

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA



FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

**THESE**

En vue de l'Obtention du Diplôme De Doctorat en Sciences Agronomiques

**THEME**

*Contribution à l'optimisation de la fertilisation phospho-azotée  
en sol salé et calcaire*

Présentée

Par *Tahraoui Souaad*

Président: GUIMEUR K: MCA (Université Med Khider – Biskra)

Directeur de thèse: MASMOUDI A: Prof (Université Med Khider – Biskra)

Examineur: MANCER H: MR (CRSTRA Biskra)

NOURANI A: D.R (CRSTRA Biskra)

Année universitaire : 2023/2024

## REMERCIEMENTS



*Ma profonde gratitude s'adresse en premier lieu à Dieu dont l'aide m'a permis de suivre ma formation, de m'avoir accordée le courage et la force de mener à bien ce modeste travail.*

*Ce travail n'aurait pas vu le jour sans la confiance, la patience et la générosité de mon encadreur, M. MASMOUDI A Professeur au département des sciences d'Agronomie Université Mohamed Khider – Biskra.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail :*

*Je souhaite adresse mes remerciements à Monsieur : GUIMEURK, maitre de conférence A, département d'agronomie à l'université de Biskra, pour l'intérêt porté à mon travail et pour avoir accepté de présider ce jury.*

*Mes remerciements s'adressent particulièrement à Monsieur. NOURANI AHMED, Directeur de recherche à CRSTRA et Mme MANCER HALIMA maitre de recherche à CRSTRA qui ont accepté de prendre le temps pour être les rapporteurs de cet humble travail et pour leurs remarques constructives.*

*Mes remerciements vont aussi à tous les amis (es) et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Toute personne qui font une aide soit scientifique, technique ou administrative*

*En fin, merci à tous ceux qui ont rendu possible ce travail, et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans mes pensées.*

*Merci encore une fois*



## Résumé

Les sols de l'Algérie sont généralement pauvres en azote et posent toujours le problème de la disponibilité du phosphore assimilable surtout en régions arides, où l'on trouve également le problème de la salinité qui s'accompagne souvent de la présence de calcaire. Le présent travail vise à examiner l'optimisation de la fertilisation phospho-azotée en condition saline et carbonatée par l'utilisation de différents types, formes et doses d'engrais azotés et phosphatés. On tentera de: i) trouver la meilleure formule qui combine la forme et la dose d'engrais ; ii) Connaître l'effet sur l'augmentation des rendements et la disponibilité des éléments nutritifs pour la culture de blé dur. Les engrais utilisés sont : l'Urée (46%), le super phosphate triple TSP (46%), le super phosphate simple SSP (20%), le Nitrate de Potassium  $KNO_3$  (13%), le Monoammonium phosphate MAP(12%, 61%), le NPK(15%,15%,15%), le NPK(20%,20%,20%), le NPK(13%,40%,13%), le NPK(30%,10%,10%), le NPK(4%,20%,25%) combinés avec trois doses (D1=150U N et  $P_2O_5$ /ha, D2=200U N et  $P_2O_5$ /ha et D3=250U N et  $P_2O_5$ /ha). Les résultats obtenus montrent que la fertilisation phospho-azotée a un effet très important sur les paramètres étudiés. En effet on constate que les meilleurs résultats sont obtenus par les engrais composés, la hauteur des plantes: (HP (montaison)=MAP (250U/ha), HP (récolte)= MAP et NPK (15%,15%,15%) (250U/ha) et ( $KNO_3$ -SSP) (150U/ha)), le rendement et ses composantes: (Nombre des grains/épi (NG/E)= NPK (13%,40%,13%) (250U/ha), poids de mille grains (PMG)= NPK (4%, 20%, 25%) (250U/ha), rendement en grains (RG)= NPK (13%,40%,13%) (250U/ha) et NPK (15%,15%,15%) (150U/ha), rendement en paille (RP)= NPK (15%,15%,15%) (250U/ha) et ( $KNO_3$ -SSP) (150U/ha)). Tous les types d'engrais réagissent positivement à la teneur des feuilles en azote (N), et le NPK(4%,20%,25%) (250 U/ha) a donné le meilleur teneur des feuilles en phosphore. Cependant la teneur la plus élevée des grains en azote et en phosphore est obtenue par les engrais simples, N= (Urée-SSP) avec la dose (200 et 250 U/ha), et  $P_2O_5$ = (Urée-TSP) avec la dose (150U/ha). La fertilisation phospho-azotée joue un rôle très important dans la richesse du sol en phosphore assimilable et en azote total dans les conditions saline et carbonaté. Les meilleures teneurs du sol en  $P_2O_5$  sont obtenues par le traitement NPK(20%,20%,20%) (250U/ha) au stade fin tallage et par le traitement ( $KNO_3$ \_TSP) (250 U/ha) au stade récolte. Les meilleures teneurs en (N) total sont obtenues par le traitement (Urée\_TSP) (250U/ha) au stade fin tallage et récoltes. On peut conclure que l'effet de la fertilisation phospho-azotée en condition saline et carbonatée varie en fonction du type et de la dose d'engrais.

**Mots clés :** Fertilisation, engrais, phosphore, azote, salinité, calcaire, blé.

## **Abstract**

The soils of Algeria are generally poor in nitrogen and always pose the problem of the availability of available phosphorus especially in arid regions, where there is also the problem of salinity which is often accompanied by the presence of limestone. The present work aims to examine the optimization of phospho-nitrogen fertilization in saline and carbonate conditions through the use of different types, forms and doses of nitrogen and phosphate fertilizers. We will try to i) find the best formula that combines the form and the dose of fertilizer; ii) Know the effect on increased yields and nutrient availability for the durum wheat crop. The fertilizers used are: Urea(46%), triple super phosphate TSP(46%), simple super phosphate SSP(20%), Potassium Nitrate  $KNO_3$ (13%), Monammonium phosphate MAP(12%, 61%), NPK(15%,15%,15%), NPK(20%,20%,20%), NPK(13%,40%,13%), NPK(30%,10%,10%), NPK(4%,20%,25%), combined with three doses (D1=150U N and P/ha, D2=200U N and P/ha and D3=250U N and P/ha). The results obtained show that phospho-nitrogen fertilization has a very important effect on the parameters studied. Indeed, we notice that the best results are obtained by compound fertilizers, height of the plants: (HP(run)=MAP (250U/ha), HP(harvest)=MAP and NPK(15%,15%,15%) (250U/ha) and ( $KNO_3$ -SSP) (150U ha<sup>-1</sup>), yield and its components: Number of grains/ear (NG/E) =NPK(13%,40%,13%) (250U/ha), 1000 grains weight (TGW) =NPK(4%,20%,25%) (250U/ha), grain Yield (GY) =NPK(13%,40%,13%) (250U/ha) and NPK(15%,15%,15%) (150U/ha), straw yield (SY) =NPK(15%,15%,15%) (250U/ha) and ( $KNO_3$ -SSP) (150U/ha). All types of fertilizer react positively to the nitrogen (N) content of the leaves, and NPK (4%, 20%, 25%) (250 U/ha) gave the best phosphorus content of the leaves. However the highest nitrogen and phosphorus content of the grains is obtained by simples fertilizers, N= (Urea-SSP) with the dose (200 and 250 U/ha), and P = (Urea-TSP) with the dose (150U/ha). Phospho-nitrogen fertilization plays a very important role in the soil's richness in assimilable phosphorus and total nitrogen in saline and carbonate conditions. The best  $P_2O_5$  soil contents are obtained by NPK (20%,20%,20%) (250U/ha) at the fine tillering stage and by treatment ( $KNO_3$ \_TSP) (250 U/ha) at the harvest stage. The best total (N) contents are obtained by treatment (Urée\_TSP) (250U/ha) at the fine-tillering and harvesting stage. It can be concluded that the effect of phospho-nitrogen fertilization in saline and carbonate conditions varies according to the type and dose of fertilizer.

