

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DE KASDI-MERBAH
OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE, DE LA VIE, DE LA TERRE, ET
DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

***Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en
Sciences Agronomiques***

Spécialité : Agronomie Saharienne

Option : Mise en valeur des sols sahariens

Par : Mr. MIHOUB Adil

Thème

**EFFET DE LA FERTILISATION PHOSPHATÉE
SUR LA NUTRITION AZOTÉE ET LA
PRODUCTIVITÉ D'UNE CULTURE DE BLÉ DUR
(*TRITICUM DURUML. VAR. CARIOCA*)
(DANS LA RÉGION D'EL-GOLÉA)**

Composition du jury :

Président : Dr. CHELOUFI

Maitre C A U. K.M. Ouargla.

Promotrice : M^{me}. BOUKHALFA N.

Maitre assistant A. U. K.M. Ouargla.

Examineurs : Mr. DADI BOUHOUN M

Maitre assistant A U. K.M. Ouargla.

: M^{elle}. OUSTANI M.

Maitre assistant A U. K.M. Ouargla.

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2008/2009

Résumé

La présente étude a été conduite au cours de la campagne agricole 2008/2009 sur le site expérimental de la ferme de production « HADJADJ Mahmoud ». Elle a pour objectif d'étudier l'effet de quatre niveaux de doses de phosphore (30, 60, 90 et 120 unités de P_2O_5 /ha) sur le comportement et la productivité d'une variété de blé dur (variété CARIOCA) conduite sous pivot dans la région d'El-Menia.

Suite à nos essais, nous avons constaté que l'influence du phosphore sur la majorité des composantes du rendement et rendement grain est significative.

L'engrais Fosfactyl a enregistré un accroissement de 22,33% du nombre d'épis/m² ; de 6,78% du nombre de grains par épi et un gain de 15,99% ; par conséquent, une augmentation de 36,86% du rendement en grain de la dose 120. La même influence est obtenue avec le Simple super phosphate (SSP) avec un taux d'accroissement de 21,24% du nombre d'épis/m² ; de 0,35% du nombre de grains/épi et un gain de 10,26% du poids de 1000 grains ; aussi une augmentation de 28,38% du rendement en grain de la dose 120 unités de unités de P_2O_5 /ha par rapport à la dose 30 unités de phosphore.

L'effet des doses de phosphore des deux engrais s'est avéré significatif sur la matière sèche des deux stades fins tallage avec un accroissement de 20,71% pour le Fosfactyl et 36,80% pour le SSP, et dans le stade floraison avec une augmentation de 34,96% pour le Fosfactyl et 21,77% pour le SSP. Par contre il est non significatif au niveau du stade maturité de la culture.

Concernant la nutrition azotée du végétal, le phosphore a influé d'une façon significative sur la teneur en azote du blé.

Mots clés : Phosphore – Fertilisation – Blé dur – Composantes de rendement – nutrition azotée – El-Menia.

Abstract

This study was conducted during the agriculture company 2008/2009 at the experimental site of the farm production HADJADJ Mahmoud. It aims to study the effect of four dose levels of phosphorus (30, 60, 90 and 120 units of P_2O_5 / ha) on the behavior and productivity of a variety of durum wheat (variety CARIOCA) driving under hub in the region of El-Menia.

Following our tests, we found that the influence of phosphorus on most yield components and grain yield is significant.

Fertilizer Fosfactyl registered a 22.33% increase in the number of ears / m² and 6.78% in the number of grains per ear and a gain of 15.99% by weight of 1000 grains and consequently, a 36.86% increase in grain yield of the dose 120. The same effect is achieved with the single super phosphate (SSP) with a growth rate of 21.24 in the number of ears / m, 0.35% in the number of grains / ear and a gain of 10.26% , so an increase of 28.38% in grain yield of dose units 120 units P_2O_5 / ha compared with the dose 30 units of phosphorus.

The effect of doses of the two phosphorus fertilizer was significant on the dry for both tillering stages with an increase of 20.71% for Fosfactyl and 36.80% for the SSP, and in the flowering stage an increase of 34.96% for Fosfactyl and 21.77% for the SSP. As against it is not significant at the maturity stage of culture.

On nutrition of the plant nitrogen, phosphorus influenced in a significant way on the nitrogen content of wheat.

Key words: Phosphorus - Fertilization – Durum Wheat - Performance Components - nitrogen nutrition – El- Menia.

المخلص

هذه الدراسة أجرت أثناء الموسم الزراعي 2009/2008 في الموقع التجريبي للإنتاج الزراعي بمزرعة حجاج محمود. تهدف لدراسة تأثير أربع مقادير من الفسفور (30 و 60 و 90 و 120 وحدة فسفور / هكتار) على سلوك وإنتاجية القمح الصلب (صنف Carioca) - (دراسة منطقة المنبوعة).

بعد اختباراتها، وجدنا أن تأثيرها هام للفسفور على مكونات المحصول ومحصول الحبوب.

سجل سماد Fosfactyl زيادة بنسبة 22.33% بالنسبة لعدد السنايل في المتر المربع، و 6.78% بالنسبة لعدد الحبوب في السنبل و كذلك ربح بنسبة 15.99% بالنسبة لوزن مائة حبة ومنه زيادة المردود بنسبة 36.86% بالنسبة للجرعة 120 وحدة فسفور/هكتار مقارنة بالجرعة 30 وحدة فسفور/هكتار.

نفس التأثير سجل مع سماد SSP مع زيادة بنسبة 21.24% بالنسبة لعدد السنايل في المتر مربع و 0.35% بالنسبة لعدد الحبوب في السنبل و كذلك ربح بنسبة 10.26% بالنسبة لوزن مائة حبة ومنه زيادة المردود بنسبة 28.38%.

تأثير مقادير الفسفور للسماد بين تظهر ايجابية على المادة الجافة في مرحلتى النمو عند نهاية التفرع مع زيادة بنسبة 20.71% للسماد Fosfactyl و 36.80% لأجل SSP،

كذلك في مرحلة الازهار مع زيادة بنسبة 34.96% لأجل Fosfactyl و بنسبة 21.77% سماد SSP. على العكس تأثيرها غير ايجابي خلال مرحلة النضج.

بالنسبة إلى التغذية الأزوتية للنبات، أثر الفسفور كان ايجابيا على قيمة الأزوت في النبات.

الكلمات الدالة : فسفور - تسميد - قمح صلب - مكونات المردود - التغذية الأزوتية - المنبوعة.

AVANT – PROPOS

Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à Mme **DERAOUI N.** maître assistante à l'université d'Ouargla, qui a fait preuve d'une grande patience et a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique m'ont permis de mener à terme ce projet. Son encadrement était des plus exemplaires. Qu'elle trouve ici, le témoignage d'une profonde gratitude.

Mes remerciements les plus profonds à mon enseignant Mr **CHELOUFI H.** maître de conférences à l'université d'Ouargla pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à : Mr **DADI BOUHOUN M.** chargé de cours à l'université de Kasdi Merbah - Ouargla pour avoir bien voulu faire partie du Jury. M^{elle} **OUSTANI M.** chargé de cours à l'université d'Ouargla d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie cordialement tous les collègues de l'université d'Ouargla.

Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail. Je dis Merci.

M. Adil..

LISTE DES ABRÉVIATIONS

F.	Fosfacyl
H.S.	Hautement significatif.
N.S.	Non significatif.
P.M.G.	Poids de 1000 grains.
S.	Significatif.
S.S.P.	Simple super phosphate.
T.H.S.	Très hautement significatif.
U.A.N.	Urée d'ammono – nitrate.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tableau I	Teneur en éléments minéraux de quelques plantes (DUTIL, 1973)	11
Tableau II	Exportation de quelques cultures en phosphore (VILAIN, 1997)	13
Tableau III	Classification des cultures selon leur exigence en P (SNOUSSI et al, 1996)	14
Tableau IV	Données climatiques de la région d'El-Goléa (1996 – 2006)	33
Tableau V	Données climatiques de la région d'El-Goléa (2008 -2009)	34
Tableau VI	Caractéristiques physico-chimiques du sol	37
Tableau VII	Caractéristiques de l'eau d'irrigation	37
Tableau VIII	Doses et dates d'apport d'azote	42
Tableau XII	Influence des différentes doses de phosphate sur la densité de peuplement (Fosfactyl)	48
Tableau XIII	Influence des différentes doses de phosphate sur la densité de peuplement (SSP)	49
Tableau IX	Influence des différentes doses de phosphate sur le nombre d'épis / m ² (Fosfactyl)	51
Tableau X	Influence des différentes doses de phosphate sur le nombre d'épis par m ² (SSP)	52
Tableau XI	Influence des différentes doses de phosphate sur le nombre de grains /épi (Fosfactyl)	56
Tableau XII	Influence des différentes doses de phosphate sur le nombre de grains/ épi (SSP)	57
Tableau XIII	Influence des différentes doses de phosphate sur le poids de 1000 grains (Fosfactyl)	59
Tableau XIV	Influence des différentes doses de phosphate sur le poids de 1000 grains (SSP)	61
Tableau XV	Influence des différentes doses de phosphate sur le rendement en grain (q/ha) (Fosfactyl)	63
Tableau XVI	Influence des différentes doses de phosphate sur le rendement en grains (q/ha) (SSP)	64
Tableau XVII	Influence des différentes doses de phosphate sur la production de matière sèche (g/m ²) (fin tallage)	68
Tableau XVIII	Influence des différentes doses de phosphate sur la production de matière sèche (g/m ²) (floraison)	69
Tableau XIX	Influence des différentes doses de phosphate sur la production de matière sèche (g/m ²) (maturité)	70
Tableau XX	Influence des différentes doses de phosphate sur la teneur en azote du blé (% MS) (F)	73
Tableau XXI	Influence des différentes doses de phosphate sur la teneur en azote du blé (% MS) (SSP)	74
Tableau XXII	Influence des différentes doses de phosphate sur l'exportation en azote du blé (kg/ha) (F)	75
Tableau XXIV	Influence des différentes doses de phosphate sur l'exportation en azote du blé (kg/ha) (S)	76

