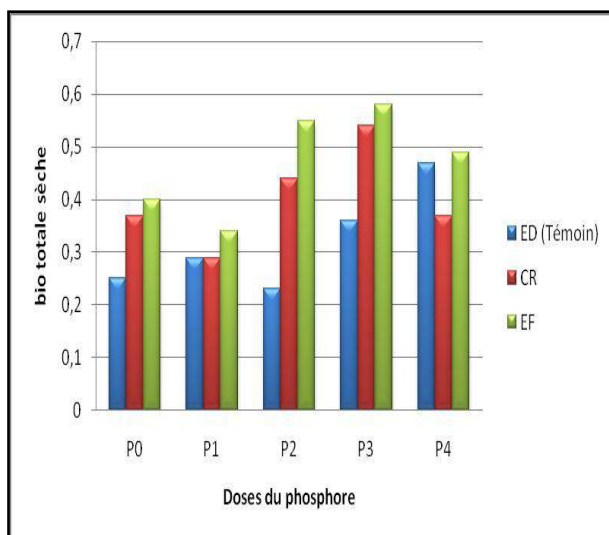


Fig.14a

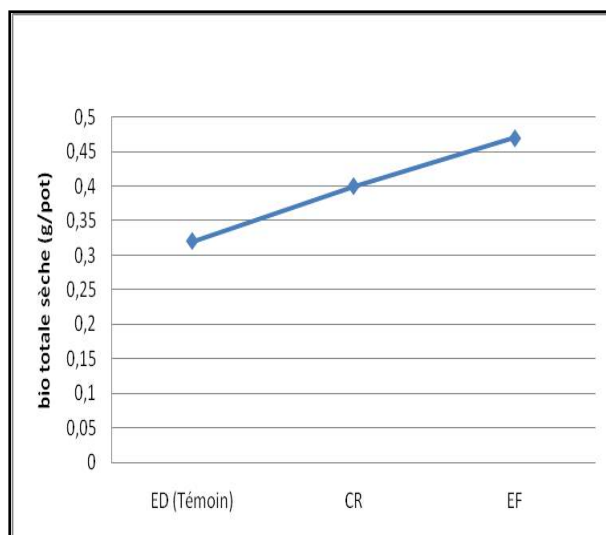


Fig.14b

Figure 14 a,b. :Impact des doses de phosphore et des traitements sur la biomasse sèche totale

V.5. Impact de la fumure phosphatée sur le phosphore total du blé

Les résultats montrent que la fumure phosphatée a eu un impact considérable significatif sur la teneur du phosphore total dans le blé (Tabl. 8 et Fig. 15a,b)

Tableau 7 : Effet des doses du phosphore sur la teneur du phosphore total du blé

Traitements	Phosphore total du blé (%)						Signification statistique de la variance
	Doses de P					Moy.	
	P0	P1	P2	P3	P4		
Témoin	0,15	0,13	0,18	0,19	0,18	0,16	Doses du P: T.H.S
CR	0,13	0,07	0,21	0,24	0,19	0,17	Traitement: T.H.S
EF	0,04	0,08	0,12	0,13	0,13	0,1	
Moyenne	0,08	0,12	0,17	0,18	0,17	0,14	Dose*Traitement: T.H.S

La fertilisation phosphatée ainsi que les traitements appliqués ont exercés un effet fortement favorable sur la teneur en phosphore de la plante. La teneur totale en phosphore de la plante varie entre 0,08 et 0,18% respectivement pour les doses P0 et P3. Dans le cas des traitements les valeurs varient entre 0,1 et 0,17 %. La meilleure combinaison est CR*P3 avec 0,24 %.

De ce fait, Les valeurs obtenues sont totalement situées dans l'intervalle indiqué par Gervy(1970) et Dutil (1973) qui ont suggérés que la teneur moyenne de la paille du blé en phosphore se situe entre 0,09 et 0,25% de la matière sèche totale.