**Key words:** Calcareous, fertilization, fertilizers, nitrogen, phosphorus, saline.

## ملخص

تربة الجزائر بشكل عام فقيرة بالنيتروجين وتطرح دائماً مشكلة توفر الفوسفور القابل للاستيعاب ، خاصة في المناطق القاحلة ، حيث توجد أيضاً مشكلة الملوحة التي غالباً ما تكون مصحوبة بوجود الحجر الجيري. يهدف العمل الحالي إلى دراسة تعظيم الاستفادة من التسميد الفسفوري بالنيتروجين في الظروف الملحية والكربونية من خلال استخدام أنواع وأشكال وجرعات مختلفة من الأسمدة النيتروجينية والفوسفاتية. سنحاول أولاً إيجاد أفضل صيغة تجمع بين شكل وجرعة السماد ؛ معرفة التأثير على زيادة الغلات وتوافر المغذيات لمحصول القمح القاسي. الأسمدة المستخدمة هي: اليوريا (46٪) ، مونو (13٪)  $KNO_3$  ، نترات البوتاسيوم (20٪) SSP ثلاثي فوسفات سوبر فوسفات (46٪) ، أحادي سوبر فوسفات (13 ٪) NPK ، (20 ٪ ، 20 ٪ ، 20 ٪) NPK ، (15 ٪ ، 15 ٪ ، 15 ٪) NPK ، (12 ٪ ، 61 ٪ ، 12 ٪) MAP أمونيوم فوسفات و (D1 = 150U N مع ثلاث جرعات (25 ٪ ، 20 ، 4 ٪) NPK (10 ٪ ، 10 ٪ ، 30 ٪) NPK ، (13 ٪ ، 40 ، 20 ، 40 ، 13 ٪)  $P_2O_5$  / ha و D2 = 200U N و  $P_2O_5$  / ha و D3 = 250U N و  $P_2O_5$  / ha). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن التسميد الفسفوري بالنيتروجين له تأثير معنوي كبير على العوامل المدروسة. بالفعل نرى أن أفضل النتائج يتم الحصول عليها من الأسمدة المركبة ، ارتفاع النباتات = (الحصاد) HP ، (هكتار / 250U / MAP = (الارتفاع) HP) :الحصول عليها من الأسمدة المركبة ، ارتفاع النباتات (وحدة / هكتار) ، (المحصول 150 (KNO<sub>3</sub>-SSP) هكتار) و (250U / (15 ٪ ، 15 ٪ ، 15 ٪) NPK و MAP (هكتار) ) ، وزن الألف حبة / 250U (13 ٪ ، 40 ٪ ، 13 ٪) NPK (E / NG) ومكوناته: (عدد الحبوب / الأذن (RG) = NPK (13 ٪ ، 40 ٪ ، 25 ٪) (250 (محصول الحبوب 250) NPK (4 ٪ ، 20 ٪ ، 25 ٪) (TMW) = NPK (15 ٪ ، 40 ٪ ، 13 ٪) (RP) = NPK (15 ٪ ، 40 ٪ ، 13 ٪) (محصول القش 150) (15 ٪ ، 15 ٪ ، 15 ٪) NPK هكتار) و (250U / (وحدة / هكتار) . تفاعلت جميع أنواع السماد إيجابياً مع (150 (KNO<sub>3</sub>-SSP) وحدة / هكتار) و (250 (15 ٪ ، 15 ٪ ، 15 ٪) وحدة / هكتار) أفضل محتوى (250 (25 ٪ ، 20 ٪ ، 4 ٪) NPK ، وأعطى (N) محتوى الأوراق من النيتروجين N للفوسفور. ومع ذلك ، يتم الحصول على أعلى محتوى من الحبوب في النيتروجين والفوسفور بواسطة الأسمدة البسيطة ، (هكتار). / (U مع الجرعة (150 (Urea-TSP)  $P_2O_5$  هكتار) ، و / U بالجرعة (200 و 250 (Urea-SSP) = يمكن الاستنتاج أن تأثير التسميد الفسفوري بالنيتروجين في حالة الملح والكربونات يختلف باختلاف نوع وجرعة السماد يلعب الإخصاب الفوسفور-النيتروجين دوراً مهماً للغاية في ثراء التربة في الفوسفور القابل للاستيعاب والنيتروجين الكلي في ، 20 ٪ ، 20 ٪ ، 20 ٪) NPK عن طريق معالجة  $P_2O_5$  ظروف الملح والكربونات. يتم الحصول على أفضل محتويات التربة في مرحلة الحصاد. يتم الحصول (250 U/ha) (KNO<sub>3</sub>\_TSP) في مرحلة الحراثة الدقيقة وبالعلاج (250U/ha) (20 ٪) في مرحلة الحراثة الدقيقة والحصاد (250U/ha) (Urée\_TSP) عن طريق العلاج (N) على أفضل محتويات

الكلمات المفتاحية: تسميد ، سماد ، فسفور ، نيتروجين ، ملوحة ، حجر جيري ، قمح

## *Liste des abréviations*

<b>CaCO<sub>3</sub>:</b>	Bicarbonate de calcium
<b>Cm:</b>	Centimètre.
<b>FAO:</b>	Food Alimentary Organisation.
<b>g /l :</b>	Gramme par litre.
<b>ha:</b>	hectare.
<b>K<sub>2</sub>O :</b>	Oxyde de Potassium
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> :</b>	Sulfate de potassium
<b>kg :</b>	Kilogramme
<b>KNO<sub>3</sub> :</b>	Nitrate de Potassium.
<b>MAP:</b>	Monoammonium phosphate
<b>NPK:</b>	Azote, phosphore, potassium
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:</b>	Pentoxyde de phosphore.
<b>SSP:</b>	Super phosphate simple.
<b>TSP:</b>	Super phosphate triple.
<b>U:</b>	Unité.
<b>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> :</b>	Nitrate de calcium
<b>N<sub>21</sub>% :</b>	Le sulfate d'ammoniaque
<b>N<sub>26</sub>% :</b>	Azote soufré

## *Liste des figures*

<b>Figure 01 : Principe de fabrication des engrais azotés.....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 02 : Principe de fabrication des engrais phosphatés.....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 03 : Le pot utilisé pour la culture.....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 04 : Le dispositif expérimental.....</b>	<b>34</b>
<b>Figure 05 : Schéma représentatif du dispositif expérimental.....</b>	<b>35</b>
<b>Figure 06: La hauteur des plantes au stade montaison en fonction du type d'engrais /dose d'engrais.....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 07: La hauteur des plantes au stade récolte en fonction du type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 08: NG/E en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>48</b>
<b>Figure 09: PMG en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>49</b>
<b>Figure 10: Rendement en grains en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>51</b>
<b>Figure 11: Rendement en paille en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>52</b>
<b>Figure 12: Teneur des feuilles en azote (N%) en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure 13: Teneur des grains en azote (N%) en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure 14: Teneur des feuilles en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%) en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure 15: Teneur des grains en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%) en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure 16: Evolution du pH du sol en fonction de type et dose d'engrais.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure 17 : Evolution de la conductivité électrique (CE) du sol en fonction de type et dose d'engrais.....</b>	<b>66</b>
<b>Figure 18: Evolution de calcaire total en fonction de type et dose d'engrais.....</b>	<b>68</b>
<b>Figure 18 : Evolution de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable en fonction de type et dose d'engrais.....</b>	<b>71</b>
<b>Figure 20 : Evolution de l'azote total (%) en fonction de type et dose d'engrais.....</b>	<b>74</b>

## *Liste des Tableaux*

<b>Tableau 01 : Classification des engrais azotés.....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau 02 : Classification des engrais phosphatés.....</b>	<b>25</b>
<b>Tableau 03 : Classification des engrais composés.....</b>	<b>27</b>
<b>Tableau 04 : Les caractéristiques physico-chimique du sol.....</b>	<b>33</b>
<b>Tableau 05 : Analyse de la variance relative à l'effet de type d'engrais sur la hauteur des plantes et la matière sèche. ....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau 06 : Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la croissance des plantes.....</b>	<b>43</b>
<b>Tableau 07 : Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le rendement et ses composantes.....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau 08 : Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur des feuilles et des grains de blé dur en (N) et (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).....</b>	<b>53</b>
<b>Tableau 09 : Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le pH du sol.....</b>	<b>62</b>
<b>Tableau 10 : Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la conductivité électrique du sol.....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau 11: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le calcaire total du sol.....</b>	<b>67</b>
<b>Tableau 12: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable.....</b>	<b>69</b>
<b>Tableau 13: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en azote total.....</b>	<b>72</b>