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Figure I	Cycle de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000)	10
Figure II	Les formes du phosphore dans le sol (GROS, 1979)	18
Figure III	Effet du pH de la solution du sol sur les formes solubles du phosphore (STANLEY, 1995)	19
Figure IV	Position géographique d'El-Goléa (Encarta 2004- modifier-)	30
Figure V	Schéma du dispositif expérimental	37
Figure VI	Effet de la fertilisation phosphatée sur le nombre de pieds /m ² (Fosfactyl)	50
Figure VII	Effet de la fertilisation phosphatée sur le nombre de pieds /m ² (SSP)	50
Figure VIII	Effet de la fertilisation phosphatée sur le nombre d'épis /m ² (Fosfactyl)	53
Figure XII	Effet de la fertilisation phosphatée sur le nombre d'épis /m ² (SSP)	53
Figure XIII	Influence des doses de P ₂ O ₅ sur le nombre d'épi/m ² (SSP)	55
Figure IX	Effet de la fertilisation phosphatée sur le nombre de grains/épi (Fosfactyl)	58
Figure X	Effet de la fertilisation phosphatée sur le nombre de grains/épi (SSP)	58
Figure XI	Effet de la fertilisation phosphatée sur le PMG (g)(Fosfactyl)	60
Figure XII	Effet de la fertilisation phosphatée sur le PMG (g)(SSP)	60
Figure XIII	Liaison entre RDT grain et PMG (Fosfactyl)	62
Figure XIV	Influence des doses de P ₂ O ₅ sur le rendement grain (kg /ha) (Fosfactyl)	65
Figure XV	Influence des doses de P ₂ O ₅ sur le rendement grain (kg /ha) (SSP)	65
Figure XVI	Influence des doses de P ₂ O ₅ sur le rendement grain (q /ha) (Fosfactyl)	67
Figure XVII	Evolution de la matière sèche par stades (Fosfactyl)	72
Figure XVIII	Evolution de la matière sèche par stades (SSP)	72
Figure XIX	Influence des doses de P ₂ O ₅ sur les exportations d'azote par la culture (kg/ha) (stade floraison)	78
Figure XX	Liaison entre la production de la matière sèche (stade floraison) et le rendement grain (Fosfactyl)	80
Figure XXI	Liaison entre la production de la matière sèche (stade floraison) et le rendement grain (SSP)	80
Figure XXII	Liaison entre la production de la matière sèche (stade floraison) et la teneur en azote (%MS) (Fosfactyl)	81
Figure XXIV	Liaison entre la production de la matière sèche (stade floraison) et la teneur en azote (%MS) (Fosfactyl)	81

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.	1
----------------------	---

Première partie : Revue bibliographique

Chapitre I : La biologie du blé.

I. Biologie du blé	3
II. Les exigences agronomiques de la culture du blé	5
III. Développement et croissance	8

Chapitre II. Le Phosphore et le système Sol – Plante.

I. Le phosphore et le végétal	11
I.1. Importance du phosphore	11
I.2. Rôle physiologique du phosphore	12
I.3. Rythmes d'absorption du phosphore par la plante	13
I.4. Exigences nutritionnelles en phosphore des cultures	13
I.5. Excès et carence du phosphore	14
I.6. Interactions des autres éléments nutritifs avec le phosphore	15
II. Le phosphore dans le sol	16
II.1. Les différents états du phosphore dans le sol	16
II.2. Dynamique du phosphore dans le sol	17
II.3. Les facteurs influençant l'assimilabilité du phosphore dans le sol	20
II.4. Les pertes du phosphore	23

Chapitre III. La Fertilisation Phosphatée.

I. Raisonnement de la fertilisation phosphatée	25
I.1. Un raisonnement fondé sur l'analyse des essais de longue durée	25

I.2. Une méthode développée autour de quatre critères	26
-------------------------------------------------------	----

Chapitre IV. La nutrition azotée du blé.

I. L'azote	27
I.1. Rôle physiologique de l'azote	27
I.2. L'azote dans le blé	27
I.3. Formes d'azote absorbé par les plantes	28
I.4. Sources d'azote	29
I.5. Conséquences d'excès et de carence en azote	29

Deuxième partie : Matériels et méthodes

Chapitre I : Présentation de la région d'étude.

I .1.Situation géographiques	30
I .2. Cordonnées géographiques	30
I .3. Limites géographiques	30
I. 4. Facteurs naturels	32
I.5. Les données hydrogéologiques	34
I.6. Les données édaphiques	35

Chapitre II : Protocole expérimental.

II.1. Présentation du site expérimental	36
II.2. Matériel d'étude	36
II.3. Méthode expérimentale	38
II.3.1. Protocole expérimental	38

II.3.1.1. L'objectif de l'essai	38
II.3.1.2. Dispositif expérimental	38
II.3.2. Conditions de déroulement de l'essai	40
II.3.2.1. Précédent cultural	40
II.3.2.2. Pré irrigation	40
II.3.2.3. Travail du sol	40
II.3.2.4. Semis	40
II.3.2.5. Fertilisation	40
II.3.2.6. Désherbage	42
II.3.2.7. La récolte	43
II.3.2. Méthodes et dates de prélèvements	43
II.3.2.1. Le sol	43
II.3.2.2. Le végétal	43
II.3.3. Paramètres étudiés	44
II.3.3.1. Paramètres de rendement	44
II.3.3.2. Evolution de la production de la matière sèche	44
II.3.3.3. La nutrition azotée du végétal	44
II.3.4. Méthodes d'analyse	45
II.3.4.1. Analyse au niveau du sol	45
II.3.3.2. Analyse au niveau de la plante	46

Troisième partie : Résultats et discussion

Chapitre I : Effet de la fertilisation phosphatée sur les composantes du rendement.

I.1. Densité de peuplement	48
I.2. Nombre d'épis au m ²	51
I.3. Nombre de grain par épi	55
I.4. Le poids de 1000 grains	58
I.5. le rendement en grains	62

Chapitre II : Effet de la fertilisation phosphatée sur la production de la matière sèche.

II.1. Stade fin tallage	67
II.2. Stade floraison	68
II.3. Stade maturité	69

Chapitre III : La nutrition azotée du végétal.

III.1. Teneur en azote du végétal	71
III. 2. Appréciation et cinétique d'exportation de l'azote dans la plante	72

Conclusion générale.	75
-----------------------------	----

Références bibliographiques.	78
-------------------------------------	----

Annexes.	83
-----------------	----

Introduction

La situation actuelle de l'Algérie nécessite une meilleure prise en charge de l'amélioration de la production agricole notamment celles des cultures stratégiques de large consommation qui sont principalement les céréales.

L'Algérie est actuellement le 4^{ème} importateur mondial de blé avec des quantités ayant atteint l'année dernière un record historique de 6,35 millions de tonnes. La production nationale de blé ne couvre que 30 % des besoins nationaux estimés à plus de 7 millions de tonnes (**Ministère de l'Agriculture, 2008**).

Les céréales d'hiver en Algérie intéressent des zones diverses. Parmi ces dernières, celles qui sont appelées sahariennes où l'eau n'est pas un facteur limitant, et en dépit de contraintes écologiques sévères, différentes spéculations végétales et animales sont pratiquées dans ces régions. Cependant les rendements restent relativement bas par rapport aux potentialités de ces milieux, il y a lieu par conséquent de mettre en œuvre des procédés d'intensification de la production agricole pour améliorer les rendements ; faisant appel à des données écologiques, techniques, socio-économiques, etc.

En sols sahariens, généralement pauvres en éléments nutritifs, la fertilisation raisonnée reste à l'heure actuelle le moyen le plus efficace pour l'obtention d'une productivité optimale. De ce fait, avec l'intensification des cultures, il est impératif de raisonner convenablement les apports d'engrais minéraux pour améliorer les rendements et réduire le risque de pollution des eaux souterraines.

Alors que la fertilisation, est un facteur principal de production pour chaque culture, et doit être raisonnée pour permettre une bonne alimentation de la plante et d'assurer la disponibilité de tous les éléments nécessaires à la plante en période de forte consommation. La fertilisation doit permettre une alimentation minérale équilibrée de la plante, son raisonnement est basée sur :

- Objectif de rendement ;
- Les exigences des cultures ;
- La disponibilité du milieu en éléments fertilisants en période de forte utilisation.

Actuellement les engrais minéraux occupent une place primordiale dont le phosphore qui permet de croître les rendements des cultures en augmentant la grosseur du grain. La rigidité de la paille et il rentabilise au maximum la fumure azotée.

La recherche de la dose d'engrais optimale pour un rendement maximum reste toujours l'objet principal de plusieurs études.

L'étude expérimentale comportera trois parties : la première est réservée aux données bibliographiques et la deuxième partie renferme les matériels et méthodes d'étude et la troisième partie est réservée pour l'interprétation et l'analyse des résultats.

A travers notre expérimentation, nous avons essayé de juger l'efficacité d'application de deux types d'engrais phosphatés appliqués à différentes doses en relation avec le comportement et le rendement d'une culture de blé dur conduite sous-pivot d'irrigation dans la région d'El-Menia. et son influence sur la nutrition azotée

I. L'azote :

La plupart des systèmes de cultures non légumineuses exigent l'apport d'azote, particulièrement les variétés récentes à haut rendement.