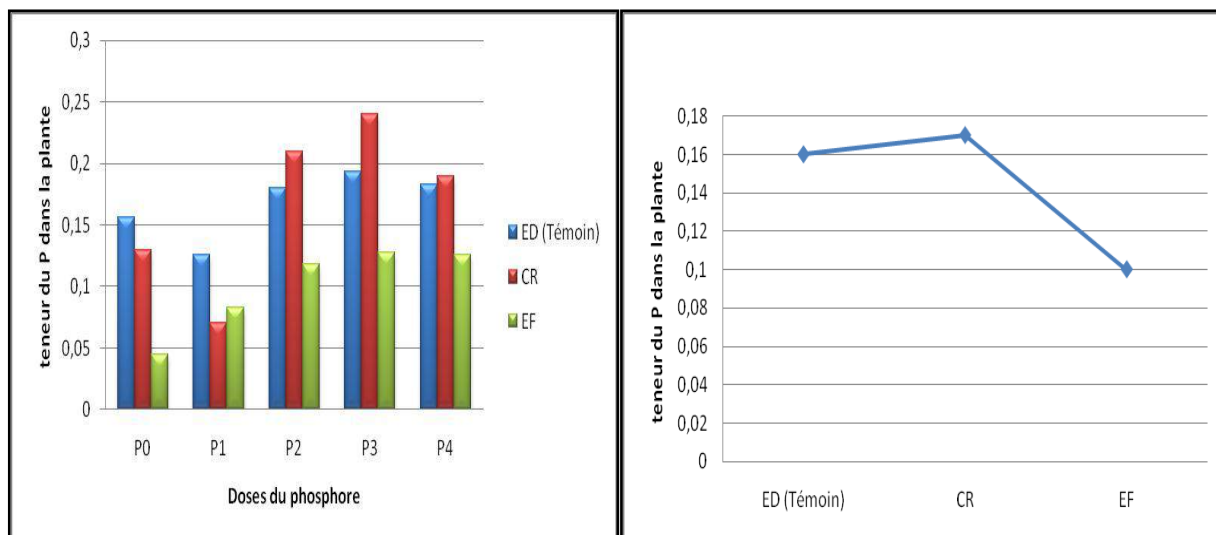


Fig.15a

Fig.15b

Figure 15 5a,b. : Impact des doses de phosphore et des traitements sur le phosphore total du blé

V.6. Impact de la fumure phosphatée sur le phosphore exporté

Les résultats indiquent une forte exportation du phosphore dans le blé (Tabl. 9 et Fig. 16a,b). L'analyse de la variance montre que les doses du P et les traitements ont exercés un effet très hautement significatif sur les prélèvements du phosphore par le blé. L'exportation du P dans la plante varie entre 0,34 mg et 0,81 mg respectivement pour les doses P1 et P3 de P /pot et entre 0,59 mg et 0,84 mg respectivement pour le traitement CR et ED, La meilleure combinaison est obtenue au niveau du traitement *dose : EF*P3 (0,95 mg/pot).

Tableau 8 : Effet des doses du phosphore sur le phosphore exporté par le blé

Traitements	Phosphore exporté par le blé (mg/pot)						Signification statistique de la variance
	Doses de P					Moy.	
	P0	P1	P2	P3	P4		
Témoin	0,7	0,37	0,73	0,84	0,72	0,84	Doses du P: T.H.S
CR	0,48	0,18	0,28	0,65	0,74	0,59	
EF	0,58	0,48	0,44	0,95	0,31	0,73	Traitement: T.H.S
8Moyenne	0,59	0,34	0,48	0,81	0,59	0,72	Dose*Traitement: S

Nos résultat indique que la valeur optimum du l'exportation du phosphore dans la plante au niveau de traitement EF parce que peut être expliqué par la richesse de l'extrait du fumier par l'azote qui favorise le développement végétatif de la plante.

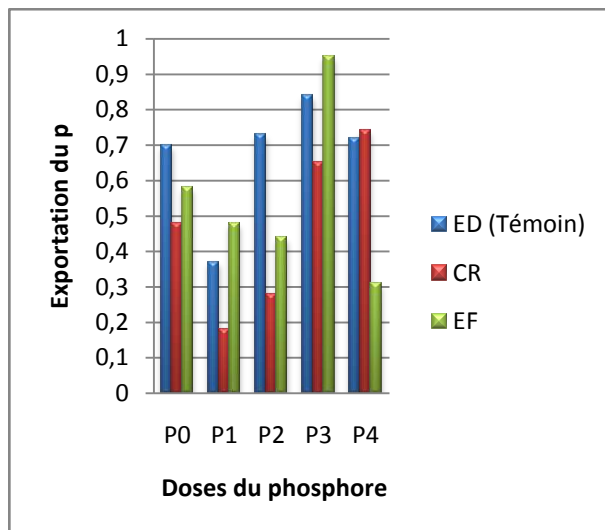


Fig.16a

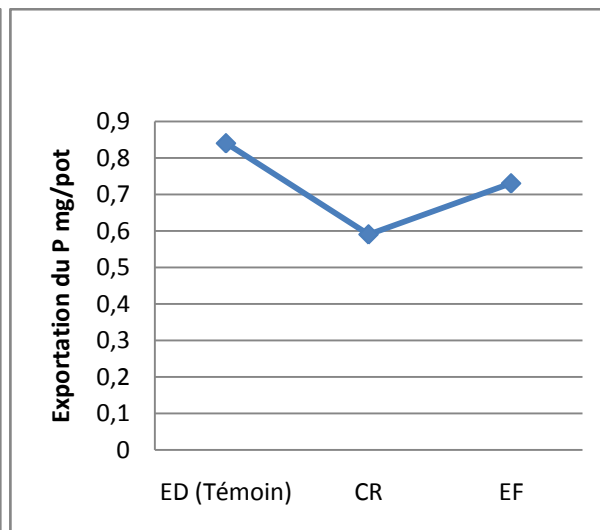


Fig.16b

Figure 16 a,b : Impact des doses de phosphore et des traitements sur le phosphore exporté

V.7. Impact de la fumure phosphatée sur le phosphore assimilable du sol

La fumure phosphatée appliqué a améliorer fortement la teneur du phosphore assimilable dans le sol (Tabl. 10 et Fig.17a,b).