# *Table des matières*

*Résumé*

*Liste des abréviations*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

**INTRODUCTION GENERALE.....2**

## ***PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE***

**CHAPITRE I: Généralité sur la Fertilisation.....8**

**1. Définition.....8**

**1.1. Notion de fertilité.....8**

**1.2. La fertilisation.....8**

**1.3. La fertilisation raisonnée.....9**

**2. La fertilisation azotée.....10**

**2.1. L'azote.....10**

**2.2. Cycle biogéochimique de l'azote.....10**

**2.2.1. Fixation d'azote atmosphérique.....11**

**2.2.2. Minéralisation de l'azote organique.....11**

**2.2.3. Organisation de l'azote minéral .....12**

**2.2.4 Dénitrification.....12**

**2.3. L'azote dans la plante.....12**

**2.4. La fertilisation azotée.....13**

**2.5. La fertilisation azotée de blé.....13**

**3. La fertilisation phosphatée.....14**

**3.1. Le phosphore.....14**

**3.2. Cycle biogéochimique de phosphore.....14**

**3.2.1. Minéralisation et immobilisation.....15**

**3.2.2. Solubilisation du phosphore inorganique.....15**

**3.2.3. La précipitation du phosphore.....15**

**3.2.4. Sorption-désorption de phosphore.....16**

**3.3. La disponibilité de phosphore dans le sol.....16**

**3.4. Le phosphore dans la plante.....17**

**3.5. La fertilisation phosphatée.....17**

3.6.La fertilisation phosphatée de blé.....	18
<b>CHAPITRE II : Les engrais.....</b>	<b>20</b>
1. Les engrais azotés.....	20
2. Les engrais phosphatés.....	23
3. Les engrais composés.....	26
 <i><b>PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE</b></i>	
<b>CHAPITRE I: MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>31</b>
1. Objectif de travail.....	31
2. Matériel d'étude.....	31
2.1.Matériel végétale.....	31
2.2.Les engrais utilisés.....	31
2.3.Les pots.....	32
3. Méthodologie de travail.....	33
 3.4. Les paramètres étudiés.....	 36
2.4.Analyse du sol.....	36
3.2. Analyse de végétal.....	37
3.3. Les paramètre de production.....	37
4. Analyse statistique.....	37
 <b>CHAPITRE II: RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	 <b>40</b>
I. Résultats de la première année.....	40
II. Résultats de la deuxième année.....	43
II.1. Effet de la fertilisation phospho-azotée sur les paramètres agronomiques et l'alimentation minérale de la plante.....	43
1. Action de type d'engrais et dose d'engrais sur la croissance des plantes.....	43
2. Action de type d'engrais et dose d'engrais sur le rendement et ses composantes.....	46
2.1.Nombre des grains par épi (NG/E).....	47
2.2.Poids de mille grains (g) (PMG).....	49
2.3.Rendement en grains (qx/ha).....	50
2.4.Rendement en paille (qx/ha).....	52

<b>3. Action de type d'engrais et dose d'engrais sur la teneur des feuilles et des grains en (N) et (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.Teneur des feuilles en azote (N).....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.Teneur des grains en azote (N).....</b>	<b>56</b>
<b>3.3.Teneur des feuilles en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).....</b>	<b>57</b>
<b>3.4.Teneur des grains en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).....</b>	<b>58</b>
<b>II.2. Effet de la fertilisation phospho-azotée sur l'évolution de quelques paramètres chimique du sol.....</b>	<b>62</b>
<b>1. Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de pH du sol.....</b>	<b>62</b>
<b>2. Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de la conductivité électrique (CE) du sol.....</b>	<b>64</b>
<b>3. Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de calcaire total du sol.....</b>	<b>67</b>
<b>4. Action de type et dose d'engrais sur l'évolution du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable.....</b>	<b>69</b>
<b>5. Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de l'azote total.....</b>	<b>72</b>

*Synthèses et Conclusion générale*

*Référence bibliographique*

*Annexe*

# ***Introduction***

### *Introduction*

En Algérie, la zone aride représente près de 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyper aride. Ces chiffres traduisent à eux seule l'intérêt de ces régions sur le plan socio-économique (HALITIM, 1988). Les sols sahariens sont 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 (HALILAT, 2004 ; MIHOUB et *al.*, 2012) .

D'après GOBAT et *al.* (2010) en agronomie, la notion de fertilité acquise ajouté à la fertilité naturelle est le travail de l'homme, qui vise à augmenter les capacités productives du sol grâce aux labours, à l'apport d'engrais et à l'utilisation de divers pesticides et herbicides. Les problèmes de conservation des sols agricoles étant devenus cruciaux à la fin du XX<sup>e</sup> siècle, il apparait une nouvelle acception de la fertilité. Cette approche intègre les besoins alimentaire de l'espèce humaine à ceux de l'ensemble des organismes vivants. Elle élargit l'idée du « producteur de récoltes » de la définition précédente à une durée qui garantit les fonctions édaphiques de toute la biocénose. Elle rend totalement justice aux êtres vivants du sol.

Le développement de la fertilisation s'est traduit par la mise en œuvre de grandes quantités de fertilisants, et la consommation mondiale moyenne d'engrais minéraux a augmenté de 78% entre 1988 et 2010. Il existe, malgré tout, de grandes disparités entre les différentes régions du monde. Globalement les quantités totales de substances fertilisantes augmentent, ce qui laisse présager un accroissement de la pression environnementale du fait des risques accrus de pollution des eaux qui peuvent en résulter. Cette constatation conduit nécessairement à souhaiter le développement de démarches telles que l'agriculture de précision et la fertilisation raisonnée, dans le cadre général d'une agriculture durable (CALVET, 2013).

RECOUS et *al.* (2015) considèrent que la fertilité des sols n'est pas une notion facile à définir, car elle est le résultat de l'expression des composantes biologiques, physiques et chimiques des sols et de leurs interactions. Elle s'apprécie sur des processus et fonctions différents, comme la production végétale (qualité et quantité récoltée) ou certaines propriétés des sols (par exemple vis-à-vis du travail du sol). Par contre SCHVARTZ et *al.* (2005) considèrent que la fertilisation est un concept clair, inclut d'une part les engrais dont la fonction principale est d'apporter des éléments nutritifs aux plants, d'autre part les amendements destinés à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

L'évaluation de la fertilité des sols est l'outil de décision le plus fondamental pour planifier efficacement un système d'utilisation des sols particulier. Il existe plusieurs techniques d'évaluation de la fertilité des sols. Parmi eux les analyses de sol est un plus populaire partout, ainsi que plus approprié aussi. L'analyse des sols fournit des renseignements sur la disponibilité des nutriments dans les sols, ce qui constitue la base des recommandations sur les engrais pour la production économique de cultures. L'analyse du sol comprend les propriétés physiques (texture, structure, couleur, masse volumique, etc.) et chimiques (pH du sol, matière organique, macronutriments et micronutriments, etc.), qui symbolisent les conditions préalables à la gestion durable du sol (KHADKA et *al.*, 2019).

La teneur en éléments nutritifs du sol (principalement l'azote, le phosphore et la potasse) a été interprétée comme un indicateur de fertilité – jusqu'à ce que des engrais artificiels soient considérés comme disponibles sur demande et substituent une fertilité du sol (FIBL, 2016). Les plantes souffrent souvent de l'approvisionnement insuffisant en nutriments par le sol. Ces insuffisances sont satisfaites par l'application d'engrais. Les engrais sont tous les matériaux ajoutés au sol ou aux feuilles de plantes pour fournir des nutriments. Il existe divers matériaux naturels et synthétisés utilisés comme engrais (KHAN, 2013). Les engrais, qu'ils soient minéraux, synthétiques ou organiques, sont des intrants importants et largement utilisés dans l'agriculture qui contribuent à la sécurité alimentaire mondiale et aux moyens de subsistance des agriculteurs et jouent un rôle essentiel dans la nutrition humaine (FAO, 2018).

Les engrais industriels sont solubles, à action rapide, Ils contiennent des éléments nutritifs sous les formes disponibles et, par conséquent, ils sont très efficaces pour corriger les lacunes actuelles (KHAN, 2013). Les engrais minéraux ont des valeurs nutritives plus élevées et plus prévisibles que les sources organiques ; ils contiennent des nutriments disponibles immédiatement pour les plantes et se prêtent plus facilement aux échanges, ce qui explique qu'ils ont été rapidement adoptés par les agriculteurs (DEBER, 2015).

L'utilisation rationnelle des engrais doit être basée sur la connaissance de la richesse initiale du sol en éléments fertilisants et leur disponibilité en périodes de forte utilisation par les cultures et de l'objectif du rendement souhaité (BOUKHALFA-DEBRAOUI et *al.*, 2011). D'après FAO (2018) l'utilisation et la gestion responsables des engrais au niveau de l'exploitation exigent un examen attentif de nombreux paramètres, notamment la culture envisagée, l'état du sol, les activités agronomiques passées, l'irrigation, les conditions météorologiques, l'économie agricole, la teneur en nutriments et les

caractéristiques des engrais ainsi que l'accès aux engrais. L'utilisation incorrecte d'engrais peut avoir des effets dommageables sur l'eau, l'air, les sols et le climat, car l'azote et le phosphate qui ne sont pas absorbés par les plantes peuvent se perdre dans l'environnement (DEBER, 2015).