Pour toutes les autres plantes, la nutrition azotée se fait quasi exclusivement à partir des nitrates présents dans la solution du sol.

I.1. Rôle physiologique de l'azote :

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de productions agricoles à travers son rôle dans :

1. La synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale.
2. Pour **SOLTNER (2003)**, l'azote est un constituant essentiel du cytoplasme car

il favorise :

- * La synthèse des glucides grâce à l'augmentation du nombre de chloroplastes.

- * La constitution des réserves azotées dans les graines.

- * La multiplication cellulaire donc la croissance des tissus.

- * La multiplication des chloroplastes, puisque la chlorophylle est substance azoté d'où la couleur vert foncée des plantes après un apport d'azote.

- * C'est un facteur de rendement, et parfois de qualité, puisque il augmente la teneur en protéines des céréales.

L'azote est donc nécessaire à tous les stades de la plante: jeune, croissance, reproduction et mise en réserve.

I.2. L'azote dans le blé :

L'action de l'azote sur les céréales dépend surtout de l'époque de son apport. En effet, tous les chercheurs dont **REMY** et **VIAUX (1980)** qui se sont préoccupés des apports azotés admettent que pour avoir de bons résultats, il est nécessaire que l'azote soit disponible en quantité suffisante sous forme assimilable au début montaison.

Lors du gonflement floraison, la matière végétale augmente rapidement et par conséquent les besoins en azote du blé deviennent importants (**GRIGNAC, 1984**). Un manque en azote à cette

période se traduit par une floraison précoce qui peut répercuter sur les rendements.

Pendant la maturation, l'azote minéral du sol en quantité insuffisante ne peut pas couvrir les besoins du blé (MASLE, et MEYNARD, 1981).

Globalement l'absorption d'azote suit le développement du blé et ceci durant les quatre phases :

1. Herbacée jusqu'à la montaison avec une absorption de l'ordre de 4,5 Kg d'azote/quintal.
2. Elongation avec une activité intense de croissance, cette phase se termine à la floraison.
3. Fructification où l'absorption se ralentit et où les phénomènes de translocation deviennent importants.
4. Maturation avec la sénescence des tissus suivie d'une perte d'eau, de matière sèche et même d'azote.

I.3. Formes d'azote absorbé par les plantes :

Dans les sols agricoles, l'azote se trouve à une proportion de 95 % sous forme organique. L'azote sous forme minérale, forme essentiellement assimilable par les plantes, ne représente que 100 à 200 Kg par hectare dans les régions tempérées.

Les plantes absorbent les formes ioniques solubles dans la solution du sol seulement qui se trouvent sous formes :

1. Nitrate (NO_3^-) constituant la forme préférentielle d'absorption de l'azote par les cultures.
2. Ammonium (NH_4^+):une grande partie de l'ammonium dans le sol est convertie en nitrate par les microorganismes du sol et d'autres parties sont absorbées directement par les racines (SOLTNER, 2003).

I.4. Sources d'azote :

Les sources d'azote pour les cultures peuvent être :

1. La matière organique du sol par minéralisation.
2. Les amendements organiques : fumier, compost et autres déchets; sous produits agroalimentaires,...etc.
3. L'azote de légumineuses (luzerne, fève) et autres espèces fixatrices de l'azote moléculaire.
4. Les engrais verts, spécialement des légumineuses.
5. Les engrais minéraux (**SOLTNER, 2003**).

I.5. Conséquences d'excès et de carence en azote :

Un apport adéquat d'azote stimule une activité photosynthétique élevée, une croissance végétative vigoureuse et une coloration verte foncée des feuilles. Bien que rarement toxique, l'excès d'azote peut :

1. Retarder la phase maturité ;
2. Entraîner des problèmes de verse ;

Les symptômes de carence des plantes en azote peuvent être :

1. Rabougrissement de la plante entraînant un retard de croissance,
2. Diminution du nombre des talles,
3. Coloration verte pâle des feuilles due à la perturbation de la synthèse chlorophyllienne,
4. Jaunissement prématuré,
5. Baisse de rendement (**SOLTNER, 2003**).

Introduction :

Le blé dur (*Triticum durum*) est une céréale cultivée dans de très nombreux pays surtout sous le climat méditerranéen comme l'Afrique du Nord et les grandes plaines des Etats-Unis.

C'est une plante herbacée, annuelle, monocotylédone de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati, les feuilles sont larges et alternées, la paille souple et fragile, formée d'un chaume portant un épi constitué de deux rangées d'épillets sessiles et aplatis (Source net).

I. Biologie du blé :

I-1. Caractères botaniques :

I-1-1. Les caractères systématiques :

D'après (Wikipédia, 2008) Le blé dur appartient à la famille des graminées forme un groupe botanique complexe de grande graminées :

- ❖ Règne: **Plantæ** (végétal).
- ❖ Embranchement: **Spermaphytes**.
- ❖ Sous-embranchement : **Angiospermes**.
- ❖ Classe: **Liliopsida** (monocotylédones).
- ❖ Famille: **Poaceae** (Graminées).
- ❖ Sous-famille : **Hordées**.
- ❖ Tribu : **Triticées**.
- ❖ Genre : ***Triticum***.
- ❖ Espèces : ***Triticum durum***.

I-1-2. Les caractères morphologiques :

A. Appareil racinaire :

La racine du blé est fibreuse. A la germination la radicule ou racine primaire, et un entre-nœud sub-coronal émergent du grain : cet entre-nœud évolue vers la formation d'un collet près de la surface du sol. Le système racinaire secondaire peut être assez développé, s'enfonçant à des profondeurs atteignant jusqu'à deux mètres. Il apporte les éléments nutritifs à la plante (SOLTNER, 1988).

B. Appareil aérien :

B.1. La tige.

La tige ou talle de la plante est cylindrique, comprend cinq ou six inter-nœuds, qui sont séparés par des structures denses appelées nœuds d'où naissent les feuilles. La tige est creuse ou pleine de moelle (SOLTNER, 1988).

B.2. La feuille.

Les feuilles sont à nervures parallèles. Le limbe possède souvent à la base deux prolongements aigus embrassant plus ou moins complètement la tige : les oreillettes ou stipules à la soudure du limbe et de la graine peut se trouver une petite membrane non vasculaire entourant en partie la chaume (BELAID, 1986). La feuille terminale a un rôle primordial dans la reproduction (SOLTNER, 1988).

C. Appareil reproducteur :

Les fleurs sont regroupées en une inflorescence composée d'unités morphologiques de base : les épillets. Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole (SOLTNER, 1988).

D. Le grain :

Le grain de blé (caryopse) montre une face dorsale (arrière) et une face ventrale (avant), un sommet et une base. La face dorsale est creusée d'un profond sillon qui s'allonge du sommet à la base. Le caryopse est surmonté d'une brosse, l'embryon est situé au bas de la surface dorsale. Le grain comporte trois parties : l'enveloppe du grain (péricarpe), l'enveloppe du fruit (assise protéique), l'endosperme (albumen), et le germe ou embryon (SOLTNER, 1988).

II. Les exigences agronomiques de la culture du blé (d'après SOLTNER (1988):

II-1. Exigences d'une bonne pratique avant la récolte:

Les éléments qui devraient être pris en considération dans l'établissement d'une bonne pratique agricole sont les suivants :

a) Rotation des cultures :

Il est nécessaire de pouvoir une rotation des cultures tout au moins sur une partie des zones de production dans le respect des indications prévues. La rotation présente en effet divers avantages qui peuvent être résumés comme suit :

- ✓ Réduction des attaques parasitaires et du risque de fusariose;
- ✓ Meilleur contrôle des infestations;
- ✓ Amélioration de la structure et de la fertilité du sol;
- ✓ Meilleure protection de l'environnement;
- ✓ Définition des critères permettant d'effectuer le choix variétal optimal de la région.

b) Préparation du sol :

Le blé nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 12 à 15cm pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25 cm pour les autres terres.

c) Semis :

La date de semis est un facteur limitant vis à vis du rendement, c'est pourquoi la date propre à chaque région doit être respectée sérieusement pour éviter les méfaits climatiques. Il peut commencer dès la fin d'Octobre avec un écartement entre les lignes de 15 à 25 cm et une profondeur de semis de 2,5 à 3 cm.

La dose de semis est variée entre 200 à 225 Kg /ha en fonction des paramètres climatiques, la grosseur des grains, la faculté germinative et la fertilité du sol.

d) Protection phytosanitaire:

Une bonne pratique nécessite entre autres, l'utilisation des produits homologués, le respect des prescriptions et conditions optimales d'emploi de ces produits et l'utilisation d'un matériel adéquat. Le traitement de la semence est essentiel. Cette pratique favorise l'état sanitaire de la culture pendant le cycle en améliorant la tolérance par exemple au Fusariose.

e) Fertilisation:

En particulière, dans les zones arides, l'amélioration de la fertilité et de la structure du sol peut être intégrée à travers des pratiques adéquates de la rotation des cultures.

❖ **L'azote** : C'est un élément très important pour le développement du blé. **REMY et VIAUX (1980)** estiment qu'il faut 3Kg d'azote pour produire 1 quintal de blé dur. Il faut que la plante ait dès le début de la montaison tout l'azote nécessaire à son développement (**REMY et VIAUX, 1980**). Les besoins en azote de la culture lors du gonflement et à la floraison sont en effet extrêmement importants; c'est à ce moment que la matière végétale augmente le plus vite et que se détermine le nombre d'épis (**GRIGNAC, 1981**). A la récolte, plus de 75% de l'azote total de la plante se trouve dans les grains.