Tableau 9 : Effet des doses du phosphore sur phosphore assimilable du sol

Traitements	Phosphore assimilable (mg/kg)						Signification statistique de la variance
	Doses de P					Moy.	
	P0	P1	P2	P3	P4		
Témoin	11,23	16,96	15,6	18,06	16,7	15,71	Doses du P: T.H.S Traitement: T.H.S Dose*Traitement: T.H.S
CR	13,23	20	23,1	22,16	10,23	20,53	
EF	12,96	18,06	24,3	23,83	23,53	17,74	
Moyenne	12.47	18,34	21	21,35	16,82	17,99	

Les doses du phosphore ainsi que les traitements appliqués ont exercés un effet très favorable sur la disponibilité du P dans le sol. La teneur en P assimilable dans le sol varie entre 12,47 et 21,35 mg/kg respectivement pour les doses P0 et P3. La meilleure combinaison qui a favorisé une meilleure disponibilité est obtenue au niveau du traitement*dose : EF*P2 avec 24,3 mg/kg.

Selon Deraoui 2004, les valeurs de phosphore assimilable dans le sol dans les première cm de profile (0-20) se situent entre 6,80 et 31,55 mg/kg.

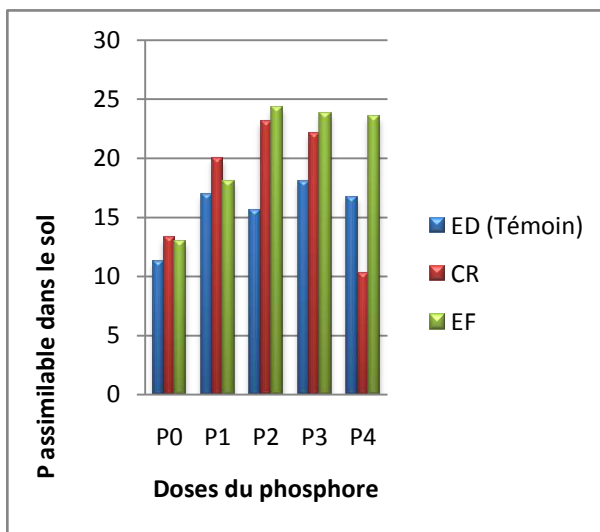


Fig.17a

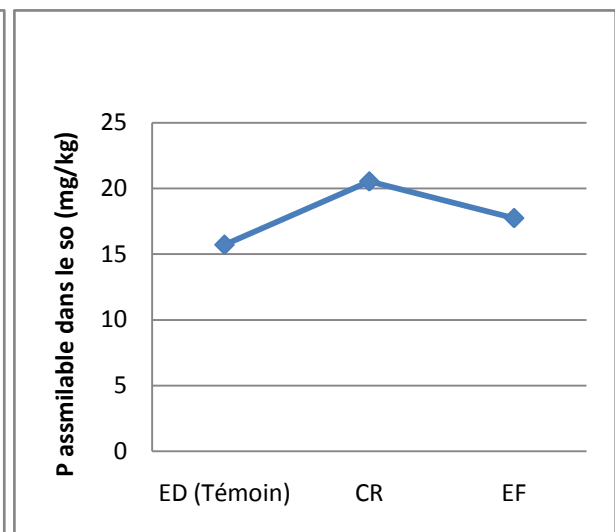


Fig.17b

Figure 17 a,b. :Impact des doses de phosphore et des traitements sur le phosphore assimilable du sol

L'utilisation des substances organiques (ex. organique acides...etc) représente une des solutions pouvant contribuer à l'amélioration de la disponibilité du phosphore dans les sols.

Plusieurs recherches ont montrés que les suppléments organiques peuvent augmenter la fraction bio disponible du phosphore dans les sols où le pouvoir fixateur du P est élevé (Iyamuremye et Dick, 1996; Guppy et al., 2005; Agbenin et Igbokwe, 2006; Gichangi, 2009). L'addition des acides organiques ayant un faible poids peut contribuer à l'activation des fraction Ca-P qui sont bloquées dans les sols riches en calcaire (Zhuo et al., 2009; Zhang et al., 2009). La solubilité des ces ions phosphates associées aux Ca^{+2} augmente grâce aux acides organiques (ex. citrique) qui sont capables de former des complexes stables mais solubles favorisant une augmentation du phosphore bio-disponible pour les plantes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail de recherche, sur l'appréciation de l'effet des doses d'engrais phosphaté, apporté en combinaison avec l'acide citrique et l'extrait du fumier, sur le comportement et la nutrition phosphatée du blé dur, nous avons obtenu des résultats qui nous permettent de constater que l'effet des apports phosphatés ainsi que les traitements appliqués est non significatif sur la longueur de la tige, la longueur des racines et la biomasse sèche produite.

Quant à la nutrition phosphatée, les traitements et les apports du phosphore ont influencées positivement sur la teneur totale en phosphore du blé, notamment avec l'utilisation combiné de l'acide citrique et la dose phosphaté 101 mg/kg. Les traitements et les doses permettent d'augmenter l'exportation du phosphore par le blé, notamment avec l'utilisation combiné de l'extrait du fumier et la dose phosphaté 101 mg/kg.

En ce qui concerne le devenir du phosphore assimilable dans le sol, les traitements appliqués ainsi que les doses ont exercé un effet favorable sur l'amélioration de la disponibilité du phosphore dans les sols fertilisés. La meilleure combinaison qui a favorisé une meilleure disponibilité est obtenue avec l'extrait du fumier et la dose phosphaté 66 mg/kg.

