

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département des Sciences Agronomiques



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

*En Vue De L'obtention Du Diplôme D'ingénieur d'Etat
Spécialité : Agronomie Saharienne
Option : phytotechnie*

THEME

EFFET DE LA FERTILISATION PHOSPHATÉE
SUR QUELQUES PARAMETRES BIOMETRIQUES
ET BIOCHIMIQUE DU BLÉ

Présenté et soutenu publiquement par :

Mr : ALHACHEMI Mohammed

DEVENT LES JYRY :

Président	Mr. DADDI BOUHOUN.M.	M.C.A. U. K.M. Ouargla.
Promoteur	Mme. BOUKHALFA.DERAOUI . N.	M.A.A. U. K.M. Ouargla
Co-Promoteur	M ^{elle} . Salhi .N.	M.C.A. U. K.M. Ouargla
Examineur	Mr. BELAROUSSI M.	M.A.A. U. K M. Ouargla.
Examineur	M ^{elle} .OUSTANI. M.	M.A.A. U. K M. Ouargla.

Année Universitaire : 2013/2014

LISTE DES ABRÉVIATIONS

V1: variété carioca.

V2: variété Virton.

Bloc : répétition.

P : phosphore.

mg/kg : mélli gramme par kilogramme.

Chl a : chlorophylle **a**.

Chl b : chlorophylle **b**.

Chl a+b : chlorophylle **a+b**.

D : les doses.

MF : matière frais.

MS : matière sec.

SSP : Simple super phosphate.

nm : nano mètre

µg: macro gramme.

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
01	Cycle de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000)	09
02	Dispositif expérimental	24
03	Effet de différentes doses de phosphore sur le nombre de racines des variétés Carioca et Virton âgées de 45 jours.	32
04	Effet de différentes doses de phosphore sur la longueur des racines des variétés Carioca et Virton âgées 45 jours	32
05	Effet de différentes doses de phosphore sur le nombre des feuilles des variétés Carioca et Virton âgées 45 jours.	34
06	Effet de différentes doses de phosphore sur la longueur des feuilles variétés Carioca et Virton âgées 45 jours	34
07	Effet de différentes doses de phosphore sur le poids frais total chez les plantes Carioca et Virton âgées 45 jours	36
08	Effet de différentes doses de phosphore sur le poids frais des racines chez les plantes Carioca et Virton âgées 45 jours	36
09	Effet de différentes doses de phosphore sur le poids frais des feuilles chez les plantes Carioca et Virton âgées 45 jours	38
10	Effet de différentes doses de phosphore sur le poids sec total chez plantes Carioca et Virton âgées 45 jours	38
11	Effet de différentes doses de phosphore sur le poids sec des racines chez plantes Carioca et Virton âgées 45 jours	40
12	Effet de différentes doses de phosphore sur le poids sec des feuilles chez plantes Carioca et Virton âgées 45 jours	40
13	Effet de fertilisation phosphatée sur la teneur en chlorophylle <u>a</u> (Ug/100g MF) dans les de blé dur, variétés (carioca et Virton)	42
14	Effet de fertilisation phosphatée sur la teneur en chlorophylle <u>b</u> (Ug/100g MF) dans les de blé dur, variétés (carioca et Virton)	42
15	Effet de fertilisation phosphatée sur la teneur en chlorophylle <u>a</u> + <u>b</u> (Ug/100g MF) dans les de blé dur, variétés (carioca et Virton)	44
16	Effet de fertilisation phosphatée sur la teneur en proline (ug/100g MF) dans les de blé dur, variétés (carioca et Virton)	44

Liste des photos

Photo	Titre	Page
01	La serre de nébulisation vitrée	21
02	Plantes de variété Virton âgées d'une semaine	25
03	Plantes de variété carioca âgées d'une semaine	25
04	Plantes de variété Carioca Âgées 45jours	28
05	Plantes de variété Virton Âgées 45jours	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
01	Caractéristiques des deux variétés étudiées	22
02	Caractéristiques physiques et chimiques de l'eau d'irrigation	23
03	Influence du phosphore et du génotype sur le nombre de racines	31
04	Influence du phosphore et du génotype sur la longueur des racines (cm)	31
05	Influence du phosphore et du génotype sur le nombre de feuilles	33
06	Influence du phosphore et du génotype sur la longueur des feuilles	33
07	Influence du phosphore et du génotype sur le poids frais total (g)	35
08	Effet de différentes doses de phosphore sur le poids frais des racines(g)	35
09	Effet des traitements de phosphore sur le poids frais des feuilles(g)	37
10	Effet des traitements de phosphore sur le poids sec total(g)	37
11	Effet des traitements de phosphore sur le poids sec de racine(g)	39
12	Effet des traitements de phosphore sur le poids sec de feuille(g)	39
13	Effet des traitements de phosphore sur la teneur chlorophylle a	41
14	Effet des traitements de phosphore sur la teneur chlorophylle b	41
15	Effet des traitements de phosphore sur la teneur chlorophylle a+b	43
16	Effet des traitements de phosphore sur la teneur en proline	43

Introduction

Les céréales sont des espèces cultivées pour leurs grains. Elles contiennent un albumen amylicé réduit en farine, il est consommable par l'homme et les animaux domestiques. Il s'agit principalement des céréales à paille, appartenant à la famille des Graminées : le Seigle, l'Avoine, le Blé, l'Orge et le Triticale, ainsi que le Riz, le Sorgho et le Millet.

En Algérie, le blé dur constitue un élément essentiel dans la structure de la consommation des céréales, il contribue énormément aux apports caloriques et protéiques de la population dans l'ensemble du pays.

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie algérienne, il couvre $1,5 \times 10^6$ ha sur les 3×10^6 ha consacrés à la céréaliculture, le rendement est faible et irrégulier, il est de l'ordre de 8q/ha la production couvre près de 14% des besoins (MAZOUZ, 2006).

La réponse de blé dur, ou n'importe quelle espèce végétale dépend de l'espèce menacée, de sa variété, des conditions de culture et du stade de développement de la plante.

En matière de besoins des blés en éléments minéraux : Le phosphore est un macroélément essentiel qui joue un rôle capital dans le transfert d'énergie, le règlement métabolique, et l'activation de protéine (PRIYA et SAHI, 2009). Il se trouve dans la plante sous la forme de phospho-esters, comprenant les glucides phosphorylés qui jouent un rôle extrêmement important dans la photosynthèse et le métabolisme intermédiaire (HOPKINS, 2003). Son rôle rentre dans tous les processus de croissance et sa répartition dans les tissus est très inégale et augmente généralement avec la teneur en azote. (GERVY, 1970). Le phosphore a pour rôle de renforcer la résistance au froid et aux maladies des plantes et contribue à la croissance et au développement des racines, de la fructification et de la mise à graine, Le phosphore c'est un élément nutritif le plus utilisé par les plantes. Dans beaucoup de systèmes agricoles, le phosphore est un aliment minéral le plus limitant pour les plantes (RAMAEKERS et al, 2010). LAMBERT (1979), ajoute que le phosphore est considéré également 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.

Bennai , (2007) Le phosphore est un élément nécessaire à la croissance du blé, il agit sur le développement des racines en activant son démarrage, c'est également un facteur de précocité et de fructification. A la levée, le phosphore est nécessaire pour une bonne installation et démarrage de la culture et les besoins sont très élevés au stade épiaison.

La proline est un acide aminé exceptionnel, car l'atome d'azote du groupement aminé est incorporé dans un noyau (**benjamine.1998**).il est hydrophobe qui ne trouve pas facilement place dans une structure secondaire organisée (**Gerald karp, 2010**)

Donc l'objectif de ce travail d'étudier l'effet de phosphore sur les paramètres des croissances et les paramètres biochimiques

L'approche méthodologie: 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.

I. La biologie du blé

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).

1.1. Caractères botaniques

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

1.1.2. 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-noeud 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- noeuds, qui sont séparés par des structures denses appelées noeuds 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).

1.2- Les exigences agronomiques de la culture du blé :

1.2-1. 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 prévue. 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 première conséquence de semis est de préparer le lit de semence qui représente la phase la plus importante parmi toutes les phases de travail du sol.

L'objectif de cette préparation est d'obtenir un lit de semences peu rocheux sans trop fine pour assurer un bon contact grain-sol (BELAID, 1996)

La date de semis en Algérie selon le même auteur est située entre les deux mois novembre/décembre dans les régions humides et entre mi-novembre début de janvier dans les zones chaudes. On commence le semis par les variétés tardives et on termine par les variétés précoces. Pour le mode de semis ; on utilise un semoir en ligne pour assurer une rapidité du travail, une économie notable de la quantité des semences utilisées en hectare ainsi qu'une bonne localisation des grains en profondeur dans le sol (3 - 4 cm) (DETRAUX et OESTGES, 1979).

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.

2.2.2. 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.

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 vue 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).

1.3. Développement de la culture:

1.3.1. La période végétative:

1.3.1.1. 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.

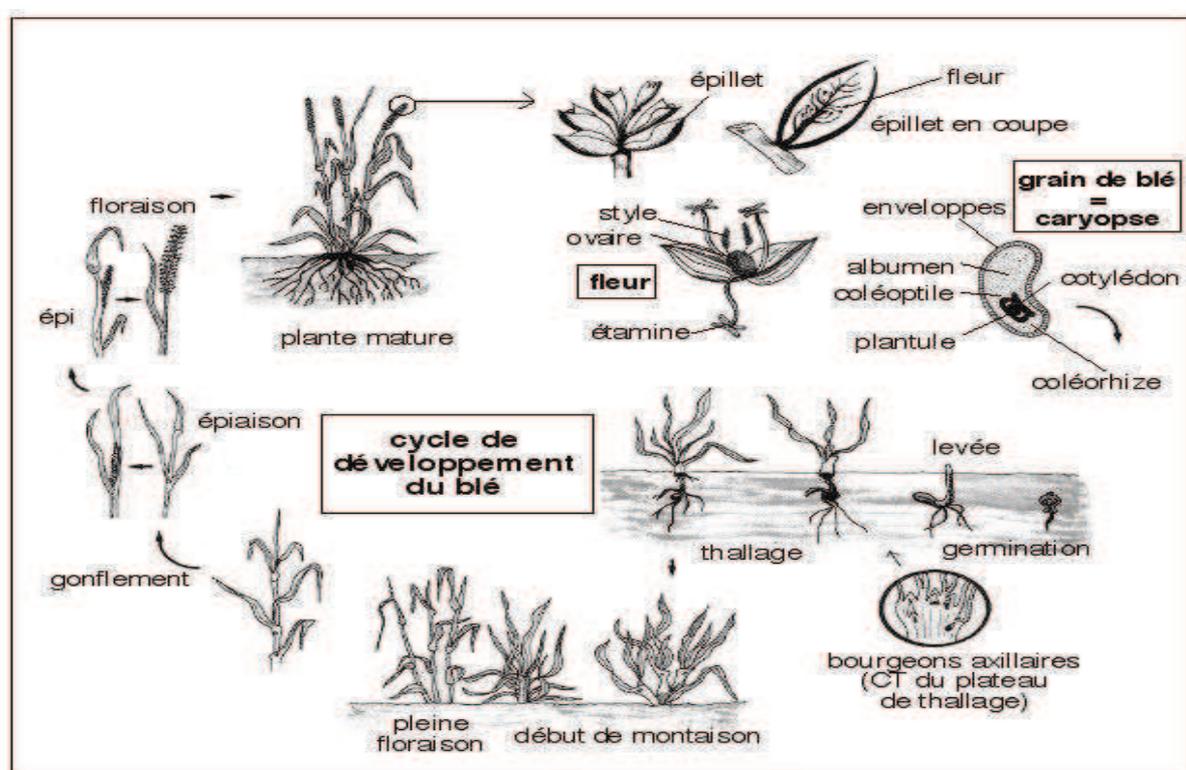


Figure 1. Cycle de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000)

1.3.1.2. 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 (MEKLCHE, 1983).

1.3.1.3. 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**).

1.3.2. La période reproductrice :

1.3.2.1. La phase montaison :

Elle débute lorsque les entrenœuds 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 reçue au moins 600° C. (base 0° C depuis la levée).

1.3.2.2. La phase épiaison :

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.

1.3.2.3. 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**).