❖ **Le phosphore** : il favorise le développement des racines, sa présence dans le sol en quantités suffisantes est signe d'augmentation de rendement. Les besoins théoriques en phosphore sont estimés à environ 120Kg de P_2O_5 /ha .

❖ **Le potassium** : les besoins en potassium des céréales peuvent être supérieurs aux quantités contenues à la récolte 30 à 50 Kg de K_2O de plus/ha, (**BELAID, 1987**).

f) Entretien :

Les mauvaises herbes concurrencent les céréales pour l'alimentation hydrique et minérale et affectent le rendement. Il existe deux moyens de lutte:

a. Lutte mécanique : Dès le mois de septembre, effectuer une irrigation des parcelles pour favoriser la germination des grains de mauvaises herbes et du précédent cultural. Après leur levée, procéder à leur enfouissement.

b. Lutte chimique : Se fait à l'aide des désherbants polyvalents.

II.2. Exigences pédoclimatiques :

L'influence du climat est un facteur déterminant à certaines périodes de la vie du blé.

a) Température :

La température est l'un des facteurs importants pour la croissance et l'activité végétative. La germination commence dès que la température dépasse 0°C, avec une température optimale de croissance située entre 15 à 22° C. Les exigences globales en température sont assez importantes et varient entre 1800 et 2400 °C selon les variétés. De même la température agit sur la vitesse de croissance, elle ne modifie pas les potentialités génétiques de croissance ; c'est la somme de

température qui agit dans l'expression de ces potentialités. Chaque stade de développement du blé nécessite des températures particulières. (BELAID, 1986).

b) Eau :

L'eau est un facteur limitant de la croissance du blé. Ce dernier exige l'humidité permanente durant tout le cycle de développement. Les besoins en eau sont estimés à environ 800 mm (SOLTNER, 1988).

En zone aride, les besoins sont plus élevés au vu des conditions climatiques défavorables.

Ces de la phase épi 1 Cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (LOUE, 1982).

c) Lumière :

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé.

Un bon tallage est garanti, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairement (SOLTNER, 1988).

d) Sol :

Les sols qui conviennent le mieux au blé sont des sols drainés et profonds. Des sols limoneux, argilo-calcaires, argilo-siliceux et avec des éléments fins. Du point de vu caractéristiques climatiques, les blés durs sont sensibles au calcaire et à la salinité ; un pH de 6,5 à 7,5 semble indiqué puisqu'il favorise l'assimilation de l'azote (SOLTNER, 1988).

III. Développement de la culture:

Selon (JONARD, 1952 *in* PRAT, 1971), le cycle du développement du blé peut se subdiviser en 3 périodes (fig01).

III.1. La période végétative:

III.1.1. La phase semis – levée:

Cette phase peut être accomplie dès que la semence soit capable de germer et que le sol peut lui fournir l'humidité, la chaleur et l'oxygène nécessaire. La teneur minimale en eau qui permet la germination est de l'ordre de 35 à 40%. Lorsque la graine a absorbé de 20 à 25% de son poids d'eau. La température optimale de la germination se situe entre 5 à 22°C, avec un minimum de 0°C et un maximum de 35° C.

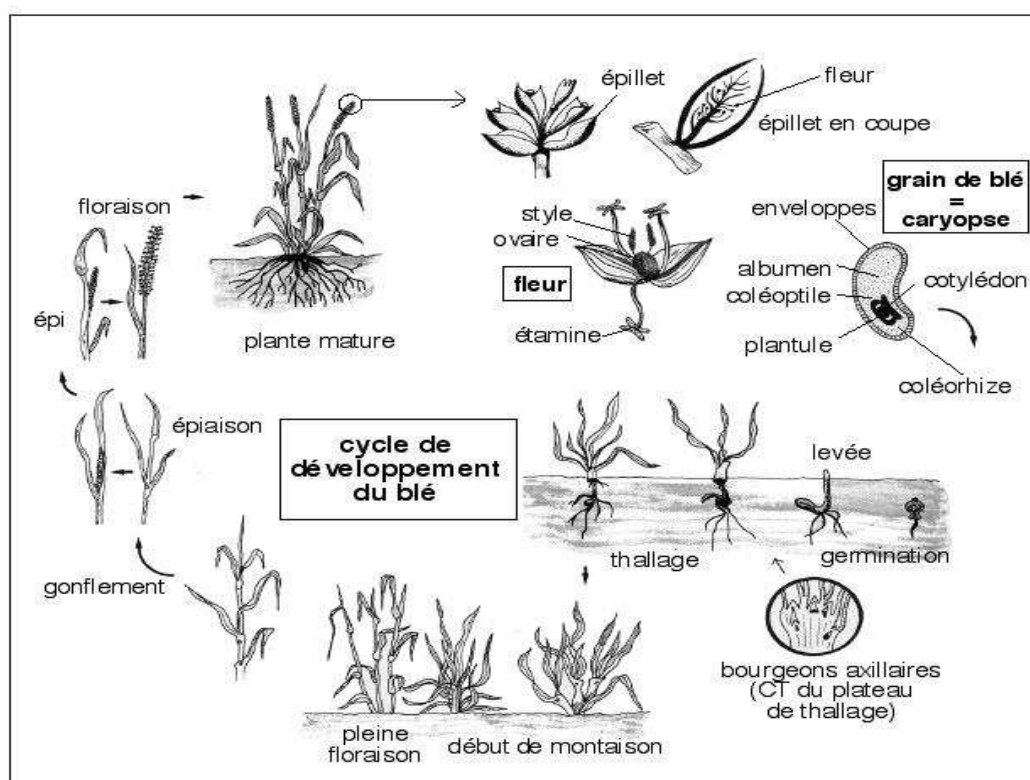


Figure 1. Cycle de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000)

III.1.2. La phase levée – tallage :

Selon **SOLTNER, (1988)**, C'est un mode de développement propre aux graminées, caractérisé par la formation du plateau du tallage, l'émission de talles et la sortie de nouvelles racines.

La durée de cette période varie de 31 à 89 jours pour des températures moyennes de 09 à 32° C respectivement (**MEKLIICHE, 1983**).

III.1.3. La phase tallage – montaison :

Elle est caractérisée par la formation de talles et l'initiation florale qui se traduit par l'apparition de la future ébauche de l'épi; tout déficit hydrique durant cette période se traduit par une diminution du nombre de grains par épi (**MARTIN- PREVEL, 1984**).

III.2. La période reproductrice :

III.2.1. La phase montaison :

Elle débute lorsque les entres nœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage, ce qui correspond à la formation du jeune épi à l'intérieur de la tige (**BELAID, 1987**).

COUVREUR (1981), considère que ce stade est atteint quand la durée du jour est au moins de 11 heures et lorsque la culture a reçu au moins 600° C. (base 0° C depuis la levée).

III.2.2. La phase épisaison :

Cette période commence dès que l'épi apparaît hors de sa graine foliaire et se termine quand l'épi est complètement libéré (**MAUME et DULAC, 1936**). La durée de cette phase est de 7 à 10 jours, elle dépend des variétés et des conditions du milieu, (**MARTIN- PREVEL, 1984**). C'est la phase où la culture atteint son maximum de croissance.

III.2.3. La phase floraison – fécondation :

Elle est déterminée par la sortie des étamines hors des épillets, la fécondation est accomplie lorsque les anthères sortent des glumelles. Le nombre de fleurs fécondées dépend de la nutrition azotée et d'une évapotranspiration pas trop élevée (**SOLTNER, 1988**).

III.2.4. La phase de maturation :

Cette phase est caractérisée par le grossissement du grain, l'accumulation de l'amidon et les pertes de l'humidité des graines qui marque la fin de la maturation (SOLTNER, 1988). Cette phase de maturation dure en moyenne 45 jours.

Les graines vont progressivement se remplir et passer par différentes stades :

III.2.4.1. Maturité laiteuse :

Ce stade est caractérisé par la migration des substances de réserves vers le grain et la formation des enveloppes. Le grain est de couleur vert clair, d'un contenu laiteux et atteint sa dimension définitive.

III.2.4.2. Maturité pâteuse :

Durant cette phase les réserves migrent depuis les parties verts jusqu'aux grains. La teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Quand le blé set mûr le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves (SOLTNER, 1988).

III.2.4.3. Maturité complète :

Après le stade pâteux, le grain mûrit, se déshydrate. Il prend une couleur jaune, durcit et devient brillant. Ce stade est sensible aux conditions climatiques et à la condition e récolte (SOLTNER, 1988).

I. Le phosphore et le végétal :

I.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.

Le phosphore se trouve dans la plante sous forme minérale (**DUTHIL, 1973**). Mais il est beaucoup plus fréquemment présent combiné sous forme organique.

Sa répartition dans les tissus est très inégale et augmente généralement avec la teneur en azote (**GERVY, 1970**).

D'après **GERVY, (1970)** La teneur des végétaux en phosphore est soumise à des variations fort importantes ; elle dépend principalement de la nature de l'espèce, de l'âge de la plante et de l'organe analysé ; elle dépend également, mais dans une moindre mesure, de la richesse du sol en P_2O_5 ; elle dépend enfin très faiblement de la présence d'autres éléments donnant lieu à des antagonismes avec l'acide phosphorique (tabl 1).