Le comportement de la variété utilisée en relation avec l'alimentation phosphorique ne pourrait être suffisamment expliqué que par une multiplication de ce type d'essai dans le temps, des essais pluriannuels ou de longue durée sont à recommander en élargissant la gamme des doses apportées. Cette démarche est un outil privilégié qui permet d'aller bien au delà de la simple relation apport et rendement. Des travaux approfondis s'imposent, tant sur le plan de la dynamique du phosphore que sur ses états dans le sol et leur relation avec l'alimentation des plantes.

Les résultats obtenus restent préliminaires et avec d'autres recherches similaires nous pouvons effectuer un résonnement de fertilisation phosphaté qui prend en compte la nature physico-chimique des sols du Sahara algérien notamment de type calcaire. Les techniques de fertilisation préconisée sont ceux qui permettent de réduire la rétrogradation, d'augmenter les rendements et permettent aussi de déduire le coût de production et d'augmenter le bénéfice. Tous cela, dans une perspective de favoriser le développement des cultures stratégiques comme le blé et d'assurer une agriculture durable dans les conditions environnementales sahariennes difficile.

*Références
Bibliographiques*

Références bibliographiques

1. Abbassenne F., Bouzerzour H., Hachemi L. 1998. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Ann. Agron. INA*, (18): 24-36.
2. Abdur ,R. 2009. phosphorus fertilization management to improve phosphorus use efficiency and wheat yield on calcareous soils .
3. Agbenin, J.O., Igbokwe, S.O. 2006. Effect of soil–dung manure incubation on the solubility and retention of applied phosphate by a weathered tropical semi-arid soil. *Geoderma* 133: 191-203.
4. Ait s. et kaki S., 2008 contribution à l'étude de l'interaction génétypique X milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. Université Badji Mokhtar-Annaba.
5. Amarth ,F. 2012. phosphorus adsorption isotherms of some selected soils from the eastern region of ghana .44p.
6. Badraoui M., Soudi B., Monjahid Y., Bennani F., Mikou M., Bouhlassa S., 1995. Mineralogical consideration in soils fertility management in Marroco, Homes , terre et eaux, Marroco. (25) 100:80-88.
7. Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. (2005b) selection of stade and high yielding cultivure of durum wheat indur semi-arid condition. *Bakistan journal of agronomy* 4:360-365.
8. Baize D., 2000. Guide des analyses en pédologie, 2e éd., INRA, Paris. 280p.
9. Baldy C. (1984). Utilisation efficace de l'eau par la végétation en climat méditerranéenne. *Bull. sock. Botan .fr* 131(2,3,4) (actual. Botan .) 491-499.
10. Barker A.V., Pilbeam D. J., 2007. Handbook of plant nutrition. Books in soils, plants, and the environment; v. 117. 662p.
11. Barrow, N. J. 1974. The slow reactions soil and anions.
12. Beaudin I., 2008. Revue de littérature. La mobilité du phosphore Version finale. Ed CRAAQ, 137p.
13. Belaid D. (1986) .Aspects de la céréaliculture Algérienne .Editions OPU ,Alger ,207 pages .
14. Ben hammouda M., 2000 : Production du blé dur en fonction de la variété et du régime hydrique en Tunisie. Cahiers d'études et d recherches francophones/ Agricultures. Vol.8, Numéro 8 ; Novembre – Décembre ; 611-4. Notes de recherches. 4 pages.

15. Bennai M., Benabbas B., 2007. L'amélioration des rendements des céréales par une fertilisation adaptée aux conditions pédoclimatiques algériennes. Constantine. Ed, PROFERT, 33p.
16. Better C, 1999. Functions of Phosphorus in Plants. 6p.
17. Brinton W., Trankner A. et Droffner M., 1996. Investigations into liquid compost extracts. *BioCycles*, 37 (11): 68-70.
18. Chapuis-lardy, L. et Brossard, M. 1998. Réserve et stabilité biochimique du phosphore organique de sols ferrallitiques (Cenados, Brésil). 16^{ème} congrès mondial de science du sol, 20 – 26 Août, Montpellier.
19. Ching P.C., Barber S.A., 1979. Evaluation of temperature effects on K uptake by corn, *Agron. J.*, 71: 1040-1044.
20. Clement G. et Prats J., 1970-les céréales. Collection d'enseignement agricole 2^{ème} Ed. 351p.
21. Debiton C. 2011. Identification des critères du grain du blé (*triticumaestivuml?*) favorable à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble du cultivar et par l'analyse protéomique de lignées isogéniqueswaxy. université Blaise Pascal. INRA. France. 2 p.
22. Demers I., 2008. Formes et disponibilité du phosphore de composts utilisés comme amendements de sols agricoles, pour l'obtention du grade de maître des sciences (M. Se.), Laval (Québec), 92p.
23. DeraouiN., 2004. Effet de la fertilisation phosphatée sur le comportement d'une variété de blé tendre (*Triticumaestivum L. Var. Anza*) conduite en conditions sahariennes. Mémoire de magistère I.T.A.S. Ouargla.
24. DrouetTH., 2010. Pédologie, BING-F-302. Ed. Lagev, 140p.
during incubation on the desorption of phosphorus from soil. *Soil Sci.* 133: 350–355.
25. Dutil P., 1973.Elément d'écologie .Ed. J.B. TII.Paris. p155-452.
26. Fardeau , J.C. 1993. Le phosphore assimilable des sols: S a représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. *Agronomie* ; 13: 317-33.
27. Fardeau J.C. et Conesa , A. P. 1994. Le phosphore. In Bonneau et Souchier, *Pédologie.* Vol 2. Constituants et propriétés du sol. Ed. Masson. pp : 557 – 568.
28. Fardeau.J-C.,2010. Le phosphore et la vie dans des contextes d'agro-écosystème durable (quelques données avérées). AGRO- système SAS laboratoires.2,3page.