1.3.2.4. 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.

II. Le Phosphore et le système Sol – Plante

2.1. Le phosphore et le végétal

2.1.1. 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.

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 P₂O₅ ; elle dépend enfin très faiblement de la présence d'autres éléments donnant lieu à des antagonismes avec l'acide phosphorique.

2.1.2. 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 chimio-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**).

2.1.3. 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).

2.1.4. 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 P₂O₅ voit sa végétation diminuée et sa floraison retardée (GERVY, 1970), donc la récolte peut diminuer jusqu'à 50% (BAEYENS, 1967).

2.2. Le phosphore dans le sol :

L'étude de la dynamique du phosphore dans les systèmes sol plante met en lumière les points suivants :

- le prélèvement du phosphore par les racines des plantes n'a lieu que sous forme d'ions ortho phosphates
- la concentration en phosphore de la solution du sol est seulement de l'ordre de 0.2 mg de phosphore par litre.

La plus grande partie du phosphore extrait du sol par les racines doit être libéré par différents compartiments de réserve du sol.

2.2.1. Les différents états du phosphore dans le sol

2.2.1.1. 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)

2.2.1.2. 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 quand elle est inférieure à 0.15‰.

2.2.2. 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**).

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

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**).

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

2.2.3. 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 (ortho phosphates) 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.

2.2.4. 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, 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.

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

2.2.5.1. 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_3^- n'apparaît qu'à $pH > 11$.

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-} . 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 (COMIFIER, 2002)

2.2.5.2. 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 CABBELL (1994), une certaine humidité est toujours nécessaire pour l'absorption des

Ions phosphatés par les plantes car la dessiccation diminue la solubilité des phosphates.

2.2.5.3. Le calcaire

2.2.5.3.1. 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.

2.2.5.3.2. 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 négatives sur la nutrition phosphatée de la plante.

2.2.5.4. 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.

2.2.5.5. 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.

2.2.6. 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).

III La Fertilisation Phosphatée

La fertilisation phosphatée a pour objectif de satisfaire les besoins en phosphore de la plante selon les objectifs de rendement et de qualité, et donc de compléter l'offre du sol en maintenant son potentiel de production.

La stratégie actuelle se fonde en premier lieu sur les besoins des plantes cultivées et ensuite sur la biodisponibilité en phosphore de la parcelle. Les critères principaux à prendre en compte sont : l'exigence en P₂O₅ de la culture, l'analyse de terre, le passé récent de fertilisation et les exportations de la culture.

3.1. Raisonnement de la fertilisation phosphatée :

La fertilisation a pour but essentiel d'entretenir la fertilité du sol pour satisfaire les besoins des cultures. Les principes actuels de la fertilisation découlent de trois lois fondamentales :

1. La loi des restitutions au sol.
- 2 .La loi des accroissements moins que proportionnel
- 3 .La loi d'interaction.

3.1.1. La loi des restitutions au sol :

Les exportations des éléments minéraux doivent être compensées par des restitutions pour éviter l'épuisement des sols. Cette règle est insuffisante pour trois raisons :

- de nombreux sols souffrent d'une pauvreté naturelle en un ou plusieurs éléments nutritifs et exigent d'être enrichis pour répondre à la définition de sol cultivé.
- le sol est exposé à des pertes d'éléments fertilisants par lessivage vers la nappe souterraine ou par ruissellement et érosion vers les eaux de surface.
- les plantes ont des besoins intenses en éléments nutritifs appelés « besoins instantanés » au cours de certaines périodes de leur cycle végétatif durant lesquelles les réserves mobilisables du sol peuvent être insuffisantes.

3.1.2. La loi des accroissements moins que proportionnels :

Quand on apporte au sol des doses croissantes d'un élément fertilisant, les rendements ne croissent pas proportionnellement. Cette loi se traduit par une courbe dont le sommet représente le rendement maximum possible. Le rendement optimum est atteint quand le gain de rendement couvre la dépense supplémentaire en engrais.

D'autres facteurs interviennent dans la notion de rendement optimum :

- La date et la qualité de la récolte qui influent sur le montant du revenu brut.
- Le mode d'apport des éléments fertilisants ; Par exemple, l'apport d'azote fractionné en deux ou trois fois sur blé donne de meilleurs résultats que l'apport en une seule fois.

Dans la recherche de meilleure efficacité de la fumure, il faut donc ajouter à la notion de quantité d'éléments apportés, celle de conduite de fertilisation.

3.1.3. La loi d'interaction :

L'importance du rendement d'une récolte est déterminée par l'élément qui se trouve en plus faible quantité par rapport aux besoins de la culture. L'analyse de terre permet généralement de découvrir le facteur limitant.

Cette loi d'interaction met en évidence l'interdépendance entre les différents éléments fertilisants et la nécessité d'atteindre une richesse suffisante du sol en tous éléments pour que le rendement optimum soit atteint.

L'interaction est dite positive lorsque l'effet exercé par un ensemble de deux facteurs est supérieur à la somme des effets de ces facteurs agissant séparément.

Ainsi, la satisfaction des besoins en potassium assure une plus grande efficacité des apports d'azote. L'interaction entre le phosphore et l'azote est également positive.

En ce qui concerne les éléments fertilisants, une synergie est également susceptible d'apparaître. Dans le sol, certaines formes d'éléments facilitent la mobilisation d'un autre élément. ainsi, le sulfate et le nitrate d'ammonium favorisent la solubilisation du P₂O₅ en sols alcalins.

3.2. 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.

3.4. 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.

Matériels et méthode

I. Présentations de station expérimentale

L'exploitation agricole de l'université de Ouargla (ex : I.T.A.S) a été créée en 1959, par le service colonial pour la mise en valeur, sous l'appellation de périmètre de "GARET-CHEMIA". Elle est située au sud-ouest d'Ouargla, à six kilomètres environ du centre-ville. Durant la première phase de la révolution agraire, le périmètre est passé en groupes de mise en valeur (G.M.V). En 1979, l'exploitation a été confiée à l'Institut Technologique d'Agriculture Saharienne (I.T.A.S).

1.1 Mise en place d'une serre de nébulisation vitrée

A la demande des enseignants doctorants, et à l'effet de faciliter les travaux de recherche, une serre de nébulisation vitrée a été installée. Actuellement nous sommes à la deuxième année en matière de concrétisation des travaux de recherche en utilisant les performances scientifiques mises à disposition grâce à cette serre.



Photos1 : La serre de nébulisation vitrée

II. Matériel d'étude

2.1. Substrat de culture

Le substrat utilisé est du sable lavé et stérilisé avant son utilisation selon les étapes suivantes:

- D'abord, le sable est trempé dans l'esprit de sel (acide chlorhydrique) $H_3O^+Cl^-$ pendant 15 mn pour éliminer les sels comme les carbonates.
- Puis nous l'avons rincé plusieurs fois à l'eau distillée dans le but d'éliminer toute trace de sels. Pour y vérifier, nous avons ajouté 3 gouttes de solution de nitrate d'argent (5%) à l'eau du dernier rinçage.
- Le sable est ensuite séché à l'air libre

2.2. Matériel végétal

Nous avons utilisé pour notre expérimentation deux variétés de blé dur *Triticum durum* L, var. Vitron et Carioca, dont les caractéristiques sont rapportées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des deux variétés étudiées

Variétés	Caractéristiques
Virton	Originare d'Espagne, paille haute à moyenne, cycle végétatif demi-précoce, tallage moyen, mieux adaptée aux régions arides et semi-arides, peu sensible aux maladies, bonne productivité (¹ Bouthiba A, ² Debaeke P)
Carioca	Alternative: printemps, précocité: très précoce, Hauteur: moyenne poids 1000 graines 60g, Origine France (S. D. F 1999)

2.3. Caractéristiques des pots

Les pots utilisés sont caractérisés par un diamètre de 13 cm et une hauteur de 12 cm, soit un volume d'environ 1592 cm³.

2.4. Engrais testé

SSP (Simple super phosphate) C'est un engrais phosphaté simple, composé de 20 % d'anhydride phosphorique total. Il constitue une bonne source de phosphore avec une solubilité dans l'eau variant entre 85% et 90%.

Le SSP Contient également deux éléments secondaires : Calcium (28 %) et du soufre (12%), et des oligoéléments : Bore (61 ppm), fer (2134 ppm), manganèse (27 ppm), zinc (127 ppm), cuivre (02 ppm).

2.5. Eau d'irrigation

L'eau d'irrigation utilisée est celle du forage de l'exploitation de l'université kasdimerbah, pompée à partir de la nappe miopliocène d'une profondeur de 68m, avec un débit 18 l/s, une température de 18°C.

Tableau 2. Caractéristiques physiques et chimiques de l'eau d'irrigation

Paramètres	pH	C.E. ms/cm	Éléments (meq/l)						SAR	
			Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ³⁻	Mg ²⁺		Ca ²⁺
Eau d'irrigation	7,81	3,17	590	29	956,2	1050	99,13	129,2	330	6,94

Source : ANRH, 2011 in Djeghbala, 2011

Selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation (Durand, 1983), l'eau utilisée appartient à la classe C₄S₂ qui présente une sévérité légère. L'indice SAR est de 6,94 (tableau 2).

III. Méthode d'étude

3.1. Protocole expérimental

L'objectif de cette expérimentation est d'étudier l'effet de quatre doses de phosphore 0, 20, 40 et 60 mg P_2O_5 /kg de sol sur la croissance de deux variétés de blé dur, (*Triticum durum* Var. *Carioca*, *Triticum durum* Var. *Vitron*) conduites en conditions semi-contrôlées.

3.1.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est en blocs factoriel bloc à deux facteurs étudiés (Variétés X doses de phosphore) répétés cinq fois (figure 1).

3.1.2. Conditions de déroulement de l'essai :

Notre essai est conduit sous serre au niveau de l'exploitation de l'université Kasdi Merbah.

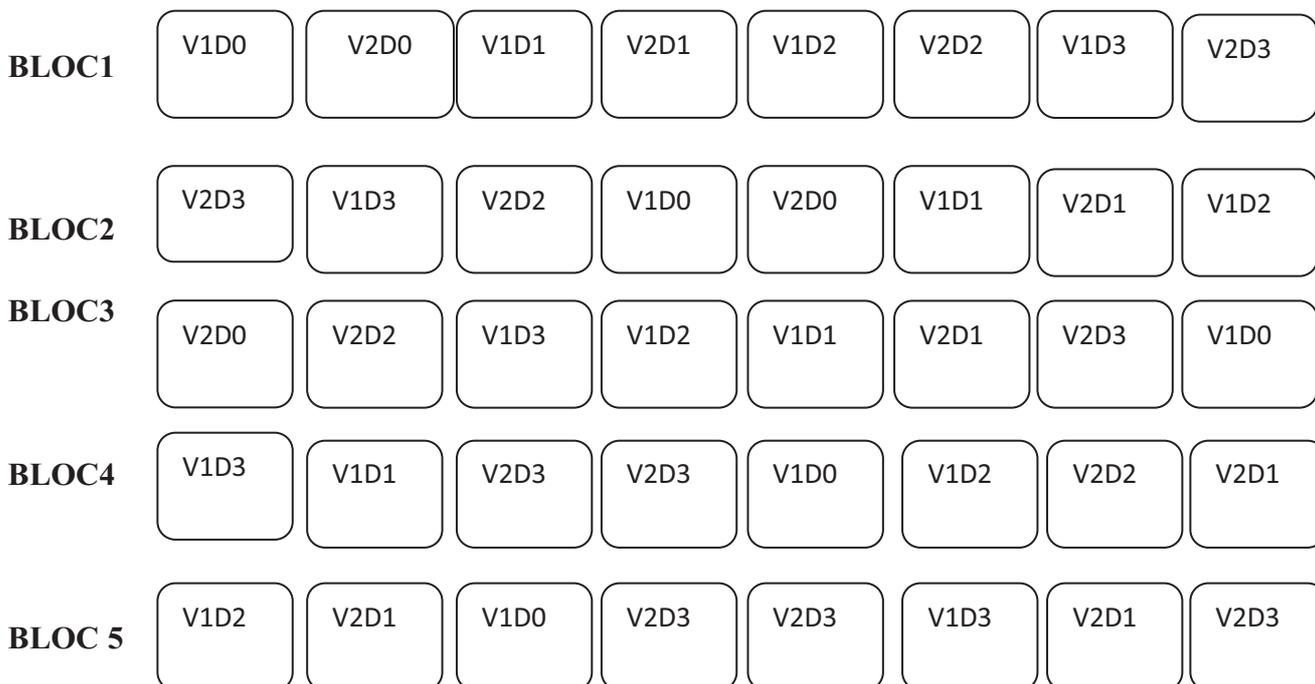


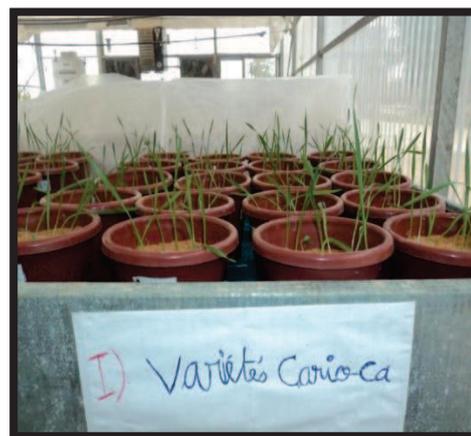
Figure2. Dispositif expérimental

V1: Carioca

V2: VirtonD : dose



**Photo2. Plantes de variété vitron
âgées d'une semaine**



**Photo 3. Plantes de variété carioca
âgées d'une semaine**

3.1.3. Quantité d'eau apportée

Pour déterminer la capacité de rétention du sol, nous avons pris trois (3) pots en plastique qui sont remplis de 100g de substrat (PS). Arrosés jusqu'à saturation, une seconde pesée (PH) est faite 24 h après ressuyage de l'eau. La capacité de rétention est déterminée par la relation suivante :

$$CR = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

CR : capacité de rétention

PS : poids sec

PH : poids humide

CR = 18ml / pour 100g de substrat (sable).