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

Espèces végétales	Partie de la plante	N (% MS)	P_2O_5 (% MS)	K_2O (% MS)
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

I.2. Rôle physiologique du phosphore :

Le phosphore joue également plusieurs rôles dans la vie des plantes. Il est considéré comme un constituant essentiel des chromosomes, il intervient partout où il y a multiplication cellulaire d'où l'importance du phosphore dans les phénomènes de croissance et de reproduction. Il joue également un rôle déterminant dans le transfert d'énergie, il est indispensable à la photosynthèse et aux processus chimico-physiologiques de la plante (**LAMBERT, 1979**).

Selon **MOUGHLI, (2000)** le phosphore participe dans :

- ⇒ Maturation des grains : Pour les céréales, des teneurs élevées en phosphore réduit le temps de maturité et donne une paille plus solide.
- ⇒ Formation des graines nécessite du phosphore : des quantités importantes de phosphore sont stockées dans les semences.
- ⇒ Stimulation de la croissance des racines : Un apport localisé de phosphore (et nitrate) entraîne une prolifération des racines dans cette zone. Par contre, on a constaté moins de réponse de la racine à des apports localisés de potassium ou d'ammonium.

Il a été montré que le phosphore améliore la réponse de plusieurs cultures à la fertilisation azotée, surtout les céréales. Pour que les plantes utilisent le supplément d'azote (par exemple pour la synthèse des protéines ou de la chlorophylle), elles ont besoin de plus de phosphore pour fournir l'ATP nécessaire (**MOUGHLI, 2000**).

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**).

D'après **GERVY (1970)**, une Bonne nutrition phosphatée se traduit par des effets de précocité qui réduisent les risques de gelées auxquels divers cultures sont exposées, en arrière-saison. La participation du phosphore dans tous les processus de croissance, de synthèse et de mise en réserve explique la permanence de son rôle au cours des stades successifs de la vie végétale et fait comprendre son action bien connue sur la précocité (**GERVY, 1970**).

I.3. Rythmes d'absorption du phosphore par la plante :

La nutrition phosphatée des plantes ne peut être assurée que par du phosphore présent sous forme de phosphates (FARDEAU, 1993).

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 que tout au plus 1 g de P/m² dont 1/10 était déjà contenu dans le grain semé. Puis la marche des prélèvements s'accélère rapidement et passe au rythme de 400 g/ha/jour de P soit près de 1 Kg P₂O₅/ha/jour 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 (BUCKMAN, 1990).

I.4. Exigences nutritionnelles en phosphore des cultures :

En générale l'absorption du phosphore par les plantes est à peu près terminée vers la fin de la période de croissance maximale.

La production de 1 g de matière sèche par une plante requiert un prélèvement d'environ 3 mg de P (FARDEAU, 1993).

Tableau 2. Exportation du blé en phosphore (VILAIN, 1997).

Culture	Nature de produit	P₂O₅ prélevé (% MS)	Rdt (q/ha)
Blé	Grain	0.9	50
	Plante entière	1.2	

Aussi, les cultures peuvent être classées selon leurs exigences en P (tableau 3).

Tableau 3. Classification des cultures selon leur exigence en P (SNOUSSI et HALTIM, 1996)

Très exigeante	Betterave, Colza, Luzerne, Pomme de terre.
Moyennement exigeante	Blé dur, Orge, Pois, Ray-grass, Sorgho.
Peu exigeante	Avoine, Blé tendre, Seigle, Soja, Tournesol.

I.5. Excès et carence du phosphore :

Les excès de phosphore sont en général sans inconvénient pour la récolte (**DUTHIL, 1974**). Au contraire, la carence en phosphore se manifeste sur les végétaux par des symptômes extrêmement graves :

- Une présence insuffisante de phosphore dans le milieu où le végétal puis son alimentation minérale se traduit le plus souvent par des retards de croissance, un moindre développement, des accidents végétatifs et, bien entendu, une production amoindrie (**GERVY, 1970**).
- Réduction du développement des racines avec peu de ramification, l'alimentation est donc plus limitée (**BRAHIMI, 1991**).
- Feuillage en général foncé et mat avec des teintes pourprées et une défoliation précoce commençant par la base de la plante (**PRAT et al 1971 ; CHARLES, 1976**).

La plante sans P_2O_5 voit sa végétation diminuée et sa floraison retardée (**GERVY, 1970**), donc la récolte peut diminuer jusqu'à 50% (**BAEYENS, 1967**).

I.6. Interactions des autres éléments nutritifs avec le phosphore :

Les éléments nutritifs peuvent avoir un comportement synergique ou antagoniste vis-à-vis du phosphore. L'action simultanée azote phosphore est synergique car il favorise le développement racinaire.

Il existe une relation de synergisme entre le phosphore et l'azote. En effet ces deux éléments sont indispensables pour les fonctions vitales de la plante (photosynthèse, formation de protéines, fixation symbiotique du phosphore...). L'azote ammoniacal favorise l'absorption du phosphore par la plante (**LEIKAM et al, 1983**).

Aussi il semble que le Mg entraîne une meilleure dissolution du phosphore dans la solution du sol. Et la présence des sulfates en faible quantité dans le sol à un effet synergique vis-à-vis du phosphore (**RAZI, 2006**).

Par contre, lorsque les cations Ca^{2+} se trouvent en quantité importante dans le sol, il y a un effet antagoniste entre le phosphore et le calcium par la formation des composés insolubles P-Ca (**RAZI, 2006**).

Aussi le rapport $\text{Ca}^{+2} / \text{Mg}^{+2}$ influe sur l'assimilation de phosphore lorsque la teneur en Mg^{+2} augmente.

II. Le phosphore dans le sol :

II.1. Les différents états du phosphore dans le sol :

II.1.1. Le phosphore total :

C'est l'ensemble de toutes les formes de phosphore présentes dans un échantillon de sol, qu'elle soit minérales ou organiques (**BAIZE, 2000**).

La teneur en phosphore total dans la plus part des sols est comprise entre 0.02 à 0.08 % (**GERVY, 1970**).

Les sols dérivant des roches ignées sont plus riche en phosphore totale que les roches issues des roches sédimentaires (**DUTHIL, 1976**).

II.1.2. Le phosphore assimilable :

Appelé aussi « réserve assimilable » ou « fraction labile », c'est le phosphore susceptible d'être absorbé par les racines (**BAIZE, 2000**).

A la notion de réserve globale de phosphore (P) s'est donc très vite substituée celle de quantité facilement accessible aux racines des plantes, c'est-à-dire capable de participer à la fois à l'alimentation du végétal et au maintien de la concentration de la solution du sol en phosphore (**GERVY, 1970**).

GERVY(1970), estime qu'un sol est considéré comme riche en phosphore assimilable lorsque sa teneur dépasse 0,3‰, moyennement riche quand cette dernière est comprise entre 0.15 ‰ et 0.3 ‰, et pauvre quant elle est inférieure à 0.15‰.

II.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**).

Le croquis "dynamique du phosphore dans le sol" permet une visualisation de ces différentes formes du phosphore dans le sol (**GROS, 1979**) (figure 2).

D'après **GROS (1977)**, il existe un équilibre permanent entre les divers états du phosphore dans le sol. Ainsi la matière organique, à son tour, libère du phosphore dans la solution du sol après minéralisation.

L'équilibre le plus rapide et le plus important existe entre le phosphore dissout dans la solution du sol et le phosphore échangeable, et estime que ces deux dernières formes représentent la réserve alimentaire en phosphore (**DUTHIL, 1976**).

Donc le phosphore peut être absorbé, précipité, comme il peut être dissout. Le phosphore organique peut être minéralisé ou réorganisé (**RAZI, 2006**).

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

II.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 est très faible est presque constante du fait des échanges continuels avec le phosphore adsorbé (**DIEHL, 1975**).

II.2.2. Le phosphore insoluble des roches mères :

Les formes dites « insolubles » ne font néanmoins pas partie des réserves inassimilables de phosphore existant dans le sol. Des modifications de pH, l'action de la matière organique, l'activité microbienne, la possibilité d'utilisation directe des phosphates minéraux par plusieurs espèces végétales font que ces formes de phosphore exercent un rôle non négligeable dans la nutrition des plantes (**GERVY, 1970**).

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 bi- calcique ;
- Phosphate tricalcique.

II.2.3. Le phosphore facilement échangeable :

Ce sont les ions phosphoriques adsorbés 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**).

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, 1979**).

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.