- fertilizer and soil phosphorus transformation in Gleysolic soils. *Can.j.soil.sci.soc.*N°81: 395-403.
29. Frossard, E. 1996. Le rôle de la fertilité du sol dans l'agriculture durable. *Revue Suisse agric. ;* 28 (4) : 193-197.
 30. Frossard, E. Condron, L.M. Oberson, A. SiNAJ, S. and Fardeau, J.C. 2000. Processes governing phosphorus availability in temperate soils. *J. environ. Qual.* 29: 15-23.
 31. Frossard, E., Julien P., Neyroud, J.-A et sina, S., 2009. (cahier de l'environnement no.368-Le phosphore dans les sols – Etat de la situation en suisse). Office fédéral de l'environnement, des forets et du paysage (OFEFP), Berne, Suisse. 180 p.
 32. Gachon L., 1988. Le phosphore et le potassium dans les relations sol-plant en conséquence sur la fertilisation. *Inst. nat. rech. agr., Paris.*
 33. Gachon L., 1969. La fertilisation phosphatée. *Panorama des recherches récentes effectuées en France. Phosphore Agri.,* 53. 17 -26.
 34. Gagnon E., Beaulieu R., 2002. Utilisation du phosphore dans les engrais de démarrage. *Min. env. S.A.A.A.C.Quebec.*26p.
 35. Gate P.1995. *Ecophysiologie du blé.* Ed. Lavoisier, Paris, pp78-81.
 36. Gervy R., 1970. *Les phosphates et l'agriculture.* Ed. Dunod. Paris 298p.
 37. Gichangi EM, Mnkeni PNS. 2009. Effects of goat manure and lime addition on phosphate sorption by two soils from the Transkei Region, South Africa. *Commun. Soil Sci. Plan. Anal* 40: 3335-3347.
 38. Gregory .M .,2009. Phosphorus ,agriculture and the environment . Virginia polytechnic institute and state university . 5 page .424-029.
 39. Guppy CN, Menzies NW, Moody PW, Blamey FPC. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus organic matter in soil: A review. *Aust. J. SoilRes* 43: 189-202.
 40. Guppy, C.N., Menzies, N.W., Moody, P.W., Blamey, F.P.C. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus organic matter in soil: A review. *Aust. J. Soil Res.* 43, 189-202.
 41. Hafsi M., 1990. Influence de la fertilisation phospho-azotée sur la variété de blé dur (*Triticum durum*) «Mohamed Benbachir » cultivée dans les conditions des hautes plaines sétifiennes. *E.N.S.A.* 124p.
 42. Halajnia A., Haghnia G.H., Fotovat A., Khorasani R., 2009. Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure. *Geoderma* 150 209–213.

43. Hanway J.J., OLSON R.A., 1980. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans, and small grains. In: Khasawneh, Sample, Kamprath, Eds. *The Role of Phosphorus in Agriculture*.
44. Helal F., ET ourihane 2004– Etude hydrogéologique du continentalintercalaire et du complexe terminal de la région de Touggourt. Aspect hydro -chimique et problèmes techniques posés, Thèse Ingénieur d' Etat en hydraulique. Université, Houari Boumediene, 110p.
45. Hernandez, J. and J. Meurer. 2000. Phosphorus availability in six Uruguayan soils affected by temporal variation of oxidizing-reducing conditions. *RevistaBrassileria-de-Ciencia-do-Solo* 24: 19-26.
46. Holford, I. 1997. Soil phosphorus: its measurment, and its uptake by plants. *Aust. J. Soil. Res.*; 35: 227-239.
47. Hopkins W. G., 2003. *Physiologie végétale*. Ed. de Boeck, Belgique, 514p.
48. Hountin J. A., 1996. Capacité d'adsorption du phosphore et distribution des éléments C, N et P dans un sol agricole traité avec du lisier de porc pendant 14 ans. Thèse pour l'obtention du grade de Philosophie Doctorat en sci de l'eau et de L'envir, NRS-EAU, Québec (CANADA), 166p.
49. Hué, N.V. 1995. Sewage sludge. In: Rechcigl, J.E. *Soil Amendments and Environmental Quality*. Ed. Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 199 – 247.
50. Hussain, A. 2000. Gandum key fasal, *Jadeed Zraat*, 11, 8-9.
51. Ingham E.R., 2002. *The Compost tea brewing manual*. Third Edition. Soil Foodweb Inc, Corvallis, Oregon, USA, 78 pp.
52. Iyamuremye F, Dick RP. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *AdvAgron* 56: 139-185.
53. Iyamuremye, F., Dick, R.P. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption. *Adv. Agronomy*. 56,139-185.
54. Joner, E.J. Ravnskov, S. and Jakobsen, I. 2000. arbuscularmycorrhizal phosphate transport under monoaxenic conditions. *Biotechnology Letters* ; 22, 1705 – 1708.
55. Karou M. , HaffidR . ,Smith DN . , Samir K. (1998). R oots and showth growth water use and water use efficiency of spring durum wheat under early -season drought. *Agronomie* 18,181-186.
56. Kelly j.M., Parker G.R. and Mcfee W.W., 1979. Heavy metal accumulation and growth of seedling of five species as influenced by soil cadmium level. *J. Environ. Qual*, 8(3): 361-364.

