



**UNIVERSITE DE OUARGLA**

N° d'ordre :  
N° de série :

**FACULTE DES SCIENCES  
ET SCIENCES DE L'INGENIEUR**  
\*\*\*\*\*

**DEPARTEMENT DES  
SCIENCES AGRONOMIQUES**

**Laboratoire  
de Bioressources Sahariennes :  
Préservation et Valorisation**

**Mémoire**

***Présenté pour l'obtention du diplôme de***

**MAGISTER**

Spécialité : Agronomie Saharienne

*Option : Protection de l'environnement en zones arides*

**Par : BOUKHALFA Naima née DERAOUI**

**Thème**

***Effet de la fertilisation phosphatée sur le comportement d'une  
variété de blé tendre (Triticum aestivum L.Var.Anza) conduite  
en conditions sahariennes***

**Soutenu publiquement le : 29 / 06 / 2004**

**Devant le jury composé de :**

<b>M. CHELOUFI Hamid</b>	M.C. Univ. Ouargla	Président
<b>M. HALILAT Mohammed Tahar</b>	M.C. Univ. Ouargla	Encadreur
<b>M. BRINIS Louhiche</b>	Professeur. Univ. Annaba	Examineur
<b>M<sup>me</sup> BISSATI Samia</b>	Docteur C.C. Univ. Ouargla	Examineur
<b>M. MEKLIICHE Arezki</b>	C.C. INA – EL Harrach	Examineur

**Année universitaire : 2003/2004**

## Avant- propos

J'exprime toute ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail.

Il m'est très agréable de remercier particulièrement Monsieur **M.T. HALILAT**, maître de conférences à l'université de Ouargla pour ses conseils utiles et d'être le directeur de ce travail.

Ma très grande reconnaissance va également à Monsieur **A. MEKLIICHE** chargé de cours à l'INA, pour ses orientations et ses encouragements et d'avoir accepté de participer au jury.

Je suis particulièrement sensible à l'honneur que me fait Monsieur **H. CHELLOUFI** maître de conférences à l'université de Ouargla d'avoir accepté de présider ce jury.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur **L. BRINIS** Professeur à l'université de Annaba, d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je ne saurais oublier Madame **S. BISSATI** docteur chargé de cours à l'université de Ouargla d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je prie Monsieur **A. MAMMERI**, directeur général de l'E.R.I.A.D. Agro sud de Ouargla, de bien vouloir trouver ici le témoignage de ma gratitude pour avoir pris en charge toutes les analyses du sol- végétal effectuées au laboratoire d'AGRITEC, Annaba.

Je remercie chaleureusement tous les collègues de l'IFP d'Ouargla et du département des sciences agronomiques de l'Université de Ouargla pour leurs encouragements et leur aide.

## ملخص

إن الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير مختلف كميات السماد الفوسفور 180,120,60,0 وحدة / هـ على مردود صنف القمح اللين « انزة ». و من خلال دراستنا للخصائص المورفولوجية والفلاحية لهذا النبات وحركية الفسفور في النبات والأرض: توصلنا إلى النتائج التالية:  
للتسميد الفوسفاتي أثر إيجابي على جميع الخصائص المورفولوجية والفلاحية للقمح، وذلك بإعطائها أحسن النتائج. لقد عمل على تحسين عدد البذور في م<sup>2</sup> وذلك بتأثيره على عدد السنابل/ م<sup>2</sup> وخصوبة السنابل.

نلاحظ ارتفاع بنسبة 29,8 % لعدد السنابل/ م<sup>2</sup> 41,5 % لعدد الحبات للسنبل الواحدة و ربح 9% لوزن ألف حبة، وبالتالي ارتفاع نسبة 49,3 % للمردود البذري في المساحة المستمدة ب: 180 وحدة فوسفاتية /هـ. مقارنة بالمساحة الغير مسمدة.

✓ كما أنه عمل على إثراء التربة بالعمق السطحي(0-20 سم) بعنصر الفوسفور الممتص وقد لاحظنا أن هذه الكميات تتناقص كلما زاد عمق العينات وطيلة الدورة البيولوجية للنبات، وهذا راجع إلى استعماله من طرف النباتات من ناحية وتحول الفوسفور الممتص إلى أشكال غير قابلة للامتصاص من ناحية أخرى.

✓ الكميات المستخرجة لعنصر الفوسفور من طرف القمح، ترتفع مع أطوار الدورة النباتية.  
✓ سجلنا ارتفاع المردود البذري بقيمة 21% للمساحة المسمدة (180 وحدة هـ) مقارنة بالمساحة الغير مسمدة.

✓ و عند تحليلنا للكميات المستخرجة من مختلف أعضاء النبتة (البذور، السيقان، الأغلفة) وجدنا أن البذور امتصت الكميات الأكبر.

**كلمات مفتاح:** التسميد الفوسفاتي، القمح اللين، مكونات المردود، المادة الجافة، المردود

البذري، الفسفور على التربة، منطقة ورقلة.

## Résumé

Ce travail a pour but d'étudier l'effet de quatre niveaux de doses de phosphore (0, 60, 120 et 180 unités de  $P_2O_5$  /ha) sur le comportement et la production d'une culture de blé tendre (variété ANZA) conduite sous pivot dans la région d'Ouargla.

Suite à nos essais, nous avons constaté l'effet significatif du phosphore sur la majorité des composantes du rendement et le rendement d'une part, et les paramètres de croissance d'autre part. Les meilleures valeurs sont obtenues au niveau de dose 180 unités de  $P_2O_5$  /ha.

Il a amélioré de façon très hautement significative le nombre de grains/m<sup>2</sup> en agissant sur le tallage épi et la fertilité des épillets. On observe un accroissement de 29,75% du nombre d'épis/m<sup>2</sup>; de 41,5% du nombre de grains par épi et un gain de 9% du poids de 1000 grains ; par conséquent, une augmentation de 49,3% du rendement en grain du traitement fertilisé avec 180 unités de  $P_2O_5$ /ha par rapport au témoin sans phosphore.

L'apport de phosphore soluble, a provoqué un enrichissement de la couche superficielle (0-20 cm) du sol en  $P_2O_5$  ; dont les quantités diminuent au cours du cycle avec les prélèvements par la plante et le transfert de ce dernier vers des formes non assimilables.

Les exportations du phosphore par la plante (partie aérienne) évoluent en augmentant en fonction des stades de croissance. Les quantités de phosphore exportées par la récolte sont d'autant plus élevées que les rendements augmentent. On note un accroissement de 21% par rapport au traitement sans apport au stade maturité ; et les exportations par les différentes parties de la plante montrent que les prélèvements par les grains sont plus importants par rapport aux balles et pailles.

**Mots clés** : fertilisation phosphatée – phosphore dans le sol - blé tendre – rendement grain  
– composantes du rendement – biomasse – région d'Ouargla.

## Summary

This study focuses on the effect of four levels of phosphorus doses; 0, 60, 120 and 180 units of  $P_2O_5$  /ha, on the behaviour and the growing of a tender wheat culture (ANZA variety) conducted under pivot center at Ouargla region.

It has been found a meaningful effect of the phosphorus on the majority of yield components and the grain yield on one hand and parameters of growth on the other hand. The best values have been gotten with a dose of 180 units.

The soluble phosphorus contribution caused an enrichment of the superficial layer (0-20 cm) of soil in  $P_2O_5$  whose quantities decrease during the cycle with absorption by the plant and the transfer of this latter toward the non assimilated shapes.

It improved in a very highly meaningful way the number of grains/m<sup>2</sup> while acting on the tillage ear and its fertility. One observes a growth of 29,8 % of the number of heads/m<sup>2</sup>; of 41,5% of the number of grains by ear and a growth of 9% of the thousand kernel weight ; therefore, an increase of 49,3% of the output in grain of the treatment fertilized with 180 units of  $P_2O_5$  / ha in relation to the witness without phosphorus.

Exports of the phosphorus by the plant (aerial part) evolved while increasing according to stages of growth. One can note a growth of 21% in compared to the treatment without phosphorus application at the maturity stage. Exports by the different parts of the plant showed that absorption by grains are more important compared to bullets and straws.

**key words:** phosphorus fertilization – soil phosphorus - tender wheat – grain yield - yield components – biomass – Ouargla region.

## Liste des abréviations

- A.G.P.B.** Association générale des producteurs de blé et autres céréales. France.
- C.O.M.I.F.E.R.** Comité français d'étude et de développement de la fertilisation raisonnée.
- D.A.T.** Direction de l'aménagement des terres. Agriculture, pêches et aquaculture.  
Canada.
- H.S.** Hautement significatif
- I.T.D.A.S.** Institut technologique de développement de l'agriculture saharienne.
- N.S.** Non significatif
- O.N.M.** Office national de la météorologie
- S.** Significatif
- S.C.D.C.** Service canadien des délégués commerciaux.
- T.H.S.** Très hautement significatif

## Liste des tableaux

Tableau 1. Teneur en éléments minéraux de quelques plantes (Dutil, 1973)	3
Tableau 2. Données climatiques de la région d'Ouargla (O.N.M , 2003)	22
Tableau 3. Données climatiques de la campagne 2002-2003 (I.T.D.A.S, 2003)	23
Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques du sol	25
Tableau 5. Caractéristiques de l'eau d'irrigation	26
Tableau 6. Quantités d'azote (U/ha) et d'eau (mm) par stade de culture	29
Tableau 7. Evolution de la teneur en phosphore assimilable (ppm) dans le sol	36
Tableau 8. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur en phosphore du blé(%)	39
Tableau 9. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur des grains en Phosphore	40
Tableau 10. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur des balles et pailles en phosphore	42
Tableau 11. Exportations de phosphore par la culture au stade récolte	43
Tableau 12. Quantité de phosphore exporté (kg) par quintal de grains produit	43
Tableau 13. Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais phosphaté	45
Tableau 14. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche durant le cycle du blé	47
Tableau 15. Influence des différentes doses de phosphore sur la hauteur de la tige	50
Tableau 16. Influence des différentes doses de phosphore sur la densité de peuplement	51
Tableau 17. Influence des différentes doses de phosphore sur le tallage herbacé	52
Tableau 18. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de tiges Herbacées par pied	53
Tableau 19. Influence des différentes doses de phosphore sur la régression des tiges Herbacées	53
Tableau 20. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épis /m <sup>2</sup>	54
Tableau 21. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épis /pied	56
Tableau 22. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épillets /épi	57
Tableau 23. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épillets fertiles/ Epi	57
Tableau 24. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épillets stériles/	

Epi	58
Tableau 25. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de grains /épi	58
Tableau 26. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de grains /m <sup>2</sup>	59
Tableau 27. Influence des différentes doses de phosphore sur le poids de 1000 grains	60
Tableau 28. Influence des différentes doses de phosphore sur le rendement en grain	62
Tableau 29. Influence des différentes doses de phosphore sur le rendement en paille	63
Tableau 30. Influence des différentes doses de phosphore sur l'indice de récolte	65



## Liste des figures

Figure 1. Les formes du phosphore dans le sol	12
Figure 2. Effet du pH sur les formes solubles du phosphore	16
Figure 3. Schéma du dispositif expérimental	28
Figure 4. Evolution de $P_2O_5$ assimilable dans le sol à différentes profondeurs au stade Tallage	37
Figure 5. Evolution de $P_2O_5$ assimilable dans le sol à différentes profondeurs au stade Maturité	37
Figure 6. Evolution de la teneur en phosphore du végétal à différents stades de croissance de la culture et différentes doses de $P_2O_5$	41
Figure 7. Evolution des exportations du phosphore par la culture (stade récolte)	44
Figure 8. Evolution de la biomasse du blé en fonction des doses de phosphore à différents stades de croissance de la culture	49
Figure 9. Effet des doses de phosphore apportées sur la régression des tiges herbacées	55
Figure 10. Effet des doses de phosphore apportées sur le PMG	61
Figure 11. Effet des doses de phosphore apportées sur le rendement en grain	64
Figure 12. Effet des doses de phosphore apportées sur le rendement en paille	64
Figure 13. Relation entre rendement en grain et nombre de grains / $m^2$	67
Figure 14. Relation entre rendement en grain et nombre d'épis / $m^2$	67
Figure 15. Relation entre rendement en grain et nombre de grains /épi	67
Figure 16. Relation entre rendement en grain et poids de 1000 grains	67
Figure 17. Relation entre rendement en paille et le nombre de grains/ $m^2$	67
Figure 18. Relation entre nombre de grain / $m^2$ et nombre d'épis / $m^2$	67
Figure 19. Relation entre nombre de grain / $m^2$ et biomasse du blé à maturité	67
Figure 20. Relation entre rendement en grain et indice de récolte	67
Figure 21. Relation entre la hauteur de la tige et la biomasse au stade récolte	70
Figure 22. Relation entre rendement en grains et les exportations de $P_2O_5$ blé au stade Maturité	70
Figure 23. Relation entre matière sèche et les exportations de $P_2O_5$ par la culture au stade Tallage	70
Figure 24. Relation entre matière sèche et les exportations de $P_2O_5$ par la culture	

au stade Gonflement	70
Figure 25. Relation entre matière sèche et les exportations de $P_2O_5$ par la culture au stade Floraison	70
Figure 26. Relation entre matière sèche et les exportations de $P_2O_5$ par la culture au stade Maturité	70
Figure 27. Relation entre le PMG et la teneur en phosphore des grains	70
Figure 28. Relation entre la hauteur de la tige et la teneur en phosphore des grains	70

# Table des matières

## Introduction

1

## Première partie : Etude bibliographique

1. Le phosphore et la vie végétale	3
1.1. Importance et rôle du phosphore	3
1.2. Rythmes d'absorption du phosphore par la plante	5
1.3. Conséquences d'une carence en phosphore	6
1.4. Conception de la fumure phosphatée	7
2. Le phosphore dans le sol	9
2.1. Les états du phosphore dans le sol	9
2.2. Dynamique du phosphore dans le sol	10
2.3. Facteurs influençant la disponibilité du phosphore dans le sol	13
2.4. Les pertes du phosphore	18

## Deuxième partie : Matériel et méthodes

1. Présentation du site expérimental	20
2. Matériel d'étude	24
3. Méthode expérimentale	27
3.1. Protocole expérimental	27
3.2. Méthodes et dates de prélèvements	29
3.2.1. Le sol	29
3.2.2. Le végétal	29
3.3. Paramètres étudiés	30
3.3.1. Evolution du phosphore total et assimilable dans le sol	30
3.3.2. Evolution de la matière sèche et du phosphore total dans le végétal	30

3.3.3. Coefficient apparent d'utilisation	30
3.3.4. Contrôle en cours de végétation	31
3.3.4.1. Densité à la levée	31
3.3.4.2. Nombre de tiges herbacées au m <sup>2</sup>	31
3.3.4.3. Nombre d'épis au m <sup>2</sup>	31
3.3.4.4. Régression des tiges herbacées	31
3.3.4.5. Caractéristiques de l'épi	32
3.3.4.6. Hauteur de la tige	32
3.3.4.7. Poids de 1000 grains	32
3.3.4.8. Rendement en grain et paille	32
3.3.4.9. Indice de récolte	32
3.4. Méthodes d'analyse	33
3.4.1. Analyse du sol	33
3.4.2. Analyse du végétal	35
<b>Troisième partie : Résultats et discussion</b>	
1. Evolution de la teneur en phosphore du sol	36
2. Alimentation phosphatée de la plante	39
2.1. Evolution des teneurs en phosphore de la culture au cours du cycle	39
2.2. Teneur et exportation du P par les différentes parties aériennes de la plante	40
2.2.1. Teneur en phosphore des grains	40
2.2.2. Teneur en phosphore des balles et pailles	42
2.2.3. Exportations de phosphore par la culture au stade récolte	43
2.2.4. Quantité de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> exporté par quintal de grains produit	43
2.3. Estimation du coefficient apparent d'utilisation	45
3. Effet de la fertilisation phosphatée sur la production de matière sèche du blé et la hauteur de la tige	47
3.1. Effet de la fertilisation phosphatée sur la production de la matière sèche	47
3.2. Effet de la fertilisation phosphatée sur la hauteur de la tige	50
4. Effet de la fertilisation phosphatée sur les composantes du rendement	51
4.1. Densité de peuplement	51
4.2. Tiges herbacées	52
4.3. Nombre d'épis/m <sup>2</sup> et nombre d'épis/pied	54
4.4. Caractéristiques de l'épi	56
4.5. Nombre de grains au m <sup>2</sup>	59
4.6. Poids de 1000 grains	60

5. Effet de la fertilisation phosphatée sur le rendement en grain, rendement en paille et indice de récolte	62
2.1. Rendement en grain	62
2.2. Rendement en paille	63
2.3. Indice de récolte	65
6. Relations entre différents paramètres étudiés	66
6.1. Relations entre le rendement en grain et ses composantes	66
6.2. Relations entre les caractères agronomiques et morphologiques du blé	66
6.3. Relations entre les caractères agronomiques, morphologiques et prélèvements du phosphore par les différentes parties de la plante	68
<b>Conclusion générale</b>	71
Références bibliographiques	75
Annexes	81

# **INTRODUCTION**

## **Introduction**

L'Algérie est un grand intervenant sur le marché international des céréales avec un niveau de consommation annuel de pas moins de 60 millions de quintaux de céréales (**Kebri**, 2003).

Toutefois, le problème auquel est confronté l'Algérie réside notamment dans le fait que le niveau de production céréalière nationale est loin de répondre aux besoins de consommation exprimés. Ce qui fait de l'Algérie un important importateur de produits.

Le gouvernement a pris des mesures pour le secteur agricole : des crédits de 400 millions de dollars, rééchelonnement de la dette agricole, restructuration du secteur et divers nouveaux programmes (**S.C.D.C**, 2003). Par ces actions le gouvernement cherche à améliorer le secteur agricole et à réduire les quantités de produits alimentaires qu'il doit importer.

D'après le bilan de production végétale du Ministère de l'Agriculture (2002), la sécheresse a été défavorable aux cultures céréalières au cours de la campagne 2001/2002. La superficie récoltée est de l'ordre de 1,8 millions d'hectares ; la production est estimée à 19,5 millions de quintaux. Elle recule de -27% par rapport à celle enregistrée au cours de la campagne précédente ; mais le rendement reste faible et n'a jamais dépassé 13 q/ha.

Les prévisions d'achat sont estimés à 4,7 millions de tonnes de blé au cours de la campagne 2002-2003, dont la moitié en blé tendre, l'Algérie est le quatrième importateur mondial (**A.G.P.B**, 2002).

Selon **Kebri** (2003), La production nationale des céréales de l'année 2003 est de l'ordre de 42,7 millions de quintaux. Celle-ci fait ressortir 18 millions de quintaux de blé dur, 11,6 millions de quintaux de blé tendre.

Dans les zones sahariennes, l'irrigation du blé est assurée par les nappes hydriques souterraines. Malgré la disponibilité de l'eau, on assiste à des fluctuations de rendement, qui varient de 36,05 à 14,77 q/ha pour le blé dur et 30,38 à 18,68 q/ha pour le blé tendre (**Ministère de l'Agriculture**, 2002).

Plusieurs causes sont à l'origine de cette fluctuation :

- Utilisation de variétés à rendement limité ;
- Irrigation non raisonnée ;
- Faible niveau de mécanisation ;
- Sous utilisation de pesticides (ou utilisation de produits non efficaces) ;
- Sous utilisation des engrais minéraux (éléments majeurs et oligoéléments).

Actuellement, l'agriculture algérienne s'oriente vers une intensification de la production. Parmi les facteurs d'intensification, les engrais minéraux occupent une place primordiale dont le phosphore qui constitue un moyen très efficace pour accroître les rendements des cultures en augmentant la grosseur du grain, la rigidité de la paille et rentabilise au maximum la fumure azotée.

La fertilisation doit permettre une alimentation minérale équilibrée de la plante. Son raisonnement est basée sur :

- L'objectif de rendement ;
- Les exigences des différentes cultures ;
- La disponibilité du milieu en éléments fertilisants en périodes de forte utilisation.

Des rendements plus élevés demandent plus de phosphore, la recherche de la dose d'engrais optimale pour un rendement maximum est l'objet de plusieurs études.

C'est dans ce cadre que s'insère notre étude sur l'influence de la fertilisation phosphatée sur le comportement d'une culture de blé tendre conduite sous pivot d'irrigation dans la région d'Ouargla.

La partie expérimentale comportera deux étapes principales. Au cours de la première, seront étudiées les conditions du milieu et les méthodes d'études, tandis que la deuxième étape comprendra l'interprétation et l'analyse des résultats.



**PREMIERE PARTIE :**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## 1. Le phosphore et la vie végétale

### 1.1. Importance et rôle du phosphore

#### 1.1.1. Importance du phosphore

Le phosphore est un élément fondamental parmi les trois éléments majeurs (N, P, K) apportés par les engrais et le plus anciennement connu.

Sa répartition dans les tissus est très inégale et augmente généralement avec la teneur en azote (tableau 1). Le phosphore participe à tous les stades de développement des végétaux en sa qualité de support énergétique.

**Tableau 1. Teneur en éléments minéraux de quelques plantes (Dutil, 1973)**

Espèces végétales	Partie de la plante	En % de matière sèche		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Blé	- Graine	1,10 - 2,30	0,70 – 1,1	0,35 – 0,70
	- Paille	0,30 – 0,60	0,15 – 0,25	1,00 – 1,60
Orge	- Graine	1,10 – 1,73	0,88 – 0,98	0,50 – 0,66
	- Paille	0,33 – 0,60	0,31 – 0,47	0,65 – 1,50

#### 1.1.2. Rôles physiologiques du phosphore

Le phosphore est un constituant essentiel que l'on rencontre en partie sous forme minérale. Mais il est beaucoup plus fréquemment présent sous forme organique, associé à des lipides, protides et glucides, notamment dans le noyau des cellules et dans les organes de reproduction. Il agit dans plusieurs activités biochimiques : respiration, métabolisme glucidique, synthèse des protéines (Lambert, 1979a ; Soins et al, 1999).