L'Algérie, malgré ses richesses, ses potentialités et ses capacités, utilise peu d'engrais. L'utilisation semble se stabiliser autour de 45 unités d'éléments nutritifs/ha, mais reste en deçà des normes d'intensification des cultures et d'amélioration de la productivité (FAO, 2005). Actuellement l'agriculture algérienne ne consomme que 100 000 tonnes d'éléments fertilisants environ par an alors que, selon la moyenne mondiale, la consommation devrait se situer à 850 000 tonnes par an (FAO, 2005).

Dans les zones arides et semi-arides, le phosphore et le potassium sont essentiels pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse et l'assimilation de l'azote (FAO, 2005). Selon MOUSSAOUALI (2014) ; les besoins en engrais devraient augmenter car les sols de ces zones sont généralement pauvres en éléments nutritifs ; sachant que sous climat hyperaride, l'amélioration des techniques de production est centrée, de plus en plus, autour de l'efficacité d'utilisation des engrais.

Comme nous l'avons mentionné précédemment selon HALILAT (2004) et MIHOUB *et al.* (2012), les sols sahariens sont pauvres en éléments nutritifs, et d'après TAFFOUO *et al.* (2008) les processus de dégradation des régions aride et semi-aride sont l'appauvrissement des sols en éléments minéraux et la salinisation. Et le problème de la salinité de sol conduit à insolubiliser de nombreux éléments indispensables à la plante et la fertilité du sol en est fortement réduite (JAMAGNE et RUELLAN, 2009). Le problème de la salinité de sol et de l'eau est un facteur majeur limitant les rendements céréaliers (BEN KHALED *et al.*, 2007). La salinité a des effets inhibiteurs sur les aspects physiologiques du blé qui nuisent à la croissance et au rendement de la culture. L'accumulation de sel dans la zone racinaire provoque le développement du stress osmotique et perturbe l'homéostasie des ions cellulaires en provoquant à la fois l'inhibition de l'absorption d'éléments essentiels comme  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $NO_3^-$ , et des réductions des concentrations de P induites par la salinité dans les tissus végétaux (RANI *et al.*, 2019). Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le Sodium entre en compétition avec le Potassium et le Calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate (PARIDA et DAS, 2005).

La gestion des engrais peut avoir une incidence importante sur la productivité des cultures dans des conditions de sécheresse ou de salinité. Par conséquent, l'ajout de nutriments peut soit accroître ou diminuer la résistance des plantes à la sécheresse ou à la salinité, soit n'avoir aucun effet, selon le niveau de disponibilité de l'eau et le stress du sel (BEN KHALED *et al.*, 2014).

D'après GUIMEUR et BARKAT (2014) les régions arides et sahariennes, sont caractérisées par des sols gypseux calcaires et salins, qui ont une influence défavorable sur les propriétés physico-chimiques, notamment la disponibilité et l'absorption des éléments minéraux nécessaires pour la vie végétale. Et d'après MOORE (2001) le carbonate de calcium est un minéral commun dans les sols semi-arides et arides ; dans les sols calcaires, le pH varie entre 7,0 et 8,4 dans des conditions aérobies, la calcite ( $\text{CaCO}_3$  pur) a une faible solubilité dans l'eau et n'est pas toxique pour les plantes, bien qu'il puisse affecter l'absorption des nutriments. D'autre part le calcaire influe sur le pH du sol qui influe à son tour sur l'assimilation du phosphore (BOUKHALFA-DERAOUÏ *et al.*, 2015). Et d'après Le Tacon (1978) la quantité d'azote minéral total mis à la disposition des plantes est beaucoup plus faible en sol carbonaté qu'en sol décarbonaté.

Dans ce cadre s'inscrit notre travail qui vise à examiner l'utilisation de différentes formes, types et doses d'engrais azotée et phosphatée dont l'objectif est l'optimisation de la fertilisation phospho-azotée en condition saline et carbonatées ; trouver la meilleur formule qui combiné la forme et la dose des engrais. L'augmentation des rendements et la disponibilité des éléments nutritifs pour la culture de blé dur.

Le travail sera présenté un deux grands parties :

Dans une première partie nous abordons un aperçu bibliographique qui contient deux chapitres. Le premier chapitre sur la fertilisation et la deuxième sur les engrais.

Dans la deuxième partie de cette thèse décrit le matériel biologique et l'ensemble des méthodes utilisées dans notre étude. Les étapes suivies dans l'exploitation de nos résultats ainsi que leur discussion sont présentées dans le deuxième chapitre. Et enfin une conclusion générale et perspectives.



# ***Partie I***

## ***Synthèse Bibliographique***

# ***CHAPITRE I***

---

**CHAPITRE I : Généralité sur la Fertilisation****1. Définition****1.1. Notion de fertilité**

Dans les années 1960, le scientifique ERNST KLAPP définit la fertilité des sols dans un sens pratique comme "la capacité naturelle et durable d'un sol à produire des plantes". Il l'a décrite comme la capacité du sol à tout fournir pour des rendements stables sans aide extérieure (BERNER *et al.*, 2016).

Avec l'émergence des sciences agricoles appliquées, le rendement d'un sol a été considéré comme sa mesure essentielle de la fertilité. La teneur en éléments nutritifs du sol (principalement l'azote, le phosphore et la potasse) a été interprétée comme un indicateur de fertilité – jusqu'à ce que les engrais artificiels soient perçus comme étant disponibles sur demande. Mais avec la diminution des ressources, la discussion sur le terme va encore dans une autre direction. L'efficacité du cycle des éléments nutritifs dans le sol - en particulier au cours du cycle - pour les rendements des plantes comme moyen de mesurer la fertilité du sol revient au premier plan (BERNER *et al.*, 2016).

D'après KHAN *et al.* (2013), la fertilité du sol peut être définie comme la capacité d'un sol à fournir des éléments nutritifs aux plantes sous les formes disponibles, en quantités suffisantes pour sa croissance et sa reproduction normales, et l'absence de toute toxicité. Et d'autre part, la fertilité du sol est un état du sol qui est créé par les interactions complexes des propriétés physiques, chimiques et biologiques.

**1.2. La fertilisation**

La fertilisation est un ensemble de pratiques culturelles coordonnées ayant pour objectif d'assurer aux plantes cultivées une alimentation correcte dans l'ensemble des éléments nutritifs. Par l'apport de matières fertilisantes (engrais et amendements), elle a pour buts : de créer, améliorer ou maintenir les caractéristiques biologiques et physico-chimiques du sol aptes à optimiser l'absorption par les plantes des éléments nécessaires à leur croissance et au rendement (EL HASSANI et PERSOONS, 1995). Afin de maintenir la durabilité de l'agriculture, les nutriments qui sont retirés du sol par les cultures doivent être remplacés. Il existe plusieurs méthodes pour assurer le remplacement des éléments nutritifs du sol : (1) Mécanismes biologiques - comprend les associations symbiotiques de cultures avec des microorganismes spécialisés, comme les fixateurs d'azote ou les mycorhizes (fertilisation

biologique). (2) Retour des éléments nutritifs dans le sol sous forme d'amendements organiques comme les résidus de culture, le fumier de bétail et d'autres modifications (fertilisation organique). (3) Les engrais inorganiques produits commercialement sont la méthode la plus utilisée pour remplacer les éléments nutritifs du sol, et la grande variété d'engrais disponibles offre la possibilité de remplacer certains éléments nutritifs (fertilisation minérale) (BAILEY et KRYZANOWSKI, 2011).

D'après RUSEK et *al.* (2016) La fertilisation est une partie importante et dynamique de la technologie de culture et a le plus grand effet sur la formation de la partie économique du rendement du blé en grain. Les principaux facteurs qui déterminent la fertilité du sol sont: la matière organique du sol (y compris la biomasse microbienne), la texture du sol, sa structure, sa profondeur, sa teneur en éléments nutritifs, sa capacité de stockage (capacité d'adsorption), sa réaction et l'absence d'éléments toxiques (FAO, 2003).