18 ml → 100 g

X → 1095 g

X = 197,1 ml

Pour : 30% → 59,13 ml

Pour : 60% → 118,3 ml

Durée de l'essai en stade de tallage

3.1.4. Calcul des quantités d'engrais

$$M = da \times P \times S$$

M : poids d'1 ha de sol.

da : densité apparente (1,3)

P : profondeur 12 cm = (0,12 m)

S: surface (1ha).

$M = 1,3 \times 0,12 \times 10000 = 1560 \text{ m}^3$ Sachant que 1 tonne = 10^3 Kg et $1 \text{ m}^3 = 1 \text{ tonne}$ Poids d'1ha du sol
= 1560 tonnes = $1560 \times 10^3 \text{ kg}$

Exemple de calcul :

Phosphore

L'engrais simple super phosphate (SSP) dose 20% de P_2O_5

Prenant comme exemple la dose 30 kg/ha :

$30 \text{ kg } \text{P}_2\text{O}_5 / \text{ha} \rightarrow 1560000 \times 10^3 \text{ kg}$

X \rightarrow 1kg

X = 20mg P_2O_5 / 1kg de sol

Azote

L'engrais utilisé est l'Urée (46%). La quantité apportée durant l'expérimentation est de 40kg/ha.

$40 \text{ kg N/ha} \rightarrow 1560000 \times 10^3 \text{ kg de sol}$

X \rightarrow 1kg de sol

X = 40mg N / 1kg de sol

Potassium

L'engrais apporté est le sulfate de potassium (50%), nous avons appliqué 50 kg/ha.

$50 \text{ kg } \text{K}_2\text{O/ha} \rightarrow 1560000 \times 10^3 \text{ kg de sol}$

X \rightarrow 1kg de sol

X = 26mg P / 1kg de sol

3.1.5. Pré germination des graines

Le semis a été réalisé le 19/02/2014 dans huit boîtes de pétri, quatre boîtes pour chaque variété, et chaque boîte porte environ 50 graines. Les boîtes sont fermées et mises dans l'étuve à 25°C pendant 24 h.

3.1.6. Préparation des pots

Chaque pot est rempli de 1000g de sable lavé, et semencé d'un nombre de 10 grains pré germés à une profondeur de 1cm, puis arrosés.

3.2. Paramètres étudiés

3.2.1. Paramètres de croissance

L'ensemble des paramètres étudiés sont mesurés sur la totalité des plantes (au nombre de 10) de chaque pot.

3.2.1.1. Nombre de racines

Ce paramètre est mesuré en faisant le comptage de l'ensemble des racines de chaque plante.

3.2.1.2. Longueur des racines

La longueur des racines est mesurée à partir du col jusqu'à l'extrémité de la plus longue racine.

3.2.1.3. Nombre de feuilles

La détermination du nombre de feuilles est réalisée en comptant le nombre de feuilles total de chaque plante.

3.2.1.4. Longueur des feuilles

A l'aide d'une règle graduée, la mesure débute du col jusqu'à l'extrémité de la plus longue feuille de chaque plante.

3.2.1.5. Evaluation de la biomasse

Les plantes sont lavées à l'eau distillée pour éliminer toutes les particules du sol, puis séchées avec du papier filtre. Nous avons séparé la partie racinaire de la partie foliaire pour qu'on puisse les pesées séparément à l'aide d'une balance de précision. Le poids sec des deux parties est obtenu après passage à l'étuve pendant 24 heures à une température de 80°C.



Photo4. Plantes de variété Carioca
Âgées 45jours



Photo5. Plantes de variété Vitron
Âgées 45jours

3.2.2. Paramètres biochimiques

3.2.2.1. Teneur en chlorophylles des feuilles

Extraction et séparation des pigments chlorophylliens On a utilisé un poids déterminé de 1 g de matière fraîche, découpé et broyé dans un mortier, puis incubé dans 20 ml d'acétone (80%). Les pigments solubles dans les solvants organiques sont extraits après filtration pour éliminer les débris cellulaires ; on obtient une solution brute de pigments (Rao blanc, 1965), et la lecture est effectuée directement après la filtration.

Lecture au spectrophotomètre

L'extrait contenant les pigments a été mesurée par spectrophotométrie à deux longueurs d'onde 663 nm et 645 nm, les pigments chlorophylliens (a, b et a+b) contenus ont été calculées par les équations suivantes :

$$\text{Chlorophylle(a)} = 12.7 (D_0 \ 663) - 2.69 (D_0 \ 645)$$

$$\text{Chlorophylle(b)} = 22.9 (D_0 \ 645) - 4.86 (D_0 \ 663) \text{ (Hiscot et Israelstam, 1978)}$$

$$\text{Chlorophylls (a + b)} = 8.02 (D_0 \ 645) - 20.20 (D_0 \ 663) \text{ (Brown et White, 1986)}$$

3.2.2.2. Teneur en Proline des feuilles

Le dosage de la proline est réalisé selon la méthode de Monneveux et Nemmar (1986). L'expérience se fait sur des plantules de blé dur deux variété, carioca et vitron ; Le principe de la méthode consiste à prendre 100mg de matière fraîche, on couper en petit morceaux puis l'introduire dans un tube à essai ; ajoute ensuite 3ml de méthanol (80%) et chauffer le mélange au bain Marie à la température de 85°C Pendant 1 heure.

On procède ensuite au refroidissement : on prélève 1 ml de la solution en chaque tubes ajoute 1ml d'acide acétique et 1ml d'un mélange : (120 ml d'eau distillée ; 300 ml d'acide acétique, 80ml d'acide orthophosphorique) et 25mg de ninhydrine.

On met des tubes d'échantillon à ébullition pendant 30 min jusqu'à la coloration au rouge ; on refroidit la solution puis on ajoute 5 ml de toluène. Puis on procède à l'agitation du mélange, on obtient deux phases, la supérieure contenait la proline et la phase inférieure ne contient pas la proline, on aspire la phase supérieure de chaque tube et on procède à sa déshydratation grâce à e et l'introduction du Na₂S. Ensuite on fait la lecture à une longueur d'onde de 528 nm.

La courbe d'étalonnage est obtenue grâce à un mélange (acide acétique, eau distillée, Acide orthophosphorique et ninhydrine); l'équation permettant l'obtention de la courbe d'étalonnage est $Y=0,009X$

Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse de variance à l'aide du logiciel EXCEL STAT.

Résultats et discussion

1.1. Paramètres de croissance

Les résultats de l'analyse de variance montrent que le nombre de racines n'est pas influencé par la variété et l'interaction variété*dose, par contre les doses du phosphore ont eu un effet hautement significatif ($0,01 > P > 0,001$) (Annexe 1).

Le nombre de racines le plus élevé est favorisé par la dose 40 mg P/kg et la plus faible valeur obtenue avec la dose 20mg/kg.

Tableau 3. Influence du phosphore et du génotype sur le nombre de racines

Doses (mg/kg) \ Variété	D0	D20	D40	D60	Moyenne
Carioca	5,53	4,13	6,46	4,86	5,245
Virton	5,26	4,06	5,53	5,06	4,9775
Moyenne	5,395	4,095	5,995	4,96	5,111

Selon la figure 3, les résultats obtenus montrent que le nombre de racine augmente de façon irrégulière entre les doses D20, D40, et D60. Quelque la variété, les valeurs moyennes les plus élevées sont obtenues par la dose D40 avec un nombre de racine de 5,995 alors que la dose D20 a enregistré les valeurs moyennes les plus faibles avec un nombre de 4,095.

1.1. Longueur moyenne des racines (cm)

L'étude statistique indique que la variété, la dose de phosphore ainsi que leur interaction n'ont pas eu d'effets significatifs sur la longueur des racines (Annexe 1).

Tableau 4. Influence du phosphore et du génotype sur la longueur des racines (cm)

Doses (mg/kg) \ variété	D0	D20	D40	D60	Moyenne
Carioca	16,13	23,22	19,66	21,1	20,03
Virton	17,68	19,23	18,03	17,76	18,17
Moyenne	16,905	21,225	18,845	19,43	19,10

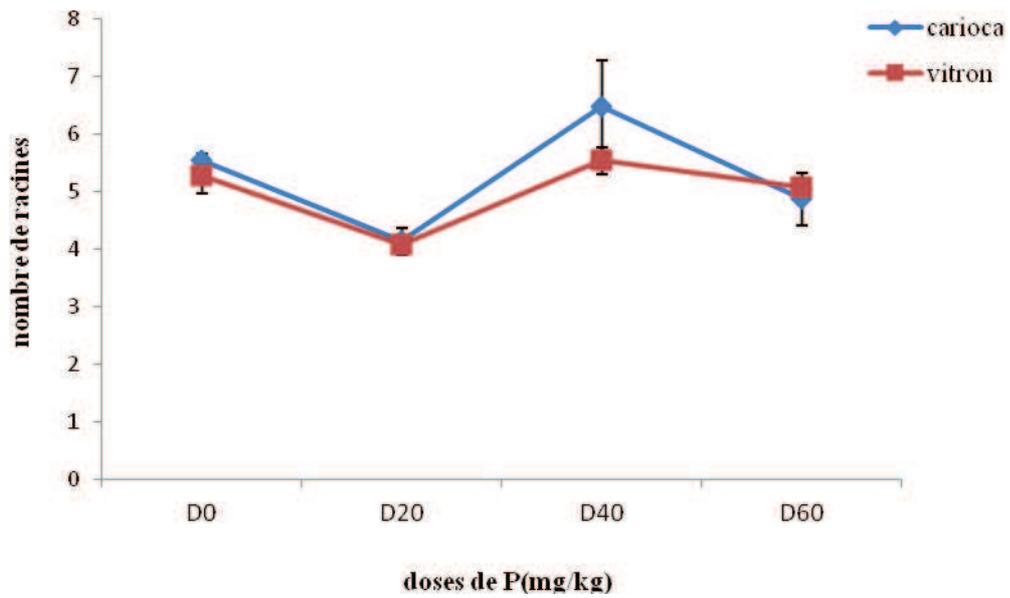


Figure 3. Effet de différentes doses de phosphore sur le nombre de racines des variétés Carioca et Virton âgées de 45 jours.