**Baeyens et al** (1967) notent que le phosphore est un élément indispensable pour l'élaboration des hydrates de carbone (amidon), des graisses (lécithine) et des albumines (nucléoprotéines). Pour mieux cerner les effets de la fertilisation phosphatée sur le niveau du rendement et la qualité de la récolte, il est préférable d'évoquer les principales interventions du phosphore dans la nutrition des plantes (**Gervy**, 1970).

Par conséquent, le phosphore intervient dans :

- **Les processus de croissance, notamment racinaire :**

Le phosphore est un élément indispensable de la nutrition végétale, exerce évidemment une influence positive sur la croissance (**Champagnol**, 1979). Considéré comme 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 (**Lambert**, 1979b).

Le phosphore influence surtout et d'abord les racines, puis la tige. Un sol riche en phosphore augmente la surface racinaire, surtout celle des racines fines (**Baeyens**, 1967).

- **La résistance au froid**

En liaison avec les apports d'azote et de potasse, la fumure phosphatée favorise la résistance au froid des végétaux en permettant d'y accroître la concentration du suc cellulaire (**Gervy**, 1970).

Le caractère de résistance au froid des cultures est renforcé par l'application de fumures minérales. Une bonne nutrition minérale des cellules des végétaux accroît l'énergie de rétention d'eau à l'intérieur des cellules (**Gervy**, 1970).

- **La résistance à la verse**

Selon **Gervy** (1970), le phosphore exerce son rôle lors des stades de multiplication cellulaires et de formation des sucres, par exemple au cours de l'élaboration des tissus cellulotiques chez les céréales, ce qui leur permet de mieux résister à la verse physiologique.

D'autre part, **Prats et al** (1971) indiquent que l'absorption du phosphore est liée à celle de l'azote dont elle compense les effets en constituant un squelette (scléroprotéines phosphoprotéines) résistant à la verse.

- **Facteur de précocité**

**Blanchet** (1964) précise que la richesse phosphorique du sol facilite l'implantation des cultures et constitue souvent un facteur de précocité. En effet, ce phosphore favorise un bon développement des racines et corrige le retard à la maturité en cas d'excès d'azote.

Donc le phosphore accélère la maturation en contrecarrant l'effet unilatéral d'un excès d'azote (**Baeyens**, 1967) ; et augmente la fécondité ce qui agit positivement sur le rendement (**Prats et al**, 1971).

## **1.2. Rythmes d'absorption du phosphore par la plante**

Les prélèvements de phosphore par les végétaux, lors de leurs premiers stades de développement sont extrêmement réduits. C'est ainsi qu'un blé d'hiver, du semis jusqu'à la fin du tallage, ne puise tout au plus qu'un g de P/m<sup>2</sup> dont 1/10 était contenu dans le grain semé. Puis le rythme des prélèvements s'accélère rapidement et passe à 400 g / ha / jour de P pendant les périodes de montaison et d'épiaison (**Gervy**, 1970).

L'absorption des éléments nutritifs par les cultures varie selon le stade végétatif. Les céréales à croissance rapide absorbent l'azote et le potassium au rythme journalier de 5 kg /ha et le phosphore en quantité dix fois plus faibles (**Barraclough**, 1989 in **Buckman et al**, 1990).

Dans la phase tallage – montaison (stade A-B), la nutrition de la plante au moment où celle-ci émet des talles et des racines, donc fabrique des noyaux de cellules jeunes, riches en nucléoprotéines, doit être particulièrement riche en azote, et en phosphore. Si l'un de ces éléments manque, on assiste au jaunissement des plantes, soit par carence azotée résultant d'une richesse du sol insuffisante ou d'une nutrition trop lente à la sortie de l'hiver en terre argileuse humide et fraîche (faim d'azote), soit par carence phosphorique dans les sols pauvres ou très calcaires (**Prats et al**, 1971).

L'apport d'engrais azoté, et parfois de superphosphates en milieu pauvre est d'une importance décisive à cette époque pour orienter le tallage vers l'abondance (**Prats et al**, 1971).

Le taux de croissance n'est pas uniforme ; le démarrage est lent, puis s'accélère lorsque les feuilles se développent (**Buckman et al**, 1990).

### **1.3. Conséquences d'une carence en phosphore**

Le phosphore est un élément mobile qui migre dans la plante en cas d'alimentation carencée, des vieilles feuilles vers les feuilles plus jeunes qu'il contribue à édifier (**Charles**, 1976).

La carence en phosphore est souvent grave et se manifeste par les symptômes suivants : port court et érigé des épis, feuillage foncé et mat avec des teintes pourprés, défoliation précoce, commençant par la base de la plante, chutes inexplicables de rendement, atteignant facilement 8 à 10 quintaux par rapport à une parcelle normalement pourvue placée dans les mêmes conditions (**Prats et al**, 1971 ; **Charles**, 1976).

Les troubles entraînés par une alimentation phosphorée déficiente apparaissent principalement lors des stades de végétation qui sont les plus exigeants en cet élément : germination, période d'installation de la culture, tallage des graminées, croissance, floraison, fructification (**Gervy**, 1970).

Une déficience en phosphore réduit très tôt et très fortement la croissance foliaire. Les processus de construction de l'arborescence racinaire affectée sont principalement l'émission des racines adventives primaires et l'allongement des racines latérales (**Mollier**, 1999).

La croissance foliaire est une variable clé pour l'analyse et la modélisation d'une culture (**Etchebest**, 2000). La carence en phosphore dans les feuilles provoque une accumulation des acides aminés libres, par exemple l'arginine, et une diminution des acides aminés liés aux albumines (**Ranjau**, 1963 in **Baeyens**, 1967).

Une sous alimentation en phosphore peut induire une mauvaise valorisation de l'azote et du potassium (**Soins et al**, 1999). Le phosphore entre dans la composition des nucléoprotéines et sa carence peut provoquer un phénomène de jaunissement comparable à celui provoqué par la

carence en azote (**Prats et al**, 1971). La plante sans  $P_2O_5$ , voit sa végétation diminuée et sa floraison retardée (**Gervy**, 1970); la récolte peut diminuer jusqu'à 50% (**Baeyens**, 1967).

Selon **Etchebest** (2000), la réduction de la croissance foliaire résulte à la fois d'un retard d'apparition des feuilles et d'une réduction de leurs dimensions finales. **Mollier** (1999) ajoute qu'une déficience en phosphore affecterait la croissance et la morphogénèse racinaire uniquement via son effet sur la croissance foliaire.

L'excès de phosphate peut causer un effet dépressif sur les rendements, sur les sols légers lors d'année sèche. Cet effet peut être attribué à une plus grande rapidité du processus de maturation et à une réduction subséquente de la croissance végétale (Russel, 1961 in **Lambert**, 1979a).

#### **1.4. Conception de la fumure phosphatée**

La fertilisation est l'un des facteurs susceptibles d'affecter les cultures de céréales. L'objectif de la fertilisation est de satisfaire les besoins des plantes en complétant l'offre du sol en éléments minéraux dans des conditions économiquement rentables et respectueuses de l'environnement (**LLorens**, 2001).

La fertilisation phosphatée consiste à apporter aux plantes, sous forme d'engrais simples ou composés, le phosphore dont elles ont besoin (Lambert, 1979b); et de garantir une alimentation non limitante des cultures (**Bulot**, 1993).

Raisonnement la fertilisation, c'est-à-dire proposer un ensemble de règles agronomiques, qui permettent d'éclairer le choix de l'agriculteur en matière de phosphore en vue d'atteindre les objectifs de production qu'il s'est fixé, et ceci dans le cadre de son système de culture, des potentialités de son climat, et de ses contraintes, y compris le souci de la protection de son milieu écologique (**Ignazi**, 1993).

Jusqu'à un passé récent le raisonnement de la fertilisation phosphatée a été basée sur l'analyse de terre, et les notions de fumure d'entretien et de correction (**Pellerin et al**, 2000).

Les connaissances actuelles sur l'alimentation minérale des végétaux, le rôle des engrais phosphatés, ainsi que la dynamique de l'élément P dans le sol conduisent à faire évoluer les bases du raisonnement de la fertilisation phosphatée (**Le Souder et al**, 1993).

D'après **LLorens** (2001), la fertilisation se base sur deux critères de raisonnement :

### 1. Un raisonnement fondé sur l'analyse des essais de longue durée

En appliquant des doses croissantes d'engrais sur des sols présentant des teneurs en phosphore différentes et sur longue durée, deux résultats importants se dégagent dans une grande majorité d'essais :

- ❖ La dose d'engrais à appliquer en fonction du sol. En sol pauvre, on peut obtenir un bon rendement en ajustant la dose, par contre on pourra limiter les quantités apportées en sol riche ;
- ❖ La teneur d'un sol qui ne s'exprime pas de la même manière en fonction de l'exigence de la culture. La même teneur d'un sol peut s'avérer insuffisante pour une culture et satisfaisante ou excédentaire pour une autre.

### 2. Une méthode développée autour de quatre critères :

- ❖ Les exigences des différentes cultures, consistent en priorité à privilégier la réaction de la plante aux apports de fertilisants. Sachant qu'en toutes conditions égales, le besoin de la culture en termes de nutriment demeure fixe (**Barnett et al**, 2002).
- ❖ La disponibilité du milieu en éléments fertilisants déterminée par l'analyse de terre : l'analyse de terre est un indicateur de la quantité du phosphore assimilable dans le sol. L'interprétation des résultats d'analyse va conditionner la stratégie de fertilisation à mettre en place :
  - Le renforcement ;
  - L'entretien ;
  - L'impasse.
- ❖ Le niveau de restitution de la culture précédente : ce critère est pris en compte lorsque les quantités dépassent 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.
- ❖ Passé récent de fertilisation de la parcelle

## 2. Le phosphore dans le sol

### 2.1. Les états du phosphore dans le sol

Dans le sol, le phosphore s'évalue généralement en forme totale et en forme assimilable.

#### 2.1.1 Phosphore total

Il correspond à la quantité totale que renferme le sol et qui existe sous la forme minérale ou organique (figure 1). La teneur des sols en phosphore total varie en fonction de la nature pétrographique de la roche mère qui leur a donné naissance (Aubouin et al, 1977 ; cité par **Hamdoud**, 1992).

Sa connaissance ne donne qu'une indication très imparfaite de l'aptitude du sol à fournir du phosphore aux végétaux et satisfaire ainsi leurs exigences (**Gervy**, 1970; **Fardeau**, 1994).

La teneur du sol en phosphore total varie entre 0,022 et 0,5 % (**Castillon et al**, 1993), et moins de 0.1% du phosphore total est libre dans la solution du sol; le reste est associé aux fractions minérales ou organiques (**Fardeau**, 1993).

#### 2.1.2. Phosphore assimilable

L'analyse globale chimique d'un sol ne donne pas une idée de son besoin en engrais. Il faut déterminer sa teneur en éléments à l'état assimilable moyennant une des méthodes en vigueur pour déterminer les besoins en engrais (**Baeyens**, 1967).

Le phosphore assimilable est la fraction capable de participer, à la fois, à l'alimentation du végétal et au maintien de la concentration de la solution du sol en phosphore.

Par l'intermédiaire de leurs racines, les plantes s'alimentent dans la solution de sol. Elles ne peuvent prélever, puis assimiler, le phosphore que sous sa forme d'ions phosphate, c'est-à-dire sous forme  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  ou  $\text{PO}_4^{3-}$ , c'est-à-dire des formes présentes en solution dont les proportions relatives dépendent du pH du milieu (**Fardeau et Frossard**, 1991 ; **Fardeau et Morel**, 2002).



## 2.2. Dynamique du phosphore dans le sol

La connaissance de la dynamique d'un élément est indispensable au diagnostic de la fertilité d'un sol et à l'estimation des correctifs à apporter (**Bosc**, 1976).

La technique de traçage isotopique est une méthode de choix pour connaître de manière précise les mécanismes mis en jeu, quantifier les transformations et suivre des apports avec des délais relativement longs (**Machet**, 1987).

L'emploi de l'isotope radioactif  $P^{32}$ , met en évidence trois phénomènes dans le sol : l'adsorption de l'anion phosphorique sur le complexe, la mobilisation et la rétrogradation.

### 2.2.1. Le phosphore soluble (dans la solution du sol)

La solution du sol est une source alimentaire possible mais très réduite par rapport aux besoins des végétaux, sa concentration en phosphore est presque constante du fait des échanges continuels avec le phosphore adsorbé.

### 2.2.2. Le phosphore insoluble des roches mères/ phosphore peu soluble

Selon **Denis-Afidol** (2000), cette forme représente la réserve générale, inutilisable par la plante.

Il est connu depuis longtemps que les phosphates passent rapidement dans le sol vers une forme insoluble ou très peu soluble dans l'eau. A cet égard, deux facteurs jouent un rôle essentiel, le pH et la teneur en  $Ca^{2+}$  (Arvieu, 1972 ; cité par **Arakrak**, 1989). En plus des deux facteurs précités, **Fardeau** (1993) insiste sur le facteur temps ; la quantité de phosphore ainsi transférée croît lorsque le temps de contact entre sol et apport croît et la concentration des ions phosphatés présents dans la solution du sol tend vers une valeur d'équilibre souvent voisine de celle observée en absence d'apport.

La fixation des ions phosphoriques sera d'autant plus forte que le sol sera plus acide ou calcaire (**Denis-Afidol**, 2000). Il convient de signaler qu'en sols très calcaires l'insolubilisation moyenne est de l'ordre de 30% des apports et qu'elle s'accroît en fonction de la température (**Dutil**, 1976).

**Dutil** (1976) montre qu'en sols calcaires les ions orthophosphates en solution évoluent en présence de calcite vers des formes insolubles suivant un enchaînement régulier des réactions conduisant à la formation de :

- phosphate monocalcique ;
- phosphate bicalcique ;
- phosphate tricalcique.

Ce dernier pouvant encore évoluer en vieillissant vers des formes plus calciques de type apatitique, l'insolubilisation étant déjà réalisée au niveau du phosphate tricalcique.

Une évolution du phosphore soluble et échangeable qui intervient en milieu très acide et souvent réducteur  $Al^{3+}$  et  $Fe^{2+}$  et il se forme du phosphate d'alumine ou de fer insoluble (ou peu soluble).

### **2.2.3. Le phosphore facilement échangeable**

Ce sont les ions phosphoriques adsorbés en surface sur le complexe adsorbant du sol. Ils participent aux échanges constants (sol - solution) et constituent l'essentiel du "pool alimentaire" des plantes (**Fardeau et al**, 1991).

**Fardeau** (1993) indique qu'à chaque fois que des ions phosphates sont ajoutés à une terre en quantité supérieure à celle autorisée par la valeur limite d'équilibre, une fraction des ions phosphates quitte la phase liquide pour rejoindre la phase solide.

La fourniture essentielle d'ions  $PO_4^{3-}$  est assurée par l'apport d'engrais et la minéralisation de la matière organique, d'origine végétale ou animale (**Dutil**, 1976).

L'acide phosphorique est un anion, et ne peut être retenu par le complexe que par l'intermédiaire d'un cation : fer, aluminium, potassium, mais plus généralement le calcium (**Lambert**, 1979b).

Dans un sol calcaire, la fixation du phosphore s'opère grâce à un "pont calcique", le calcium sert de lien entre le phosphore et l'argile. C'est pour cette raison que les agrégats calcaires sont

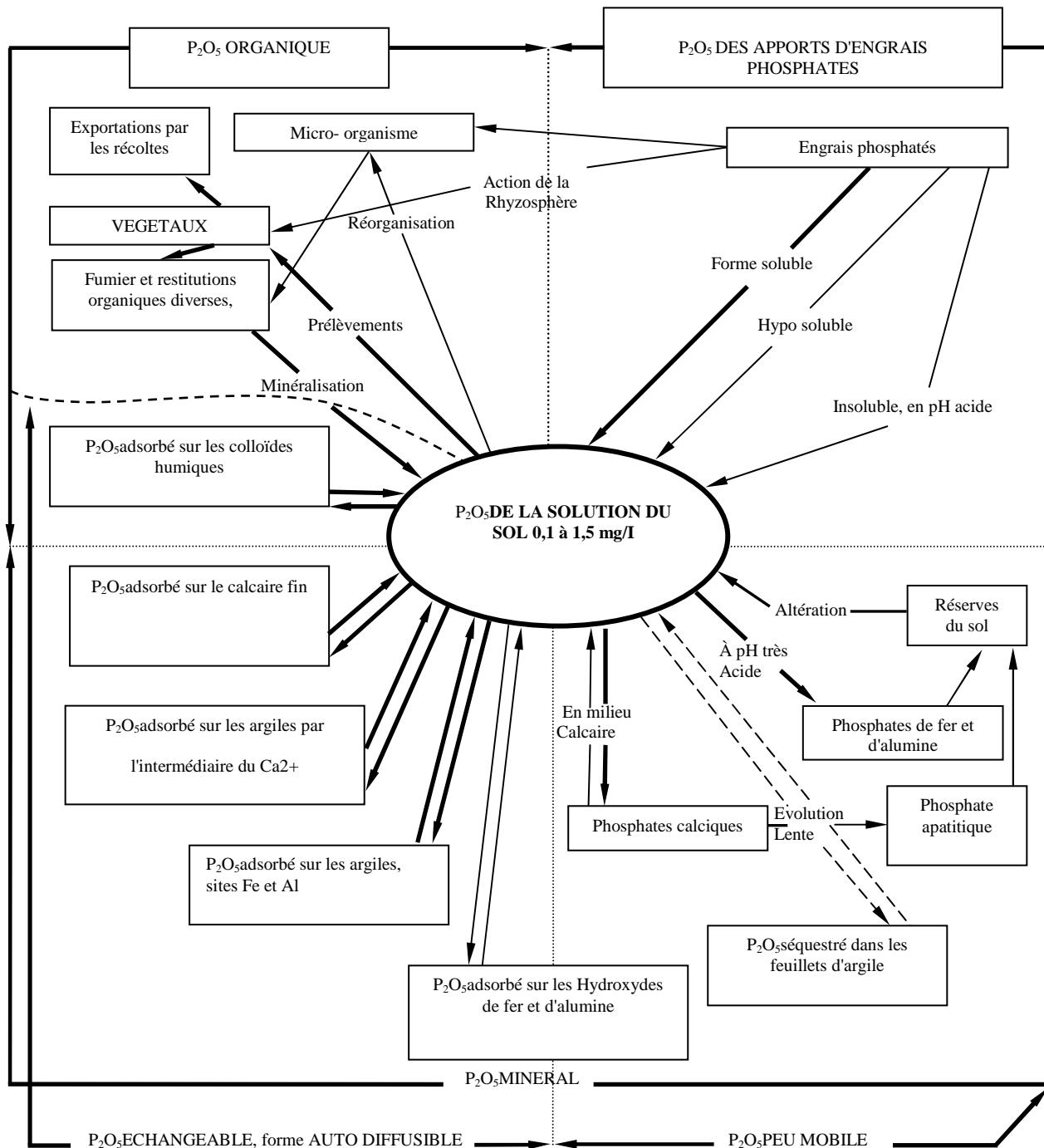


Figure 1. Les formes du phosphore dans le sol (Gervy, 1970).

réputés stables, c'est-à-dire résistant à la dispersion par l'eau et à la destruction de l'humus (minéralisation), car le calcaire fait office de ciment entre tous les éléments.

La quantité de phosphore fixée sur le complexe va donc dépendre du pourcentage d'argile et du pH (autrement dit, de la quantité de calcium présent). L'humus et le calcaire actif peuvent également fixer les ions phosphoriques; ils sont ainsi en réserve et évitent l'insolubilisation. Cette liaison est facilement réversible.

## **2.3. Facteurs influençant la disponibilité du phosphore dans le sol**

### **2.3.1. Le pouvoir fixateur**

Le pouvoir fixateur d'un sol traduit sa plus ou moins grande aptitude à fixer le phosphore sur la phase solide au détriment de la phase liquide (**Pellerin et al**, 2000). Son estimation est basée sur la mesure du transfert vers la phase solide du sol de phosphore ajouté en phase liquide (**Morel et Fardeau**, 1990).

L'influence du pouvoir fixateur du sol peut conduire à des disponibilités différentes pour un même niveau de réserves phosphatées (**Duchauffour**, 1995).

Selon **Demolon** (1968), l'adsorption de l'ion  $\text{PO}_4^{3-}$  est devenue possible par le caractère amphotérique des colloïdes du sol, qui se comportent à la fois comme acides ( $\text{H}^+$ ) et bases ( $\text{OH}^-$ ).

Les micelles du complexe argilo humique sont porteuses de charges négatives, qui vont ainsi adsorber des charges positives ou cations :  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ... (**Lambert**, 1979b) ; qui à leur tour et par les cations bivalents et trivalents adsorbent les ions phosphoriques.

**Soins et al** (1999) considère que le pouvoir fixateur du sol est proportionnel au :

- Taux de matière organique ;
- Taux d'argile ;
- Taux de calcaire et le pH.

Et inversement proportionnel à la quantité de phosphore déjà fixé, donc à la richesse du sol en phosphore dit assimilable ou échangeable (ou bio disponible).

Quand le pouvoir fixateur diminue, les ions phosphates sont adsorbés avec des énergies limitées. Par contre, lorsqu'il est élevé, les énergies de fixation sont tellement fortes que la mobilité du phosphore en est réduite (**Gachon**, 1969).

Donc plus le pouvoir fixateur est élevé et moins le sol est riche en P assimilable, plus il faudrait majorer la dose de phosphore à apporter en fertilisation (**Soins et al**, 1999).

**Dutil** (1976) ajoute que l'équilibre entre la phase liquide et surfaces adsorbantes est fonction de l'aptitude du sol à fixer les ions phosphoriques c'est-à-dire du pouvoir fixateur du sol. Ce pouvoir étant d'autant plus élevé que le sol présente une résistance à l'enrichissement de la solution, ou bien à la désorption. En sols calcaires, ce pouvoir peut varier de 100 à 600 ppm, pour porter la solution du sol au standard de 2 mg/l.