Le taux de saturation et la capacité d'échange sont de bons indicateurs du degré de fertilité minérale d'un sol. La plante puise dans la solution du sol des cations utiles, dont la disponibilité est directement fonction de la garniture du complexe. Mais la fertilité minérale globale nécessite aussi une bonne offre en anions, qui ne sont pas pris en compte dans le taux de saturation. Si le potassium est essentiel à la croissance des plantes, le nitrate et le phosphate le sont tout autant. Cette fertilité minérale globale fournie par les cations et les anions, n'est pourtant qu'une partie de la fertilité naturelle générale du sol (GOBAT et *al.*, 2010).

### **1.3. La Fertilisation raisonnée**

La fertilisation raisonnée a pour but d'apporter à la culture la juste dose d'engrais, à un moment précis et au bon endroit. L'intérêt est pour l'agriculteur d'avoir une efficacité agronomique maximale des unités fertilisantes apportées. Il convient aussi de réduire au minimum l'impact sur l'environnement. L'efficacité de l'unité fertilisante apportée sur une culture dépend des caractéristiques chimiques et des caractéristiques physiques de l'engrais utilisé (ROUSSELET et *al.*, 2009).

## 2. La fertilisation azotée

### 2.1. L'azote

Dans la nature, l'azote est présent sous deux états : à l'état libre ( $N_2$ ) dans l'atmosphère et à l'état combiné, sous forme minérale (ammoniacale et nitrique) ou organique. Dans le sol, l'azote minérale peut être présent sous trois formes : l'ion ammonium ( $NH_4^+$ ) ou azote ammoniacal, l'ion nitrite ( $NO_2^-$ ) ou azote nitreux et l'ion nitrate ( $NO_3^-$ ) ou azote nitrique (SCHVARTZ *et al.*, 2005). L'azote comprend :

**-L'azote inorganique**, représenté en quasi-totalité par les ions  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ . Ces ions sont très solubles dans l'eau, aussi la plus grande partie se trouve-t-elle dans l'hydrosphère. Une fraction est adsorbée sur les complexes des sols. Les proportions de ces ions dépendent de la présence d'oxygène: le nitrate est dominant dans les milieux oxygènes, l'ammonium en conditions d'anoxie. Le nitrite, généralement à faible concentration, est caractéristique de la transition entre ces deux états, car il est un intermédiaire de la nitrification et de la dénitrification/ nitro-ammonification (GOBAT *et al.*, 2010).

**-L'azote de vivant ( $N_{\text{vivant}}$ )**. L'azote est, en masse, le troisième élément de la biomasse vivante, après le carbone et l'oxygène. Il présente 14% de la biomasse bactérienne et environ 5 à 10% de la zoomasse. Il est caractéristique des molécules actives de la vie : les protéines (enzymes) et leur constituants, les acides aminés, ainsi que les acides nucléiques et leur constituants, les nucléotides (GOBAT *et al.*, 2010).

**-L'azote organique de la biomasse morte ( $N_{\text{organique}}$ )**. Il est contenu dans des molécules stables héritées du vivant (protéines) de même que dans des molécules humiques (dérivées d'amines aromatiques, de peptides, etc.) (GOBAT *et al.*, 2010).

### 2.2. Cycle biogéochimique de l'azote

L'azote, l'élément le plus utilisé, est disponible en quantités pratiquement illimitées dans l'atmosphère et est continuellement recyclé parmi les plantes, le sol, l'eau et l'air. Cependant, il est souvent indisponible sous la forme correcte pour une absorption et une synthèse appropriées par la plante (PETER *et al.*, 2000). Se déplace dans un cycle parmi les composants sol-organisme-atmosphère. Ceci est connu comme le cycle de l'azote (KHAN, 2013). Les principaux processus biologiques de ce cycle sont :

### 2.2.1. Fixation d'azote atmosphérique

La fixation correspond à la transformation d'azote atmosphérique en azote organique. L'azote est d'abord réduit en ammoniac puis intégré dans les chaînes de synthèse protéiques et transformé en azote organique :



La fixation est réalisée par des micro-organismes très spécifiques. On distingue d'une part, la fixation libre d'azote, effectuée par des bactéries aérobies (*Azotobacter* sp.) ou anaérobies (*Clostridium* sp.), des algues bleues (cyanophycées) et, d'autre part la fixation symbiotique. Cette dernière résulte de l'association des légumineuses avec des bactéries du genre *Rhizobium* ou des quelques plantes d'autres familles avec un actinomycète de genre *Frankia*. Les quantités d'azote fixées par l'association symbiotique légumineuse – *Rhizobium* sont très dépendantes des conditions du milieu (concentration en nitrate, pH, humidité, souches de *Rhizobium*) (SCHVARTZ *et al.*, 2005).

### 2.2.2. Minéralisation de l'azote organique

Elle correspond à la dégradation de la matière organique du sol (SCHVARTZ *et al.*, 2005). Au cours de la décomposition de la matière organique, les composés azotés organiques tels que les acides aminés, les peptides, les protéines et les nucléoprotéines présents dans la matière organique du sol sont convertis en azote inorganique comme l'ammonium et le nitrate ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) (KHAN, 2013). Cette minéralisation est réalisée en deux étapes :

**-L'ammonification :** est assurée par une microflore très diversifiée et abondante de champignons et bactéries, appelée par fois la microflore ammonifiante, qui transforme l'azote organique en ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) (SCHVARTZ *et al.*, 2005).

**-La nitrification :** est l'oxydation biologique de l'azote ammoniacale en azote nitrique. Cette transformation se fait en deux étapes successives :

- Dans la première étape, l'ammoniac est oxydé en nitrite.



-Dans la deuxième étape du processus, les bactéries nitrites-oxydantes *Nitroact* oxydent le nitrite en nitrate selon l'équation suivante (KHAN, 2013):



La nitrification s'effectue sous l'action de bactéries autotrophes spécifiques qui récupèrent l'énergie dégagée au cours de ces réactions. Les conditions optimale d'activité de ces populations sont assez strictes : aérobiose, pH compris entre 6,0 et 9,0, température compris entre 28 et 36°C (SCHVARTZ et al., 2005).

**2.2.3. Organisation de l'azote minéral :** c'est le processus inverse de la minéralisation. Elle correspond à l'assimilation d'azote minéral par des micro-organismes hétérotrophes très diversifiés qui assimilent préférentiellement la forme ammoniacale à la forme nitrique. La croissance et l'activité de ces organismes hétérotrophes dépendent de la présence de carbone facilement assimilable, provenant de résidus végétaux et de produits organiques incorporés au sol (SCHVARTZ et al., 2005).

**2.2.4. Dénitrification :** correspond à un retour vers l'atmosphère de l'azote sous sa forme moléculaire N<sub>2</sub>. Ce processus est commandé par une réaction de réduction de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par l'intermédiaire des bactéries qui transforment la matière organique selon la réaction suivante (EMMANUEL et al., 2007) :



Les bactéries dénitrifiantes comprennent des représentants de *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, et *Micrococcus*. Ces bactéries sont aérobies facultatives et elles peuvent utiliser l'oxygène comme accepteur d'électrons pour l'oxydation de la matière organique (KHAN, 2013).

### 2.3. L'azote dans la plante

Azote (N): Il est le moteur de la croissance végétale. Il représente 1 à 4% de la matière sèche végétale. Il se combine aux composés du métabolisme des hydrates de carbone de la plante pour donner des acides aminés et des protéines (FAO, 2003). Il joue un rôle dans presque tous les processus métaboliques des plantes. L'azote est une partie de la chlorophylle, le pigment vert de la plante responsable de la photosynthèse, Les aspects de croissance et de développement des plantes comme la germination des graines, le développement des feuilles, le développement des fleurs et des fruits, l'architecture des racines peuvent être affectée par la quantité d'azote fournie aux plantes (HASHEM, 2013). Il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) soit ammoniacale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (FAO, 2003) ; mais principalement sous forme de nitrate. Les niveaux d'azote nitrate varient considérablement, d'un champ à l'autre et d'une année à l'autre en raison des différences dans les types de sols, les conditions climatiques et les pratiques de gestion (MANITOBA, 2007).

**2.4. La fertilisation azotée**

Les cultures ont besoin d'une très grande quantité d'azote. Or, la quantité disponible provenant de sources naturelles (processus pédologiques, matière organique, irrigation etc.) ne suffit pas souvent à répondre à leurs besoins. Il faut donc épandre des engrais pour les combler (TREMBLAY *et al.*, 2001). La fertilisation azotée joue un rôle fondamental dans la détermination de la qualité des graines, le rôle clé étant attribué à la dose et à l'allocation d'azote pendant le cycle de culture, au type d'engrais, ainsi qu'au moment et à la méthode d'application (WARECHOWSKA, 2019).