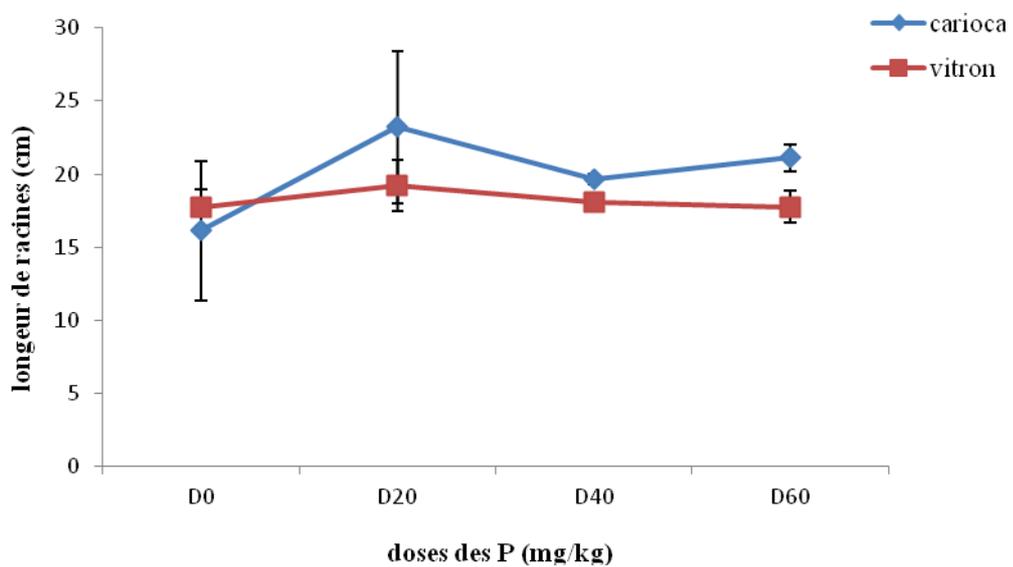


Figure 4. Effet de différentes doses de phosphore sur la longueur des racines des variétés Carioca et Virton âgées de 45 jours.

La figure 1 montre que chez la variété Vitron, il ya une légère variation de la longueur des racines en fonction des doses de phosphore. Par contre chez Carioca, les traitements fertilisés favorisent une meilleure croissance en longueur des racines par rapport aux traitements non fertilisés. La dose d20 a donné le meilleur résultat 23,22 cm (Tableau 4).

1.2 Nombre moyen des feuilles

Les résultats du nombre de feuilles par plante est influencé de façon significative par le type de variété, les doses de phosphore et leur interaction (Annexe 1).

Tableau 5. Influence du phosphore et du génotype sur le nombre de feuilles

Doses (mg/kg) Variété	D0	D20	D40	D60	Moyenne
Carioca	4,6	4	4,73	5	4,582
Vitron	4	4,86	4,66	4	4,38
Moyenne	4,3	4,43	4,695	4,5	4,481

La variété Carioca (4,582 feuilles/plante) et la dose 40 mg P/kg (4,695 feuilles/plante) ont donné les meilleures valeurs. La combinaison Carioca*D60 a produit le nombre de feuilles le plus élevé en enregistrant 5 feuilles/plante (Tableau 5, Figure5).

1.2. Longueur moyenne des feuilles (cm)

Des différences très hautement significatives sont enregistrées entre les traitements sous l'effet des variétés et les doses étudiés (Annexe 1). La variété Carioca et la dose 20 mg P/kg ont donné les meilleures longueurs de feuilles avec 31,9 cm et 26,9 cm respectivement (Tableau 6). La meilleure interaction est obtenue avec Carioca*D40 (32,98 cm), en dépassant la plus faible interaction Vitron*D60 (14,6 cm) de 55,73%.

Tableau 6. Influence du phosphore et du génotype sur la longueur des feuilles (cm)

Doses (mg/kg) Variété	D0	D20	D40	D60	Moyenne
Carioca	31,1	31,7	32,98	31,84	31,90
Virton	15,66	22,1	17,2	14,6	17,39
Moyenne	23,38	26,9	25,09	23,22	24,64

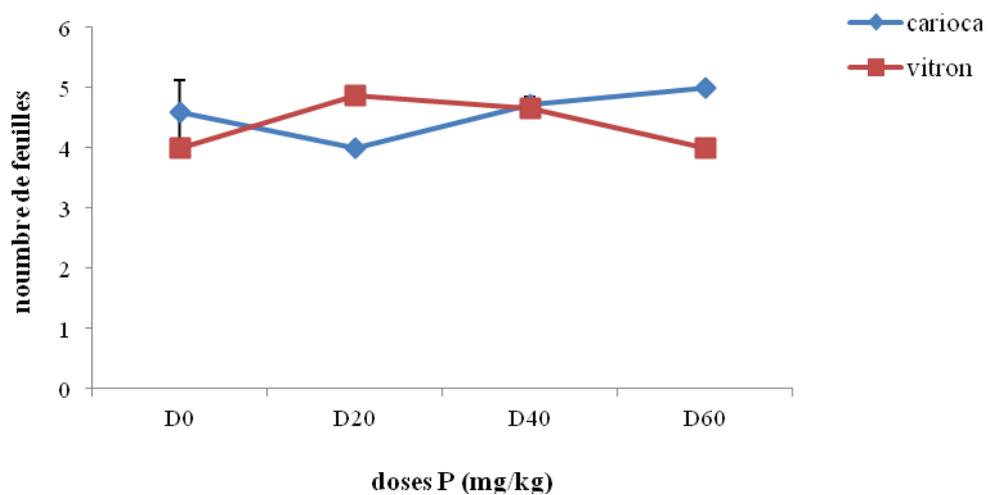


Figure 5. Effet de différentes doses de phosphore sur le nombre des feuilles des variétés Carioca et Virton âgées de 45 jours.

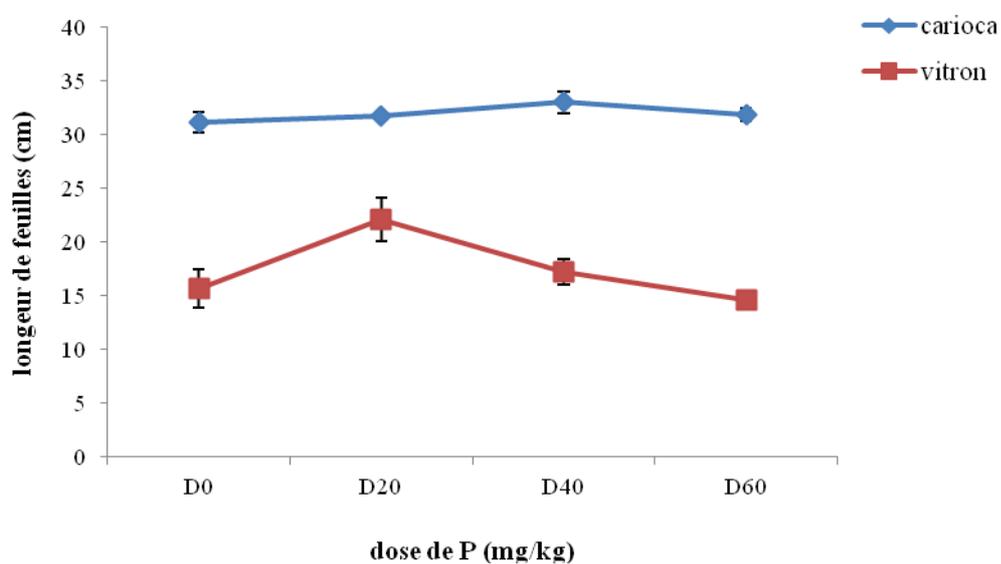


Figure 6. Effet de différentes doses de phosphore sur la longueur des feuilles variétés Carioca et Virton âgées de 45 jours.

La figure 6 montre que le développement foliaire est plus marqué chez Carioca par rapport à Virton soit un écart d'environ 50%.

1.3. Poids frais total (racines + feuilles)

Selon les résultats de l'analyse de variance (Annexe 1), il n'existe aucune différence significative entre les traitements étudiés.

L'interaction de la variété Carioca et la dose 20 mg P/kg ont donné le meilleur poids frais total avec 12,95g (Tableau 7, Figure 7).

Tableau 7. Influence du phosphore et du génotype sur le poids frais total (g)

Doses (mg/kg) variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	11,09	12,95	11,4	12,30	11,93
Virton	12,08	8,816	12,02	11,23	11,03
moyenne	11,58	10,88	11,71	11,77	11,48

1.6. Poids frais des racines

Des différences très hautement significatives sont enregistrées entre les traitements sous l'effet des variétés ($P < 0,001$) et l'interaction variété*dose ($P < 0,001$) (Annexe 1). La variété Carioca et la dose 40 mg P/kg ont donné les meilleures poids frais des racines avec 5,327 g et 6,248 g respectivement (Tableau 8). La meilleure interaction est obtenue avec Virton*D40 (6,603 g), qui dépasse les plus faibles interactions des deux variétés avec D20 (3,376g) d'environ 49% (Figure 8).

Tableau 8. Influence du phosphore et du génotype sur le poids frais des racines

Doses mg/kg Variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
Carioca	6,376	3,376	5,893	5,666	5,327
Virton	4,27	3,376	6,603	4,79	4,759
moyenne	5,323	3,376	6,248	5,228	5,043

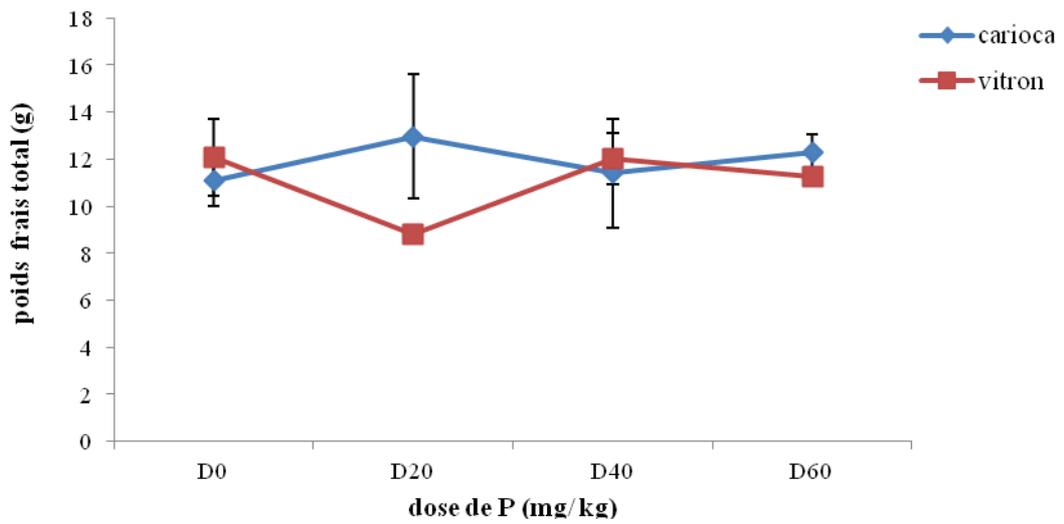


Figure 7. Effet de différentes doses de phosphore sur le poids frais total chez les plantes Carioca et Virton âgées de 45 jours

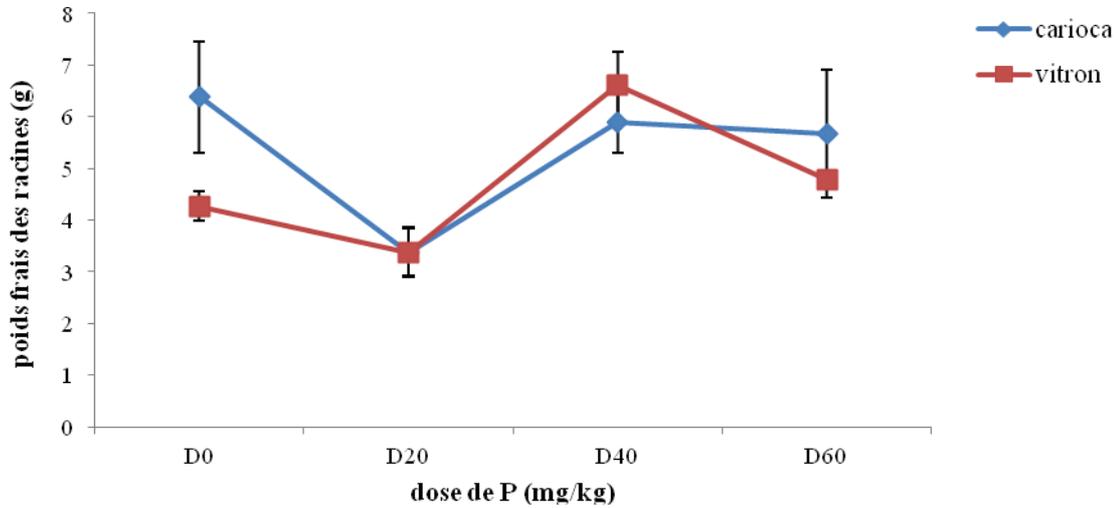


Figure 8. Effet de différentes doses de phosphore sur le poids frais des racines chez les plantes Carioca et Virton âgées de 45 jours.