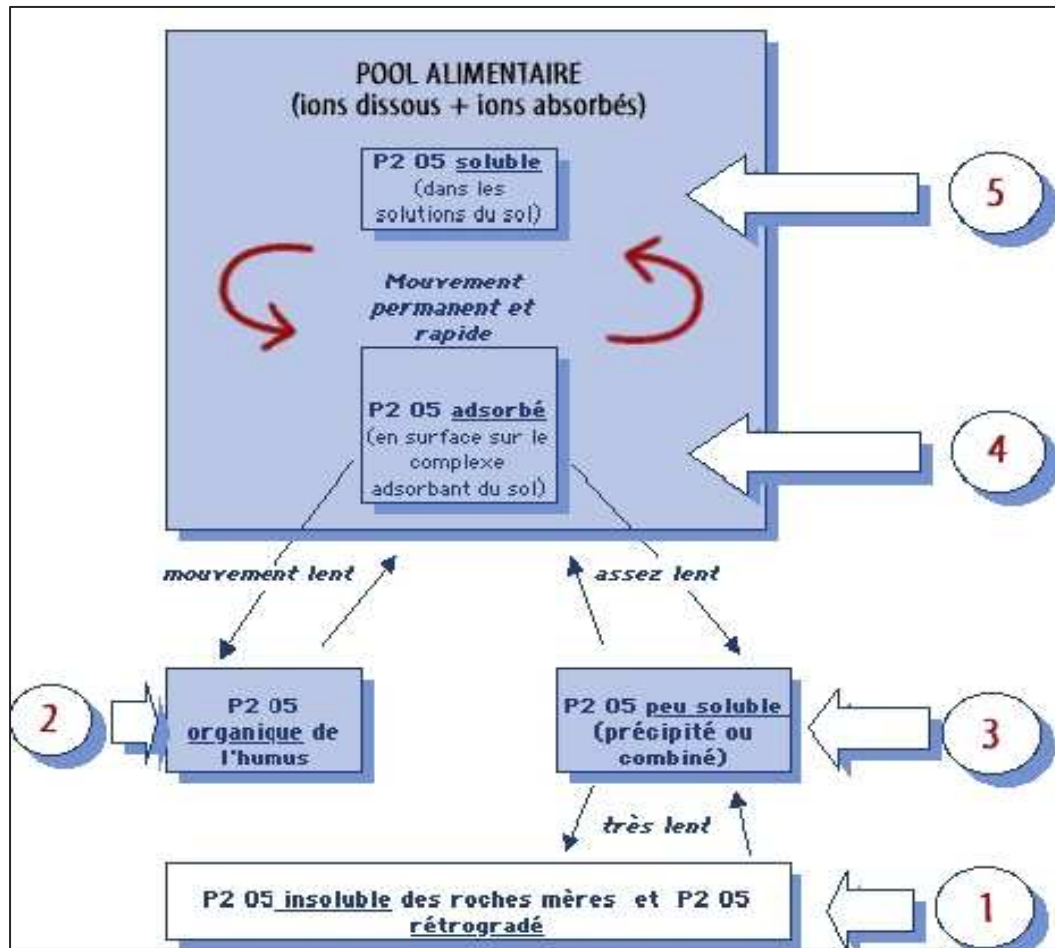


Figure 2. Les formes du phosphore dans le sol

II.3. Les facteurs influençant l'assimilabilité du phosphore dans le sol :

I.3.1. Le pH :

Selon **BUCKMAN(1990)**, en sols acides, le fer, l'aluminium et le manganèse, qui ont une activité intense, rendent le phosphore insoluble, et par conséquent inassimilable par les plantes.

Le degré de l'insolubilisation dépend de la richesse du sol en calcaire. Les mêmes auteurs estiment que c'est à des pH voisins de la neutralité que le phosphore est le plus soluble.

GERVY(1970), souligne qu'à pH égal à 7, il existe une proportion à peu près équivalente d'ions H_2PO_4^- et d'ions HPO_4^{2-} , alors que l'ion PO_4^{3-} n'apparaît qu'à $\text{pH} > 11$.

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 H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} (**GERVY, 1970**) (figure 2).

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

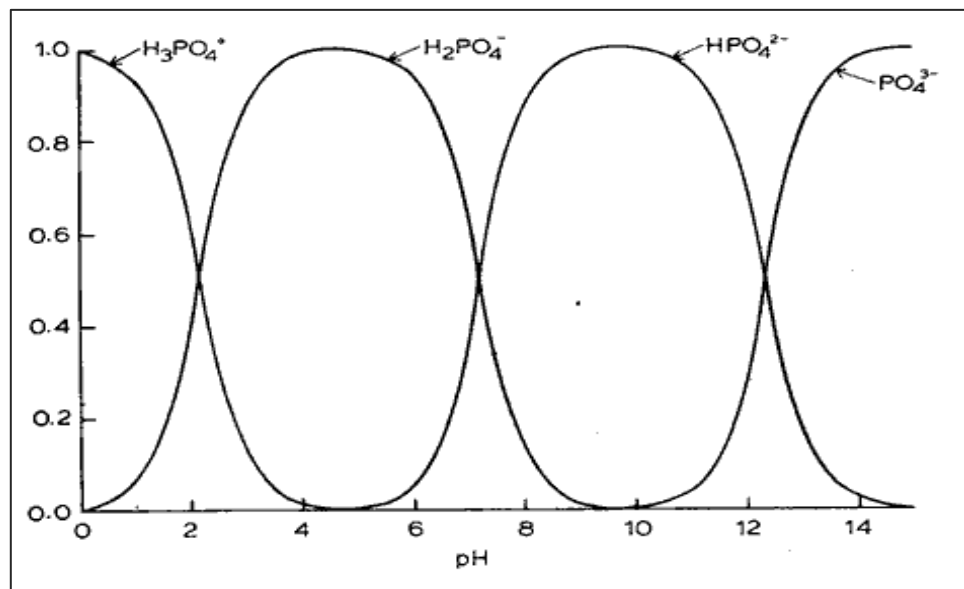


Figure 3. Effet du pH de la solution du sol sur les formes solubles du phosphore (STANLEY, 1995)

I.3.2. Effet de la température et l'humidité :

D'après **GILLES (1969)**, une basse température réduit la mobilité de l'acide phosphorique échangeable du sol. Ce qui entrave l'alimentation phosphatée des plantes.

Selon **CAMBELL (1994)**, une certaine humidité est toujours nécessaire pour l'absorption des ions phosphatés par les plantes car la dessiccation diminue la solubilité des phosphates.

I.3.3. Le calcaire :

I.3.3.1. Calcaire total.

La présence de calcaire confère au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et influe sur son activité biologique. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique

La connaissance du calcaire total est indispensable pour :

- caractériser le sol ;
- évaluer l'activité biologique du sol ;
- évaluer le pouvoir fixateur du Phosphore et le risque de blocage des oligo-éléments.

I.3.3.2. Calcaire actif.

Le calcaire actif est la fraction du calcaire total susceptible de se dissoudre facilement et rapidement dans la solution du sol.

A faible concentration, **DUTHIL (1973)** souligne que le calcaire joue un rôle protecteur vis-à-vis des ions phosphoriques contre leur adsorption énergétique par le fer et l'aluminium libres. A des concentrations élevées, il y a formation de phosphates calciques de moins en moins solubles qui peuvent évoluer vers une forme insoluble ou apatitique.

Ainsi le rapport calcaire actif / calcaire total s'il est supérieur à $\frac{1}{4}$ y'aura des répercussions négatifs sur la nutrition phosphatée de la plante.

I.3.4. Le pouvoir fixateur et la texture du sol :

Selon **GACHON (1969)**, le pouvoir fixateur est l'énergie avec laquelle les constituants du sol fixent les ions phosphoriques. Cette énergie est en fonction de la quantité et de la nature des argiles.

SOINS et al (1999) considère que le pouvoir fixatrice du sol est proportionnel au :

⇒ Taux de matière organique ;

⇒ Taux d'argile ;

⇒ Taux de calcaire et le pH.

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

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

I.3.5. La 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 desquelles, elles ont un effet protecteur.

I.3.6. Influence des sels solubles :

D'après **GACHON (1969)**, en milieu salin un apport phosphaté est susceptible d'augmenter le rendement ; ceci est dû à une interaction positive entre le phosphore et les sels lorsque la concentration est modérée.

II.4. Les pertes du phosphore :

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.

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 (**BUCKMAN, 1990**).

Introduction :

La fertilisation minérale est l'un des facteurs susceptibles d'affecter les cultures de céréale.

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**).

En effet le recours à la fertilisation permet d'obtenir le meilleur rendement possible compte tenu des autres facteurs qui y concourent comme la qualité du sol, le climat, l'apport en eau, le potentiel génétique de la culture, ainsi que les moyens d'exploitation, et ce, à moindre coût. En outre, particulièrement en agriculture durable s'y ajoute l'objectif de préservation de la qualité de l'environnement.

Les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Aux stades où ils sont nécessaires, les éléments minéraux doivent être prélevés par la plante dans le sol. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous forme assimilable.

D'après **PREVOST (1999)**, la fertilisation doit tenir compte :

⇒ **du rythme d'absorption des éléments** ; durant le cycle de culture par exemple :

- le phosphore est important dans la formation des grains ;
- l'azote est l'élément essentiel de la croissance ;
- le potassium améliore la qualité de floraison et de fructification.

⇒ **de la capacité d'échange du sol :**

Si le sol retient énergétiquement les ions grâce à un bon pouvoir absorbant, il est possible d'envisager la mise en réserve des éléments nutritifs.

Dans le cas contraire, l'apport d'éléments minéraux doit être fractionné le plus possible en fonction des besoins de la plante.

⇒ **de la dynamique des éléments nutritifs :**

Les éléments bien retenus (phosphore et potassium) par le complexe argilo-humique peuvent être stockés dans le sol ; en revanche, l'azote nécessite un apport régulier du fait que l'ion nitrate NO_3^- n'est pas retenu par le complexe.

I. Raisonnement de la fertilisation phosphatée :

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).

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

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

Quand on applique des doses croissantes d'engrais sur un sol, deux résultats importants se dégagent dans une grande majorité d'essais. Ils concernent :

- ⇒ la dose d'engrais à appliquer en fonction du niveau de teneur 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.

I.2. Une méthode développée autour de quatre critères.

Les quatre critères de base sont donc l'exigence des cultures, la teneur du sol, le devenir des résidus du précédent et le passé récent de fertilisation.

➤ L'exigence des cultures.

Il s'agit, en priorité, de privilégier la réaction de la plante aux apports de fertilisants. La longueur du cycle ou les besoins journaliers et totaux conditionnent aussi l'exigence des cultures.

➤ Les teneurs dans le sol.

L'analyse de terre est un indicateur de la quantité extractible dite assimilable dans le cas du phosphore .

➤ Devenir des résidus du précédent.

Les résidus de récolte sont des restitutions non obligatoires, généralement les parties aériennes des cultures récoltées en grains ou racines. La restitution des éléments contenus dans ces résidus, lorsqu'ils sont enfouis, représente qualitativement un apport d'engrais soluble eau (COMIFER, 1995).