**2.5. La fertilisation azotée de blé**

La fertilisation est une partie importante et dynamique de la technologie de culture et a le plus grand effet sur la formation de la partie économique du rendement du blé en grain (RUSEK *et al.*, 2016). Le blé absorbe et accumule lentement l'azote pendant les premiers stades de croissance jusqu'au tallage; ensuite, l'absorption d'azote est rapide jusqu'au stade de l'épiaison, puis elle ralentit à nouveau après la floraison jusqu'au stade de maturation du lait. L'accumulation d'azote dans les stades de croissance précoce et intermédiaire-précoce sert principalement à augmenter le rendement en grains, alors qu'au cours de l'épiaison et par la suite, son but principal est la synthèse des protéines céréalières. Dans des conditions environnementales appropriées, l'application de doses d'azote divisées entraîne une absorption d'azote plus élevée par les plantes. L'utilisation de doses d'azote divisées augmente la teneur totale en protéines du grain par rapport à la même dose d'azote appliquée une fois. La disponibilité de l'azote pour les plantes est déterminée par la forme d'azote présente dans les engrais. La source d'azote (urée, nitrate-N et ammonium-N) peut avoir un impact sur la teneur en protéines et la qualité du blé, principalement en modifiant l'absorption d'azote par les plantes. L'azote appliqué au stade de croissance a un effet positif, ce qui en fait un outil utile pour augmenter la teneur en protéines. La division de la dose totale d'azote et son application à différents stades de croissance affecte la qualité de la farine de blé car une application tardive d'azote favorise l'accumulation de protéines par rapport à l'amidon et prolonge le temps de remplissage du grain (WARECHOWSKA *et al.*, 2019). S'il n'y a pas assez d'engrais azoté, le rendement et la qualité du blé se détérioreront et, au contraire, une application excessive d'azote entraînera une moindre efficacité d'utilisation de l'azote dans le blé et une plus grande pollution de l'environnement. Un apport adéquat en azote améliore la teneur en protéines des organes végétatifs (RUSEK *et al.*, 2016).



### **3. La fertilisation phosphatée**

#### **3.1. Le phosphore**

Dans l'ordre d'importance des éléments présente dans la biosphère et la lithosphère, le phosphore occupe le septième rang, et correspond à environ 0.13% de la masse totale. Il est cependant beaucoup plus abondant que l'azote dans les roches, où il se trouve à l'état combiné, sous forme d'un grand nombre de phosphates minéraux (SCHVARTZ *et al.*, 2005)

Le Phosphore (P) est un élément essentiel de tous les organismes vivants (FROSSARD *et al.*, 2004). Élément nutritif essentiel pour l'établissement des structures biologique et les fonctionnement des processus métaboliques indispensables à la vie (SCHVARTZ *et al.*, 2005). Le phosphore est le deuxième élément nutritif le plus essentiel limitant la production agricole (BAILEY et KRYZANOWSKI, 2011; RUSEK *et al.*, 2016).

#### **3.2. Cycle biogéochimique de phosphore**

Le phosphore n'ayant pas de phase gazeuse, son cycle est très différent de celui de l'azote (BAILEY et KRYZANOWSKI, 2011).

Pendant le cycle dans le sol, le phosphore subit des transformations impliquant des interconversions des trois formes de phosphore inorganique, phosphore disponible, phosphore adsorbé sur les colloïdes organiques et inorganiques, ou des précipitations avec d'autres ions ou composés. Aussi, phosphore organique minéralisé en phosphore inorganique, et phosphore inorganique est immobilisé en phosphore organique (KHAN, 2013).

Le phosphore existe, dans les roches et dans les sols, le plus souvent sous les forme de composés de type apatites :  $\text{Ca}_4(\text{CaX})(\text{PO}_4)_3$  où X peut être  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^-$  (SCHVARTZ *et al.*, 2005). L'apatite est altérée chimiquement et biologiquement dans les phosphates disponibles. Le P disponible est adsorbé à partir du sol par les plantes et les micro-organismes pour leur activité physiologique. De cette façon, le P inorganique soluble est converti en composé de phosphate organique dans les tissus des plantes et des microorganismes. Ce processus est connu comme l'immobilisation du phosphore. Par la décomposition de la matière organique, le P est libéré dans le sol sous forme inorganique. C'est ce qu'on appelle la minéralisation du phosphore. Le P minéralisé peut de nouveau être adsorbé ou précipité, adsorbé par les plantes et les micro-organismes, ou une partie peut être lessivée dans les eaux souterraines. Par conséquent, les processus généraux de transformation du cycle P sont l'altération, la précipitation, la minéralisation et l'immobilisation, et l'adsorption et la

désorption. L'altération, la minéralisation et la désorption augmentent le P disponible, tandis que l'immobilisation, les précipitations et l'adsorption le diminuent. Parmi ces processus, la solubilisation, la minéralisation et l'immobilisation du P sont à médiation biologique (KHAN, 2013).

### **3.2.1. Minéralisation et immobilisation**

La minéralisation est la conversion microbienne de phosphore organique en phosphore inorganique par leur action, les champignons et les bactéries transforment le phosphore lié organiquement en phosphate inorganique, habituellement  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , une forme disponible pour les plantes. D'autre part, certains micro-organismes en particulier les bactéries assimilent le phosphate soluble et l'utilisent pour la synthèse cellulaire; ce processus est connu comme l'immobilisation. La minéralisation du phosphate est généralement rapide, favorisée par les températures élevées et plus dans les sols légèrement acides à neutres avec une forte teneur en phosphore organique. Les enzymes impliquées dans la minéralisation du phosphate à partir du composé de phosphore organique sont collectivement appelées phosphatases (KHAN, 2013).

### **3.2.2. Solubilisation du phosphore inorganique**

Dans les sols neutre à alcalins, le phosphore inorganique se présente essentiellement sous la forme de phosphate de calcium, soluble à pH acide. C'est principalement par la sécrétion d'acide dans le milieu (GOBAT et *al.*, 2010). Les racines des plantes et les micro-organismes solubilisent le phosphate par la sécrétion d'acides organiques (p. ex., acides lactique, acétique, fumarique et succinique). Les microorganismes dissolvants/solubilisants de phosphate prédominants sont des bactéries des genres *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Flavobacterium* et des champignons *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*. La solubilisation du phosphate par les racines des plantes et les micro-organismes du sol est fortement influencée par divers facteurs du sol, tels que le pH, l'humidité et l'aération. Les micro-organismes solubilisant le phosphate se trouvent concentrés dans la rhizosphère. Leur activité est réduite par l'acidité du sol (KHAN, 2013).

### **3.2.3. La précipitation du phosphore**

Dans le sol, le P inorganique soluble, les ions phosphate, participent à une réaction de précipitation fréquente principalement avec le fer, l'aluminium et le calcium en fonction du pH du système et de l'abondance du phosphate et des cations. Dans les sols neutres ou

calcaires, le  $\text{Ca}_2^+$  est le cation dominant. Avec les ions phosphates solubles (engrais ou produits de minéralisation), il forme initialement du phosphate dicalcique dihydraté ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), qui revient lentement à d'autres phosphates Ca tels que le phosphate octacalcium ( $\text{Ca}_8\text{H}(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), et finalement l'apatite ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ). Dans les sols acides,  $\text{Al}_3^+$  et  $\text{Fe}_3^+$  sont les principaux cations solubles. Ils précipitent les ions phosphate de la solution du sol. Le fer et les phosphates d'aluminium sont les précipités dominants dans les sols acides (KHAN, 2013).

#### **3.2.4. Sorption-désorption de phosphore**

L'insolubilisation des phosphates par précipitation avec Fe, Al, Mn et Ca et l'adsorption des phosphates par les colloïdes sont ensemble connus comme sorption de phosphate dans le sol. Une grande partie de l'engrais P est actuellement indisponible par P sorption. La rétention de P par interaction avec les hydroxydes et oxyhydroxydes de Fe et d'Al dans des solutions diluées de P implique le remplacement de  $\text{OH}^-$  par  $\text{PO}_4^{3-}$  (KHAN, 2013). Il en va différemment dans les sols acides, où les phosphates sont liés à des minéraux contenant du fer, de l'aluminium ou du manganèse, particulièrement des oxydes ou des hydroxydes. Ce sont alors des processus de désorption qui interviennent (GOBAT et *al.*, 2010). La désorption est la libération de P d'une phase solide dans la solution du sol par des processus autres que la dissolution minérale. la désorption se produit lorsque l'absorption des plantes, le ruissellement ou le lessivage réduit la concentration de P dans la solution du sol à de très faibles niveaux ou dans les systèmes aquatiques lorsque le P lié aux sédiments interagit avec les eaux à faible P, seule une petite fraction du P adsorbé dans la plupart des sols est facilement désorbable. La plupart du P ajouté aux sols dans les engrais ou les fumiers est adsorbé, mais pas facilement (KHAN, 2013).