1.7. Poids frais des feuilles

L'étude statistique indique que les doses de phosphore ont eu des effets très hautement significatifs sur le poids frais des feuilles (Annexe 1). La dose 60 mg/kg a produit une meilleure accumulation de biomasse foliaire (6,596 g),

Tableau 9. Influence du phosphore et du génotype sur le poids frais des feuilles (g)

doses (mg/kg) variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	5,46	6,02	6,906	6,4	6,197
Virton	5,41	5,16	6,286	6,586	5,865
moyenne	5,439	5,953	6,596	6,439	6,03

La figure 9 montre que chez la variété Carioca, le poids frais des feuilles augmente en fonction des doses de phosphore. Par contre chez Virton, les traitements fertilisés favorisent une meilleure croissance en poids frais des feuilles. La dose D60 a donné le meilleur résultat 6,439 g (Tableau 9).

1.8. Poids secs total (racines + feuilles)

Les résultats de l'analyse de variance indique des différences très hautement significatives sont enregistrées entre les traitements sous l'effet des variétés ($P < 0,001$) et l'interaction variété*dose ($P < 0,001$) du poids sec total (Annexe 1).

Tableau 10. Influence du phosphore et du génotype sur le poids sec total (g)

Doses (mg/kg) variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
Carioca	2,86	4,703	3,253	2,51	3,33
Virton	2,14	1,633	3,17	2,86	2,45
moyenne	2,5	3,168	3,211	2,691	2,89

La variété Carioca a donné le meilleures poids sec total avec 3,33 g (Tableau 10). La meilleure interaction est obtenue avec Carioca*D20 (4,703g), qui dépasse la plus faible Vitron*D20(1,633 g) d'environ 49,15% g (Figure 10).

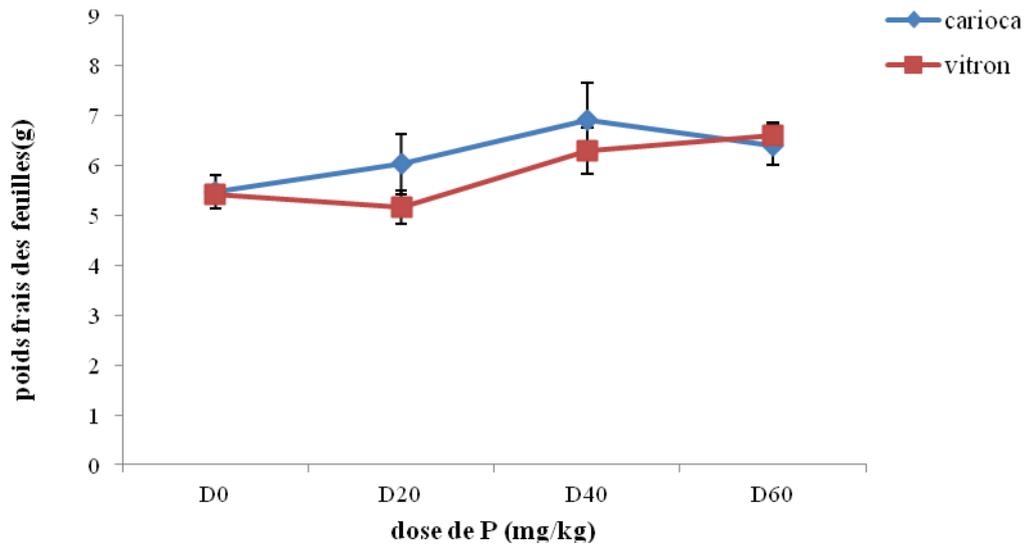


Figure 9. Effet de différentes doses de phosphore sur le poids frais des feuilles chez les plantes Carioca et Virton âgées 45 jours.

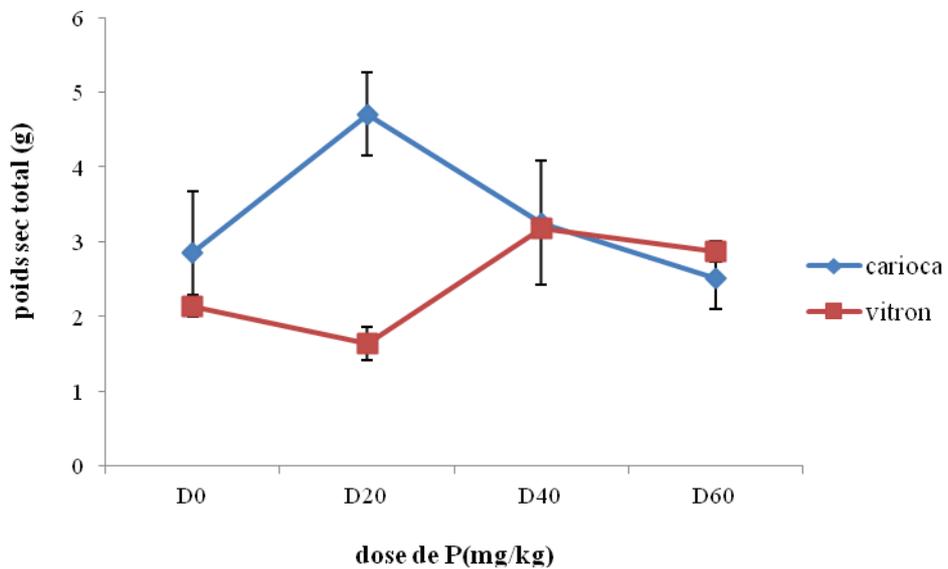


Figure 10. Effet de différentes doses de phosphore sur le poids sec total chez les plantes de Carioca et Virton âgées 45 jours.

1.9. Poids secs des racines

Des différences significatives sont enregistrées entre les traitements sous l'effet des variétés ($0,001 > P > 0,001$) et l'interaction variété*dose ($P < 0,001$) (Annexe 1). La variété Carioca et l'interaction Carioca*20 mg P/kg ont donné les meilleurs poids secs des racines avec 1,769 g et 2,806 g respectivement (Tableau 11). La plus faible interaction Vitron*D20 a produit 0,836 g, soit un écart d'environ 54,1% (Figure 11).

Tableau 11. Influence du phosphore et du génotype sur le poids sec des racines (g)

doses (mg/kg) \ variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	1,426	2,806	1,303	1,54	1,769
Virton	1,52	0,836	1,67	1,633	1,415
moyenne	1,473	1,821	1,486	1,586	1,592

1.10. Poids secs des feuilles (g)

Les résultats de l'analyse de variance montrent que le poids secs des feuilles n'est pas influencé par la variété, par contre les doses du phosphore et l'interaction variété*dose ont eu des effets significatifs et hautement significatif respectivement (Annexe 1). Le poids sec des feuilles le plus élevé est favorisé par la dose 40 mg P/kg (1,178 g) et la plus faible valeur obtenue avec la dose D0 (0,89 g) ; la meilleure interaction est obtenue par Vitron*D40 1,313 g (Tableau 12).

D'après la figure 12, les résultats obtenus montrent que les poids secs des feuilles évoluent de façon irrégulière avec les doses de phosphore.

Tableau 12 .Effet des traitements de phosphore sur le poids sec de feuille

doses (mg/kg) \ variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	0,87	1,28	0,796	1,14	1,023
Virton	0,91	0,75	1,313	1,21	1,045
moyenne	0,89	1,015	1,055	1,178	1,034

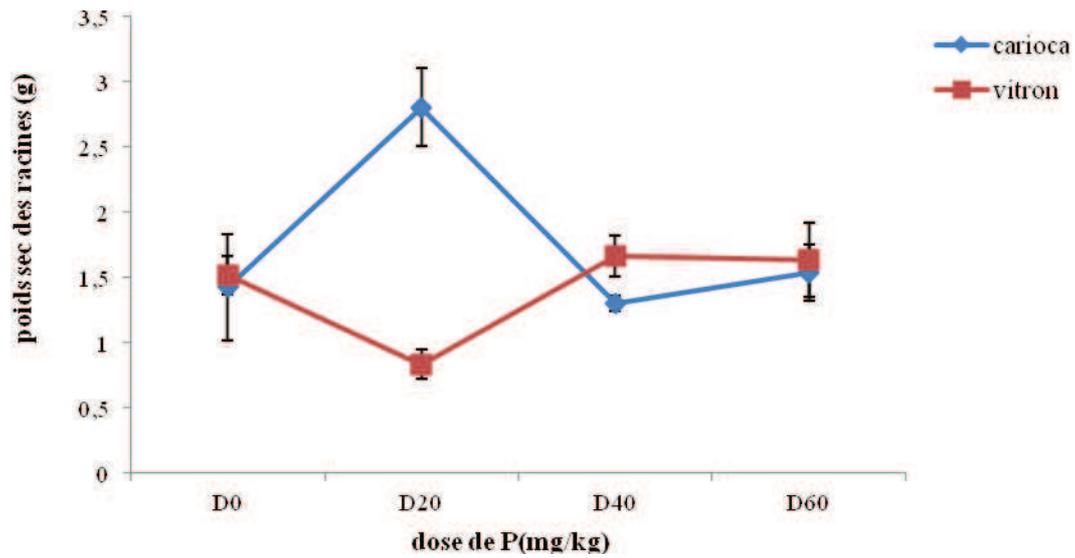


Figure 11. Effet de différentes doses de phosphore sur le poids sec des racines chez plantes Carioca et Virton âgées 45 jours.

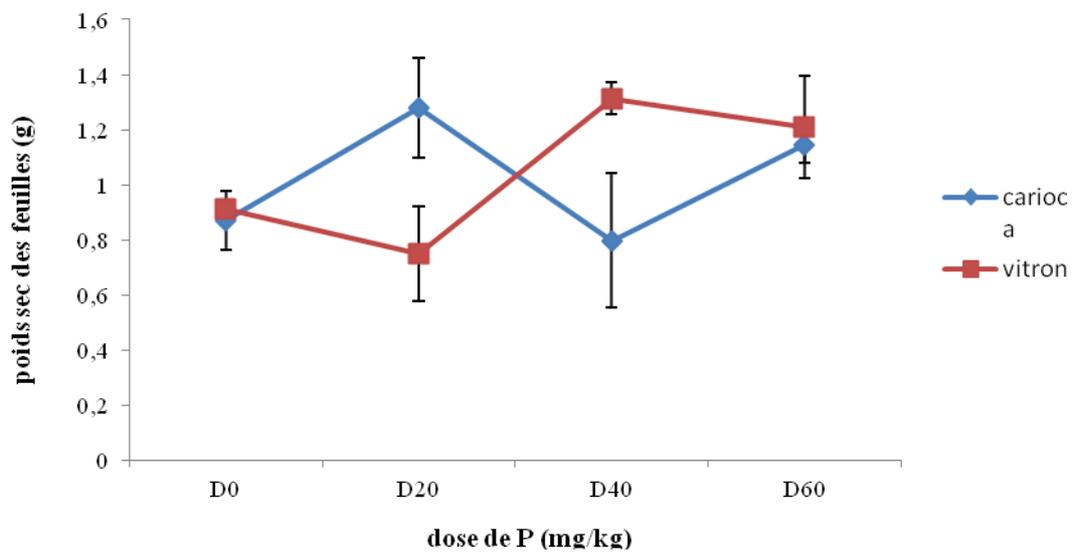


Figure 12. Effet de différentes doses de phosphore sur le poids sec des feuilles chez les plantes de Carioca et Virton âgées 45 jours.