### **2.3.2. Matière organique**

La matière organique constitue une source appréciable d'ions phosphoriques pour la plante. D'après **Dutil** (1976) et **Triboi** (1988), elle représente une réserve non négligeable de phosphates adsorbés sur les sites humiques vis-à-vis des quelles, elles ont un effet protecteur.

L'apport de substances organiques se révèle bénéfique dans la mobilisation du phosphore du sol (**Duthil**, 1976 ; **Triboi**, 1988). Selon **Gervy** (1970), les acides organiques tels que citrates, oxalates et lactates, issus de la décomposition de la matière organique dissolvent les phosphates de fer, d'aluminium et de calcium. **Fardeau** (1993) indique dans le même contexte que les quantités de phosphates fixés diminuent lorsque le contenu en matière organique croît.

Donc la disponibilité phosphorique est d'autant meilleure que les sols sont mieux pourvus en matière organique, ce qui laisse supposer que l'adsorption ou les liaisons au niveau des composés humiques constituent une possibilité de mise en réserve non négligeable (**Dutil**, 1976).

### 2.3.3. Le pH

L'utilisation du phosphore par les plantes est déterminée par les formes ioniques de cet élément. La forme ionique, en revanche est déterminée par le pH de la solution dans laquelle l'ion est fondu.

Les plantes absorbent le phosphore sous forme d'ions orthophosphates. Lorsque le pH augmente, apparaissent en premier lieu les ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et en deuxième lieu les ions  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Figure 2).

Selon **Denis-Afidol** (2000), la période d'assimilation du phosphore est réduite car sa durée de vie en tant que molécule assimilable par les racines, est fonction du pH du sol (plus le pH du sol est extrême, moins la durée de vie efficace est longue).

Le même auteur ajoute, que dans un sol calcaire (pH compris entre 7.5 et 8), la période d'assimilabilité du phosphore est comprise entre 1 et 3 semaines.

Si on a une très forte proportion de cations  $\text{H}^+$ , le sol est acide et fixe mal les engrais. Si par contre, de nombreux cations  $\text{Ca}^{2+}$  sont adsorbés, le sol a un pH voisin de 7 et fixe correctement les engrais, en particulier les engrais phosphatés.

Le pH optimum pour l'assimilation du phosphore se situe au voisinage de la neutralité. Les formes dissoutes dans la solution du sol sont facilement utilisables par les plantes seraient  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$  (**Gervy**, 1970).

Les sols à pH élevé ont des teneurs en phosphore du sol plus faibles. Mais, les teneurs en phosphore dans les plantes sont à l'inverse plus élevées dans les parcelles chaulées (**Comifer**, 2002).

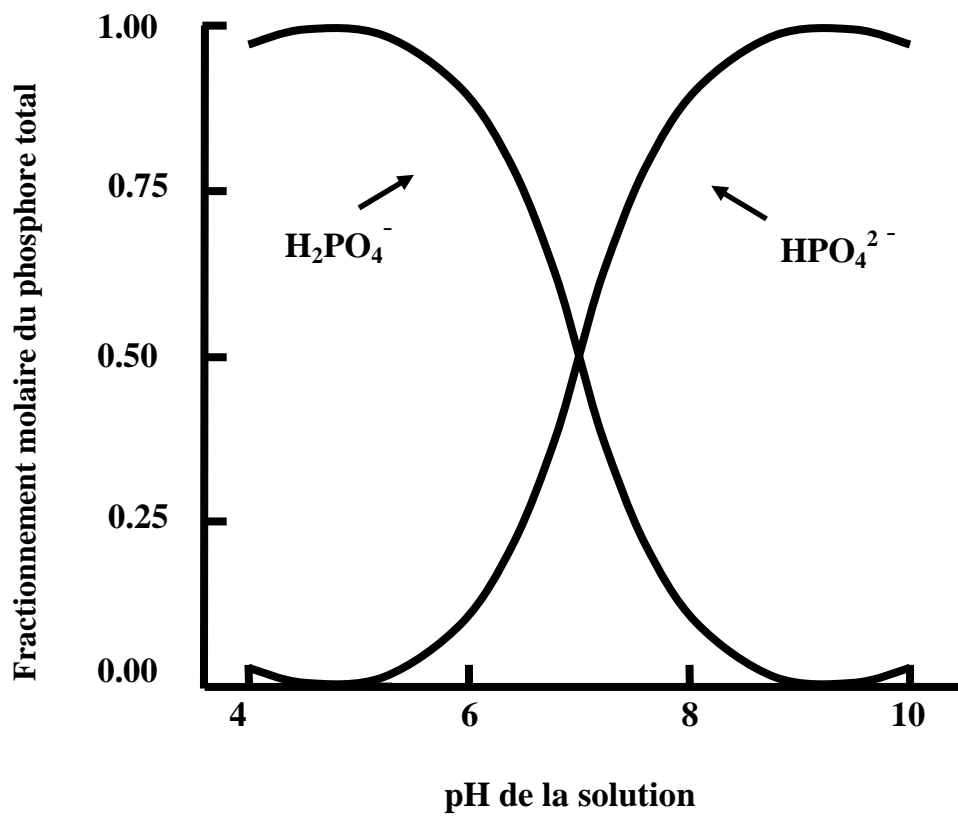


Figure 2. Effet du pH de la solution du sol sur les formes solubles du phosphore (Stanley, 1995)

#### 2.3.4. Le calcaire

Selon sa texture, sa dureté, et l'activité biochimique, l'intensité et la fréquence des précipitations, le calcaire va contribuer à la libération des ions calcium (**Dutil**, 1976).

Le calcaire actif présente des propriétés absorbantes comparables à celle de l'argile, à condition que le pH ne s'élève pas au dessus de 7 (**Duchauffour**, 2001).

En sols acides, le chaulage augmente l'assimilabilité du P-Fe:



Un processus identique se produit avec Al ; le chaulage diminue les troubles de l'assimilation du phosphore en supprimant l'excès d'alumine libre du sol.

Le calcaire (CaCO<sub>3</sub>) exerce un rôle protecteur vis-à-vis des ions phosphoriques contre leur adsorption énergique par le fer libre (**Gervy**, 1970).

Le calcium dans le sol joue un rôle primordial ; non seulement il assure le maintien d'une bonne structure en flocculant les colloïdes, mais encore il intervient puissamment dans les mécanismes de fixation du phosphore (**Lambert**, 1979b).

**Gervy**(1970) indique que la précipitation calcique n'existe qu'à des pH élevés supérieurs à 8. Lorsque le calcaire est présent à forte concentration, le phosphore pré existant sous forme mono, bi ou tricalcique évolue vers la forme apatitique considérée insoluble (**Fardeau**, 1994).

#### 2.3.5. La température

La température est un facteur écologique important, en effet à une température élevée la minéralisation de la matière organique est très poussée, cela donne bien une forte libération du phosphore.

**Blanchet** (1959) indique que la température a un effet sur les réactions chimiques concernant le phosphore dans la solution du sol. Elle pourrait simuler dans certains sols le rôle joué par le temps, en particulier dans le cas d'une fertilisation phosphatée.



Selon **Gilles** (1969), le flux de diffusion s'instaure sous l'effet de gradients de concentration provoqués par l'absorption racinaire. Ce flux est fonction du milieu, notamment, la température et l'environnement ionique.

### **2.3.6. L'humidité**

Une certaine humidité est toujours nécessaire pour l'absorption des ions phosphatés par les plantes, car la dessiccation diminue la solubilité des phosphates (**Cambell**, 1994). Elle est également nécessaire pour le processus de diffusion qui est le moyen important de transport du phosphore de la solution jusqu'à la surface racinaire (**Blanchet et al**, 1978).

En année sèche l'apparition de carence phosphorique est plus précoce, alors qu'en année humide elle est plus tardive et souvent plus légère (**Charles**, 1976).

### **2.3.7. La texture**

La disponibilité du phosphore dépend du pouvoir fixateur des sols lié à la nature et à la finesse des constituants du sol (**Benamara et Conesa**, 1976).

La teneur en phosphore d'un sol croît avec la finesse de la texture, l'argile en contient plus que le sable (**Baeyens**, 1967).

## **2.4. Les pertes du phosphore**

Les transferts abiotiques du phosphore au sein des agrosystèmes résultent soit du lessivage soit de l'érosion (**Fardeau**, 1993).

Selon **Buckman** (1990), l'érosion est la principale cause des pertes en phosphate. L'horizon superficiel (la couche labourée) étant riche en phosphates, des pertes importantes ont lieu lorsque l'érosion est forte.

Le transfert de quantités significatives, en dessous de la couche de terre où sont appliqués les engrais, n'a lieu que dans les cas où les apports sont ou ont été très supérieurs aux exportations des cultures et où le pouvoir fixateur du sol est limité (**Fardeau**, 1993).

En sols sableux, les phosphates ne sont pas toujours bien retenus. Lorsque de fortes pluies suivent des apports élevés d'engrais phosphatés, le phosphore migre en profondeur avant que les interactions avec le sol n'aient pu s'établir (**Buckman**, 1990).

**DEUXIEME PARTIE :**  
**MATERIELS ET METHODES**  
**D'ETUDE**

## **1. Présentation du site expérimental**

### **1.1. Localisation du site expérimental**

La ferme E.R.I.A.D / Agro Sud a été créée en 1991 à Ouargla, dans le périmètre de la commune de Hassi benabdallah, à une distance d'environ 25 Km du siège de la wilaya.

Elle couvre une superficie totale de 1500 ha, avec une superficie exploitée estimée à 488 ha. Spécialisée dans la production céréalière, elle compte seize centres pivots parmi les quels on trouve 12 pivots de 30 ha et 4 pivots de 32 ha.

Notre étude a été menée dans le pivot 12 pendant la campagne 2002 – 2003 (troisième année de culture).

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent essentiellement des nappes souterraines. Ces nappes sont localisées dans des couches sédimentaires.

D'après **Rouvillois-Brigol** (1975), l'étude hydrogéologique de la région d'Ouargla indique l'existence de deux couches aquifères pour l'irrigation :

#### **1.1.1. Le continental intercalaire ou albien**

Cette couche est artésienne, elle s'étend sur une superficie de 600.000 Km<sup>2</sup>, d'une épaisseur du réservoir de 250 m et d'une profondeur de 1000 à 1200 m. Sa température varie de 30 à 70°C avec une température moyenne de 50 à 55°C.

#### **1.1.2. Le complexe terminal ou nappe miopliocène**

L'exploitation de la nappe du miopliocène est extrêmement ancienne ; c'est elle qui a permis la création des palmeraies irriguées. Les piézomètres installés montrent que la nappe s'écoule du sud / sud – ouest vers le nord / nord – est à une profondeur de 60 à 200 m, présentant une température de 23°C à 25°C et une salinité variant de 1,8 à 4,6 g/l.

## **1.2. Caractéristiques climatiques**

### **1.2.1. Température**

Les températures mensuelles relevées sous abri (1992-2002) montrent que le mois le plus froid est janvier avec 11°C, et le mois le plus chaud est juillet avec 39,85°C (tableau 4).

Le nombre de mois dont la température dépasse les 30°C est de 4 à 5 mois suivant les années. La présence de gelées peut être observée, parfois, en janvier et février.

### **1.2.2. Précipitations**

Les précipitations sont rares et irrégulières. La moyenne annuelle sur 10 ans (1992-2002) est de 33,30 mm (tableau 2). Les précipitations ne permettent pas le lessivage des sols et par conséquent l'irrigation est nécessaire dans cette zone.

### **1.2.3. Humidité relative de l'air**

Dans le Sahara, la moyenne des humidités est rarement supérieure à 65% et peut descendre en dessous de 30%. Les variations journalières sont importantes et peuvent parfois atteindre une valeur proche de 100%.

Sur un intervalle de 10 années, la moyenne des humidités la plus élevée est enregistrée au mois de décembre avec 63,13% et le taux le plus faible au mois de juin avec 28,38% (tableau 2).

### **1.2.4. Evaporation et vents**

La région d'Ouargla est caractérisée par une évaporation très importante. Son intensité étant fortement renforcée par les vents, notamment par ceux qui sont chauds (Toutain, 1979).

Le maximum d'évaporation est de l'ordre de 415,93 mm, enregistré au mois de juillet, le minimum est de 90,20 mm enregistré au mois de janvier (Tableau 2).

La fréquence et la force des vents augmentent substantiellement de la fin mars à la mi-juin. Ceci constitue une menace certaine pour les cultures à cette époque de l'année. La direction est approximativement nord/sud ou nord-est/ sud-ouest.

### 1.2.5. Insolation

La région d' Ouargla est caractérisée par une forte insolation, le minimum est enregistré au mois de décembre avec 203,41 heures et le maximum de 339,10 heures au mois de juillet (tableau 2).

**Tableau 2. Données climatiques de la région de Ouargla (1992-2002)**

Mois	T°C	Précip (mm)	Humidité(%)	Evapo.(mm)	Vitesse Vent (m/s)	Insolation(H)
<b>J.</b>	11	3,2	63,04	90,2	6,21	244,4
<b>F.</b>	13,48	1,05	56,66	125,83	5,19	247,33
<b>M.</b>	18,34	4,19	46,01	191,06	8,6	269,39
<b>A.</b>	21,84	1,33	39,2	262,2	11,11	284,83
<b>M.</b>	27,49	2,73	38,68	287,96	11,78	265,15
<b>J.</b>	31,76	0,21	28,38	369,31	10,03	329,43
<b>Jt.</b>	39,85	0,09	28,95	415,93	11,81	339,1
<b>A.</b>	34,81	0,58	30,68	398,3	9,95	321,48
<b>S.</b>	30,55	3,37	39,41	270,13	9,26	234,75
<b>O.</b>	23,96	9,35	50,8	209,8	7,89	259,55
<b>N.</b>	17,19	3,05	60,16	128,56	7,05	228,41
<b>D.</b>	12,08	3,15	63,13	95,78	5,48	203,41
<b>Moyenne annuelle</b>	23,52	32,3	45,42	237,08	8,69	268,93

**Source : O.N.M. Ouargla, 2003**

### 1.2.6. Données climatiques de la campagne 2002-2003

Le tableau 5, montre que la température maximale durant le cycle de la culture ne dépasse pas 31°C, et la température minimale est de l'ordre de 4,4°C (tableau 3).

L'humidité est élevée au mois de février (56,33%) ; les vents violents sont enregistrés au mois d'avril.

Mois	Températures			Précipitations (mm)	Humidité %	Vent (m/s)	Evapo. (mm)
	Min.	Max.	Moy.				
NOV.	9,2	22	15,6	0	46,56	6,73	105,93
DEC.	5,1	22,1	13,6	0	47,66	2,67	67,2
JANV.	4,8	18,2	11,5	0,26	47,73	5,91	75,43
FEV.	4,4	19,4	11,9	0,09	56,33	8,26	77,26
MARS	9,1	22	15,55	0	54,16	8,06	156,2
AVR.	14	31	22,55	0,1	45,86	8,76	165,8

Source : I.T.D.A.S. Ouargla, 2003

## 2. Matériel d'étude

### 2.1. Matériel végétal

La variété utilisée est un blé tendre Triticum vulgare var. Anza. Elle a été choisie en raison de sa précocité et sa résistance à la verse, car elle présente une tige courte.

L'épi court et lâche présentant des barbes courtes et arrêtes distribuées sur l'épi entier. Le grain est caractérisé par une forme arrondie et de couleur roux.

La faculté germinative et le poids de 1000 grains sont respectivement de 98% et 40g.

### 2.2. Forme et doses d'engrais phosphaté

Nous avons utilisé, le tri super phosphate dosé à 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (T.S.P). Pour qu'un engrais phosphaté contribue de manière significative à l'alimentation des plantes, sa solubilité doit être supérieure à celle des phosphates du sol (**Castillon**, 1993). Le tri superphosphate est caractérisé par une bonne solubilité et est utilisable dans tous les sols.

Quatre doses ont été testées dans notre expérimentation :

D0 = 0 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (comme témoin) ;

D1 = 60 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ;

D2 = 120 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ;

D3 = 180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

### 2.3. Le sol

Les résultats analytiques présentés dans le tableau 4, montrent que le sol est caractérisé par une texture sableuse, un pH basique, un taux de matière organique très faible.

La C.E.C varie entre 6,35 et 7,88 méq/ 100g de sol sec avec un rapport Na/ T supérieur à 15 % de la C.E.C pour les trois horizons. La salinité du sol est faible (C.E varie de 0,99 à 1,22 ds/m).

Présentant un pH alcalin, le risque d'immobilisation de phosphore existe. Ce sol est insuffisamment pourvu en éléments nutritifs (N.P.K), les apports d'engrais sont nécessaires (**D.A.T**, 2001).



**Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques du sol**

Caractéristiques	Profondeur (cm)		
	0-20	20-40	40-60
Granulométrie			
Argile%	6,43	7,46	7,64
Limon%	6,37	5,82	6,24
Sable%	87,2	86,72	86,12
pH	8,59	8,57	8,38
C.E (dS/m)	0,99	1,02	1,22
Bases échangeables (Cmol <sup>+</sup> /kg)			
Ca <sup>2+</sup>	3,55	3,376	4,730
Mg <sup>2+</sup>	1,329	1,319	1,496
K <sup>+</sup>	0,053	0,137	0,065
Na <sup>+</sup>	1,416	1,649	1,593
Calcaire total %	7,44	6,85	6,85
Matière organique %	0,66	0,65	0,72
Azote total %	0,1	0,06	0,16
Densité apparente	1,56	1,52	1,44
Azote assimilable (ppm)	24,2	16,45	19,85
Phosphore total (ppm)	210,27	121,57	101,96
Phosphore assimilable (ppm)	11,54	3,66	2,66
Potassium assimilable (ppm)	11,62	39,46	30,67
C,E,C (Cmol <sup>+</sup> /kg)	6,356	6,866	7,887
Na <sup>+</sup> /T (%)	22,28	24,05	20,24

## 2.4. L'eau d'irrigation

L'eau d'irrigation est pompée à partir de la nappe du miopliocène qui se trouve à une profondeur de 130 m.

D'après la classification de Riverside, l'eau d'irrigation appartient à la classe C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>.

Selon **Durand** (1983), il s'agit d'une eau qui peut provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse pour la plupart des sols ; mais elle peut être utilisée sur des sols très perméables avec un bon drainage et l'eau doit être appliquée en excès pour assurer un fort lessivage des sels.

**Tableau 5. Caractéristiques de l'eau d'irrigation**

<b>Paramètres</b>	pH	C.E (dS/m)	Ca <sup>2+</sup> (méq/l)	Mg <sup>2+</sup> (méq/l)	K <sup>+</sup> (méq/l)	Na <sup>+</sup> (méq/l)	Cl <sup>-</sup> (méq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (méq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	SAR
<b>Eau d'irrigation</b>	7,25	3,22	16,36	10,78	0,461	35,32	45,63	0,001	0,68	9,59

### **3. Méthode expérimentale**

#### **3.1. Protocole expérimental**

##### **3.1.1. Dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental adopté est en blocs aléatoires complets, comportant 4 traitements et 5 répétitions. Chaque bloc renferme 4 parcelles élémentaires de 50 m de long sur 24 m de large (figure 3).

##### **3.1.2. Précédent cultural**

Notre parcelle expérimentale a eu comme précédent cultural la variété «Anza». La pré irrigation a débuté le 03-11-2002, et a duré une semaine dans le but de favoriser la germination des repousses de la culture précédente et les graines de mauvaises herbes.

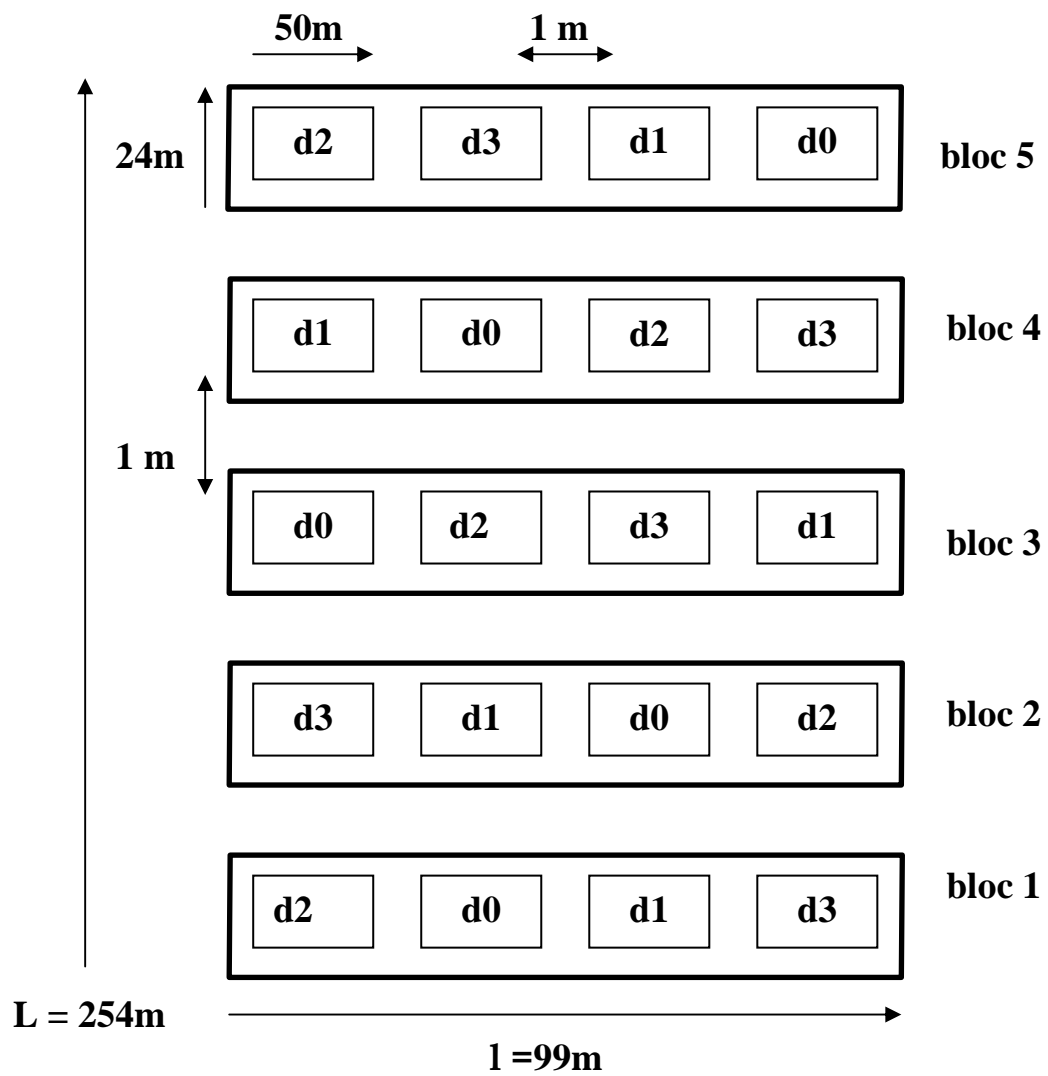
##### **3.1.3. Conditions de déroulement de l'essai**

Le travail du sol a été effectué le 10-11-2002. Il a consisté en un passage de cover crop et un passage de la herse. Le passage du rouleau fut réalisé après l'apport du T.S.P.