#### **3.3. La disponibilité de phosphore dans le sol**

La disponibilité du phosphore dépend de plusieurs conditions. Il s'agit notamment de la quantité d'argile, du type d'argile, du pH, du P du sol, de la température du sol, du compactage, de l'aération, de la teneur en humidité, du type et de la quantité d'engrais, du temps et de la méthode d'application, de la grosseur des granules d'engrais et du placement. La disponibilité du phosphore dans le sol est indiquée par l'abondance des ions orthophosphatés dans la solution du sol. C'est un phénomène dépendant du pH puisque le pH du sol détermine les formes ioniques de phosphate et dirige les réactions auxquelles ces ions participent. À faible pH, le fer, l'aluminium et le manganèse deviennent très solubles dans le

sol. Ils réagissent avec les ions phosphate solubles pour former du phosphate insoluble. À pH élevé dans le sol sodique et calcaire, le calcium soluble réagit avec les ions phosphate solubles pour former du phosphate de calcium insoluble. Par conséquent, la carence en phosphore est probable dans les sols acides, alcalins, sodiques et calcaires. Les ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  solubles peuvent être adsorbés par les colloïdes du sol, y compris l'argile et les oxydes hydratés de Fe et d'Al. Le phosphate adsorbé n'est pas facilement accessible aux plantes. Il devient disponible lorsqu'il est de nouveau désorbé (KHAN, 2013).

### **3.4. Le phosphore dans la plante**

Le Phosphore Il compte pour 0,1 à 0,4% de la matière sèche (FAO, 2003). il joue un rôle essentiel dans de nombreux processus biologiques comme la croissance, la photosynthèse et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (FROSSARD et *al.*, 2004). Constituant de l'ATP; l'ATP fournit toute l'énergie nécessaire pour toutes les réactions de synthèse; formation de protéines, hydrates de carbone, d'acides nucléiques et autres réactions exigeant de l'énergie tel que l'absorption des éléments nutritifs à travers les membranes des cellules racinaires en cas d'absorption active. Ceci explique la forme chétive des plantes carencées en phosphore par une réduction de la croissance générale (élongation des racines) qui exige l'ATP. Le phosphore est nécessaire pour la réplication et la transcription de l'ADN. Constituant essentiel des membranes cellulaires sous la forme de phospholipides (BELAID, 2013). Il contribue à la rigidité des tissus et favorise donc la résistance à la verse, et Il permet une augmentation de la résistance au froid et aux maladies (VALE, 2010).

Le phosphore est absorbé par les plantes sous forme de  $\text{PO}_4^{-3}$ , communément appelé orthophosphate. Le prélèvement de P par la plante est contrôlé par ses besoins, par l'activité et la morphologie de son système racinaire, par la présence de micro-organismes symbiotiques (les mycorhizes à arbuscules) et par la disponibilité du P du sol (FROSSARD et *al.*, 2004).

### **3.5. La fertilisation phosphatée**

Les principes de base de la nutrition minérale des cultures démontrant que les apports de P étaient indispensables pour augmenter le rendement des cultures (FROSSARD et *al.*, 2004 ; BALEMI et NEGISHO, 2012). L'apport de phosphore il favorise la croissance précoce, essentiellement par une stimulation de la croissance des racines. Il accélère le développement avec pour conséquence une maturation plus précoce des grains. Il contribue à la rigidité des tissus et favorise donc la résistance à la verse. Il permet une augmentation de la résistance au

froid et aux maladies. Il est essentiel à la formation des grains (des quantités importantes de phosphore sont stockées dans les semences sous forme de phytine) (BELAID, 2013).

L'application d'engrais phosphatés dans les sols calcaires agricoles a introduit certains problèmes principalement dus à la fixation du P, à la faible récupération et à l'accumulation dans le sol. L'information sur les formes chimiques du phosphore est essentielle à la compréhension de la dynamique du phosphore et de ses interactions dans les sols calcaires qui sont nécessaires à la gestion du P. La diminution de la disponibilité du P est considérée comme une fonction complexe de plusieurs facteurs tels que : composition chimique du sol, quantité et réactivité des argiles silicatées,  $\text{CaCO}_3$ , oxydes de Fe, taux d'addition de P et durée. la disponibilité d'engrais à base de P dans les sols calcaires est en corrélation négative avec la teneur en  $\text{CaCO}_3$  du sol (HALAJNIA et *al.*, 2009). La méthode, l'époque et la dose d'application des engrais phosphatés influent sur l'importance de la réponse à la culture obtenue et ainsi sur l'efficacité de l'engrais en vue de la production d'un revenu économique rentable pour la production agricole (BARBAR, 1977).

### **3.6. La fertilisation phosphatée de blé**

Le phosphore améliore la réponse de plusieurs cultures à la fertilisation azotée, surtout le blé. En effet, pour que les plantes utilisent le supplément d'azote (par exemple pour la synthèse des protéines ou de la chlorophylle), elles ont besoin de plus de phosphore pour fournir l'ATP nécessaire. A la récolte, le phosphore est localisé majoritairement dans les grains. La teneur dans les pailles est généralement faible. L'intensité de prélèvement varie au cours du cycle de végétation. Le blé a une absorption plus régulière d'environ 0.8 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ / ha /jour. Un blé consommant pendant son cycle de croissance environ 400 mm d'eau (soit 4000 m<sup>3</sup>/ha), le flux d'évapotranspiration ne pourrait fournir qu'à peine 2 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ / ha, soit 2 à 3 % du prélèvement total de la culture, si seule la solution du sol y contribuait. Donc 97 à 98 % du phosphore extrait du sol par les racines est desorbé de la phase solide pour approvisionner la solution du sol : il s'agit de la réserve de phosphore «biodisponible » (BELAID, 2013). Le poids du grain et la composante du rendement la plus influencée par un apport de phosphore (MASMOUDI, 1998).

# ***CHAPITRE II***

---

**CHAPITRE II : Les engrais**

Les engrais sont des matériaux inorganiques ou organiques, naturels ou synthétisés qui sont ajoutés au sol pour fournir des nutriments végétaux (KHAN, 2013). Tout produit contenant au moins 5% ou plus de l'un ou plus des trois principaux éléments nutritifs des plantes (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) (FAO, 2003), sont ajoutés pour augmenter la fertilité du sol, la croissance et le rendement des plantes. Les engrais issus de fabrication industrielle sont appelés : les engrais minéraux, engrais commerciaux, engrais inorganiques, engrais chimiques et engrais industriels (KHAN, 2013).

Les engrais apportent aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elles ont besoin. Ils permettent d'augmenter la production et d'améliorer la qualité des cultures vivrières. Et améliorer la fertilité des sols pauvres qui ne cessent de se dégrader sous l'effet d'une surexploitation. Les besoins en éléments nutritifs et la réponse aux engrais varient non seulement d'une culture à l'autre, mais aussi d'une variété à l'autre de la même culture (FAO, 2003).

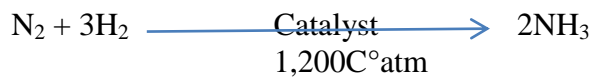
Les engrais inorganique sont ceux qui sont fabriqués avec des quantités prédéterminées ou déclarées de nutriments d'Azote, de Phosphore et de Potassium (NPK). Ceux-ci peuvent être des engrais simples : Ces engrais ont une teneur connue en l'un des trois nutriments primaires N ou P ou K. Et composés : contiennent deux ou trois nutriments primaires (NP, NK, PK et NPK) (PATRICE, 2012).

Les principales propriétés chimiques des engrais minéraux sont les formes chimiques des éléments fertilisants de l'engrais, la solubilité dans l'eau et les réactifs chimiques, l'association des éléments fertilisants entre eux et la teneur (ROUSSELET et *al.*, 2009). Cet engrais se présente sous forme de granules, gazeuse ou liquide (MUNROE, 2018).