2. Paramètres biochimiques

2.1. Teneur des en chlorophylle a (chl a)

L'étude statistique indique que les doses de phosphore ont eu des effets significatifs par contre les variétés et l'interaction variété* doses n'ont pas eu d'effets sur la teneur des chl a (Annexe 2). La dose 20 mg/kg a produit une meilleure valeur pour la chl a enregistré (6,09 µg/100g MF).

La figure 13 montre que chez les deux variétés, on assiste à une fluctuation sur la teneur en chl a en fonction des doses de phosphore. Les traitements fertilisés favorisent une meilleure synthèse de chl a. La dose D20 a donné le meilleur résultat avec 6,49(µg/100g MF) (Tableau 13).

Tableau 13. Effet des traitements de phosphore sur la teneur chlorophylle a

Doses (mg/kg) variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	4,86	5,69	3,89	5,83	5,0675
Virton	5,81	6,49	4,23	6,06	5,6475
moyenne	5,335	6,09	4,06	5,945	5,357

2.2. Teneur des feuilles en chlorophylle b (chl b)

La chlorophylle b est une forme de chlorophylle de couleur jaune qui absorbe essentiellement la lumière bleue et qui est davantage soluble en milieu aqueux de la chlorophylle a en raison de son groupe carbonyle.

L'étude statistique indique que les doses de phosphore ont eu des effets très hautement significatifs sur la teneur des chl b, par contre les variétés et l'interaction variété*doses n'ont pas eu d'effets (Annexe 2). La dose D20 mg/kg a produit une meilleure valeur de la chl b (4,83 µg/100g MF) (Tableau 14).

Tableau 14. Effet des traitements de phosphore sur la teneur chlorophylle b

Doses(mg/kg) variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	3,753	5,371	1,949	4,158	3,80
Virton	4,335	4,290	2,839	4,457	3,98
moyenne	4,044	4,830	2,394	4,307	3,89

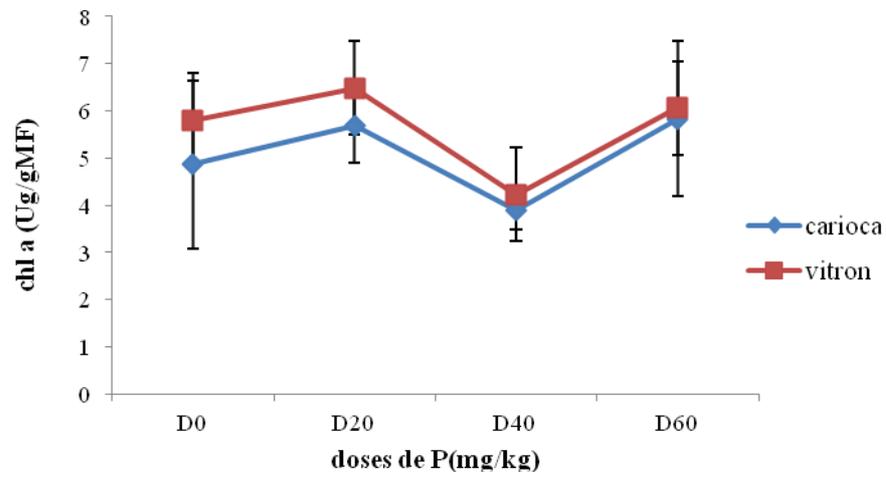


Figure 113. Effet de fertilisation phosphatée sur la teneur en chlorophylle a (Ug/100g MF) des feuilles des deux variétés (Carioca et Virton)

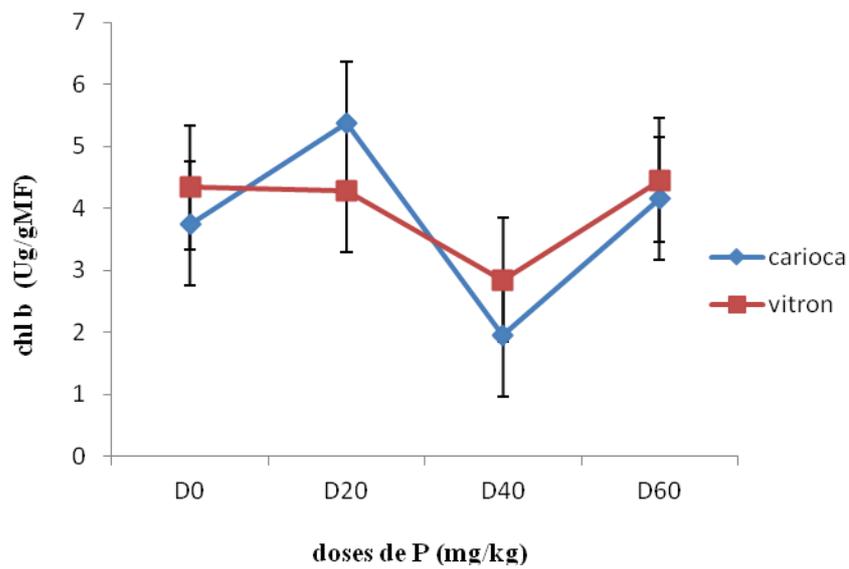


Figure 14. Effet de la fertilisation phosphatée sur la teneur en chlorophylle b (Ug/100g MF) des feuilles des deux variétés (Carioca et Virton)

La figure 14 montre que chez les deux variétés, on assiste à une fluctuation de la teneur en chl **b** en fonction des doses de phosphore. Les traitements fertilisés favorisent une meilleure croissance en chl **b**, La dose D20 a donné le meilleur résultat 4,83($\mu\text{g}/100\text{g MF}$) (Tableau 14).

2.3. Teneur en chlorophylle **a+b**

Des différences significatives sont enregistrées entre les traitements sous l'effet des variétés ($0,05 >P> 0,01$), les doses de phosphore ($P < 0,001$) et leur interaction ($0,01 >P> 0,001$) (Annexe 2). Les meilleures teneurs en chlorophylles totales sont enregistrées par la variété Virton, la dose 60 mg/kg et l'interaction Carioca*D60 avec 13,49 ($\mu\text{g}/100\text{g MF}$), 13,49($\mu\text{g}/100\text{g MF}$) et 16,96 ($\mu\text{g}/100\text{g MF}$) successivement (Tableau 15).

Tableau 15. Effet des traitements de phosphore sur la teneur chlorophylle **a+b**

Doses(mg/kg) variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	6,992	11,57	8,304	16,96	10,95
Virton	15,65	14,12	9,251	14,96	13,49
moyenne	11,32	12,84	8,778	15,96	12,22

2.4. Teneur en proline

L'étude statistique indique que les doses de phosphore ont eu des effets hautement significatifs sur le teneur en proline (Annexe 2). La dose D20 a produit la meilleure accumulation de proline (0,279 $\mu\text{g}/100\text{g MF}$).

Tableau 16. Effet des traitements de phosphore sur la teneur en proline

doses (mg/kg) variété	D0	D20	D40	D60	moyenne
carioca	0,344	0,328	0,057	0,024	0,18
Virton	0,170	0,230	0,031	0,169	0,15
moyenne	0,257	0,279	0,044	0,096	0,16

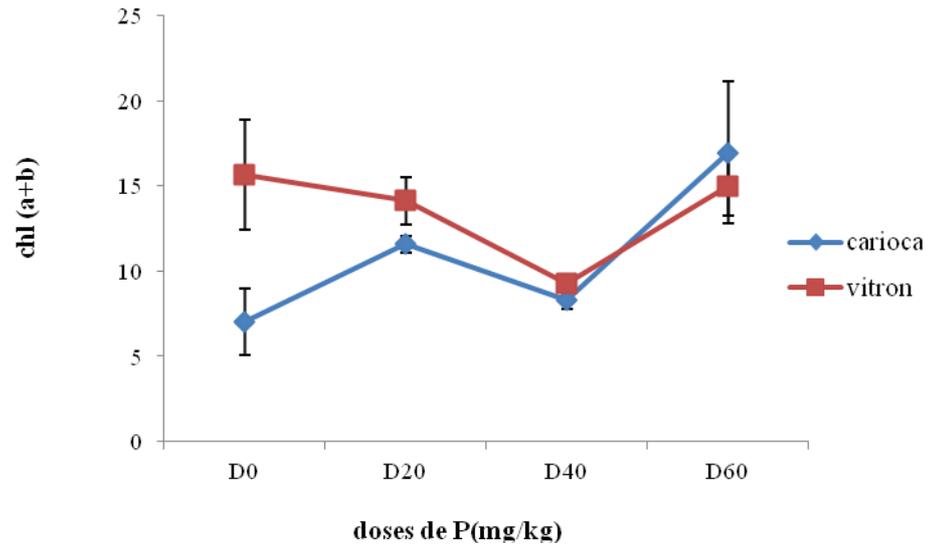


Figure 15. Effet de fertilisation phosphatée sur la teneur en chlorophylle (a+b) Ug/100g MF) des feuilles des deux variétés (Carioca et Virton)

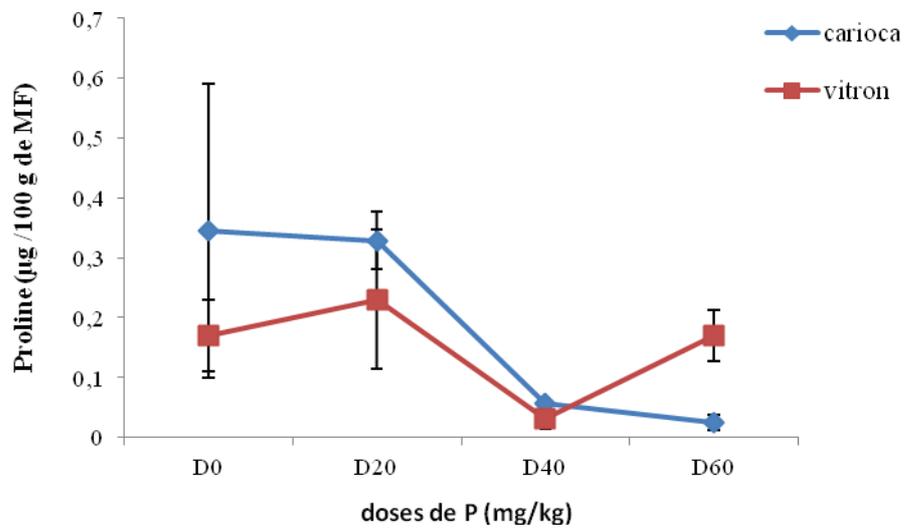


Figure 16. Effet de fertilisation phosphatée sur la teneur en proline (Ug/100g MF) des feuilles des deux variétés (Carioca et Virton)

Discussion

L'étude de l'effet d'un apport de P sur les paramètres de croissance et biochimiques des deux variétés de blé dur Carioca et vitron soumises à des conditions semi-controlées a donné les résultats suivants :

Le nombre des racines et des feuilles sont augmenté que la dose de phosphore est augmentée. Les travaux de **Hopkins (1999)** montrent que l'effet de phosphore stimule préférentiellement la croissance des racines comparée à celle des tiges feuilles.

La longueur racinaire et des feuilles sont également affectées par l'apport de phosphore, Chez la variété Carioca, la longueur des racines augmente avec l'accroissement des doses d'engrais phosphaté ; alors qu'on assiste à une fluctuation de ce paramètre chez la variété Virton. Des résultats similaires sont obtenus par **Kelly et al. (1979)** in Bouchlaghem (2012). Concernant la longueur des feuilles, on enregistre un effet de P plus marqué chez Virton que Carioca.

De même, nous avons remarqué que les valeurs du poids frais (racinaire et foliaire) les plus élevées sont obtenues par les plantes traitées par la dose D20 et D40(mg/kg P) chez les deux variétés. D'autre part nos résultats ont mis en évidence une augmentation du poids sec des racines et des feuilles de la variété Vitron et Carioca qui sont traitées par les dose D40 et D60. Nous avons marqué une accumulation de matière sèche chez Carioca par rapport à Vitron ; par contre l'étude de **Malki (2013)** a enregistré que la variété Vitron a produit plus de matière sèche que Carioca dans l'intervalle expérimental.

Concernant l'influence du phosphore sur les teneurs en chl a, chl b et chl a+b, varie en fonction des variétés, ces teneurs sont élevées chez plus élevées chez les vitrons par rapport à Carioca. La variabilité génétique a sa part de responsabilité, puisque quelque soit le paramètre étudié et la dose de phosphore apportée, la variété de vitron a donné les taux les plus élevés et présente une meilleure tolérance vis-à-vis les concentrations croissantes de P par rapport à la variété Carioca.