Le semis est réalisé le 17-11-2002 à l'aide d'un semoir en ligne à la dose de 2,4 q/ha à une profondeur qui varie de 2 à 6 cm.

Une semaine après la levée des plants, la fertilisation azotée a commencé via le système d'irrigation (ferti-irrigation). La culture de blé a reçu 1 q/ha d'Urée (46%) et 1 q/ha de Sulfate de potassium dosé à 50% au stade tallage à l'aide d'un épandeur d'engrais centrifuge.

Les quantités d'azote et d'irrigation par stade sont portées dans le tableau 6.



**Figure 3. Dispositif expérimental**

**Légende : d : dose**

**Tableau 6. Quantités d'azote (U/ha) et d'eau (mm) par stade de culture**

<b>Stades</b>	<b>Périodes</b>	<b>Azote (U/ha)</b>	<b>Eau (mm)</b>
Semis – Levée (1f)	17/11/02 – 25/11/02	00	65,56
Levée (1 f) - tallage (4 f)	25/11/02 – 21/12/02	30	125,16
tallage (4f) – épi 1cm	21/12/02 – 21/01/03	106,5	128,16
Epi 1cm – floraison	21/01/03 – 23/03/03	85,7	314,12
Floraison – maturité	23/03/03 – 26/04/03	7,5	236,55

Au cours des deux stades tallage et montaison de la culture, il y a eu des arrêts d'irrigation dus à des panes techniques du système pivot.

### **3.2. Méthodes et dates de prélèvements**

#### **3.2.1. Le sol**

Les échantillons du sol sont prélevés à raison de dix carottes par traitement. Ces carottes sont ensuite mélangées et forment un échantillon qui est analysé individuellement.

Le profil du sol est exploré par tranche de (0-20 cm), (20-40 cm), (40-60 cm). Les prélèvements sont réalisés en deux périodes différentes, stade tallage et maturité du blé.

#### **3.2.2. Le végétal**

Pour chaque parcelle élémentaire, nous avons procédé au prélèvement de six échantillons de plantes (partie aérienne seulement) de deux mètres linéaires chacun. Le prélèvement est réalisé à quatre stades de la culture du blé, tallage, gonflement, floraison et maturité.

A partir des six échantillons, un échantillon moyen est formé pour le dosage du phosphore total du végétal.

### **3.3. Paramètres étudiés**

#### **3.3.1. Evolution du phosphore total et assimilable dans le sol**

Sur l'échantillon moyen (paragraphe 3.2.1), a été déterminé le phosphore total et assimilable, le pH et la conductivité électrique aux stades tallage et maturité de la culture.

#### **3.3.2. Evolution de la matière sèche et du phosphore total dans le végétal**

Les échantillons du blé prélevés (paragraphe 3.2.2), sont pesés avant et après leur passage à l'étuve à 65°C pendant 48 h pour déterminer l'évolution de la matière sèche au cours du cycle.

Sur l'échantillon mélange prélevé à chaque stade de la culture, fut réalisé le dosage du phosphore total pour suivre l'évolution de cet élément dans le temps (stades tallage, gonflement, floraison).

A maturité (à la récolte), le phosphore total est déterminé sur l'échantillon moyen prélevé dans chaque parcelle élémentaire formés par des plantes comprenant les tiges et les épis.

Les épis sont séparés des pailles, puis sont battus. Les grains récoltés sont débarrassés de leurs impuretés (grains cassés, grains de mauvaises herbes). Le dosage du phosphore est déterminé dans le grain, les balles et les pailles.

#### **3.3.3. Coefficient apparent d'utilisation de l'engrais (C.A.U):**

$$C.A.U \text{ (\%)} = \frac{Q.A.F - Q.A.T}{X} \times 100$$

*Q.A.F* : phosphore absorbé par la culture fertilisée

*Q.A.T* : phosphore absorbé par le témoin (sans phosphore)

*X* : fumure appliquée

### **3.3.4. Contrôle en cours de végétation**

Pour chaque traitement nous avons délimité des placettes de deux mètres linéaires au nombre de six, sur les quelles ont été effectué l'ensemble des mesures.

#### **3.3.4.1. Densité à la levée**

Le nombre de pieds par mètre carré est déterminé au stade trois feuilles, sur l'ensemble des traitements dans les placettes délimitées auparavant.

#### **3.3.4.2. Nombre de tiges herbacées au m<sup>2</sup>**

Il est déterminé au stade plein tallage sur les placettes ayant servi à déterminer le nombre de pieds à la levée.

#### **3.3.4.3. Nombre d'épis au m<sup>2</sup>**

Le comptage du nombre d'épis au m<sup>2</sup> est réalisé au stade remplissage du grain.

#### **3.3.4.4. Régression des tiges herbacées**

Le taux de régression des talles est déterminé par la relation suivante :

$$RT = \frac{N.T.H - N.T.E}{N.T.H} \times 100$$

*RT* : régression des talles herbacées

*N.T.H* : nombre de talles herbacées

*N.T.E* : nombre de talles épis

### **3.3.4.5. Caractéristiques de l'épi**

Sur une vingtaine d'épis pris aléatoirement au niveau de chaque traitement, nous avons déterminé :

- Le nombre d'épillets total par épi.
- Le nombre d'épillets stériles par épi.
- Le nombre d'épillets fertiles par épi.
- Le nombre de grains par épi.

### **3.3.4.6. Hauteur de la tige**

Sur vingt pieds pris aléatoirement de chaque parcelle élémentaire ont été réalisés les mesures de la hauteur de la tige.

### **3.3.4.7. Poids de 1000 grains**

Sur les placettes récoltées de chaque traitement et après battage des épis, à l'aide d'un compteur automatique 1000 grains sont comptés et pesés à l'aide d'une balance de précision.

### **3.3.4.8. Rendement en grain et paille**

Le poids de la récolte (tiges + épis) est déterminé en arrachant toutes les plantes contenues dans un cadre d'1/4 m<sup>2</sup> répété 4 fois dans chaque parcelle élémentaire. Puis les épis sont battus à l'aide d'une batteuse à épis, et les grains issus sont pesés ainsi que les pailles.

### **3.3.4.9. Indice de récolte**

Ce paramètre est calculé par la relation : 
$$I.R = \frac{P.S.G}{P.S.T}$$

*P.S.G* : poids sec du grain

*P.S.T* : poids sec total (biomasse au stade récolte)



### 3.4. Méthodes d'analyse

Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire d'AGRITEC à Annaba.

#### 3.4.1. Analyse du sol

- Granulométrie : Méthode de l'hydromètre

Méthode quantitative, elle détermine les proportions physiques de trois particules primaires u sol (Argile, Limon et Sable). La mesure est effectuée par une lecture sur un hydromètre ; pour certains sols cette méthode fait appel à un prétraitement spécifique pour éliminer les sels solubles, matière organique, carbonates et es oxydes de fer. En plus on utilise une solution de dispersion (hexametaphosphate de sodium). La correction de la température et de la viscosité de la solution sont établies par lecture du blanc.

- Phosphore assimilable :

Il est déterminé par la méthode Olsen recommandée pour les sols calcaires neutres ou basiques. Le bicarbonate de sodium est utilisé pour extraire le phosphore disponible dans le sol, ce dernier est mis en réaction avec le molybdate d'ammonium dans un milieu acide pour former de l'acide molybdophosphorique.

La réaction de l'acide ascorbique avec l'acide molybdophosphorique réduit ce dernier en un complexe de couleur bleu. Le pectrophotomètre mesure l'absorbance qui est proportionnelle à la concentration du phosphore.

- Phosphore total :

La méthode repose sur une minéralisation à l'aide d'au mélange d'acide sulfurique- sélinieux. Un traitement à une température de 375°C suivi d'une analyse spectrophotométrie.

- Les bases échangeables :

Les bases échangeables subissent une extraction par l'acétate d'ammonium suivie d'une analyse au spectrophotomètre à émission plasma.

- Calcaire total : Méthode volumétrique

Le dosage est fondé sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium au contact de l'acide chlorhydrique. Il s'agit de comparer le volume de CO<sub>2</sub> dégagé par l'échantillon du sol avec celui dégagé par le contact d'un acide HCL (6N) avec un poids de CaCO<sub>3</sub> pur.

- Calcaire actif :

Le calcaire actif correspond au calcaire facilement soluble, sa détermination est basée sur la mesure de la baisse du titre d'une solution d'oxalate d'ammonium mise en contact avec le sol. Il y a précipitation d'oxalate de calcium et formation de carbonate d'ammonium.

- Matière organique :

On procède par calcination, puis utilisation de la méthode volumétrique. Elle consiste à la mise en solution de l'échantillon par le dichromate de potassium et l'acide sulfurique, ensuite titrage avec le sulfate ferreux.

- Azote total :

L'azote total est déterminé par la méthode KJELDAHL. Cette méthode consiste à attaquer le sol avec de l'acide sulfurique pour transformer l'azote organique en sulfate d'ammonium.

- Azote minéral : déterminé par potentiomètre.
- pH : mesuré à l'aide d'un pH mètre à électrode en verre d'une suspension avec un rapport sol/eau de 1/2,5.

- Conductivité électrique : déterminée par le conductimètre d'une suspension avec rapport sol/eau de 1/5, à une température de 25°C.

### **3.4.2. Analyse du végétal**

Pour le dosage du phosphore du végétal, l'échantillon subit une minéralisation puis une mise en solution par l'acide chlorhydrique et nitrique suivie d'une analyse spectrale.

**TROISIEME PARTIE :**  
**RESULTATS ET DISCUSSION**

## 1. Evolution de la teneur en phosphore du sol

Dans le but de savoir la contribution de l'engrais phosphaté dans l'enrichissement du sol et suivre l'évolution des teneurs du phosphore dans le sol, des prélèvements à trois profondeurs différentes ont été effectués pour doser le phosphore assimilable à deux stades de la culture : tallage et maturité.

Les résultats des teneurs en phosphore assimilable du sol sont présentés dans le tableau 7.

Le tableau de l'analyse de variance de ce paramètre est porté dans l'annexe 1.

**Tableau 7. Evolution de la teneur en phosphore assimilable (ppm) dans le sol**

Profondeurs (cm)	0 – 20		20 – 40		40 – 60	
	Tallage	Maturité	Tallage	Maturité	Tallage	Maturité
Dose 0	6,03	6,80	3,30 b	2,70	3,87	2,70
Dose 1	11,20	11,66	3,82 b	3,28	3,55	3,59
Dose 2	30,32	14,84	6,29 ab	4,57	3,70	1,75
Dose 3	31,55	16,51	8,78 a	4,55	3,44	3,91
Signification statistique	N.S	N.S	S	N.S	N.S	N.S

En général, l'analyse de la variance montre des différences non significatives entre les traitements du phosphore assimilable à différentes profondeurs et stades de blé (tallage et récolte), la seule différence significative est enregistrée au stade tallage au niveau de la profondeur (20-40 cm) (tableau 7). On constate que les coefficients de variation sont très élevés (annexe 1) ce qui masquerait les différences éventuelles entre les différents traitements.

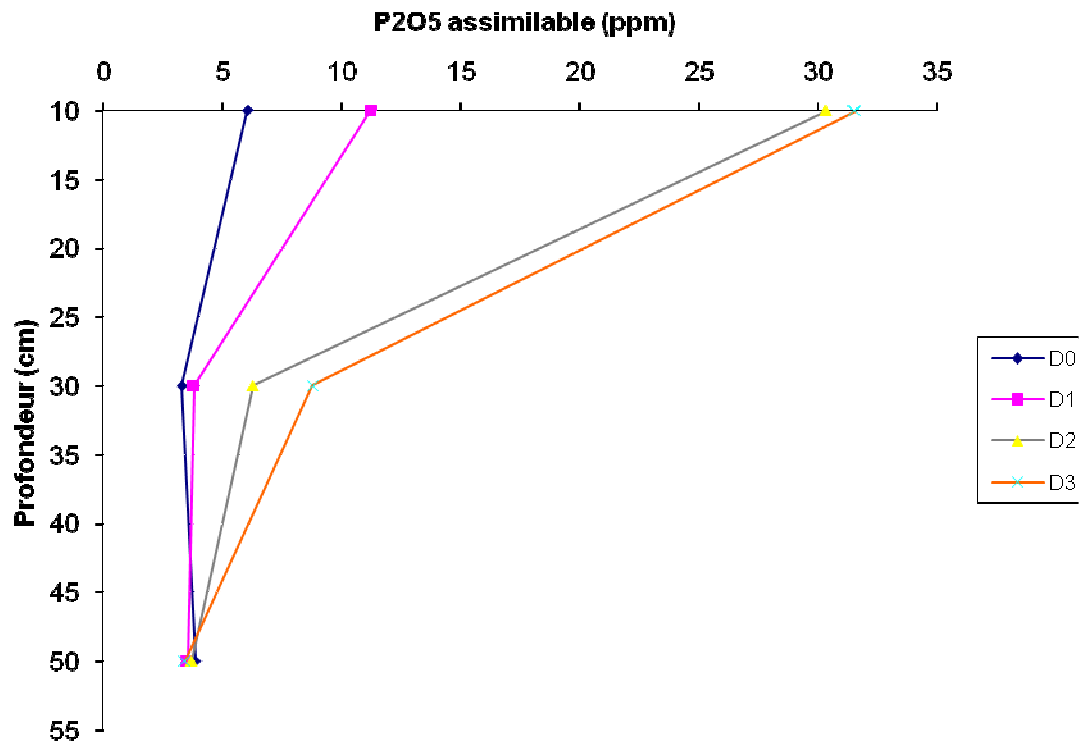


Figure 4. Evolution du P2O5 assimilable dans le sol à différentes profondeurs au stade tallage

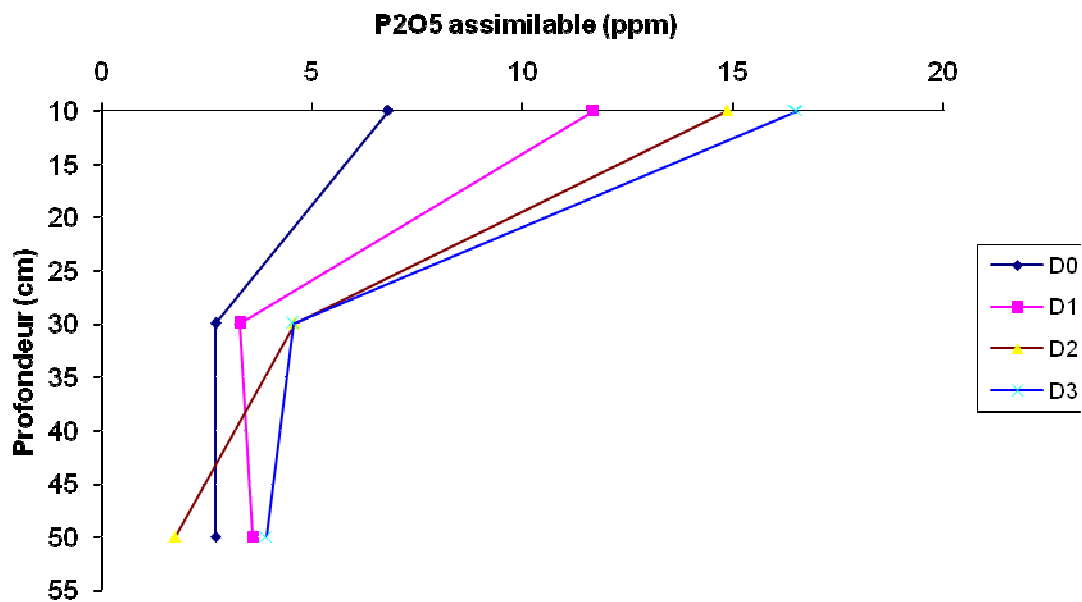


Figure 5. Evolution du P2O5 assimilable dans le sol à différentes profondeurs au stade maturité

La comparaison des moyennes au stade tallage et à la profondeur 20-40 cm met en évidence deux groupes homogènes, le groupe (a) est formé par le niveau de dose 180 unités, le second groupe (b) associe les deux autres niveaux de dose de phosphore (0 et 60 unités de  $P_2O_5$ ), le groupe intermédiaire est présenté par la dose 120 unités  $P_2O_5$ .

Les figures (4 et 5) présentent une tendance à la diminution dans les quatre niveaux de phosphore en fonction des profondeurs. Le même phénomène est constaté pour le phosphore total (annexe 1).

Nos résultats confirment ceux obtenus par **Brossard** (1992) et **Radhouani** (1995), indiquant la diminution des niveaux de phosphore total et assimilable avec l'augmentation de la profondeur de prélèvement de l'échantillon du sol.

## **Conclusion**

L'apport d'engrais phosphaté a provoqué un enrichissement du sol en  $P_2O_5$ . Les quantités de phosphore assimilable ont diminué de plus de 50% au stade tallage et à différentes doses par rapport aux quantités initiales (profondeur 0 – 20 cm). A la récolte, il n'en restait que 20% aux niveaux 120 et 180 unités/ha de  $P_2O_5$ . Cette diminution est due d'une part aux prélèvements de phosphore par les plantes, et d'autre part au transfert du phosphore vers des formes non assimilables, lorsque le temps de contact entre sol et apport d'engrais croît. Nos résultats confirment ceux obtenus par **Gervy** (1970), **Arakrak** (1989) et **Fardeau** (1993).

## 2. Alimentation phosphatée de la plante

Les tableaux de l'analyse de variance des paramètres (2.1, 2.2 et 2.3) sont portés dans l'annexe 2.

### 2.1. Evolution des teneurs en phosphore de la culture au cours du cycle

L'évolution des teneurs en phosphore aux principaux stades de développement de la culture permet d'apprécier la nutrition phosphatée des plantes.

Selon **Thevenet** (1993), les exportations sont appréciées à l'aide des teneurs des organes exportés de la parcelle (grain, plante entière, tubercules...).

Pour notre cas, nous avons déterminé la teneur en phosphore de la partie aérienne de la culture aux stades tallage, montaison, floraison et maturité (grains, balles et pailles).

Les résultats des teneurs en phosphore de la culture à différents stades sont présentés dans le tableau 8.

**Tableau 8. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur en P du blé (%)**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Tallage	0,457 b	0,604 ab	0,577 ab	0,769 a	21,8	S
Gonflement	0,352 b	0,407 ab	0,457 a	0,476 a	12,8	S
Floraison	0,379	0,403	0,389	0,412	23,5	N.S

Des différences significatives sont enregistrées entre les traitements marquant l'effet de l'apport d'engrais phosphaté sur la teneur en phosphore des feuilles aux stades tallage et gonflement ; par contre au stade floraison le phosphore était sans effet (tableau 8).

Le test de Newman – Keuls a révélé au stade tallage deux groupes homogènes (a) et (b). Le premier groupe est représenté par la dose 180 unités, et le second par le témoin ; le groupe intermédiaire (ab) est enregistré en Doses 60 et 120 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.



Au stade gonflement, le groupe (a) renferme les deux niveaux 120 et 180 unités ; le groupe (b) renferme uniquement le témoin sans phosphore. Le groupe intermédiaire (ab) est enregistré au niveau D1.

La teneur en phosphore des plantes ne recevant pas de fertilisation phosphatée est toujours inférieure à celle des plantes qui en reçoivent (figure 6). Mais l'écart important (doses 0 et 180), au début du prélèvement (stade tallage) atteint un maximum de (0,31%) puis diminue régulièrement (0,13% stade gonflement) jusqu'à la récolte (0,03%). Ceci pourrait s'expliquer par une dilution du phosphore dans un volume grandissant de matière végétale. Nos résultats confirment ceux obtenus par **Gervy (1970)** ; **Hernando (1977)** ; **Champagnol (1979)** ; **Coppenet (1988)** et **Aissa et al. (2001)**.