57. Kucey, R., Janzen, M.N. and Legget, H.H. 1989. Microbially mediated increases in plantavailable phosphorus. *Advances in Agronomy*; 42: 199 - 228.
58. Lambert J.C., 1979- La fertilisation phosphatée. *Revue Cultivar*. N °115, pp96-97.
59. Li, X.L., Georg , E. and Marschner , H. 1991. Phosphorus depletion and pH decrease at the root soil and hyphae -soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytologist*; 119: 397 – 404.
60. Lindsay L., 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons, NY. 449 pages.
61. Lopez-bucio J., Nieto-jacobo M.F., Ramirez-rodriguez V., Herrera-estrella L., 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Science* 160: 1-13.
62. Loue A., 1982 (b): comparaison entre le blocage de la fumure potassique en tête de rotation et sa répartition sur les céréales. *Revue potasse*, S16, N°5, pp 1-5.
63. Lozet J. et Mathieu C., 1990. *Dictionnaire de science du sol*. 2ème éd. Tec. et Doc. Lavoisier .384p.
64. Lynch, J (1995). Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol* 109: 7–13.
65. Maalem.S., 2011. Etude d'impact des interactions entre le phosphore et le chlorure de sodium sur trois espèces végétales halophytes du genre *Atriplex* (*A.halimus*, *A.canescens* et *A. nummularia*).
66. Mackay A.D., Barber S.A., 1984. Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 818-823.
67. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, San Diego, CA .
68. Mathieu. V., 2010. Perspective d'évolution pour le raisonnement de la fertilisation phosphate . SAS laboratoire AGRO-systèmes. 1,4,5 page.
69. Mazouz ,L., 2006. Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologique dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mémoire de Magistère .Départ. Agronomie .Université Hadj Lakhdar, Batna.
70. MCKENZIE R. A., PRENT L. E., MACLEOOD J. A., 2003. Influence of soil texture on
71. Mekliche A., 1983. Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé d'hiver dans le haut chéelif. Mémoire de magister, I.N.A. Alger. 81p.
72. Merrouchi.L et Bouammar.B., 2015. Le fonctionnement de la filière dattes dans la région de Touggourt Sud –est Algériens. Laboratoire de recherche sur la phoeniculture. université KASDI MERBAH-OUARGLA. 201page.Q13.

73. Michel T., 2005. Quelques notions de la fertilisation. Ed. Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec, 50p.
74. Mihoub . A.,2012. Dynamique du phosphore dans le système sol-plante en conditions pédoclimatiques . 3,4 page.
75. Mihoub A, Deraoui BN. 2014. Performance of Different Phosphorus Fertilizer Types on Wheat Grown in Calcareous Sandy Soil of El-Menia, Southern Algeria. *Asian J. CropSci.* 6: 383-391.
76. Morel, C. Tunney H. Plenet, D. and Pellerin, S. 2000. Transfer of phosphate ion between soil and solution: perspective in soil testing. *J. Environ. Qual.* ; 29 : 50 -59.
77. Moughli .L.,2000. Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations. Transfert de technologie en agriculture MADREF/DERD PNTA .No72.1page.
78. Mullen I. C., 2003. Phosphorus Nutrition for Winter Crops. Agfact P1.4.5, second edition. District Agronomist, Dubbo NSW Agriculture. 16p.
79. Nedjah I., 2015. Changements physiologiques chez les plantes (blé dur : triticum durum. Desf.) exposé à une pollution par un métaux lourd. Université Badji Mokhtar-Annaba.
80. Norihiro, M. Satorn , O. Yuniko, S. Shigeru , S. Tomohiko , K. Satoshi H. and Daisuke , S. 1994. Over expression of an arabidopsis thaliana high -affinity phosphate transporter gene in tabaco cultured cells enhances cell growth.
81. Office national de la météorologie : 2013. Rapport sur les données climatiques d'Ouargla, 10p.
82. Parent.L.E., 2000 . LE flux et la dynamique du phosphore dans les sols agricoles Québécois. *Ordre des agronomes du Québec.* 5 page.
83. Pierzynski G. M., simsJ.T., VANCE G.F., 2000. Soils and environmental quality. 2end ED, CRC. Pres. Newyork. 459p.
84. Pierzynski, G.M. Sims , J.T. and Vance , G.F. 1994. Soils and environments quality. Ed. Lewis publishers, pp. 103- 141.
85. Priya P., Sahi S.V., 2009. Influence of phosphorus nutrition on growth and metabolism of Duo grass (Duo festulolium). *Plant Physiology and Biochemistry* 47 31–36.
86. Schachtman, D. P. Reid r. J. and Ayling, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: From soil to cell. *Plant physiol.* 116: 447 -453.
87. Sharpley, A.N. and L.R Ahuja, . 1982. Effects of temperature and soil water content
88. Soltner., 1988 - Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed. 16ème éditions 464P.