➤ Passé récent de fertilisation.

Il s'agit de prendre en compte l'évolution des états chimiques des éléments minéraux apportés au sol lors des campagnes précédentes vers des formes moins assimilables par les cultures.

Conclusion générale

A lumière de la fertilisation minérale qui est considérée comme l'une des solutions d'enrichissement du réservoir nutritif de la plante, pour objectif d'arriver à un rendement acceptable quantitativement et qualitativement pour cela, il est nécessaire de raisonner les apports des engrais minéraux pour l'amélioration de production.

Dans le cadre du développement de la céréaliculture dans les régions sahariennes et contrairement aux régions du nord du pays, le pédo – climat constitue le problème essentiel dans le cadre de la conduite des cultures et des céréales particulièrement.

Les recherches s'orientent de ce fait vers la matérialisation de nouvelle variété de blé dur en réponse à la fertilisation phosphatée et l'amélioration des propriétés physico – chimiques des sols sahariens qui sont caractérisés par une faible fertilité.

L'étude expérimentale réalisée au cours de l'année 2008-2009 au niveau de la ferme HADJADI Mahmoud (région d'El-Goléa Wilaya de Ghardaïa). Nous a permis de juger et déterminer l'efficacité de la fertilisation phosphatée sur le comportement et la productivité d'une variété de blé dur (*Triticum durum*. Var.CARIOCA » à partir des quatre doses de deux types d'engrais phosphatés soit le Fosfactyl (3%-22%) et le Simple super phosphate (0%-16%).

A partir des résultats obtenus durant le développement du blé, nous tirons les conclusions suivantes :

D'une manière générale, la culture du blé a réagi favorablement à un apport de phosphore par l'amélioration de comportement.

L'appréciation de l'efficacité des traitements à été réalisée à travers les mesures sur le poids de la matière sèche produite au cours du cycle de blé, il en ressort :

Des différences hautement significatives observées dans les deux stades (fin tallage et floraison) de culture sous l'effet des doses de Fosfactyl et SSP avec respectivement d'augmentation 20,71%

et 34,85% de D_1 par rapport D_4 ceci au stade fin tallage et au stade floraison avec respectivement d'augmentation 34,96% et 21,78% de D_1 par rapport D_4 . Par contre il enregistré un effet non significatif au stade maturité de la culture.

L'appréciation de l'efficacité des différents types d'engrais phosphatés a été réalisée sur les principales composantes du rendement au cours du cycle du blé, il en ressort :

Le nombre de pieds/m² varié d'une façon significative sous l'effet de Fosfactyl avec un accroissement de 5,31% de D₄ (120unités de phosphore) par rapport à D₁ (30 unités de phosphore). Par contre il est le SSP a marqué un effet non significatif.

Le nombre d'épis/m² est influencé significativement sous l'action de deux type d'engrais utilisés le Fosfactyl et le SSP avec respectivement un taux d'accroissement de 24,55% et 29,47% de D₄ par rapport à D₁.

Le nombre de grain/épi varié d'une façon hautement significative sous l'action de l'SSP avec un augmentation de 0,35% de D₄ par rapport à D₁. Mais le Fosfactyl n'a exercé aucun effet significatif sur ce paramètre.

Les deux types d'engrais ont influencé significativement sur le poids de 1000 grains du blé avec un taux d'accroissement de D₄ par rapport à D₁ avec 16% pour le Fosfactyl et 10,26% pour le SSP.

Les études statistiques montrent que le Rendement grain est influencé significativement avec les doses de Fosfactyl avec une augmentation de 36,87% de dose 120 unités par rapport à la dose 30 unités de P₂O₅. La même constatation a été marquée pour le SSP avec un gain de 29,86%.

Les résultats obtenus concernant la teneur en azote du végétal montrent que le phosphore exerce un effet significatif sur la nutrition azotée de la plante, par conséquent la teneur en azote passe pour le Fosfactyl de 0,85% obtenu avec la dose 30 unités de P₂O₅ à 0,95% obtenu avec la dose 120 unités de P₂O₅ soit une augmentation de 10%. La même chose pour le SSP avec un augmentation de 11,57%.

Les exportations d'azote pour les deux types d'engrais évoluent avec les doses croissantes de phosphore. Ils à tendance à augmenter suivant la succession D1, D2, D3, D4.

Dans notre expérimentation, le rendement machine est toujours inférieur à celle du biologique car il est influencé par des plusieurs facteurs qui nous avons les cités au dessus. Dans ces conditions pédoclimatiques, on peut dire que nous avons pas atteinte la productivité optimale de la variété utilisé. Cette dernière peut donner des productions très supérieurs a nos résultats.

L'engrais Fosfacyl qui donne les meilleurs résultats du rendement . mais de points de vue économique il coûte plus chère que le SSP (8000,00 DA/100kg pour le Fosfacyl et 6000,00 DA/100kg pour le SSP).

Au terme de cette étude menée sur une seule campagne (2008-2009), 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 ;
- Arrêt raisonné de l'irrigation ;
- Fertilisation azotée et potassique adéquate ;
- Maitrise de désherbage.

Des progrès significatifs sont encore possibles en matière d'amélioration de la productivité par la mise en place de stratégie 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 limitant de la production des grandes cultures tout en évitant la surfertilisation et en préservant la fertilité du sol à moyen terme.

Références bibliographiques

1. **AISSA A D. et MHIRI A., 2001** : Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. 5p.
2. **BAEYENS J., 1967** : Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliqué aux plates agricoles Ed. Nauwelaerts Louvain, 278p.
3. **BAIZE D., 2000** : Guide des analyses en pédologie. Ed I.
4. **BELAID D., 1986** : Aspect de la céréaliculture algérienne, Ed- O.P.U, 217p.
5. **BELAID D., 1987** : Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (Hedba3) en conditions de déficit hydrique, Mémoire de magistère. I.N.A 108p.
6. **BELERAGUEB ., 1996** : Monographie agricole pp 1-6.
7. **BLANCHET R., 1959** : Energie d'absorption des ions minéraux : phosphore. Annales agronomiques, n°11, pp : 138-154.
8. **BOSC M., 1976** : Dynamique de l'alimentation phospho-potassique de la plante dans le sol. Section 6n°08. pp : 1-6.
9. **BRAHIMI., 1991** : Contribution à l'étude de l'utilisation des phosphates naturels dans la fertilisation phosphatée d'un sol saharien, à Biskra, Mémoire Ing. Agro. Ouargla 68p.
10. **BUCKMAN., 1990** : Agriculture et fertilisation. Ed. Norsk hydro a.s.258p.
11. **CHARLES., 1976** : Diagnostic de la carence phosphorique des sols par symptomatologie végétale annales de l'INA vol 22 pp 119-121.
12. **COIC Y., 1952** : La nutrition azotée du blé. Ann. Agro., ppp 3-417-421.
13. **COMIFER., 1995** : Aide au diagnostic et à la prescription de la fertilisation phosphatée et potassique des grandes cultures. Brochure Comifer, 1993, réact.1995, 28 pages + annexes..
14. **COMIFIER., 2002** : « Les atouts décisifs du chaulage en terres de brande ». Perspectives agricoles. n°284. Novembre. pp : 66-70.

15. **COUVREUR F ., 1981** : La culture du blé se raisonne . Cultivar juin, pp 39-41.
16. **DEHBI F., 1997** : Détermination du seuil critique du phosphore Olsen pour l'estimation des besoins en engrais phosphatés du blé dans les conditions semi arides (Sétif) INRA Algérie p76.
17. **DIEHL J.A., 1975** : Agriculture générale, pp 205-211.
18. **DRAOUI N., 2004** : Effet de la fertilisation phosphatée sur le comportement d'une variété de blé tendre (*Triticum aestivum* L. Var. Anza) conduite en conditions sahariennes. Mémoire de magistère I.T.A.S. Ouargla. 84p.
19. **DURAND J.H., (1983)** : Les sols irrigables, Etude pédologique. Ed. Département de géographie de l'université de Paris – Sorbonne, 389p.
20. **DUTHIL J., 1973** : Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, Ed. J.B. Baillière. 654p.
21. **DUTHIL J., 1976** : La fertilisation phosphatée des sols calcaires. An Agro, INA Vol VI n°2, pp : 75-80.
22. **DUTIL P., 1976** : La fertilisation phosphatée des sols calcaires. An. Agro. I.N.A. Vol VI n°2, pp 75-80.
23. **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.
24. **GACHON., 1969** : La fertilisation phosphatée panorama des recherches récentes bon choix, perspectives agricoles n°28 Septembre pp 44-49.
25. **GERVY R ., 1970** : Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, Paris. 298p.
26. **GILLES ., 1969** : Rôle de la fumure phosphatée dans l'alimentation hivernale du blé. Phosphore et Agri., n°52, pp : 19-26.
27. **GRIGNAC P., 1977** : Le blé dur morphologie succincte, Annales de l'INA El – Harrach, Vol : VIII n°2, Alger, pp 83 – 87.
28. **GRIGNAC P ., 1981** : Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen. Séminaire scientifique. Bari (Italie). Pp : 185-194.