## **2.2. Teneur et exportation du phosphore par les différentes parties aériennes de la plante**

### **2.2.1. Teneur en phosphore des grains**

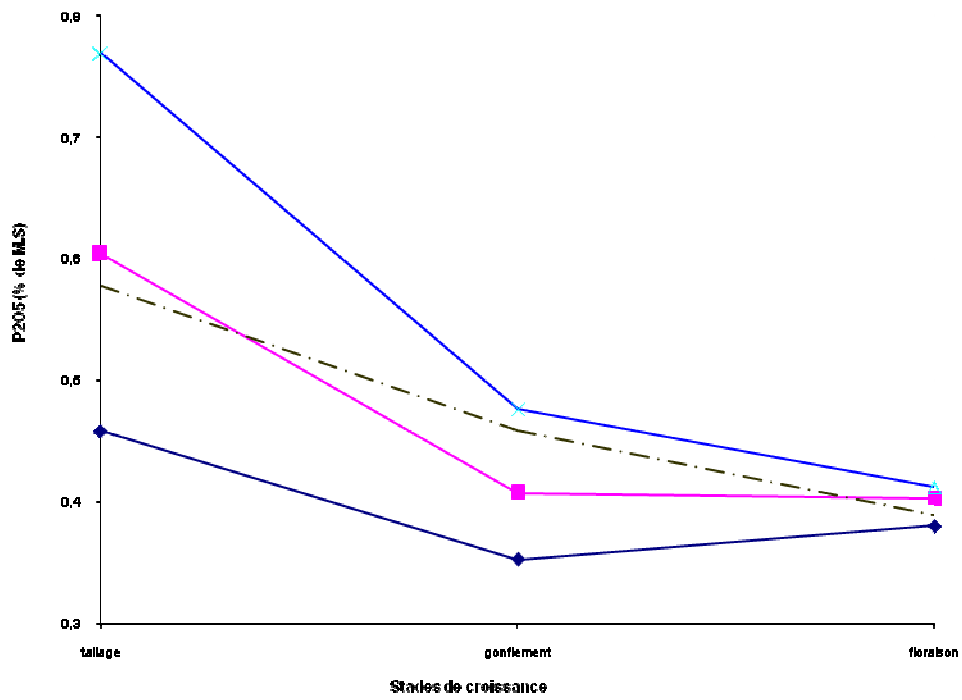
Lorsqu'une espèce est cultivée pour ses graines (blé, maïs, colza, tourne sol ....) l'essentiel du phosphore prélevé par la culture est présent dans le grain et donc exporté (**Castillon et al, 1993**).

**Gervy (1970)** ajoute que le phosphore s'accumule dans les grains qui, à maturité, contiennent en moyenne 1% de  $P_2O_5$ , dont les  $\frac{3}{4}$  environ sous forme phytique.

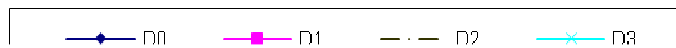
Les résultats de la teneur en  $P_2O_5$  des grains sont présentés dans le tableau 9.

**Tableau 9. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur des grains en P (%)**

<b>Doses</b>	<b>Dose 0</b>	<b>Dose 1</b>	<b>Dose 2</b>	<b>Dose 3</b>	<b>C.V %</b>	<b>Signification statistique</b>
<b>Moyennes</b>	<b>0,460 b</b>	<b>0,590 a</b>	<b>0,613 a</b>	<b>0,673 a</b>	<b>14,4</b>	<b>H.S</b>



**Figure 6. Evolution de la teneur en phosphore du végétal à différents stades de croissance de la culture et différentes doses de P2O5**



L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif de la fertilisation phosphatée sur la teneur en phosphore des grains (tableau 9). Elle augmente avec les doses croissantes de  $P_2O_5$  où elle passe de 0,46% obtenu avec le témoin sans phosphore à 0,673% avec la dose 180 unités de  $P_2O_5$ /ha.

La comparaison des moyennes illustre deux groupes homogènes (a et b). Le groupe (a) englobe les trois niveaux de dose 60, 120 et 180 unités avec respectivement 0,59, 0,613 et 0,673 % de la teneur en phosphore des grains ; par contre le groupe (b) est présenté par le témoin seulement (0,46 %).

### 2.2.2. Teneurs en phosphore des balles et pailles

Les résultats des teneurs en phosphore des balles et pailles sont présentés dans le tableau 10.

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif du phosphore sur les balles et non significatif sur les pailles. La meilleure teneur en phosphore des balles (0,080 %) est enregistrée au niveau 180 unités puis elle diminue progressivement pour atteindre une teneur de 0,042% pour le témoin sans phosphore.

**Tableau 10. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur des balles et pailles en phosphore (%)**

<b>Doses</b>	<b>Dose 0</b>	<b>Dose 1</b>	<b>Dose 2</b>	<b>Dose 3</b>	<b>C.V %</b>	<b>Signification statistique</b>
<b>Balles</b>	<b>0,042 b</b>	<b>0,071 a</b>	<b>0,075 a</b>	<b>0,080 a</b>	<b>20,1</b>	<b>H.S</b>
<b>Pailles</b>	<b>0,037</b>	<b>0,046</b>	<b>0,041</b>	<b>0,059</b>	<b>48,3</b>	<b>N.S</b>

La comparaison des moyennes a révélé deux groupes homogènes. Le premier groupe (a) renferme les trois niveaux de dose (60, 120 et 180 unités) avec respectivement 0,071, 0,075 et 0,080% de la teneur en phosphore des balles, par contre le deuxième groupe (b) est représenté uniquement par le témoin sans phosphore (0,042 %).

La teneur en phosphore des pailles n'est pas influencée significativement par la fertilisation phosphatée, mais on retrouve la teneur en P la plus élevée dans les parcelles ayant reçues 180 unités avec 0,059%, et la teneur la plus faible obtenue au niveau du témoin sans phosphore avec 0,037%.

### Exportations de phosphore par la culture (stade récolte)

Les résultats des exportations du phosphore par la culture sont présentés dans le tableau 11.

**Tableau 11. Exportations du phosphore par la culture au stade récolte (kg/ha)**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
moyennes	12,33 c	24,2 b	26,72 ab	34,61 a	25,1	T.H.S

Le phosphore exerce un effet très hautement significatif sur la quantité du phosphore exportée par la plante (partie aérienne). Les exportations évoluent avec les doses croissantes du phosphore (figure 7). Elles passent de 12 kg de  $P_2O_5$  /ha pour le traitement sans phosphore, à 35 kg environ de  $P_2O_5$  /ha pour le niveau 180 unités (tableau 11).

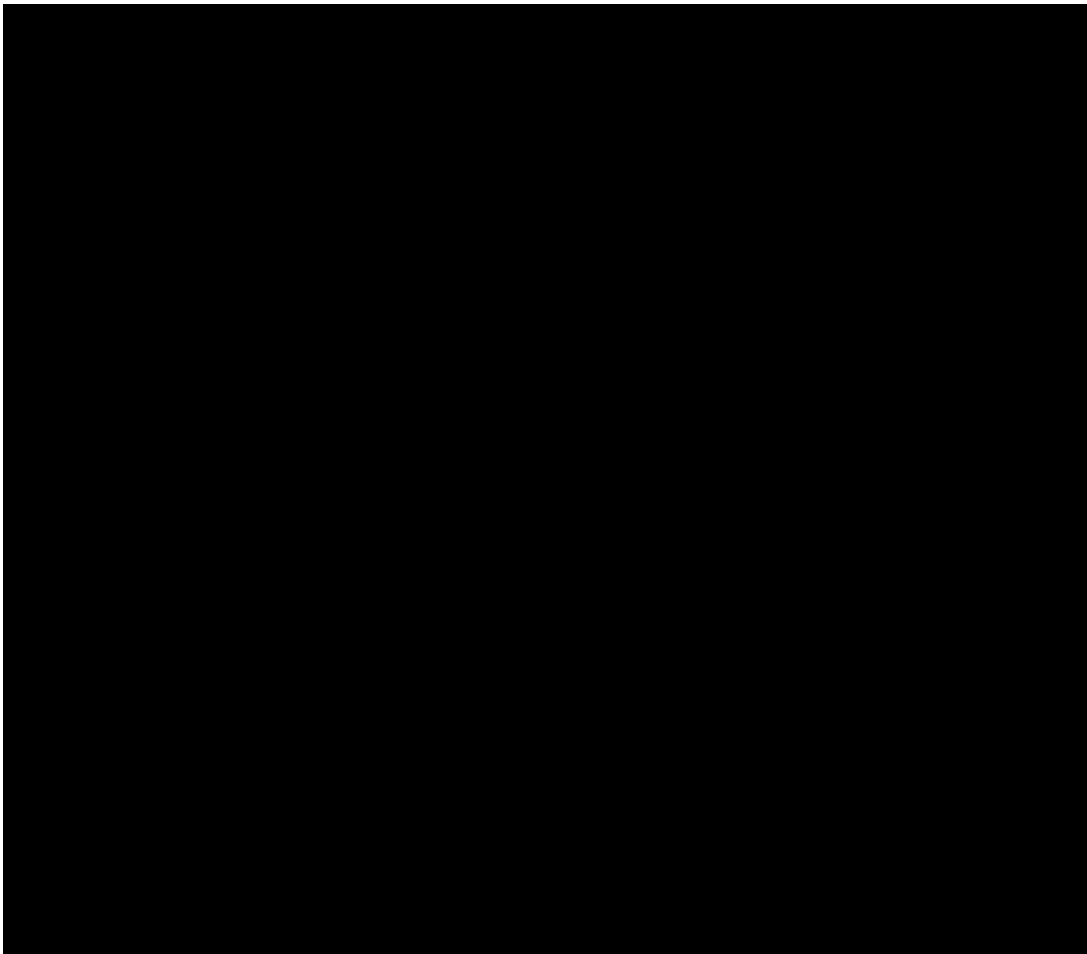
Le test de Newman – Keuls a fait ressortir 03 groupes homogènes (a, b et c) et un groupe intermédiaire (ab) présenté par le niveau 120 unités. Le premier groupe (a) est formé par le niveau 180 unités, et les groupes (b) et (c) contiennent respectivement les doses 60 et 0 unités de  $P_2O_5$ /ha.

### Quantité de phosphore exporté en kg par quintal de grains produit

Les résultats de la quantité de phosphore exporté par quintal de grains produit sont présentés dans le tableau 12.

**Tableau 12. Quantité de  $P_2O_5$  exporté (kg) par quintal de grains produit**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyenne	0,53 b	0,66 ab	0,67 ab	0,75 a	15,5	S



L'analyse de variance s'est révélée significative pour ce paramètre (tableau 12), le test de Newman – Keuls a fait ressortir deux groupes homogènes (a et b) et un groupe intermédiaire formé par les deux niveaux 60 et 120 unités de phosphore.

La quantité nécessaire du phosphore ( $P_2O_5$ ) pour produire un quintal de grains varie entre 0,53 kg/ha (témoin sans phosphore) et 0,75 kg/ha (niveau 180 kg/ha), soit un écart de 0,22 kg de phosphore par quintal de grains produit dans l'intervalle expérimental.

Selon Gervy (1970), les céréales (blé, orge) utilisent 1,2 à 1,5 kg/ha de  $P_2O_5$  par quintal de grain produit, elles se placent habituellement dans la fourchette 40 – 50 q/ha, ce qui correspond à 50 à 75 unités de  $P_2O_5$  /ha. Dutil (1973) évalue les exportations du  $P_2O_5$  par le blé de 0,85 à 1,35 kg par quintal de grains.

En comparaison avec la bibliographie, nos résultats montrent un transfert de phosphore des parties aériennes vers le grain très limité. Les conditions d'alimentation hydrique et fertilisante étaient à l'origine de la faible utilisation du  $P_2O_5$  par la culture.

### 2.3. Estimation du Coefficient Apparent d'Utilisation (C.A.U)

L'utilisation du phosphore par la plante est appréciée par le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais qui semble être lié aux doses de l'engrais appliqué.

Le coefficient apparent d'utilisation de l'engrais phosphaté diminue avec les doses croissantes de l'engrais tri superphosphate. Il passe de 11,99 % pour la dose 120 unités/ha, à 12,37 % pour la dose 180 kg/ha et 19,78 % pour la dose 60 unités/ha. Le C.A.U moyen de l'essai est de 14,71%.

**Tableau 13. Coefficient apparent d'utilisation (%) de l'engrais phosphaté**

Doses (kg/ha)	60	120	180
C.A.U (%)	19,78	11,99	12,37

Selon Admont et al (1986) cité par **Belaid** (1987), le coefficient apparent d'utilisation des engrais phosphatés solubles dépassent rarement 20%. Il dépend à la fois du facteur quantité du  $P_2O_5$  assimilable et du pouvoir fixateur des sols (**Arakrak**, 1989).

## **Conclusion**

En fonction des résultats obtenus sur les prélèvements du phosphore par la plante, le stade végétatif joue un rôle important quelque soit le niveau de fertilisation puisque la plante étant jeune n'absorbe qu'une quantité faible par rapport aux autres stades où on assiste à un développement végétatif important ce qui se traduit par une absorption conséquente.

Les quantités du phosphore prélevées par les grains augmentent de façon linéaire dans l'intervalle expérimental. Elles passent de 11 kg (témoin sans phosphore) à 31 kg de  $P_2O_5$ /ha (180 unités de  $P_2O_5$ ) soit un accroissement de 20%.

### 3. Effet de la fertilisation phosphatée sur la production de matière sèche du blé et la hauteur de la tige

Les tableaux de l'analyse de la variance des paramètres suivants sont portés dans l'annexe 3.

#### 3.1. Effet de la fertilisation phosphatée sur la production de matière sèche

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 la production de matière sèche sont présentés dans le tableau 14 et illustrés dans la figure 8.

**Tableau 14. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche durant le cycle du blé (g/m<sup>2</sup>)**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Tallage	44,98	50,53	53,06	58,23	13,9	N.S
Gonflement	288,19 b	408,62 a	445,57 a	418,57 a	15,8	H.S
Floraison	508,69 b	966,38 a	876,41 a	981,94 a	12,1	T.H.S
Maturité	633,21 b	822,35 ab	865,17 ab	1010,09 a	17,9	S

L'analyse de la variance (tableau 13, annexe 3) montre des différences non significatives de l'effet du phosphore sur la production de matière sèche au stade plein tallage malgré que ce paramètre passe de 44,98g/m<sup>2</sup> à 58,23 g/m<sup>2</sup> du témoin sans phosphore à la dose 180 unités de



$P_2O_5$  /ha. Par ailleurs, nous avons enregistré des effets hautement significatif au stade gonflement et très hautement significatives au stade floraison.

Le test de Newman – Keuls a fait ressortir pour les stades gonflement et floraison deux groupes homogènes, le premier groupe (a) présenté par les trois niveaux 60, 120 et 180 unités de  $P_2O_5$ /ha et le groupe (b) renferme le témoin sans phosphore. Au stade maturité, on assiste à l'obtention de trois groupes (a), (ab) et (b) qui sont représentés respectivement par les traitements 180, 120 et 60, témoin sans phosphore.

La figure 8a, montre la croissance continue des plantes du témoin (sans phosphore) et du traitement 180 unités de  $P_2O_5$ /ha jusqu'au stade maturité. Au niveau du traitement 60 unités de  $P_2O_5$ /ha, la production de matière sèche évolue jusqu'au stade floraison, puis diminue légèrement pour atteindre la maturité. Pour le niveau 120 unités, la croissance de la culture semble être constante entre les deux stades floraison et maturité. La figure 8b montre que l'évolution cumulée de matière sèche est plus importante au niveau de fertilisation 180 unités de  $P_2O_5$ /ha, contre le cumule le plus faible représenté par le témoin sans phosphore.

Durant le stade levée – tallage, des arrêts d'irrigations prolongés et répétés dans le temps, ont induit un faible développement de la culture due à un manque d'eau et d'éléments fertilisants (azote) et a masqué l'effet du phosphore. Au stade début montaison, deux épandages de 46 unités/ ha d'Urée chacun sont appliqués pour ne pas pénaliser la formation des composantes qui reste. Cet apport d'azote a favorisé le développement des parties aériennes.

La production de matière sèche est influencée par la fertilisation minérale. **Thélier-huché et al** (1996) indique 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.

Les résultats obtenus au niveau du témoin sans phosphore, confirment ceux obtenus par **Bekkair et Drini** (1995) qui ont travaillé sur une culture de blé tendre conduite dans les mêmes conditions que les notre.

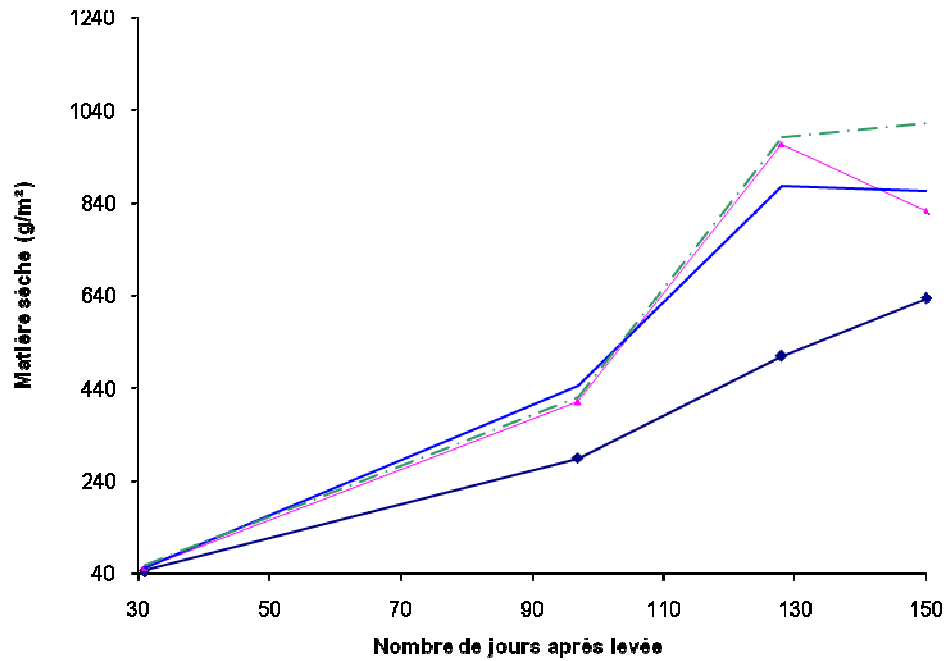


Figure 8a. Evolution de la biomasse du blé (g de M.S/ m<sup>2</sup>) en fonction des doses de phosphore à différents stades de croissance de la culture,

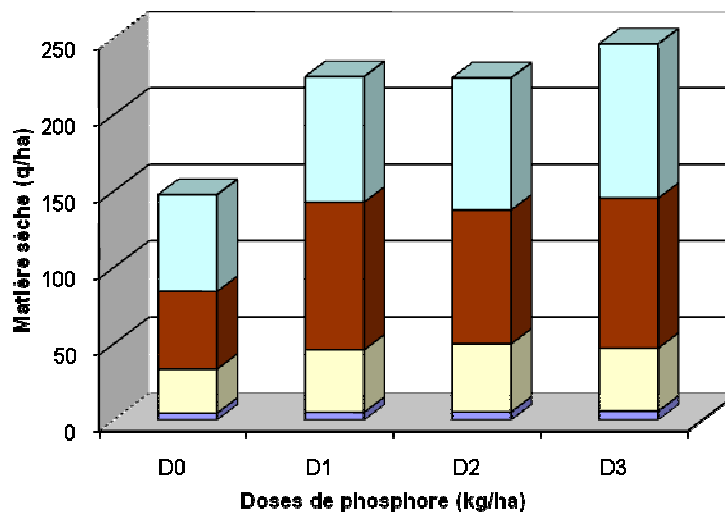
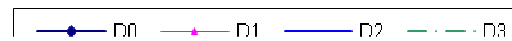
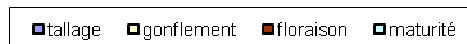


Figure 8b. Evolution cumulée de la biomasse du blé (q/ha) en fonction des doses de phosphore à différents stades de croissance.



### 3.2. Effet de la fertilisation phosphatée sur la hauteur de la tige

Les résultats de la hauteur finale de la tige sont présentés dans le tableau 15.

**Tableau 15. Influence des différentes doses de phosphore sur la hauteur de la tige**

Doses	Dose 0	Dose1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	67,18	68,06	72,85	71,87	4,6	S

L'examen des résultats d'analyse de la variance montre un effet significatif du phosphore sur la hauteur de la tige. La meilleure hauteur est obtenue au niveau 120 unités de phosphore avec 72,85 cm, par contre le témoin sans phosphore a présenté une hauteur de 67,18 cm.

Nos résultats restent faibles quelque soit la dose de  $P_2O_5$  appliquée par rapport à ceux obtenus par **Ladada** (1988) qui a étudié le comportement de la variété anza dans la région de Gassitouil (Hassi messaoud) ; la hauteur de la tige enregistrée est de 85 cm.

#### Conclusion

La culture a réagi favorablement à un apport de phosphore par augmentation de la production de matière sèche et la hauteur de la tige.

#### 4. Effet de la fertilisation phosphatée sur les composantes du rendement

La ramification progressive de la plante (tallage, ramification de l'épi) consécutive aux processus de développement, se traduit morphologiquement à l'échelle du peuplement par les composantes du rendement : nombre d'épis par plante, nombre de grains par épillets, poids d'un grain (Meynard, 1985).

L'analyse des composantes du rendement des céréales est aujourd'hui un outil pour porter un diagnostic sur les systèmes de cultures en vue de leur amélioration (Meynard et al, 1994).

Les tableaux de l'analyse de variance des composantes du rendement et rendement sont portés dans l'annexe 3.

##### 4.1. Densité de peuplement

Les résultats de la densité de peuplement sont présentés dans le tableau 16.

**Tableau 16. Influence des différentes doses de phosphore sur la densité de peuplement**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	263,52 b	327.81 a	317.99 a	313.35 a	9,4	S

D'après le tableau 16, on observe une différence significative entre les différentes doses de phosphore appliquées. Deux groupes homogènes sont formés par le témoin sans phosphore (264 pieds /m<sup>2</sup>) et les autres doses avec respectivement 328 (60 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha), 318 (120 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) et 313 (180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) ; soit une moyenne de 319,66 pieds /m<sup>2</sup> obtenue avec la fertilisation phosphatée.

Cette différence pourrait s'expliquer par la date tardive de comptage (stade 3 feuilles à début tallage) ceci expliquerait en partie une plus grande survie de pieds ayant reçu du phosphore.

La densité de semis étant de 600 grains /m<sup>2</sup>, les pertes des plants à la levée dans les différents traitements dépassent 40%. Ces pertes peuvent s'expliquer d'une part par la profondeur irrégulière du semis (qui peut atteindre les 6 cm) et d'autre part, par les conditions d'alimentation hydrique et azotée déficiente dues à des panes fréquentes en début d'expérimentation.