89. Soltner., 1990 : Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed .17^{ème}édition, 464p.
90. Thelier-huche L., BonischotR., Contat F. ET Salette J., 1996 : Incidence à long terme d'une absence prolongée de fertilisation phosphatée sur prairie permanente. Revue Fourrages. N° 145, pp : 53-62.
91. Thevenet G., 1993 : la fertilisation raisonnée. Du concept du raisonnement aux applications pratiques : la démarche du comifer. Ingénieurs de la vie. N°427/ février-mars. pp : 28-34.
92. Wardlaw I.F.(2002) interaction between drought and chronic high temperature dring kernel filling in wheat a controlled environment. Anuel of botany, 90,469-476.
Water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. Soil Science. 118: 380-386.
93. Weltzienh.C., 1989. Some effects of composted organic materials on plant health. Agriculture, Ecosystems and Environment, 27: 439-446.
94. Whitehead, D.C. 2000. Nutrient elements in grassland. Soil – Plant – Animal relationships. CAB International, Wallingford, 369 pp.
95. Zhang, A., He, L., Zhao, H., Wu, Z. 2009. Effect of organic acids on inorganic phosphorus transformation in soil with different phosphorus sources. China J. Appl. Environ. Biol. 15(4), 474- 478.
96. Zhuo, A., He, L., Zhao, H. 2009b. Effect of organic acids on inorganic phosphorus transformation in soil with different phosphorus sources. China J. Appl. Environ. Biol. 15, 474-478.

Annexes

Analyse de la variance des résultats et obtenus (essai en sol cultivé)

Tableau 1 : Effet de la fertilisation phosphatée sur la teneur totale en phosphore de la plante (%)

	SS	DDL	MS	F	P
Intercept	0.635107	1	0.635107	26793.60	0.000000
Traitements	0.033071	2	0.016535	697.58	0.000000
Doses du P	0.041625	4	0.010406	439.02	0.000000
Traitements*Doses du P	0.011492	8	0.001437	60.60	0.000000
Error	0.000356	15	0.000024		

Tableau 2: Effet de la fertilisation phosphatée sur les exportations en phosphore par la plante (mg/pot).

	SS	DDL	MS	F	P
Intercept	13.06800	1	13.06800	777.2250	0.000000
Traitements	0.45227	2	0.22614	13.4495	0.000451
Doses du P	1.35587	4	0.33897	20.1602	0.000007
Traitements*Doses du P	0.43794	8	0.05474	3.2558	0.023353
Error	0.25220	15	0.01681		

Tableau 3: l'effet des engrais phosphatés sur la longueur de la tige.

	SS	DDL	MS	F	p
Intercept	10330.50	1	10330.50	729.3316	0.000000
Traitements	12.77	2	6.39	0.4508	0.645482
Doses du P	36.22	4	9.05	0.6392	0.642609
Traitements*Doses du P	119.57	8	14.95	1.0552	0.440932
Error	212.46	15	14.16		

Tableau 4 : l'effet des engrais phosphatés sur la longueur de la racine.

	SS	DDL	MS	F	P
Intercept	7308.602	1	7308.602	381.2769	0.000000
Traitements	10.867	2	5.433	0.2834	0.757128
Doses du P	31.992	4	7.998	0.4172	0.793670
Traitements*Doses du P	61.446	8	7.681	0.4007	0.903063
Error	287.531	15	19.169		

Tableau 5 : Effet de la fertilisation phosphatée sur la matière sèche totale dans la tige (MST)

	SS	DDL	MS	F	P
Intercept	109977.0	1	109977.0	397.6240	0.000000
Traitements	1336.1	2	668.1	2.4154	0.123207
Doses du P	6824.6	4	1706.2	6.1687	0.003846
Traitements*Doses du P	5938.2	8	742.3	2.6837	0.047319
Error	4148.8	15	276.6		

Tableau 6 : Teneur en phosphore assimilable dans le sol

	SS	DDL	MS	F	P
Intercept	0.635107	1	0.635107	26793.60	0.000000
Traitements	0.033071	2	0.016535	697.58	0.000000
Doses du P	0.041625	4	0.010406	439.02	0.000000
Traitements*Doses du P	0.011492	8	0.001437	60.60	0.000000
Error	0.000356	15	0.000024		

Tableau 7 : Effet de la fertilisation phosphatée sur la biomasse totale sèche (g/pot)

	SS	DDL	MS	F	P
Intercept	6.254507	1	6.254507	659.8741	0.000000
Traitements	0.012266	2	0.006133	0.6470	0.537600
Doses du P	0.104673	4	0.026168	2.7608	0.066706
Traitements*Doses du P	0.180840	8	0.022605	2.3849	0.069859
Error	0.142175	15	0.009478		

Protocole de dosage du phosphore végétal :

Le dosage du phosphore a été obtenu par méthode de colorimétrie. Le principe est d'ajouter au phosphore présent dans l'extrait, sous forme d'ortho-phosphate, des ions vanadate et molybdate formant un complexe phospho-vanado-molybdate de couleur jaune. Ce complexe coloré est ensuite mesurable par colorimétrie à 460 nm.

8- Pour l'échantillon :

- Séchage de l'échantillon à l'étuve : à 60°C pendant 24h,
- Broyage de l'échantillon,
- Passage à l'incinération: 0,2g de l'échantillon frais dans une cupule : 2h à

200°C+ 3h à 500°C ;

• Contenu de capsule(cendre)+3ml de HCl concentré puis agiter (2 à 3 min par la main) puis l'ébullition sur une plaque chauffante (30 sec d'ébullition) puis laisser refroidir et filtrer dans des fioles de 100ml en rinçant bien le contenu de capsule; puis ajuster par de l'eau distillée jusqu'à 100ml.