29. **GROS A., 1977** : L'acide phosphorique, les engrais phosphaté. Guide pratique de la fertilisation. Ed. Maison rustique-Paris, 377p.
30. **GROS A., 1979** : Guide pratique des relations entre alimentation phosphatée des cultures et les valeurs E et l'INRA pp : 205-215.
31. **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.
32. **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.
33. **HEBERT J., 1975** : Techniques nouvelles de production du blé. Document I.T.C.F, 16p.
34. **IGNAZI J.C., 1993** : « Perspectives de l'agriculture et fertilisation » Perspectives agricoles n°181- juin, pp : 2-3.
35. **JONARD P., 1952** : Les céréales. Larousse agricole. Ed. Paris. Pp15-198.
36. **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, 23p.
37. **LAMBERT J.C., 1979** : « La fertilisation phosphatée » revue Cultivar. N °115, pp96-97.
38. **LEGRET J., 1985** : La production de blé dans le monde s'accélère, les producteurs agricoles français.
39. **LEIKAM D.F., MURPHY L.S., KISSEL D.E., WHITNEY D.A., MSERH H.C., 1983** : Effect of nitrogen and phosphorus chorus application and nitrogen source in winter wheat grand yield and leaf tissue phosphorus. Soil. SCI. AMG, pp 530-535.
40. **LLORENS J.M., 2001** : La méthode de raisonnement de la fertilisation PK un outil pour la fertilisation, COMOFER-GEMAS, 5^{ème} rencontre de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Blois, France, 27-29 Novembre.
41. **LOUE A., 1982** : Le potassium et les céréales. Dossier K₂O n°02, pp1-41.

42. **Martin PREVEL P., 1984** : L'analyse végétal dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales pp 653-667.
43. **MASLE J, et MEYNARD J.M., 1981** : 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., Doctorat., INA, Paris, France, 274p.
44. **MAUME L et DULAC J., 1936** : Echantillonnage rationnel de la plante en vue des analyses chimiques comparatives, C.R.A.cd Agric Franc 26, pp906-913.
45. **MEKLIICHE A., 1983** : Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé d'hiver dans le haut Chélif. Mémoire de magistère. I.N.A. Alger .81p.
46. **MEY NARD 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.
47. **Ministère de l'Agriculture, 2008** : Bilan de production végétale. Rapport sur la production végétale.
48. **MOUGHLI L., 2000** : Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations N°72 Septembre 2000.
49. **Office national de la météorologie, 2009** : Rapport sur les données climatiques d'El-Goléa.
50. **PRAT S., 1971** : Les céréales 2ème édition, J.B Baillière et fils, Paris, ppp9-23-315.
51. **PREVOST PH., 1999** : Les basses de l'agriculture. Ed II Paris- France 254p.
52. **RAZI S., 2006** : Etude expérimentale de l'influence du gypse sur la dynamique du phosphore dans le sol et sa cinétique d'absorption par le Ray-grass. Thèse. Mag. AGR. Batna : 3 - 36p.
53. **REMY JC. et VIAUX PH. , 1980** : Evolution des engrais azotés dans le sol. Perspectives agricoles spéciales.
54. **ROMER W., 1985** : Influses von spross und wurzel-wachstum auf die phosphatau fuahme bei getreide-P. Flanzen. Bodenkult. J Fur Iandwirts chafticheforshing36 (3) : 203-206.
55. **SAMIR G., 1991** : Influence de l'époque et de la densité de semis sur le peuplement d'une variété de blé dur, Thèse. Ing, INA (EL – Harrach), 73p.

56. **SOINS P et VAYSSE P., 1999** : Fertilisation des vergers environnement et qualité Ed. CTIFL pp 47-52.
57. **SOLTNER ., 1988** : Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed. 16^{ème} éditions 464P.
58. **SOLTNER., 1990** : Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed .17^{ème} édition, 464p.
59. **SOLTNER., 2003** : Les basses des productions végétales. Ed 23^{ème} T1 : le sol et son amélioration 464p.
60. **SNOUSSI et HALITIMA., 1996** : Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude. Gst. Sols, pp289-298.
61. **STANLEY A. barber ., 1995** : Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. Second edition. John Wiley and Sons, 414 pages.
62. **THEVENET G., 1993** : La fertilisation raisonnée. Du concept du raisonnement aux applications pratiques : la démarche du comifer. Ingénieur de la vie. N°427 Février – Mars. pp : 28 – 34.
63. **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.
64. **VILAIN M ., 1997** : La production végétale. Les composantes de la production. Ed 13^{ème} 478p.

Annexe 1.

Tableau 1. Les caractéristiques agronomiques de la variété CARIOCA (S.D.F,1999)

Hiver ou printemps :	Hiver
Caractéristiques agronomiques	
Alternativité :	Printemps
Précocité épiaison :	très précoce
Précocité maturité :	très précoce
Hauteur :	Moyenne
Résistance verse :	peu sensible
Poids mille grains:	Élevé (60g)
Maladies et accidents	
Fusariose nivale :	assez sensible
Fusariose roseum :	assez sensible
Oïdium :	assez sensible
Piétin verse :	assez sensible
Rouille brune :	peu sensible à assez résistant
Rouille jaune :	peu sensible à assez résistant
Septoriose tritici :	assez sensible
Critères qualité	
Mitadinage :	Assez sensible
Moucheture :	Peu sensible

Annexe 2.



Figure 1. Le semoir combiné (vaderstad) utilisé dans notre essai

Annexe 3.

Tableau 1. Inventaire de mauvaises herbes rencontrées

Famille	Espèce	Groupe
Fabaceae	- <i>Melilotus infesta</i>	Dicotylédones
Poaceae	- <i>Avena sativa</i> - <i>Bromus sp</i>	Monocotylédones Monocotylédones
Malvaceae	- <i>Malva aegyptiaca L</i>	Monocotylédones

Annexe 4.

Tableau 1. Influence des différentes doses de phosphore sur la densité de peuplement (Fosfacyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	14236,391	3	4745,464	16,50	3,510	0,034
Error	27040,434	20	1352,022			
Total	41276,824	23				

Tableau 2. Influence des différentes doses de phosphore sur la densité de peuplement (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	500,074	3	166,691	23,77	0,034	0,991
Error	98737,179	20	4936,859			
Total	99237,253	23				

Tableau 3. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épis par m² (Fosfacyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	84450,197	3	28150,066	12,17	3,198	0,046
Error	176060,158	20	8803,008			
Total	260510,355	23				

Tableau 4. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre d'épis par m² (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	36485,149	3	12161,716	17,56	3,309	0,041
Error	73498,439	20	3674,922			
Total	109983,588	23				

Tableau 5. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de grains /épi (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	598,508	3	199,503	7,11	9,309	0,000
Error	428,616	20	21,431			
Total	1027,124	23				

Tableau 6. Influence des différentes doses de phosphore sur le nombre de grains/ épi (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	465,211	3	155,070	8,37	2,505	0,088
Error	1237,970	20	61,898			
Total	1703,181	23				

Tableau 7. Influence des différentes doses de phosphore sur le poids de 1000 grains (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	68,102	3	22,701	8,89	19,815	0,000
Error	22,912	20	1,146			
Total	91,014	23				

Tableau 8. Influence des différentes doses de phosphore sur le poids de 1000 grains (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	114,688	3	38,229	8,4	16,661	0,000
Error	45,890	20	2,294			
Total	160,578	23				

Tableau 9. Influence des différentes doses de phosphore sur le rendement en grain (q/ha) (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	8014,935	3	2671,645	26,42	13,326	0,000
Error	4009,571	20	200,479			
Total	12024,506	23				

Tableau 10. Influence des différentes doses de phosphore sur le rendement en grains (q/ha) (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	5279,159	3	1759,720	24,74	6,595	0,003
Error	5336,590	20	266,829			
Total	10615,749	23				

Annexe 5.

Tableau 1. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche (g/m^2) (stade fin tallage) (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	54483,917	3	18161,306	22,31	5,373	0,007
Error	67598,033	20	3379,902			
Total	122081,950	23				

Tableau 2. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche (g/m^2) (stade fin tallage) (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	79993,698	3	26664,566	25,83	8,231	0,001
Error	64789,719	20	3239,486			
Total	144783,418	23				

Tableau 3. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche (g/m^2) (stade floraison) (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	590769,635	3	196923,212	21,17	8,898	0,001
Error	442628,944	20	22131,447			
Total	1033398,579	23				

Tableau 4. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche (g/m^2) (stade floraison) (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	194680,545	3	64893,515	13,33	6,483	0,003
Error	200186,574	20	10009,329			
Total	394867,119	23				

Tableau 5. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche (g/m^2) (stade maturité) (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	1163534,541	3	387844,847	34,26	1,564	0,229
Error	4959860,892	20	247993,045			
Total	6123395,433	23				

Tableau 6. Influence des différentes doses de phosphore sur la production de matière sèche (g/m^2) (stade maturité) (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	616067,608	3	205355,869	29,76	1,440	0,261
Error	2852498,675	20	142624,934			
Total	3468566,282	23				

Annexe 6.

Tableau 1. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur en azote du blé (% MS) (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	0,056	3	0,019	8,47	5,367	0,007
Error	0,069	20	0,003			
Total	0,125	23				

Tableau 2. Influence des différentes doses de phosphore sur la teneur en azote du blé (% MS) (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	0,053	3	0,018	8,71	4,566	0,014
Error	0,077	20	0,004			
Total	0,130	23				

Tableau 3. Influence des différentes doses de phosphore sur l'exportation en azote du blé (kg/ha) (Fosfactyl)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	605751,229	3	201917,076	24,29	8,470	0,001
Error	476792,178	20	23839,609			
Total	1082543,407	23				

Tableau 4. Influence des différentes doses de phosphate sur l'exportation en azote du blé (kg/ha) (SSP)

Analysis of Variance						
Source	Type III SS	Df	Mean Sq.	Cv%	F	Prob.
Model	211006,269	3	70335,423	16,24	5,908	0,005
Error	238089,341	20	11904,467			
Total	449095,611	23				