Selon **Buckman** (1990), la densité de la culture est fonction du nombre de grains semés et de la survie des plantes. Son installation ne nécessite pas d'apport de fertilisants extérieurs en particulier d'azote ; la levée s'effectuant à partir de la graine (**Massé**, 1983).

## 4.2. Tiges herbacées

### 4.2.1. Nombre de tiges herbacées /m<sup>2</sup>

Le nombre de tiges herbacées est fonction de la variété, du nombre de plants à la levée et de l'alimentation hydrique et fertilisante.

Les résultats du nombre de tiges herbacées par m<sup>2</sup> sont consignés dans le tableau 17.

**Tableau 17. Influence des différentes doses de phosphore sur le tallage herbacé**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	345,48 b	446,46 a	444,15 a	418,88 a	12,8	S

L'analyse de la variance montre une différence significative entre les traitements étudiés.

Les valeurs obtenues se répartissent en deux groupes homogènes (a et b). Le groupe a rassemble les trois doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> avec 446 pour 60 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 444 pour 120 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 419 obtenue avec 180 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, soit 445 tiges au m<sup>2</sup> en moyenne. Le groupe b, est formé par le témoin sans phosphore avec 345 tiges au m<sup>2</sup>.

#### 4.2.2. Nombre de tiges herbacées /ped

Les résultats du nombre de tiges herbacées par pied sont présentés dans le tableau 18.

**Tableau 18. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de tiges herbacées par pied**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	1,31	1,36	1,41	1,34	11,7	N.S

L'analyse de la variance (tableau 18, annexe 3) ne montre aucune différence significative entre les traitements. Cependant le nombre de tiges herbacées par pied passe de 1,31 pour le témoin sans phosphore à 1,34 pour le niveau de dose 180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, soit une différence de 0,03 tiges.

#### 4.2.3. Régression des tiges herbacées

Les résultats de régression des tiges herbacées sont présentés dans le tableau 19.

**Tableau 19. Influence des différentes doses de phosphore sur la régression des tiges herbacées (%).**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	32,46	33,63	27,23	20,14	26,1	N.S

Le phosphore a influencé négativement le taux de tiges régressées. La régression des tiges herbacées (figure 9) diminue avec les doses croissantes d'engrais phosphaté ( $r=0,88^{***}$ ). Pour le témoin sans phosphore, elle est de 32,46% contre 20% pour le niveau 180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Selon **Meynard et al.** (1994), la régression d'une partie des talles herbacées est un phénomène inéluctable, lié à l'installation de la compétition au sein du peuplement. Après le stade épi 1 cm, une proportion significative de talles meurt progressivement en cours de montaison (**Gate**, 2002).

Le même auteur ajoute que les talles qui ne peuvent achever leur croissance sont les plus jeunes car les plus sensibles à la pénurie.

### 4.3. Nombre d'épis/m<sup>2</sup> et nombre d'épis/pied

#### 4.3.1. Nombre d'épis par m<sup>2</sup>

Les résultats du nombre d'épis par m<sup>2</sup> sont présentés dans le tableau 20.

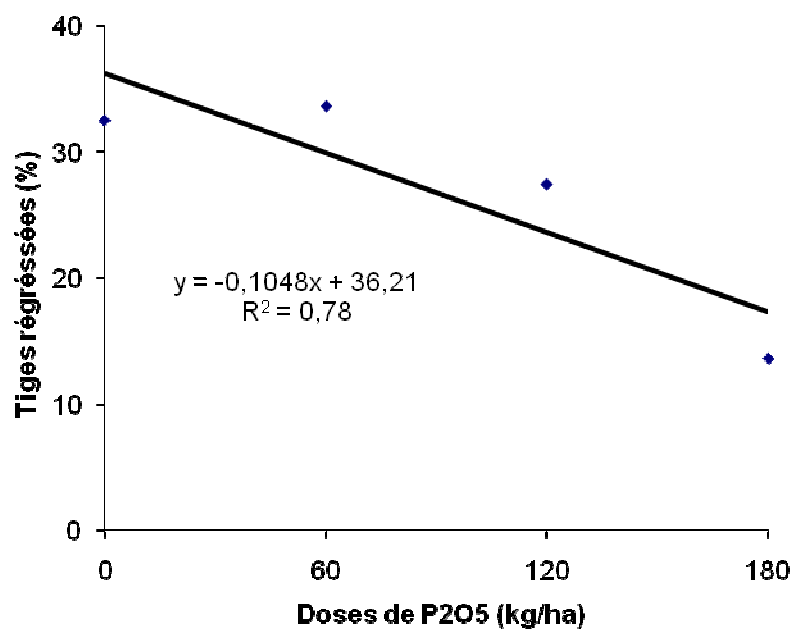
**Tableau 20. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épis/m<sup>2</sup>**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	232,44 c	293,99 b	321,43 ab	330,88 a	7,2	T.H.S

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que le phosphore a influencé de façon très hautement significative le nombre d'épis/m<sup>2</sup>. La comparaison des moyennes a mis en évidence quatre groupes homogènes (a) ; (ab) ; (b) et (c), représentés respectivement par les traitements 180 ; 120 ; 60 et 00 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

L'apport de phosphore a amélioré la fertilité des tiges herbacées. La valeur la plus élevée du nombre d'épis/m<sup>2</sup> est obtenue au niveau 180 unités de phosphore. Cette valeur de 331 dépasse le témoin (232) de 30% (tableau 19). Les peuplements épis/m<sup>2</sup> pour les différents niveaux 60, 120 et 180 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha sont de 294, 321 et 331 respectivement.

**Faudeau** (1985) indique que les besoins du blé en phosphore sont plus importants à partir de la mi-montaison ; et toute carence en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en cette période se traduit par un défaut de monter des talles en épis.



**Figure 9. Effet des doses de phosphore apportées sur la régression des tiges herbacées (%)**



### 4.3.2. Nombre d'épis par pied

Les résultats du nombre d'épis par pied sont présentés dans le tableau 21.

**Tableau 21. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épis/pied**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	0,88	0,90	1,01	1,05	9,7	S

L'analyse de la variance montre des différences significatives entre les traitements de phosphore (tableau 21). Le nombre d'épis/pied augmente avec les doses croissantes de phosphore, il passe de 0,88 pour le témoin à 1,05 pour le niveau 180 unités de  $P_2O_5$ , mais cet accroissement est trop faible pour distinguer des différences entre les groupes.

Le test de Newman-keuls (5%) a révélé un seul groupe. La comparaison des moyennes deux à deux nous a permis d'obtenir des différences significatives (table de Student 5%) au niveau 180 unités avec les deux niveaux 60 unités et 0 unités  $P_2O_5$ /ha.

**Belaid** (1987) n'a pas constaté d'effet significatif sur ce paramètre, par contre **Hafsi** (1990) a obtenu des différences significatives du nombre d'épis/pied entre les traitements de phosphore appliqués.

## 4.4. Caractéristiques de l'épi

### 4.4.1. Nombre d'épillets total par épi

Les résultats du nombre d'épillets par épi sont présentés dans le tableau 22.

La composante nombre d'épillets par épi est élaborée au stade A de Jonard (**Meynard**, 1994).

**Tableau 22. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épillets total par épi**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	17,02 b	19,64 a	19,32 a	19,64 a	4,9	H.S

L'analyse de la variance du nombre d'épillets total par épi montre un effet hautement significatif du phosphore sur ce paramètre étudié. Le test de Newman – Keuls a fait ressortir deux groupes homogènes. Le premier groupe (a) formé par les trois niveaux de phosphore 60, 120 et 180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha en donnant respectivement 19,64, 19,32 et 19,64 épillets par épi. Le groupe (b) contient uniquement le témoin sans phosphore avec 17 épillets par épi.

#### 4.4.2. Nombre d'épillets fertiles par épi

Les résultats du nombre d'épillets fertiles par épi sont présentés dans le tableau 23.

**Tableau 23. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épillets fertiles par épi**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	14,15 b	17,73 a	17,00 a	17,41 a	10,9	S

L'effet significatif du phosphore sur le nombre d'épillets fertiles, a donné deux groupes homogènes (a et b). Le groupe (a), formé par les trois niveaux de doses avec 17,73 (60 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha), 17 (120 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) et 17,41 (180 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha), soit une moyenne de 17,38 épillets fertiles par épi ; le groupe (b) présenté par le témoin avec 14,15 épillets fertiles par épi, soit un écart de 3,23 épillets fertiles par épi entre les traitements fertilisés et le témoin sans phosphore.

**Couvreur** (1981) remarque que de fortes ETP en début montaison ou bien des gelées de -2°C autour de l'épiaison peut être responsables d'une mauvaise fertilité des épillets.

#### 4.4.3. Nombre d'épillets stériles par épi

Les résultats du nombre d'épillets stériles par épi sont présentés dans le tableau 24.

**Tableau 24. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épillets stériles par épi**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	3,76 a	1,99 b	2,17 b	2,23 b	22,3	H.S

Les résultats obtenus présentent des différences hautement significatives pour le phosphore (tableau 24), ainsi on constate un effet négatif du phosphore sur ce paramètre : 3,76 épillets stériles par épi pour le témoin, 2,23, 2,17 et 1,99 pour les niveaux 180, 120 et 60 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivement. Le test de Newman – Keuls a fait ressortir deux groupes homogènes (a et b). Le groupe (a) est formé uniquement par le témoin sans phosphore, et le groupe (b) englobe les trois niveaux de phosphore appliqués.

#### 4.4.4. Nombre de grains/épi

Les résultats du nombre de grains/épi sont présentés dans le tableau 25.

Le nombre de grains/épi est une caractéristique variétale, très influencé par le nombre d'épis/m<sup>2</sup> (Couvreur, 1981).

**Tableau 25. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de grains/épi**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	28,51 b	49,66 a	46,23 a	48,71 a	13,8	T.H.S

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les traitements étudiés pour ce paramètre. Les trois niveaux de dose de phosphore 60, 120 et 180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ont formé un seul groupe homogène (a) avec respectivement 50, 46 et 49 grains/épi, soit une moyenne de 48,2 grains/épi ; par contre le témoin forme un groupe à part (b) avec 28,51 grains/épi.

#### 4.5. Nombre de grains /m<sup>2</sup>

Les résultats du nombre de grains /m<sup>2</sup> sont présentés dans le tableau 26.

**Tableau 26. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de grains/ m<sup>2</sup>**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	6745,38 b	14781,13 a	15120,46 a	16347,01 a	15,8	T.H.S

L'analyse des résultats de la variance montre un effet très hautement significatif du phosphore sur le nombre de grains/m<sup>2</sup> (tableau 26). Le test de Newman – Keuls a fait ressortir deux groupes homogènes, le premier regroupe (a) les trois niveaux de fertilisation; 60, 120 et 180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha avec respectivement 14781, 15120 et 16347, soit 15416,2 grains/m<sup>2</sup> en moyenne; le groupe (b) contient uniquement le traitement sans phosphore avec 6745 grains/m<sup>2</sup>.

Le nombre de grains par m<sup>2</sup> est fonction du nombre d'épis par m<sup>2</sup> et du nombre de grains par épi. La dose 60 unités P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a donné le nombre d'épillets total/épi et le nombre d'épillets fertiles les plus élevés par rapport aux doses 120 et 180 unités de phosphore, son nombre de grains par m<sup>2</sup> obtenu est le plus faible (14781 grains /m<sup>2</sup>) par rapport aux autres traitements fertilisés, car le peuplement épi est faible (294 épis/ m<sup>2</sup> contre 321 et 331 épis/m<sup>2</sup> pour les doses respectivement 120 et 180 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

#### 4.6. Poids de 1000 grains

Selon Loue (1984) et Batten (1992), le poids de 1000 grains est un paramètre influencé par les conditions de nutrition minérale surtout phospho-potassique. Cependant les conditions climatiques influent également sur ce paramètre (**Grignac**, 1981 ; **Meynard**, 1987 et **Gate**, 1996).

Les résultats du poids de 1000 grains sont présentés dans le tableau 27.

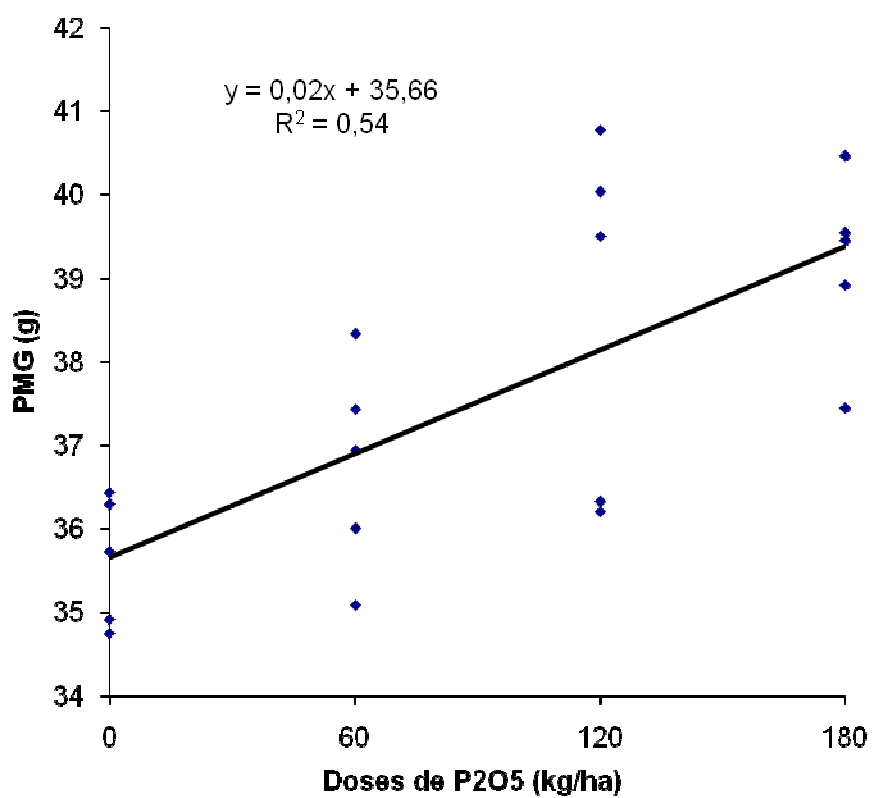
**Tableau 27. Influence des différentes doses de phosphore sur le poids de 1000 grains**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	35,63 b	36,76 ab	38,57 a	39,16 a	4,3	S

Les résultats d'analyse de la variance ont révélé significatif l'effet du phosphore sur le PMG (tableau 27) où il augmente à mesure qu'augmentent les doses de phosphore. D'autre part la figure 10 illustre l'étroite relation entre le PMG et l'apport de phosphore ( $r = 0,73^{***}$ ).

La comparaison des moyennes a permis d'obtenir deux groupes homogènes (a et b). Les deux niveaux de dose 120 et 180 unités de  $P_2O_5$ /ha ont formé le groupe (a) avec respectivement 38,57g et 39,16g. Le second groupe (b) est présenté par le témoin sans phosphore (35,6 g), soit un écart de 3 g du poids de 1000 grains. La dose 60 unités a formé un groupe intermédiaire (ab) avec 36,7 g.

**Belaid** (1987) signale qu'une élévation du nombre de grains entraîne une chute du poids de 1000 grains. Les résultats obtenus confirment cette constatation au niveau 60 unités de  $P_2O_5$  qui présentait le nombre de grains par épi le plus élevé mais le PMG est faible par rapport aux deux autres niveaux 120 et 180 unités de phosphore.



**Figure 10. Evolution du PMG (g) en fonction des doses de P2O5**

## 5. Effet de la fertilisation phosphatée sur le rendement en grains, rendement en paille et indice de récolte.

### 5.1. Rendement en grain

Les résultats du rendement en grain sont présentés dans le tableau 28.

La figure 11, montre que l'apport d'engrais phosphaté entraîne une amélioration du rendement du blé ( $r= 0,78^{***}$ ).

**Tableau 28. Influence des différentes doses de phosphore sur le rendement en grain (q/ha)**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	23,33 b	36,9 a	39,7 a	46 a	18,2	H.S

Les résultats d'analyse de la variance montrent que l'effet du phosphore est hautement significatif sur le rendement en grain. La comparaison des moyennes a permis de regrouper les trois doses 60 ; 120 et 180 unités de  $P_2O_5$  dans le même groupe (a) avec respectivement 36,9, 39,7 et 46 q/ha soit une augmentation de 36,77%, 41,23% et 49,29% par rapport au témoin sans phosphore. Le témoin sans phosphore a formé un groupe à part (b) avec le rendement en grain le plus faible de l'ordre de 23 q/ha.

L'utilisation de doses croissantes de phosphore sans faire augmenter les doses d'azote et de potassium était à l'origine de la formation d'un seul groupe (a) par les trois doses de  $P_2O_5$  (tableau 28). Sachant que l'alimentation minérale des végétaux nécessite un équilibre entre les éléments nutritifs (**Halilat, 1993**).

Plusieurs travaux ( **Belaid, 1987 ; Hafsi, 1990 ; Halilat, 1993 et Aissa, 2001**) ont montré qu'il existe une synergie entre les différents éléments nutritifs NPK. D'après **Blanc et Shanker** cité par **Hafsi (1990)**, il existe des interactions entre les engrais azotés et phosphatés, qui font augmenter le rendement et améliorer la solubilité et l'absorption du phosphore.

**Belaid** (1987) et **Hafsi** (1990), montrent que l'utilisation du phosphore limite la chute du poids de 1000 grains due aux apports d'azote. L'azote en revanche, a un effet dépressif sur le poids de 1000 grains (**Mekliche**, 1983 ; **Halilat**, 1993).

**Aissa et al** (2001) notent que la mise à disposition de la plante du potassium aisément métabolisable entraîne une meilleure assimilation de l'azote et du phosphore disponible dans le sol et, par conséquent, assure un rendement plus élevé et une nette amélioration de la composition minérale des grains et de la paille.

## 5.2. Rendement en paille

D'après les résultats du tableau 29, le rendement en paille augmente d'une façon très hautement significative avec les doses de phosphore. L'apport de phosphore entraîne une augmentation du rendement en paille ( $r = 0,82^{***}$ ) (figure 12). La valeur la plus élevée est obtenue par le traitement 180 unités  $P_2O_5$ /ha avec 45,68 q/ha, contre la valeur la plus faible enregistrée par le témoin sans phosphore avec 23,60 q/ha. L'apport de phosphore permet d'obtenir un accroissement de 48,33% pour la dose 180 kg/ha, 38% pour la dose 120 kg/ha et 36% pour la dose 60 kg/ha par rapport au témoin sans phosphore.

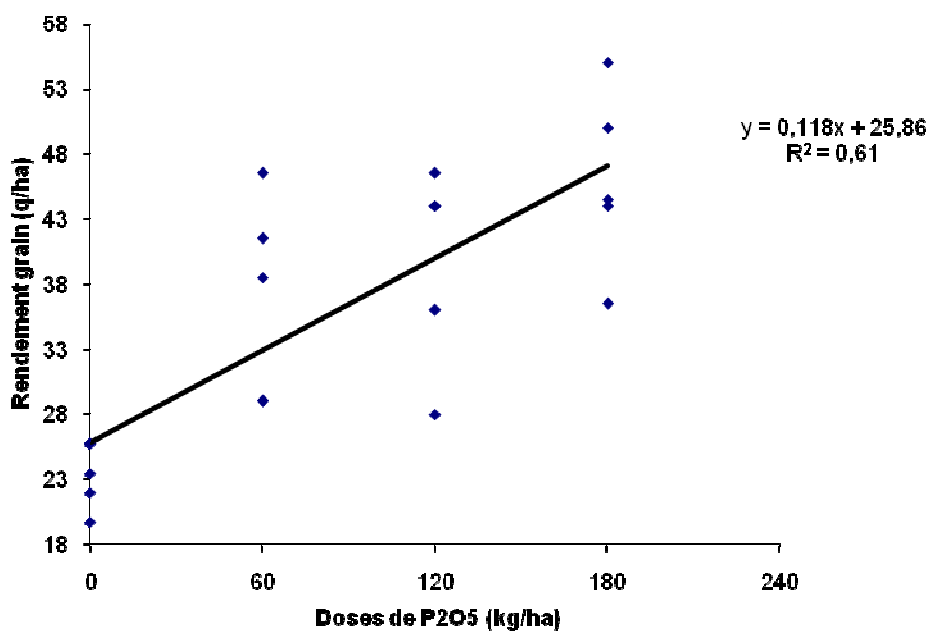
**Tableau 29. Influence des différentes doses de phosphore sur le rendement en paille (q/ha)**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	23,6 c	36,72 b	38,07 b	45,68 a	14,5	T.H.S

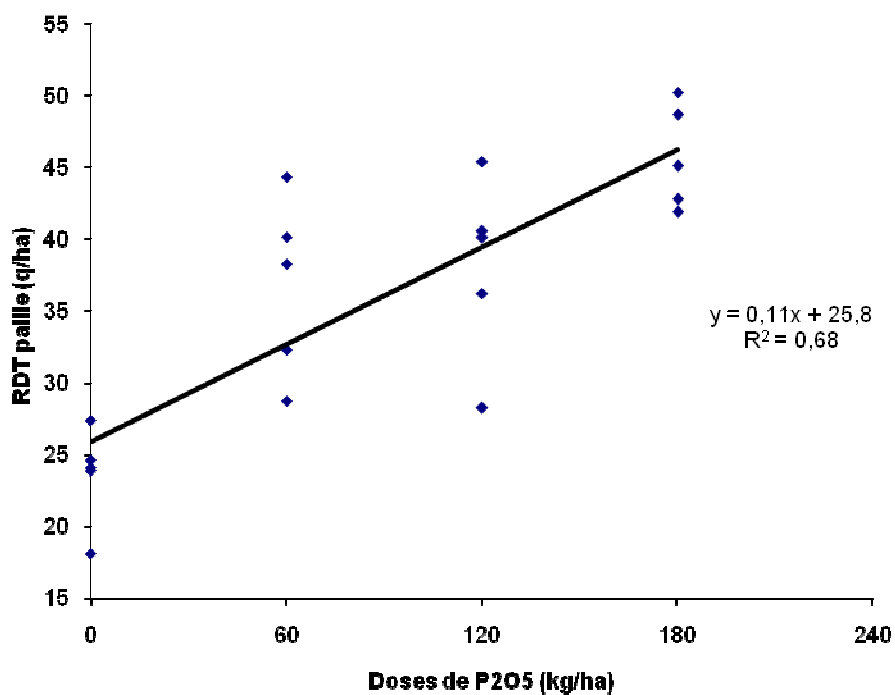
Le test de Newman – Keuls a fait ressortir trois groupes homogènes. Le premier groupe (a) est formé par la dose 180 unités  $P_2O_5$ /ha, le groupe (b) englobe les deux doses 60 et 120  $P_2O_5$ /ha, le groupe (c) contient uniquement le traitement sans phosphore.