Sous un stress hydrique, une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur (**Bousba et al. 2009**). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (**Slyter, 1974**).

Les résultats de **Tahri et al, (1997)** révèlent une certaine proportionnalité, mais inverse, entre les teneurs en proline accumulées et les teneurs en pigments chlorophylliens perdues. Ainsi la variété qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît la plus forte diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (**Tahri et al, 1997**).

Plusieurs auteurs ont constaté une réduction des chlorophylles sous l'effet d'un stress salin (**Almeida viegas et al, 1999**). La réduction de la chlorophylle sous stress salin peut être attribuée à une augmentation de l'activité de l'enzyme de chlorophylle ou l'interruption de la structure fine du chloroplaste et l'instabilité du pigment (**Djanaguiraman et al, 2006**). De plus Albert et **Thornber (1977)** et **Bhardwaj et Sinhal (1981)**, indiquent que la réduction de la teneur en chlorophylle est liée à la diminution de la teneur de protéine thylacoïdale, qui est associée aux chlorophylles a et b.

Dans ce travail nous nous sommes également intéressés à la teneur en proline en présence du P avec deux variétés nous avons observé ainsi une diminution de ce paramètre en fonction de l'accroissement des doses de P.

Nos résultats non en parfait d'accord avec les travaux de **TAHRI et al. (1998)** qui ont montré l'évolution des teneurs en proline enregistrées pendant et après l'application du stress osmotique. Chez le blé il ya une grande accumulation de proline (**Reddy et Veeranjaneyulu, 1991**, cités par **kavi kishorl et al.2005**).

L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (**Blum et Ebercon, 1976, in Tahri et al. 1998**). Elle pourrait, également intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique (**Pesci . ;Beffagna, 1984 in Tahri et al. 1988**). L'accumulation de la proline constitue aussi un véritable mécanisme de tolérance au stress (**Slama et al.2004**)

Parallèlement à cette augmentation de la teneur en proline foliaire sous l'effet du stress, si l'accumulation d'ions minéraux joue un rôle essentiel dans la régulation osmotique au niveau de la vacuole, c'est par contre l'accumulation de composés organiques qui intervient principalement dans l'ajustement de pression osmotique cytoplasme-vacuole (**Stewart et Lee, 1974**). Certains auteurs, **Bellinger et al. (1991)** ont proposé de la proline comme technique de sélection.

L'accumulation de proline permet la protection de la membrane cellulaire et participe à l'ajustement osmotique, l'augmentation de proline est inversement proportionnelle à la teneur en eau dans les feuilles.

L'accumulation des solutés organiques (sucre, proline) n'est qu'un phénomène d'adaptation au stress, permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique, c'est une forme d'ajustement de son potentiel osmotique **(Monneveux, 1991)**.

Conclusion

A travers cet essai, nous avons mis en évidence l'effet de différentes doses de phosphore sur les paramètres morphologiques et les paramètres biochimiques chez deux variétés Carioca et Virton, soumises à quatre concentrations de phosphore, il ressort que :

La variation du nombre de racines et de feuilles est inversement proportionnel à l'accroissement des doses de Phosphore. Les longueurs des racines et des feuilles sont également affectées par l'apport de phosphore. Chez la variété Carioca, la longueur des racines augmente avec l'accroissement des doses de phosphore et la meilleure valeur est obtenue avec la dose D20 mg/kg. On assiste au même phénomène relatif à la longueur des feuilles avec la variété Carioca en dose D60mg/kg. On remarque que les poids frais (racinaire et foliaire) les plus élevés sont obtenus par les plantes traitées par la dose D60 chez la variété Carioca. La même constatation est faite pour la matière sèche chez la même variété en D20. Par ailleurs, les résultats obtenus pour le dosage des chlorophylles à savoir, la chlorophylle **a** et **b**, en particulier, montre une variation proportionnelle avec la dose de phosphore, dont le meilleur résultat est obtenu avec D20 chez la variété Virton. Par contre la chl **a+b** le meilleur résultat est obtenu avec D60 dans la même variété.

Nous avons aussi constaté que l'accumulation de proline est influencée négativement par l'augmentation des doses. La meilleure accumulation est favorisée par la variété Carioca et la dose D0 (0,34 µg/100g de MF).

En fin un les résultats d'un seul essai ne permettent pas de conclure à l'effet de P sur les paramètres biochimiques et croissance du blé, Pour cela on insiste sur la nécessité de répéter l'expérience plusieurs fois pour avoir des résultats plus significatifs et plus sûrs pour confirmation dans l'avenir.

Effet de la nutrition phosphatée sur les paramètres de croissance et les paramètres biochimiques du blé

Résumé

Dans notre travail, nous avons étudié l'effet de quatre doses d'engrais phosphaté simple super phosphate (SSP) 0, 20, 40 et 60 mg/kg sur les paramètres de croissance et biochimiques de deux variétés de blé dur *Triticum durum* var. Virton et Carioca conduites en conditions semi-contrôlées. 45 jours après semis, les résultats obtenus montrent que les D20 mg/kg ont favorisé les meilleures longueurs des feuilles et des racines chez la variété Carioca. Quel que soit la variété étudiée, les poids secs et frais (racinaire et foliaire) diminuent avec l'accroissement des concentrations de P. L'étude des paramètres biochimiques montrent que le phosphore a un effet dépressif sur les deux variétés, qui s'est traduit par une réduction de la teneur en chlorophylles **a**, **b** et **a+b**. Cette réduction est plus marquée chez la variété Carioca. L'accumulation de la proline au niveau des feuilles varie négativement avec l'accroissement des doses de phosphore. Les teneurs les plus élevées sont obtenues par Carioca et la dose D0.

De ce qui précède, on déduit que la variété Virton est plus résistante à la dose P par rapport à la variété Carioca qui est plus sensible à ce stress. En fin, la reprise de cet essai est recommandée pour mieux comprendre le comportement variétal vis-à-vis la dose de P.

Mots clés : Blé dur, phosphore, engrais phosphaté, paramètres morphologiques, paramètres biochimique, chlorophylle, proline.

Summary

In our work, we studied the effect of four doses of phosphate fertilizer superphosphate (SSP) 0,20, 40 and 60 mg / kg on growth and biochemical parameters of two varieties of durum wheat *Triticum durum* var. Vitron and Carioca conduits under semi-controlled conditions. 45 days after sowing, the results show that D20 mg / kg doses promoted the best lengths of leaves and roots in the Carioca. Whatever the variety studied, dry and fresh weight (root and leaf) decreased with increasing concentrations of P. The study of biochemical parameters show that phosphorus has a depressive effect on the two varieties, resulting in a reduction of the content chlorophyll a, b and a + b. This reduction is more marked in the Carioca variety. The accumulation of proline in leaves varies negatively with increased doses of phosphorus. The highest concentrations are obtained by Carioca and D0 dose. From the foregoing, it follows that the Carioca variety is more resistant to P dose compared to the Viton variety which is more sensitive to stress. In the end, the recovery of this test is recommended to better understand the varietal behavior in comparison with the dose of P.

Keywords: Durum wheat, phosphorus, phosphate fertilizer, morphological parameters, biochemical parameters, chlorophyll, proline.

تأثير تغذية الفوسفور على عوامل النمو والعوامل البيوكيماوية للقمح الصلب

الملخص

في عملنا هذا قمنا بدراسة تأثير الفوسفور على بعض القياسات المرفولوجية لصنفين من القمح الصلب (، كاريوكا و فيترون) وذلك من خلال وضع تراكيز مختلفة من السماد الفوسفاتي في التربة (0, 20, 40, 60ملغ/كغ) بينت النتائج المتحصل عليها بعد 45 يوم أن السماد الفوسفاتي له أثر إيجابي على زيادة طول الورقة بالنسبة لـ D₂₀ عند الصنف كاريوكا ونستنتج كذلك أن ارتفاع تركيز الفوسفور يؤدي إلى نقص الوزن الجاف والرطب للورقة والجذور اما بالنسبة للعوامل البيوكيماوية بينت النتائج المتحصل عليها بعد معالجة هذه النباتات بالفوسفور ان التراكيز لها تأثير سلبي على النوعين حيث يتميز هذا التأثير بانخفاض نسبة اليخضور ا, ب, اب حيث سجل هذا الانخفاض في نباتات كاريوكا اكثر منه في نباتات فيترون

. ارتفاع الجرعات انعكس سلبا على محتوى البرولين في الأوراق لاحظنا وجود البرولين على مستوى الأوراق لصنف كاريوكا بالنسبة للتركيز D₀. من خلال كل هذه النتائج تبين لنا ان صنف كاريوكا يتفاعل مع جميع العوامل لذلك فهو يمتلك خصائص احسن من صنف فيترون وفي النهاية فان اعادة التجربة موصى به من اجل الافضل وهاذا لضمان التباين ازاء تراكيز الفسفور.

كلمات مفتاحية: القمح الصلب، الفوسفور، السماد الفسفاتي، المورفولوجيا البيوكيماوية البرولين اليخضور الجرعات

- Mazouz ,L., 2006.** Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologique dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi- aride. Mémoire de Magistère .Départ. Agronomie .Université Hadj Lakhdar, Batna.
- Almeida Viégas R., Gomes da Silveira J. A. 1999.** Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plants dring long term exposure to NaCl salinity. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal.* 11 (3):153-159.
- Baeyens J., 1967.** Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliqué aux plates
- Belaid D., 1986.** Aspect de la céréaliculture algérienne, Ed- O.P.U, 217p.
- Belaid D., 1987.** Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur
- Bellinger,Y.; Bensaoud A.; Larher F. 1991.** Physiological significance of proline accumulation, a trait of use to breeding for tress tolerance. Colloque Physiology- Breeding of winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments, Montpellier (France). Ed. Les colloques .55. Inra. Paris.
- Bennai M. ; Benabbas B., 2007.** L'amélioration des rendements des céréales par une fertilisation adaptée aux conditions pédo-climatique algériennes. Constantine. Ed, PROFERT, 33p
- Bousba,R.; Yekhlef N.; Djekoun A., 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic
- Brahimi., 1991.** Contribution à l'étude de l'utilisation des phosphates naturels dans la
- Chaibi .,W(1995).**Etude de l'irrigation avec des eaux changées en sols sodiques sur la culture de la tomate *lycopersicum exulentum* mill sous surre, thèse ign .INES Blida 72p .
- Charles., 1976 .** Diagnostic de la carence phosphorique des sols par symptomatologie chimiques comparatives, C.R.A.cd Agric Franc 26, pp906-913.
- Couvreur , F ., 1981 .**La culture du blé se raisonne . Cultivar juin, pp 39-41.
d'hiver dans le haut Chélif. Mémoire de magistère. I.N.A. Alger .81p.
- Djanaguiraman, M.; Sheeba J.A.; Shanker A.K.; Devi D.D, Bangarusamy U., 2006.** Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment. *Plant Soil*, 284: 363-373.
- Duthil J., 1973 .**Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, Ed. J.B. Baillièrè. 654p.
- Duthil .J., 1973 .** Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, Ed. J.B. Baillièrè. 654p.
- F. Detraux. Et O ;. Oestger (1979)** La mécanisation des travaux agricoles les presses.
- Fardeau J.C., 1993 :** Le devenir du phosphore dans le sol et dans les systèmes sol-plante. fertilisation phosphatée d'un sol saharien, à Biskra, Mémoire Ing. Agro. Ouargla 68p.
- Gervy R .(1970).**les phosphore et l'agriculture .Edition .DUNOD, paris.298p.