9-Réactifs à préparer :

a) **KH₂PO₄**: 1,916 g dans un litre d'eau distillée (c'est la solution mère)

Pour la solution fille qui sera utilisée: 10ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée.

b) Réactifs :

- R1: 100g de héptamolybdate d'ammonium + eau distillée chauffée + 10 ml d'ammoniaque pur puis ajuster à 1 Litre par de l'eau distillée.

- R2: 400ml d'eau bouillante + 2,35g de métavanadate + 5ml acide nitrique pur (HNO₃) et puis ajuster à 1 Litre par de l'eau distillée.

10-Réactif final à utiliser (RF):

200ml de R1 +200ml de R2+ 90ml HNO₃ Puis ajuster le mélange à 1 litre par de l'eau distillée

11- Pour la gamme étalon :**Tableau 8 : les valeurs de la gamme étalon.**

Tubes N° :	1	2	3	4	5
KH ₂ PO ₄ (solution fille)	0ml	2 ml	4ml	8ml	10ml
Eau distillée	10ml	8ml	6ml	2ml	0ml
Réactif final (RF)	1ml	1ml	1ml	1ml	1ml
P final en P ₂ O ₅	0 ppm	0,2 ppm	0,4 ppm	0,8 ppm	1 Ppm

12- Préparation des tubes à essai pour les échantillons

- Prélever par pipettes 10ml d'extrait filtré des échantillons + 10 ml de Réactif final (RF).
- Chauffer au bain marie les tubes (80°C) jusqu'à l'appariation de la couleur bleu.
- Laisser les tubes refroidir.
- Passage au spectrophotomètre à 460nm.

Résumé :

Contribution à l'étude de l'effet de quelques engrais sur la disponibilité du phosphore dans les sols calcaires de Touggourt

Notre essai conduit en conditions semi-contrôlées a été réalisé dans la région de Touggourt. Nous avons étudié l'effet combiné des substances organo-minérales, d'acide citrique, d'extrait du fumier et d'apports phosphatés de 0, 44, 66, 101 et 153 mg/kg, sur la croissance et la nutrition phosphatée de *Triticum durum* var. Boussalem. Les résultats de l'essai montrent que les traitements phosphatés ne présentent aucun effet significatif sur la longueur de la tige, des racines, et la biomasse sèches produite. Toutefois, il y a eu une amélioration significative de la nutrition phosphatée du blé dur et un enrichissement du sol en phosphore assimilable, notamment pour la dose phosphatée 101 mg/kg. L'acide citrique et l'extrait du fumier si ils sont combinés avec l'engrais phosphaté peuvent augmenter la mobilisation de Phosphore dans le système sol-plante et réaliser ainsi une économie l'argent par la diminution des coûts d'intrants phosphatés dans les sols riches en calcaire.

Mots clés : sol, calcaire, engrais, phosphore, disponibilité, blé dur, Touggourt.

: ملخص

مساهمة في دراسة تأثير بعض الأسمدة على توفر الفسفور في التربة الجيرية تقرت

قمنا بدراسة تأثير تداخل المواد العضوية والمعدنية ، حمض ألكستريك ، مستخلص سباد الطيور مع قيم جرعات الفسفور 0،44،66،101،153 ملغ/كغ على نمو وتغذية القمح الصلب ، (فضيلة بوسالم). أبرزت النتائج أن الأسمدة الفسفورية ليس لديها أي تأثير على طول الساق والجذور والكتلة الحيوية الجافة المنتجة ، في كل مرة كان هنالك تحسن في التغذية الفسفورية للقمح الصلب و إثراء في التربة من حيث الفسفور المتاح ، تحديدا في الجرعة 101 ملغ/كغ . حمض ألكستريك و مستخلص سباد الطيور في حال إضافتهما مع السباد الفسفوري يحدث زيادة في حركة الفسفور في نظام النبات - التربة، وبالتالي توفير المال بتقليل تكاليف الأسمدة الفسفورية في التربة الجيرية.

الكلمات المفتاحية : التربة، الجير، الأسمدة، الفسفور، الوفرة، القمح الصلب، تقرت.

Summary :

Contribution to the study of the effect of some fertilizers on phosphorus availability in calcareous soils of Touggourt

Our test conducted in semi-controlled conditions was conducted in Touggourt region. We studied the combined effect of organo-mineral substances, citric acid, extracted from manure and phosphate inputs of 0, 44, 66, 101 and 153 mg / kg, on the growth and nutrition of phosphate *Triticum durum* var. Boussalem. The results of the test show that the phosphate treatment offers no significant effect on the length of the stem, roots, and the dry biomass produced. However, there was a significant improvement in the phosphate nutrition durum and an enrichment of the soil available phosphorus, particularly phosphate dose 101 mg / kg. The citric acid and the extract manure if they are combined with phosphate fertilizer can increase the mobilization of P in the soil-plant system and thus a saving money through the reduction of phosphate input costs in soils rich in limestone.

Keywords: soil, limestone, fertilizer, phosphorus, availability, durum wheat, Touggourt.