Nos résultats confirment ceux obtenus par **Belaid** (1987). Or dans l'essai de **Hafsi** (1990), le phosphore était sans effet sur ce paramètre.





**Figure 11. Effet des doses de phosphore apportées sur le rendement en grain de blé**



**Figure 12. Effet des doses de phosphore apportées sur le rendement en paille de blé**

### 5.3. Indice de récolte

Selon **Bouzerzour et al** (1996), l'indice de récolte indique le degré de reversion d'une partie de la biomasse aérienne produite en grains. Une culture qui accumule trop de matière sèche avant l'anthèse sera sujette à la « formation incomplète de ses graines » les ressources hydriques limitant de plus en plus sa croissance, ce qui entraîne ainsi la réduction de l'indice de récolte (**Miller et al**, 2004).

Le phosphore a eu un effet significatif sur l'indice de récolte du blé. Il passe de 0,35 pour le témoin sans phosphore à 0,44 en moyenne pour les trois niveaux de phosphore 60, 120 et 180 unités  $P_2O_5/ha$  dans l'intervalle expérimental. L'apport de phosphore a favorisé la migration des réserves à partir des parties végétales vers les grains.

**Tableau 30. Influence des différentes doses de phosphore sur l'indice de récolte**

Doses	Dose 0	Dose 1	Dose 2	Dose 3	C.V %	Signification statistique
Moyennes	0,350 b	0,437 a	0,448 a	0,442 a	9	S

#### Conclusion :

Les résultats des paramètres agronomiques montrent que l'action du phosphore est nette. Il a amélioré de façon très hautement significative le nombre de grains/m<sup>2</sup> en agissant sur le tallage épi et la fertilité des épillets. On observe un accroissement de 29,75% du nombre d'épis/m<sup>2</sup>; de 41,5% du nombre de grains par épi et un gain de 9% du poids de 1000 grains ; par conséquent, une augmentation de 49,3% du rendement en grain du traitement fertilisé avec 180 unités de  $P_2O_5/ha$  par rapport au témoin sans phosphore.

## 6. Relations entre différents paramètres étudiés

### 6.1. Relations entre le rendement en grain et ses composantes

Le nombre de grains par m<sup>2</sup> ( $r = 0,85^{***}$ ) et le nombre d'épis par m<sup>2</sup> ( $r = 0,76^{***}$ ) ont été déterminants pour la réalisation de bons rendements. En effet, il existe de bonnes corrélations entre ces deux composantes et le rendement en grains (figures 13 et 14). Ceci confirme les résultats obtenus par **Larbi et al** (2000).

On remarque aussi une forte liaison entre le rendement en grain et les deux composantes nombre de grains par épi ( $r = 0,80^{***}$ ) et le poids de 1000 grains ( $r = 0,45^*$ ). Le rendement en grain est plus influencé par le nombre de grains/m<sup>2</sup> (figures 15 et 16). Des résultats similaires ont été obtenus par **Blanchet** (1964) et **Couvreur** (1981).

Les deux figures 17 et 18 montrent qu'il existe de très bonnes relations entre le nombre de grains par m<sup>2</sup> et les deux composantes à savoir le rendement en paille ( $r = 0,85^{***}$ ) et le nombre d'épis par m<sup>2</sup> ( $r = 0,89^{***}$ ).

L'augmentation du nombre de grains au m<sup>2</sup> s'accompagne systématiquement d'une élévation de la production de paille. Cette liaison étroite entre les deux paramètres est confirmée par **Masle-Meynard** (1980), **Mekliche** (1983), **Belaid** (1987) et **Halilat** (1993).

### 6.2. Relations entre les caractères agronomiques et morphologiques du blé

Les variations des composantes du rendement sont, chez les céréales à paille, très corrélées à celles de la croissance pendant leur phase de formation (Masle, 1980 ; cité par **Meynard**, 1985).

La droite de régression (figure 19) illustre l'intensité de la liaison existante entre le nombre de grains/m<sup>2</sup> et la biomasse au stade maturité ( $0,77^{***}$ ). Des corrélations positives sont enregistrées entre le rendement en grain et les deux composantes indice de récolte ( $r = 0,51^*$ ) (figure 20) et la matière sèche à la récolte ( $r = 0,94^{***}$ ).

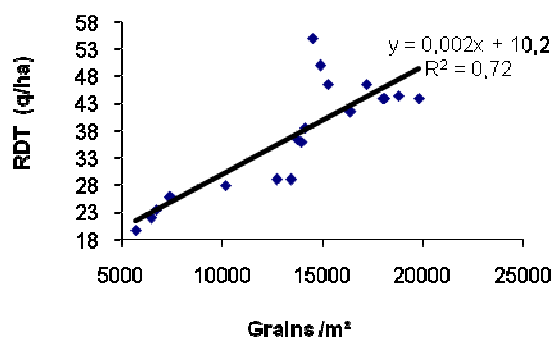


Figure 13. Relation entre RDT grain et Grains /m<sup>2</sup>

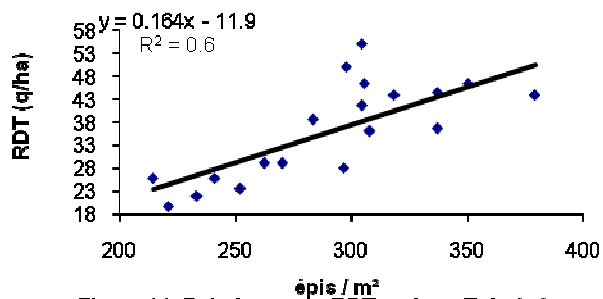


Figure 14. Relation entre RDT grain et épis /m<sup>2</sup>

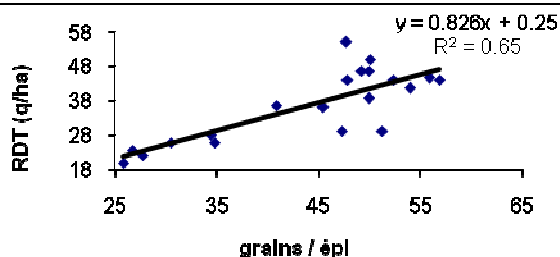


Figure 15. Relation entre RDT grain et Grains /épi

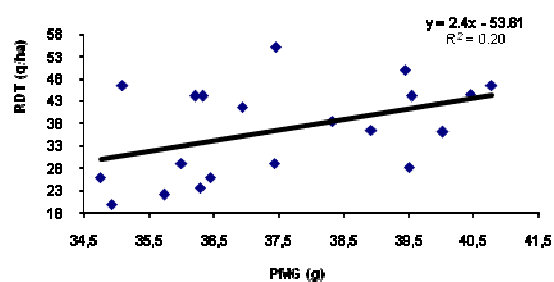


Figure 16. Relation entre RDT grain et le PMG

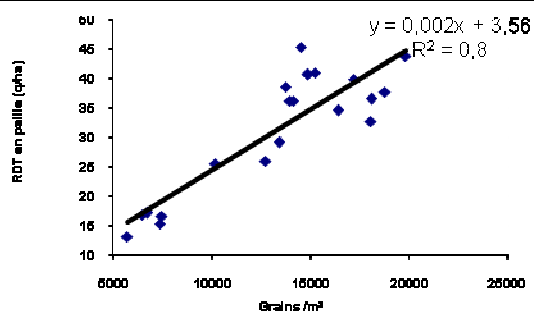


Figure 17. Relation entre RDT paille et Grains/m<sup>2</sup>

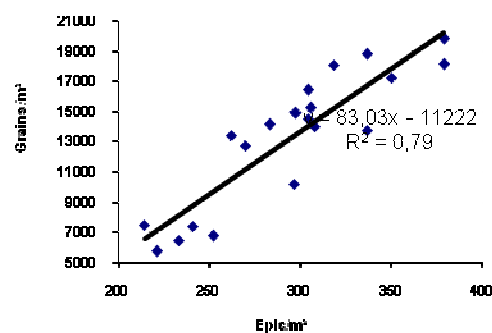


Figure 18. Relation entre Grains /m<sup>2</sup> et épis /m<sup>2</sup>

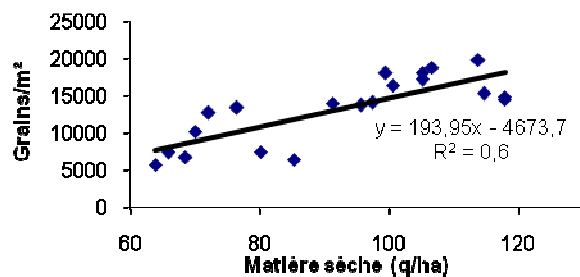


Figure 19. Relation entre le nombre de grains/m<sup>2</sup> et la biomasse au stade récolte

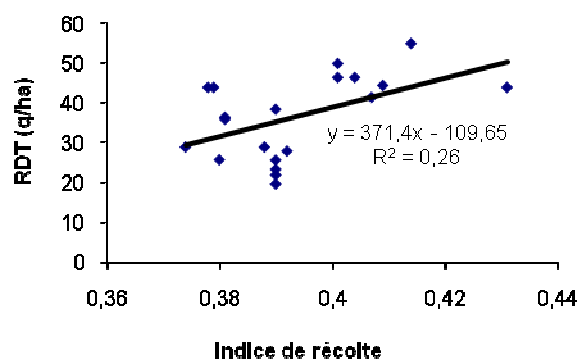


Figure 20. Relation entre RDT grain et indice de récolte

Le nombre de grains formés résultants du nombre d'épis et du nombre de grains/épi, est fortement influencé par l'état de l'appareil végétatif et en particulier par son volume (**Couvreur**, 1981). En absence d'accident à la méiose et à la fécondation ou à la récolte (gel, coulure), une liaison étroite est observée entre nombre de grains /m<sup>2</sup> et biomasse végétative à la floraison ou à la récolte (**Sebillotte**, 1980 ; cité par **Meynard**, 1985).

Nos résultats confirment ceux obtenus par **Bouzerzour et al** (1996b). Le rendement biologique est un facteur essentiel pour la formation du rendement en grain. En ajoutant qu'une liaison significative est enregistrée entre le rendement grain et les deux composantes matière sèche et l'indice de récolte.

Une liaison hautement significative est enregistrée entre les deux composantes hauteur de la tige et la matière sèche au stade récolte ( $r = 0,61^{**}$ ), ce qui laisse dire que la hauteur de la tige a contribué dans la formation d'une biomasse importante du blé (figure 21), alors qu'aucun effet n'est enregistré de l'indice de récolte sur les deux paramètres matière sèche ( $r = 0,43$ ) et la hauteur de la tige ( $r = 0,28$ ).

**Bouzerzour et al** (1996b) rapporte qu'aucune liaison n'apparaît entre la biomasse et l'indice de récolte, alors que la hauteur des plantes semble influencer positivement la biomasse mais pas l'indice de récolte.

### **6.3. Relation entre les caractères agronomiques, morphologiques et prélèvements du phosphore par les différentes parties de la plante.**

La droite de régression (figure 22) montre une liaison très hautement significative entre le rendement en grain et les exportations de phosphore par la culture à maturité ( $r = 0,85^{***}$ ).

Des corrélations très hautement significatives sont constatées entre les exportations de phosphore par la culture et la production de matière sèche aux stades tallage ( $r = 0,76^{***}$ ), gonflement ( $r = 0,82^{***}$ ), floraison ( $r = 0,83^{***}$ ) et maturité ( $r = 0,81^{***}$ ) (figures 23, 24, 25 et 26).

D'autre part nous avons enregistré des liaisons significatives entre le poids de 1000 grains et la teneur en  $P_2O_5$  des grains ( $r = 0,48^*$ ) d'une part ; et la hauteur de la tige et la teneur en  $P_2O_5$  des pailles ( $r = 0,54^*$ ) d'autre part (figures 27 et 28).

### **Conclusion**

Le rendement en grain s'élabore tout au long du développement du blé. Des corrélations positives sont constatées entre le rendement en grain et ses composantes d'une part, et les paramètres de croissance d'autre part. La quantité de matière sèche récoltée et l'exportation de phosphore augmentent significativement par un apport de phosphore.

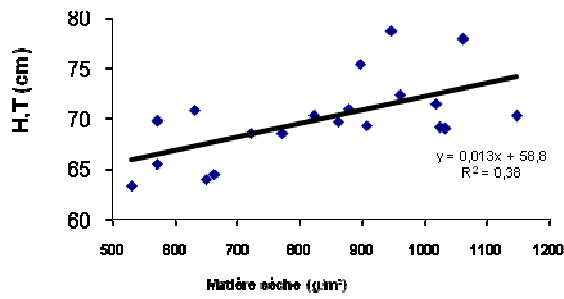


Figure 21. Relation entre la hauteur de la tige et la biomasse au stade récolte

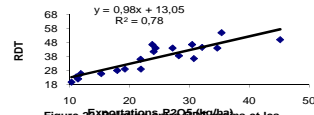


Figure 22. Relation entre la hauteur de la tige et les exportations du blé au stade maturité

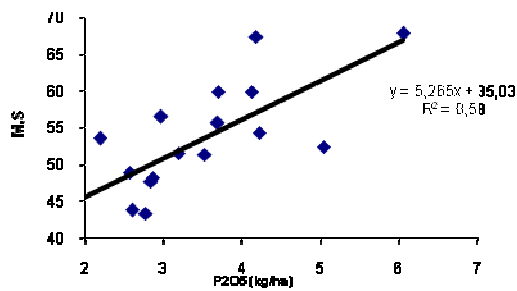


Figure 23. Relation entre matière sèche (g/m²) et les exportations de P206 par la culture au stade tallage

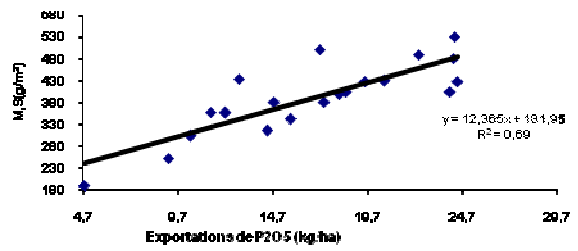


Figure 24. Relation entre la matière sèche (g/m²) et les exportations de la culture au stade floraison

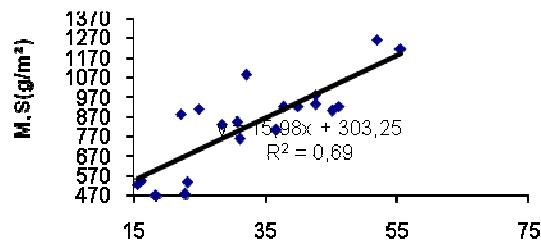


Figure 25. Relation entre la matière sèche (g/m²) et les exportations de P205 par la culture au stade floraison

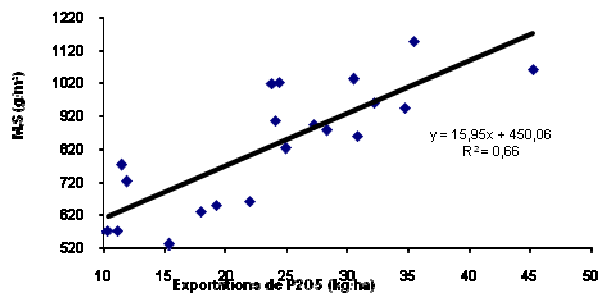


Figure 26. Relation entre la matière sèche (g/m²) et les exportations de P205 par la culture au stade maturité

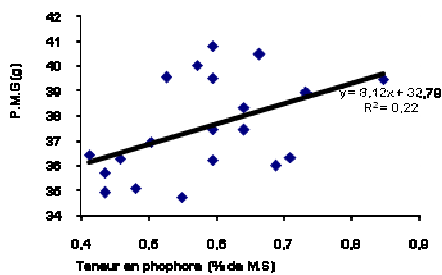


Figure 27. Relation entre le poids de 1000 grains et la teneur en phosphore des grains

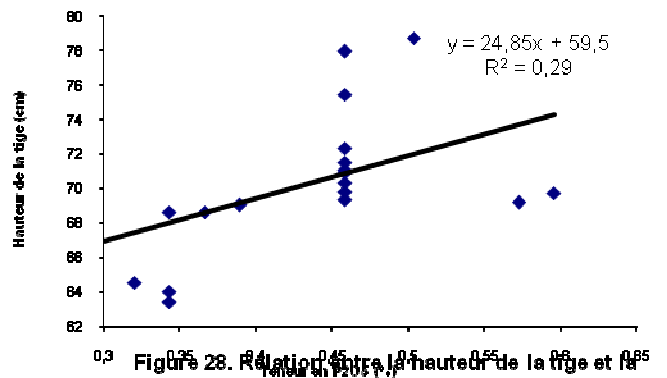


Figure 28. Relation entre la hauteur de la tige et la teneur en P205 des pailles

# **CONCLUSION GENERALE**



## Conclusion générale

A travers cette étude nous avons essayé de déterminer l'influence de la fertilisation phosphatée sur le comportement et la productivité d'une variété de blé tendre Anza conduite sous pivot d'irrigation. Notre expérimentation s'est déroulée sur un site de 2,4 hectares en conditions climatiques sahariennes dans la région d'Ouargla.

L'analyse de l'ensemble des paramètres étudiés permet de tirer les conclusions suivantes :

En général, les résultats des analyses statistiques faites sur la teneur du sol en phosphore assimilable, montrent une différence non significative entre les traitements à différentes profondeurs et stades de blé (tallage et récolte).

Ce sol qui titrait avant l'apport d'engrais phosphaté 11,54 ppm de  $P_2O_5$  assimilable dans la profondeur (0-20 cm), a subi un enrichissement en cet élément provoqué par l'apport d'engrais phosphaté. La teneur la plus élevée est enregistrée au niveau 180 unités suivi par la dose 120 unités au stade tallage. Après la récolte, on assiste à une diminution de cette teneur due aux prélèvements du phosphore par la culture d'une part, et au transfert du phosphore vers des formes non assimilables d'autre part.

Quelque soit le stade de la culture (tallage ou récolte), la teneur en phosphore assimilable du sol diminue avec l'augmentation de la profondeur de prélèvement de l'échantillon de sol.

Dans le but de suivre l'évolution des teneurs en  $P_2O_5$  du végétal au cours du cycle, trois stades repères ont été pris en considération : tallage, gonflement et floraison.

Des concentrations élevées de  $P_2O_5$  sont enregistrées à différentes doses au stade tallage ; puis diminuent avec la croissance de la culture et la formation de nouveaux tissus qui entraînent la dilution du phosphore pour atteindre des concentrations plus faibles au stade floraison.

Le phosphore a influencé significativement les teneurs en  $P_2O_5$  (% de M.S) des grains et des balles, qui semblent augmenter avec les doses de phosphore. Les trois doses (60, 120 et 180 unités/ha  $P_2O_5$ ) ont formé un seul groupe (a). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau 180 unités avec 0,673% de P des grains et 0,080% de P des balles.

Le témoin sans phosphore a formé un groupe à part (b), en donnant à chaque fois les valeurs les plus faibles 0,460% de P des grains et 0,042% de P des balles.

La teneur en phosphore des pailles n'est pas influencée significativement par la fertilisation phosphatée, mais on retrouve la teneur en  $P_2O_5$  la plus élevée dans les parcelles ayant reçues 180 unités, et la teneur la plus faible au niveau du témoin sans phosphore.

Les exportations du phosphore par la plante sont influencées significativement par l'engrais phosphaté. La meilleure valeur est obtenue au niveau 180 unités avec 33,54 kg/ha, puis elle diminue pour atteindre la valeur la plus faible au niveau du témoin avec 12 kg/ha.

Les rendements sont fortement liés aux exportations du  $P_2O_5$  par la culture, et croient avec les quantités de phosphore exportées. La dose 180 unités a permis d'obtenir un rendement et une quantité de phosphore exportée les plus élevés.

Et pour produire un quintal de grains, la quantité de phosphore utilisée par la culture a varié de 0,51 kg de  $P_2O_5$ /ha pour le témoin à 0,73 kg de  $P_2O_5$ /ha pour la dose 180 kg/ha dans l'intervalle expérimental.

La culture du blé a réagi favorablement à un apport de phosphore par augmentation de la production de matière sèche aux stades gonflement, floraison et maturité. Au stade tallage, la différence entre les traitements est statistiquement non significative, car la culture a souffert d'un déficit hydrique et alimentaire, suite à un arrêt d'irrigation prolongé pendant les stades levée et tallage.

Le phosphore a influencé significativement les composantes du rendement :

- Une différence significative est observée entre les différents traitements de phosphore. L'arrêt d'irrigation sus-cité, ainsi que la profondeur de semis ont affecté le rendement en limitant la survie des plantes.
- Le nombre de tiges herbacées a varié de façon significative sous l'action du phosphore d'une part, et d'autre part a limité la régression des tiges herbacées qui diminue en augmentant les doses de phosphore.