- Gervy R., 1970** : Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, Paris. 298p.
- Hopkins, 2003.**Physiologie végétale, Ed. De Boek, Belgique,69p.
- Hopkins, 2003.**Physiologie végétale, Ed. De Boek, Belgique,69p.
in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum Desf*).*World Journal of Agricultural Sciences* 5. 5: 609 -616.
- Lambert J.C.,(1979).**la fertilisation phosphatée ,revue cultivars .N°115,pp:96-97.
- Lambert J.C., 1979** : « La fertilisation phosphatée » revue Cultivar. N °115, pp96-97.
- Loue A., 1982** . Le potassium et les céréales. Dossier K₂O n°02, pp1-41.
- Malki.F., 2013** .Influence du phosphore sur quelque paramètres biométriques (croissance racinaire) du blé dur conduit en condition contrôlées.,diplôme licence, kasdi merbeh Ouargla.
- Martin PREVEL P., 1984** . L'analyse végétal dans le contrôle de l'alimentation des plantes
- Martin PREVEL P., 1984** . L'analyse végétal dans le contrôle de l'alimentation des plantes
- MAUME L, ; DULAC J., 1936** .Echantillonnage rationnel de la plante en vue des analyses
- MEKLICHE A., 1983** : Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé
- Monneveux P., 1991.** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. In : *l'amélioration des plantes pour l'adaptation au milieu aride* (éd). *Aupelf-Uref. J. Eurotxt.L.* Paris: 165 -186.
- MOUGHLI L., 2000** Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations N°72 Septembre Perspectives agricoles n°181-juin, pp : 17-22.
- PRAT S., 1971** Les céréales 2ème édition, J.B Baillièrre et fils, Paris, ppp9-23-315.
- PRIYA P.; SAHISV.,2009.** Influence of phosphors nutrition on grauth and metabolism of Du ogres (*Duofestulolium*) .Plant physiologies and biochemistry.47,31,36P.
- RAMAEKERSALREMANSR.;RQOCI.;BLQIRCM.;VANDERLYENAJ.,2012.**strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of cropplante.117,169,176p.
- RAMAEKERSALREMANSB. R.;RQOCI.; BLQIRCM.;**
- VANDERLYENAJ.,2012.strategies** for improving phosphorus acquisition efficiency of cropplante.117, 169,176p.
- Proline metabolism in senescing leaves of horsgram
(*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *J. Plant. Physiol.*, 137,pp. 381-383.

Slama A. ; Ben Salem M. ; Ben Naceur M. ; Zid E.D., 2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (Inrat). Univ. Elmanar. Tunisie.

Slayter R., 1974. The effect of internal water status on plant growth development and yield In : plant responses to climatic factors . Proc.of upsal simpsium, Unesco.

SOLTNER ., 1988 : Les grandes productions végétales. Les collections sciences et

The role of proline accumulation in halophytes. Planta,

120, pp.

Tahri E. H. ; Belabed A. ;Sabki K., 1998. Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de la proline et chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine. synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Bull. Inst. Sci., Rabat, (21) : 81-87.

techniques agricoles, Ed. 16ème éditions 464P.

ANNEXE 1**Tableau 1. Résultats d'analyse de variance du nombre moyen de racines**

<i>Source de variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	0,426666667	3,084337	0,0981692	4,493998478
doses	3	3,833333333	27,71084	1,42E-06	3,238871517
Interaction	3	0,351111111	2,538153	0,0932081	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,138333333			
Total	23				

Tableau 2. Résultats d'analyse de variance de la longueur moyenne des racines

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	20,55350417	2,963244	0,10445104	4,493998478
doses	3	18,99928194	2,739168	0,07763217	3,238871517
Interaction	3	9,186281944	1,324406	0,30121881	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	6,93615			
Total	23				

Tableau 3. Résultats d'analyse de variance du nombre des feuilles

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	0,24	6	0,026199495	4,493998478
doses	3	0,166666667	4,166667	0,023282243	3,238871517
Interaction	3	0,977777778	24,44444	3,24131E-06	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,04			
Total	23				

Tableau 4. Résultats d'analyse de variance de la longueur des feuilles

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	1264,546838	915,5781	1,49846E-15	4,493998478
doses	3	17,81168194	12,89631	0,00015411	3,238871517
Interaction	3	17,04174861	12,33885	0,000196474	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	1,381145833			
Total	23				

Tableau 5. Résultats d'analyse de variance du poids frais total (racine et feuille)

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	4,842016667	2,1387117	0,162987299	4,493998478
doses	3	1,010477778	0,4463266	0,723253668	3,238871517
Interaction	3	8,188561111	3,6168756	0,036330125	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	2,2639875			
Total	23				

Tableau 6. Résultats d'analyse de variance du poids frais des racines

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	15,23226667	30,29564	4,80635E-05	4,493998478
doses	3	1,312683333	2,610811	0,087212567	3,238871517
Interaction	3	6,189577778	12,31052	0,000198953	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,5027875			
Total	23				

Tableau 7. Résultats d'analyse de variance du poids frais des feuilles

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	0,666666667	3,335835	0,08650332	4,493998478
doses	3	2,149127778	10,7537	0,00040907	3,238871517
Interaction	3	0,352577778	1,764212	0,19445027	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,19985			
Total	23				

Tableau 8. Résultats d'analyse de variance du poids sec total (racines et feuilles)

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variété	1	4,655204167	19,34262	0,00044908	4,493998478
doses	3	0,744681944	3,094193	0,05667251	3,238871517
Interaction	3	3,4846375	14,47885	8,0283E-05	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,240670833			
Total	23				

Tableau 9. Résultats d'analyse de variance du poids sec des racines

Source des variations	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
variété	1	0,752604167	13,50064	0,002050618	4,493998478
doses	3	0,155904167	2,796696	0,073720195	3,238871517
Interaction	3	1,765515278	31,6708	5,80431E-07	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,055745833			
Total	23				

Tableau 10. Résultats d'analyse de variance du poids sec des feuilles

Source des variations	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
variété	1	0,0030375	0,129255	0,72390645	4,493998478
doses	3	0,0847375	3,605851	0,036664283	3,238871517
Interaction	3	0,275715278	11,73257	0,00025807	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,0235			
Total	23				

ANNEXE 2**Tableau 1. Résultats d'analyse de variance de la teneur en chlorophylle a**

Source des variations	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	1	1,8648375	1,34963226	0,262380276	4,493998478
Colonnes	3	4,8795375	3,53145044	0,039010809	3,238871517
Interaction	3	0,207415278	0,15011193	0,928100387	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	1,3817375			
Total	23				

Tableau 2. Résultats d'analyse de variance de la teneur en chlorophylle b

Source des variations	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
variété	1	0,17783095	0,267528392	0,61207102	4,493998478
doses	3	6,638977506	9,987659478	0,00059802	3,238871517
Interaction	3	1,133747132	1,705606063	0,20598002	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,664718047			
Total	23				

Tableau 3. Résultats d'analyse de variance de la teneur en chlorophylle a+b

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variétés	1	38,75014901	8,40091378	0,010475015	4,493998478
doses	3	54,09615053	11,72788	0,000258624	3,238871517
Interaction	3	30,35800697	6,58152306	0,004172377	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	4,612611202			
Total	23				

Tableau 4. Résultats d'analyse de variance de la teneur en proline

<i>Source des variations</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
variétés	1	0,008689352	0,84976306	0,3703113	4,493998478
doses	3	0,081534619	7,97356454	0,0017827	3,238871517
Interaction	3	0,027990724	2,73731383	0,077762	3,238871517
A l'intérieur du groupe	16	0,010225617			
Total	23				

Table de matières

Introduction.	2
Première partie : Revue bibliographique	
Chapitre I : La biologie du blé.	5
1.1. Caractères botaniques	5
1.1.1. Les caractères systématiques	5
1.1.2. Les caractères morphologiques	5
1.1.2. A. Appareil racinaire	5
1.1.2. B. Appareil aérien	6
1.1.2.1. La tige.	6
1.1.2.2. La feuille	6
1.1.2. C. Appareil reproducteur	6
1.1.2. D. Le grain	6
1.2 .Les exigences agronomiques de la culture du blé	6
1.2.1. Exigences d'une bonne pratique avant la récolte	6
1.2.1. a. Rotation des cultures	6
1.2.1.b. Préparation du sol	7
1.2.1.c. Semis	7
1.2.1. Protection phytosanitaire	7
1.2.1. e. Fertilisation	7
2.2.2. Exigences pédoclimatiques	7
2.2.2.a .Température	7
2.2.2. b. Eau	8
2.2.2.c. Lumière	8
2.2.2.d. Sol	8
1.3. Développement de la culture	9
1.3.1. La période végétative	9
1. 3.1.1. La phase semis – levée	9
1.3.1.2. La phase levée – tallage	10
1.3.1.3. La phase tallage – montaison	10
1.3.2. La période reproductrice	10
1.3.2.1. La phase montaison	10
1.3.2.2. La phase épiaison	10
1.3.2.3. La phase floraison – fécondation	10
1.3.2.4. La phase de maturation	10
Chapitre II : Le Phosphore et le système Sol – Plante	10
2.1. Le phosphore et le végétal	10
2.1.1. Importance du phosphore	10
2.1.2. Rôle physiologique du phosphore	11
2.1.3. Exigences nutritionnelles en phosphore des cultures	11
2.1.4. Excès et carence du phosphore	12
2.2. Le phosphore dans le sol	12

2.2.1. Les différents états du phosphore dans le sol	12
2.2.1.1. Le phosphore total	12
2.2.1.2. Le phosphore assimilable	12
2.2.2. Dynamique du phosphore dans le sol	13
2.2.2.1. Le phosphore soluble (dans la solution du sol)	13
2.2.3. Le phosphore insoluble des roches mères	14
2.2.4. Le phosphore facilement échangeable	14
2.2.5. Les facteurs influençant l'assimilabilité du phosphore dans le sol :	14
2.2.5.1. Le pH :	14
2.2.5.2. Effet de la température et l'humidité	14
2.2.5.3. Le calcaire	15
2.2.5.3.1. Calcaire total	15
2.2.5.3.2. Calcaire actif.	15
2.2.5.4. La matière organique	15
2.2.5.5. Influence des sels solubles	15
2.2.6. Les pertes du phosphore	15
Chapitre III : La Fertilisation Phosphatée	16
3.1. Raisonnement de la fertilisation phosphatée	16
3.1.1. La loi des restitutions au sol	16
3.1.2. La loi des accroissements moins que proportionnels	16
3.1.3. La loi d'interaction	17
3.2. Un raisonnement fondé sur l'analyse des essais de longue durée	17
3.4. Une méthode développée autour de quatre critères	18
Deuxième partie : Matériels et méthodes	
Chapitre I. Présentations de station expérimentale	21
1.1 Mise en place d'une serre de nébulisation vitrée	21
Chapitre II. Matériel d'étude	22
2.1. Substrat de culture	22
2.2. Matériel végétal	22
2.3. Caractéristiques des pots	23
2.4. Engrais testé	23
2.5. Eau d'irrigation	23
Chapitre III. Méthode d'étude	24
3.1. Protocole expérimental	24
3.1.1. Dispositif expérimental	24
3.1.2. Conditions de déroulement de l'essai	24
3.1.3. Quantité d'eau apportée	25
3.1.4. Calcul des quantités d'engrais	26
3.1.5. Pré germination des graines	27
3.1.6. Préparation des pots	27
3.2. Paramètres étudiés	27
3.2.1. Paramètres de croissance	27
3.2.1.1. Nombre de racines	27

3.2.1.2. Longueur des racines	27
3.2.1.3. Nombre de feuilles	27
3.2.1.4. Longueur des feuilles	27
3.2.1.5. Evaluation de la biomasse	28
3.2.2. Paramètres biochimiques	28
3.2.2.1. Teneur en chlorophylles des feuilles	28
3.2.2.2. Teneur eu Proline des feuilles	29
Troisième partie : Résultats et discussion	
Chapitre I. Paramètres de croissance	
1.1 Nombre moyen des racines	31
1.2 Longueur moyenne des racines	31
1.3 Nombre moyen des feuilles	33
1.4 Longueur moyenne des feuilles (cm)	33
1.5. Poids frais total (racines + feuilles)	35
1.6. Poids frais des racines	35
1.7. Poids frais des feuilles	37
1.8. Poids secs total (racines + feuilles)	37
1.9. Poids secs des racines	39
1.10. Poids secs des feuilles	39
Chapitre II. Paramètres de biochimique	
2.1. Teneur des en chlorophylle <u>a</u>	41
2.2. Teneur des feuilles en chlorophylle <u>b</u>	41
2.3. Teneur en chlorophylle <u>a+b</u>	43
2.4. Teneur en proline	43
Discussion	45
Conclusion générales	
Références bibliographies	
Annexe	