- Le nombre d'épis/pied a varié significativement de 0,88 pour le témoin à 1,05 sous l'effet de 180 unités de phosphore.
- La valeur la plus élevée du nombre d'épis/m<sup>2</sup> est obtenue au niveau 180 unités de phosphore. Cette valeur de 331 dépasse le témoin sans phosphore d'environ 30%.
- Le nombre d'épillets total/épi présente des valeurs croissantes sous l'effet des doses de phosphore étudiées. Les trois niveaux de fertilisation 60, 120 et 180 unités de phosphore dépassent le témoin de 13%.
- Le phosphore a eu un effet négatif sur le nombre d'épillets stériles/épi. Cette composante a varié de façon hautement significative. Le taux de stérilité le plus élevé est enregistré au niveau du témoin sans phosphore.
- le nombre d'épillets fertiles/épi varie de façon significative sous l'effet du phosphore, et très hautement significative pour le paramètre nombre de grains/épi.
- Le nombre de grains/m<sup>2</sup> est influencé significativement par le phosphore. L'apport de phosphore agit positivement sur la fertilité des fleurs. Le meilleur nombre de grains/m<sup>2</sup> est obtenu au niveau 180 unités avec 16347 grains/m<sup>2</sup>, dépassant le témoin de 59%.
- Le poids de 1000 grains augmente à mesure qu'augmentent les doses de phosphore. la meilleure valeur de P.M.G est obtenue au niveau de 180 unités avec 39,16 g contre 35,63 g pour le témoin.
- Le rendement en grain est influencé positivement par l'apport de phosphore. Les trois niveaux de dose (60, 120 et 180 unités/ha) ont formé un seul groupe (a), dont le rendement le plus élevé est obtenu au niveau 180 unités avec 46 q/ha. Le témoin sans phosphore a formé un groupe à part (b) 23,33 q/ha. Les traitements fertilisés dépassent le témoin de 43%.
- La fertilisation phosphatée a influencé positivement la production de pailles de notre culture, qui augmente avec les doses de phosphore. Le rendement en paille le plus élevé est obtenu à 180 unités avec 45,68 q/ha. Par contre le témoin a réalisé le rendement le plus faible avec 23,60 q/ha.

Au terme de cette étude menée sur une seule campagne (2002-2003), il ressort que l'efficacité de la fertilisation phosphatée est liée à plusieurs facteurs :

- Conditions de semis (profondeur de semis, dose de semis) ;
- Conditions d'humidité du sol ;
- Arrêts raisonnés de l'irrigation ;
- Fertilisation azotée et potassique adéquate ;
- Maîtrise du désherbage.

Des progrès significatifs sont encore possibles en matière d'amélioration de la productivité par la mise en place de stratégies de fertilisation à partir de données d'essais expérimentaux de longue durée, qui sont considérés comme bases de raisonnement et ont pour objectif de garantir une alimentation minérale phosphatée non limitante de la production des grandes cultures tout en évitant la surfertilisation et en préservant la fertilité du sol à moyen terme.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

1. **Aissa A.D. et Mhiri A.**, 2001 : Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. 5p.
2. **Arakrak A.**, 1989 : Caractérisation de l'assimilabilité des ions PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en sols calcimorphes. Thèse docteur de l'I.N.P.L. France. Sciences agronomiques. 120 p.
3. **Amnay A.**, 1996 : Fertilisation phosphatée des légumineuses alimentaires : dose et méthodes d'application du phosphore. Al awamia. N°92.pp:93-100.
4. **Association générale des producteurs de blé et autres céréales**, 2002 : Humeur de blé. Lettre d'information de l'A.G.P.B N°149. Décembre. 2 pages.
5. **Baeyens J.**, 1967 : Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliquée aux plantes Agricoles. Ed. Naiwelaerts Louvain ; 278 pages.
6. **Banett G.M., Pellerin A.**, 2002: Nouvelles grilles de fertilisation. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Section chimie et fertilité. Agri-vision 2001-2002.17p.
7. **Batten D.**, 1992 : A review of phosphorus efficiency in wheat. Plant and Soil. 146, pp: 163-168.
8. **Belaid D.**, 1987 : Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé du (Hedba 3) en condition de déficit hydrique. Mémoire de magister. I.N.A 108p.
9. **Bekkair A. et Dreni-mi M.D**, 1995 : Etude de la production d'une variété de blé tendre CCINIA en zone saharienne. Mémoire ing. I.N.F.S.A.S. Ouargla.47p
10. **Benamara M. et Conesa A.P.**, 1976 : Appréciation de la fertilité phosphorique de quelques sols d'Algérie. Annales de l'I.N.A. vol. VI n°2. pp :81-90.
11. **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.
12. **Blanchet R.**, 1959 : Energie d'absorption des ions minéraux : phosphore. Annales Agronomiques, n°11, pp : 138-154.
13. **Blanchet R., Bosc M. et Maertens C.**, 1978 : Influence de l'état hydrique du sol sur l'alimentation phosphorique des plantes dans le sol. Phosphore et agriculture. 72, pp : 1-11.
14. **Bosc M.**, 1976 : Dynamique de l'alimentation phospho- potassique de la plante dans le sol. Section 6 n°08. pp : 1-6.

15. **Brossard M. et Laurent J.Y.**, 1992 : Le phosphore dans les vertisols de la martinique (Petites Antilles) relation avec la matière organique. Cah. Orstom, Sér. Pédol., Vol. XXVII, n°1, pp: 109-119.
16. **Bouzerzour H., Djekoun A.**, 1996 : Contribution de la biomasse, l'indice de récolte et la précocité au rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone aride. Annales agronomiques de l'I.N.A, Vol.17, N° 2, pp : 1-11.
17. **Bouzerzour H., Djekoun A. et Benmhammed A.**, 1996 : A nalyse du déterminisme génétique de la biomasse et de l'indice de récolte dans un croisement diallèle en orge. Annales agronomiques de l'I.N.A, Vol.17, N° 2, pp : 150-158.
18. **Buckman** , 1990 : Agriculture et fertilisation. Ed. Norsk hydro a.s. 258p.
19. **Bulot S.**, 1993 : « Les bases d'une bonne fumure PK » Revue trimestrielle : semences et progrès. N° 77, pp : 209-210
20. **Castillon P., Villemin P. et Fardeau J.C.**, 1993 : Résidus de culture à intégrer dans Le raisonnement. Perspectives Agricoles, n°181-juin, pp : 33-34.
21. **Castillon P. et Massé J.**, 1993 : L'effet vieille graisse : un concept à revoir. Perspectives agricoles n° 181 – juin, pp : 12-14.
22. **Castillon P. et al**, 1995 : Dynamique du phosphore et du potassium dan les systèmes sol-Plantes. Académie d'agriculture, COMIFER-CR. Ag. de France, p :4-8.
23. **Champagnol F**, 1979 : Relations entre l'alimentation phosphatée des plantes et la toxicité saline. Phosphore et Agriculture N°76 Septembre, pp : 35-44.
24. **Charles G**, 1976 : Diagnostic d e la carence phosphorique des sols par symptomatologie végétale. Annales de l'I.N.A. vol. VI n°2. pp : 119-121.
25. **Comifer**, 2002 : « Les atouts décisifs du chaulage en terres de brande ». Perspectives agricoles. N°284. Novembre. pp: 66-70.
26. **Coppenet M.**, 1988 : Influence de la teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable, de l'apport d'engrais phosphatés et de la hauteur des précipitations estivales sur la richesse en phosphore du ray-grass italien (*Lolium multiflorum* L.). Phosphore et potassium dans les relations sol-plante : conséquences sur la fertilisation. INRA Paris. Pp : 481-503.
27. **Couvreur F.** ; 1981 : La culture du blé se raisonne. Cultivar. Juin, pp : 39-41
28. **Dagnelie P.**, 1978 : Théorie et méthodes statistiques. Tome II, Presses agronomiques de Gembloux, 463 p.

29. **Demolon A.**, 1968 : Dynamique du sol. Ed. Dunod, 520p.
30. **Direction de l'aménagement des terres**, 2001 : Guide de fertilisation des cultures. Agriculture, pêche et aquaculture. Nouveau Brunswick. Canada. 34 p.
31. **Duchauffour P.**, 1995 : Pédologie : sol, végétation, environnement. Ed. Masson, 325p.
32. **Duchauffour P.**, 2001 : Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement. 6<sup>ème</sup> Ed. de l'Abrégé de pédologie. 325p.
33. **Durand J.H.**, 1983 : Les sols irrigables, Etude pédologique. Ed. Département de géographie de l'université de Paris – Sorbonne, 389p.
34. **Duthil J.**, 1973 : Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, ed. J.B. Baillière. 654p.
35. **Dutil P.**, 1976 : La fertilisation phosphatée des sols calcaires. An. Agro. I.N.A., Vol VI n° 2, pp : 75-80.
36. **Fardeau J.C et Frossard M.**, 1991 : Processus de transformation du phosphore dans Les sols de Afrique de l'ouest semi-aride : Application au phosphore assimilable. In Phosphorus cycles in tertrial and aquatic ecosystems. Regional work shop4, Africa. Univ. Saskatchewan, pp: 1-15.
37. **Fardeau J.C**, 1993 : Le devenir du phosphore dans le sol et dans les systèmes sol-plante. Perspectives agricoles n°181 – juin, pp : 17-22.
38. **Fardeau J.C**, 1994 : Phosphore bio disponible du sol estimé par la méthode des cinétiques d'échanges isotopiques entre des ions  $^{31}\text{PO}_4$  et  $^{32}\text{PO}_4$ . Tiré à part, 15pages.
39. **Fardeau J.C** , 2002 : Ecole franco-maghrébine sur les phosphates et les composés du phosphore. colloque du 09 au 11-03-2002. Tunisie.
40. **Gate P., Vignier L., Vadon B., Minov D., Lafarga A. et Zairi M.**, 1996 :Céréales en milieu méditerranéen un modèle pour limiter les risques climatiques. Perspectives agricoles. N°27, pp :59-66.
41. **Gate P. et Bousquet N.**, 2002 : Date et densité de semis de blé tendre d'hiver. Faire le bon choix. Perspectives agricoles. N°282. septembre, pp: 44-49.
42. **Gachon**, 1969 : La fertilisation phosphatée : Panorama des recherches récentes effectuées en France. Phosphore et Agri. , n°53, pp : 17-19.
43. **Gervy R.**, 1970 : Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, Paris. 298p.
44. **Gilles**, 1969 : Rôle de la fumure phosphatée dans l'alimentation hivernale du blé. Phosphore et Agri. , n°52, pp :19-26.
45. **Grignac P.**, 1981 : Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans



l'environnement méditerranéen. Séminaire scientifique. Bari (Italie). Pp : 185-194.

46. **Gros A.**, 1977 : L'acide phosphorique, les engrais phosphatés. Guide pratique de la fertilisation. Ed. maison rustique- Paris, 377 p.
47. **Halilat M.T.**, 1993 : Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (région de Ouargla). Mémoire de magister. I.N.E.S. Batna. 130p.
48. **Hafsi M.**, 1990 : Influence de la fertilisation phospho-azotée sur la variété de blé dur « Mohamed benbachir » (*Triticum durum*) cultivée dans les conditions des hautes plaines sétifiennes. I.N.A. 124p.
49. **Hamdoud N.**, 1992 : Influence des résidus organiques (paille-racines) sur la mobilisation de phosphore et de potassium dans un sol calcaire de Hamla W. Batna. Mémoire d'ingénieur. Université de Batna. 44p.
50. **Hernando V.**, 1977 : Problème du phosphore dans les sols calcaires espagnols. Phosphore et agriculture, 70, pp : 53-69.
51. **Ignazi J.C.**, 1993 : « Perspectives de l'agriculture et fertilisation » Perspectives agricoles n°181 – juin, pp: 2-3.
52. **Institut technologique de développement de l'agriculture saharienne**, 2003 : Données climatiques de la campagne 2002/2003.
53. **Kebri F.**, 2003 : Avec un niveau de consommation de 60 millions de qx/an, l'Algérie un grand consommateur. Partenaires. Mensuel de la chambre française de commerce et d'industrie en Algérie. N°41 Décembre, pp : 23.
54. **Ladada M.**, 1988 : Résultats d'essais – expérimentation. Céréales à paille sous pivot dans la wilaya de Ouargla. Céréaliculture, deuxième trimestre n°19. Ed. I.T.G.C. pp : 1-9.
55. **Lambert J.C., Delhay J.P. & Toussaint B.**, 1979a : La fertilisation phosphorique et La conduite rationnelle des herbages en région tempérée. Phosphore et agriculture N°76, Septembre, pp : 7-16.
56. **Lambert J.C.**, 1979b : « La fertilisation phosphatée » revue Cultivar. N°115, pp: 96-97.
57. **Larbi A., Mekliche A., Abed R. et Badis M.**, 2000 : Effet du déficit hydrique sur la production de deux variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) en région semi-aride. CIHEAM-Options méditerranéennes. Pp : 295-297.
58. **Le Souder C., Castillon P., Laurent F., Mssé J., Bouthier A. et Ziegler D.**, 1993 : Quatre critères pour ajuster les doses. Perspectives agricoles. N°181 – juin pp: 4-11.

59. **Llorens J.M.**, 2001 : La méthode de raisonnement de la fertilisation PK un outil pour la fertilisation, COMOFER-GEMAS, 5<sup>ème</sup> rencontre de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Blois, France, 27-29 Novembre.
60. **Loue A.**, 1984 : Le potassium et les céréales. Revue de la potasse. S.9 n°4, pp :1-18.
61. **Machet J.M.**, 1987 : L'apport des techniques isotopiques à la stratégie de fertilisation. Perspectives agricoles. N°115, juin, pp :
62. **Madref/derd**, 2001 : Nouvelles normes pour mieux fertiliser le blé en irrigué dans le Gharb. Transfert de technologie. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. Septembre N°84, 4p.
63. **Masle - Meynard I.**, 1980 : L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse docteur ingénieur. I.N.A. Paris-Grignon. France. 274p.
64. **Masse J. et Viaux A.**, 1983 : Azote et croissance du blé. Perspectives agricoles. 68 p.
65. **Mehdi M.**, 2003 : Blé tendre, un quart de siècle d'exportations françaises vers l'Algérie. Partenaires. Mensuel de la chambre française de commerce et d'industrie en Algérie. N°41 Décembre, pp : 26.
66. **Mekliche A.**, 1983 : Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé d'hiver dans le haut chélif. Mémoire de magister. I.N.A. Alger. 81p.
67. **Mengel K. et Kirkby E.A.**, 1987 : Principles of plant nutrition. Int. Potash institut. Bern, switzerland. 687 p.
68. **Meynard J.M.**, 1985 : Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver. Thèse Docteur – Ingénieur. Sciences Agronomiques 13- sept. I.N.A. Paris – Grignon.
69. **Meynard J.M.**, 1987 : L'analyse de l'élaboration de rendement sur les essais de fertilisation azotée. Perspectives agricoles, n°115, pp :5-51.
70. **Meynard J.M.**, 1990 : Construction d'itinéraires techniques pour le blé d'hiver : quelques pistes pour la réflexion. Un point sur les systèmes de cultures. Ed. I.N.R.A – Paris. pp : 17-26.
71. **Meynard J.M. et Sebillote M.**, 1994 : L'élaboration du rendement du blé, base pour l'étude des autres céréales à talles. Ed. I.N.R.A – Paris.
72. **Miller P., Ulrich D., Entz M., McConkey B.**, 2004 : Les pois tolèrent la sécheresse. Centre de recherches sur l'agriculture des prairies semi-arides. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 6p.
73. **Ministère de l'agriculture**, 2002 : Bilan de production végétale. Rapport sur la

production végétale.

74. **Office national de la météorologie**, 2003 : Rapport sur les données climatiques d'Ouargla.
75. **Pellerin F., Pellerin S., Vilette C. et Boifin J.**, 2000 : Evolution du raisonnement de La fertilisation Phosphatée des grandes cultures. Etudes et gestion des sols, pp : 53-71.
76. **Prats J. et Clément-grancourt M.**, 1971 :Les céréales//J.B.Baillièrè et fils : Editeurs.
77. **Radhouani A. et Halvin**, 1995: Soil phosphorus test calibration for winter wheat. Revue de l'I.N.A.T., Vol.10.n°1-juin, pp : 81-89.
78. **Rouvillois – Brigol M.**, 1975 : Le pays de Ouargla, Sahara algérien. Ed. Département de Géographie de l'université de paris-sorbone, 389p.
79. **Service canadien des délégués commerciaux**, 2003 : Algérie, profil agroalimentaire d'un pays Aperçu statistique. Information sur les marchés l'Afrique et le moyen-orient. La conduite des affaires en Algérie. 9 pages.
80. **Soins P. et Vaysse P.**, 1999 : Fertilisation des vergers. Environnement et qualité. Ed. CTIFL, pp : 47-52.
81. **Stanley A. barber**, 1995 : Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. Second edition. John wiley and Sons, 414 pages.
82. **Thélier-Huché L., Bonischot R., 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.
83. **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.
84. **Toutain G.**, 1979 : Eléments d'agronomie saharienne de la recherche au développement. Imprimerie Jouve, Paris. INRA, 138p.
85. **Triboi**, 1988 : Evolution à long terme de la fertilité phosphatée d'un sol calcaire soumis à l'influence de fumure minérale ou organique. Phosphore et potassium dans les relations sol - plante : Conséquences sur la fertilisation. I.N.R.A, pp : 241-254.

# **ANNEXES**

## Annexe 1.

**Tableau 1. Résultats d'analyse de variance des teneurs en  $P_2O_5$  assimilable et total du sol à différentes profondeurs et différents stades de blé**

paramètres	Moyenne générale	Ecart-type	C.V %	F. calculée	Signification
$P_2O_5$ ass. tallage (0-20cm)	19,77	18,59	94	2,47	NS
$P_2O_5$ ass. tallage (20-40cm)	5,55	2,62	47,3	4,62	S
$P_2O_5$ ass. tallage (40-60cm)	3,64	1,95	53,5	0,05	NS
$P_2O_5$ ass. récolte (0-20cm)	12,46	5,56	44,6	2,95	NS
$P_2O_5$ ass. récolte (20-40cm)	3,78	2,39	63,2	0,76	NS
$P_2O_5$ ass. récolte (40-60cm)	2,5	1,56	62,5	1,40	NS
$P_2O_5$ total récolte (0-20cm)	222,19	58,18	26,2	0,29	NS
$P_2O_5$ total récolte (20-40cm)	131,71	32,91	25	0,56	NS
$P_2O_5$ total récolte (40-60cm)	136,29	50,45	37	0,22	NS

## Annexe 2

**Tableau 1. Résultats d'analyse de variance des teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> du végétal (%) à différents stades**

paramètres	Moyenne générale	Ecart-type	C.V %	F. calculée	Signification
<b>Tallage</b>	0,60	0,13	21,8	4,79	S
<b>Gonflement</b>	0,42	0,05	12,8	5,24	S
<b>Floraison</b>	0,40	0,09	23,5	0,11	N.S
<b>Grains</b>	0,58	0,08	14,4	6,30	H.S
<b>Balles</b>	0,06	0,01	20,1	8,86	H.S
<b>Pailles</b>	0,02	0,01	48,3	1,00	N.S

**Tableau 2. Résultats de variance des exportations de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> par la culture et quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg) par quintal de grains produit.**

paramètres	Moyenne générale	Ecart-type	C.V %	F. calculée	Signification
<b>Exp. Par la culture</b>	23,86	5,98	25,1	11,15	THS
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg)/ql grains</b>	0,64	0,1	15,5	4,26	S

### Annexe 3

**Tableau 1. Résultats d'analyse de variance de la matière sèche (g/m<sup>2</sup>) et hauteur (cm) de la tige du blé**

<b>paramètres</b>	<b>Moyenne générale</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>C.V %</b>	<b>F. calculée</b>	<b>Signification</b>
<b>M.S (tallage)</b>	51,70	7,21	13,9	2,91	NS
<b>M.S (gonflement)</b>	390,11	61,59	15,8	6,4	HS
<b>M.S (floraison)</b>	833,36	100,91	12,1	24,07	THS
<b>M.S (maturité)</b>	832,67	149,14	17,9	5,43	HS
<b>Hauteur de la tige</b>	69,99	3,23	4,6	3,74	S

**Tableau 2. Résultats d'analyse de variance des rendements (q/ha) et indice de récolte de blé**

<b>paramètres</b>	<b>Moyenne générale</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>C.V %</b>	<b>F. calculée</b>	<b>Signification</b>
<b>Rendement en grain</b>	35,93	6,55	18,2	9,15	THS
<b>Rendement en paille</b>	31,04	4,5	14,5	28,92	T.H.S
<b>Indice de récolte</b>	0,42	0,04	9,00	5,24	S

**Tableau 3. Résultats d'analyse de variance des composantes du rendement de blé**

<b>paramètres</b>	<b>Moyenne générale</b>	<b>Ecart-type</b>	<b>C.V %</b>	<b>F. calculée</b>	<b>Signification</b>
<b>Densité de peuplement</b>	305,67	28,62	9,4	5,04	S
<b>Nombre de tiges herbacées /m<sup>2</sup></b>	413,74	53,05	12,8	3,96	S
<b>Nombre de tiges herbacées/pied</b>	1,36	0,16	11,7	0,32	NS
<b>Régression des tiges herbacées</b>	28,37	7,39	26,1	3,46	N.S
<b>Peuplement épis</b>	294,69	21,1	7,2	22,09	THS
<b>Epis/ pied</b>	0,96	0,09	9,7	4,05	S
<b>Epillets /épi</b>	18,96	0,92	4,9	7,91	HS
<b>Epillets stériles /épi</b>	2,54	0,57	22,3	10,46	THS
<b>Epillets fertiles/épi</b>	16,58	1,81	10,9	10,9	S
<b>Grains/épi</b>	43,28	5,27	12,2	17,86	THS
<b>Grains /m<sup>2</sup></b>	13248,49	2098,36	15,8	21,86	THS
<b>PMG</b>	37,53	1,62	4,3	5,09	S