**1. Les engrais azotés**

Les roches ne contiennent pas d'azote. Tous les engrais azotés minéraux commercialisés sont donc des produits de synthèses, fabriqués à partir de l'azote gazeux de l'atmosphère (MADELEIN, 2014). L'ammoniac est la substance de base pour la production de composés azotés industriels (KHAN, 2013). La synthèse de l'ammoniac à partir de l'hydrogène et de l'azote est réalisée, en présence d'un catalyseur, dans un réacteur où règnent une pression et une température élevées. L'ammoniac ainsi obtenu est utilisé pour la fabrication de l'acide nitrique (par oxydation) et des engrais azotés (SCHVARTZ et *al.*, 2005).

Le processus général peut être décrit comme suit :



La réaction globale est :  $7\text{CH}_4 + 10\text{H}_2\text{O} + 2\text{O}_2 = 16\text{NH}_3 + 7\text{CO}_2$

L'ammoniac ainsi produit peut être utilisé directement comme engrais ( $\text{NH}_3$  anhydre).

D'autres composés azotés sont préparés sous forme d'ammoniac (KHAN, 2013). Tels que:

1.  $\text{NH}_3 + \text{O}_2 + \text{NH}_3 =$  nitrate d'ammonium
2.  $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 =$  Urée
3.  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 =$  sulfate d'ammonium
4.  $\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 =$  phosphate d'ammonium
5.  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{NO}_3 =$  solution azote

Les formes de N contenues dans les engrais minéraux sont généralement plus vite disponibles pour les plantes que le N lié à la matière organique (RICHNER *et al.*, 2017).

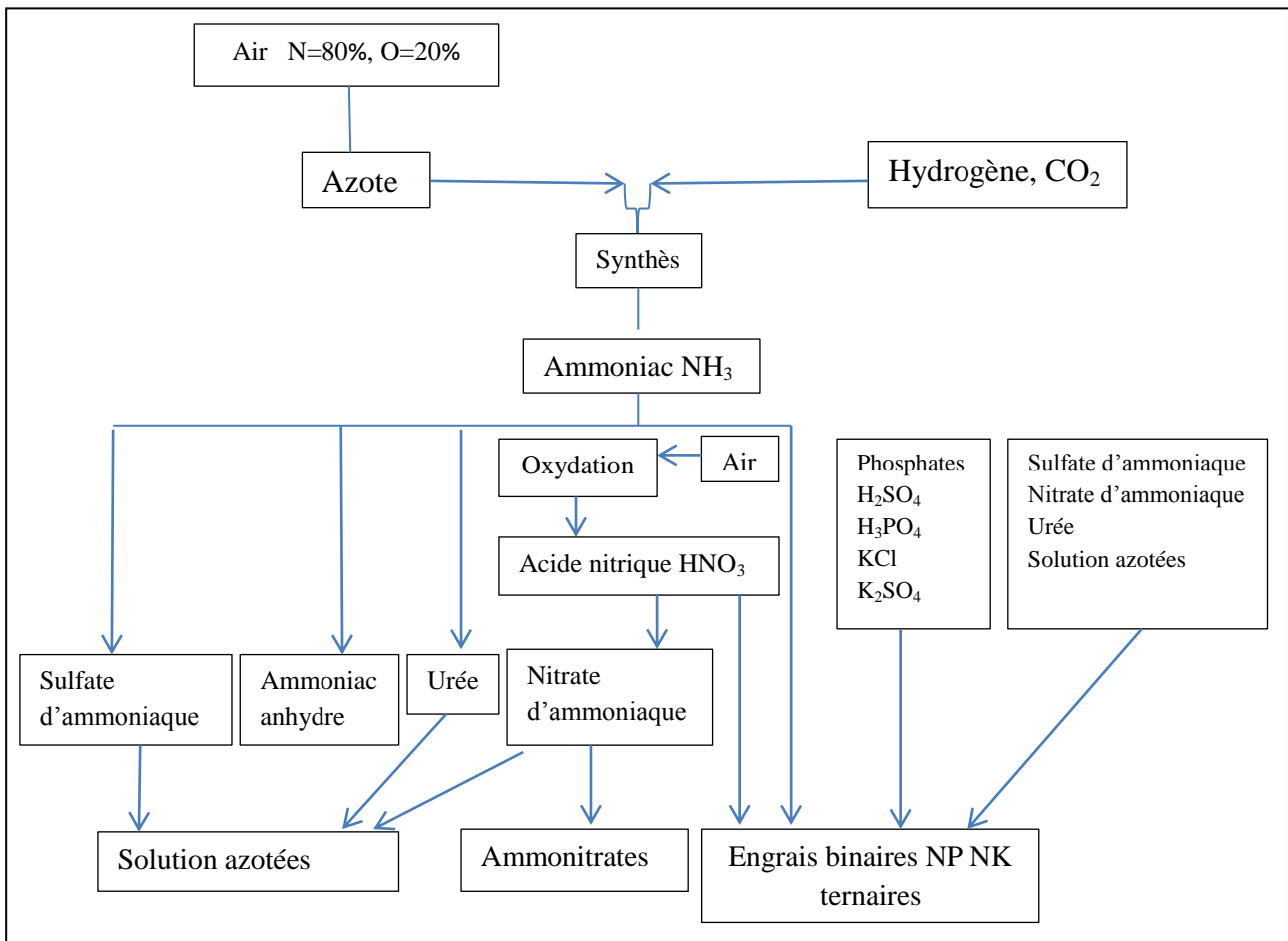


Figure 01 : Principe de fabrication des engrais azotés (SCHVARTZ *et al.*, 2005).



On peut classer les engrais azotés se en quatre groupe suivant la forme chimique de l'azote : les engrais nitriques, les engrais ammoniacaux, les engrais mixtes ammonitrés et amidés (VALLERIE, 2012).

**Tableau (01) : Classification des engrais azotés (SCHVARTZ et al., 2005; KHAN, 2013; MADELEIN, 2014):**

Engrais		Formule	%	Remarque
<b>Engrais nitriques</b>	Le nitrate de sodium	$\text{NaNO}_3$	16% N, 36,5% $\text{Na}_2\text{O}$	Ces engrais nitriques sous forme granulée sont utilisés en cultures spéciales. Ils sont employés généralement en cours de végétation au moment où la culture est en pleine croissance. Ils contiennent de l'azote sous la seule forme nitrique $\text{NO}_3^-$ .
	Le nitrate de calcium	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15,5% N, 34% $\text{CaO}$	
	Le nitrate de calcium et le magnésium	$\text{Ca},\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	15% N, 46% $\text{CaO}$ , 8% $\text{MgO}$	
	Le nitrate de potassium	$\text{KNO}_3$	13% N, 46% $\text{K}_2\text{O}$	
<b>Engrais ammoniacaux</b>	Le sulfate d'ammoniaque	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21% N, 61% $\text{SO}_3$	Ils fournissent de l'azote sous la seule forme ammoniacale $\text{NH}_4^+$ .
	L'ammoniac anhydre	$\text{NH}_3$	82% N	
	Chlorure d'ammonium	$\text{NH}_4\text{Cl}$	26,19% N, 66,28% Cl	
<b>Engrais ammoniaconitrique</b>	Les ammonitrates	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	33% N	Le nitrate d'ammoniaque, résultant de la neutralisation de l'acide nitrique par l'ammoniac. Ils sont sous forme granulée, engrais simple les plus utilisés, en raison de leur teneur élevée en azote, de leur souplesse d'emploi et l'efficacité agronomique.
	Les ammonitrats enrichis en $\text{SO}_3$ et/ou $\text{MgO}$		25 à 28% N, 20 à 35% $\text{SO}_3$ , 8% $\text{MgO}$	Ammonitrates peuvent être complétés avec $\text{SO}_3$ , ou $\text{SO}_3^+$ $\text{MgO}$ (sulfonitrate). Le rôle du soufre et du magnésium étant, dans l'alimentation des plantes, souvent en synergie avec l'azote

<b>Engrais uréique</b>	Urée	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46% N	obtenue par synthèse à partir de l'ammoniac et du gaz carbonique, lui-même obtenu lors de la fabrication de l'ammoniac. C'est l'engrais azoté solide le plus concentré. Très soluble, se transforme rapidement dans le sol en gaz carbonique et en azote ammoniacal. elle est habituellement sous forme perlée ou, de plus en plus, granulée.
<b>Engrais amidiques</b>	La cyanamide calcique	$\text{CN}_2\text{Ca}$	18 à 21% N	Ce produit peu utilisé contient 60% à 70% de CaO. Intéressant en sols acides ou lourds.
<b>Les solutions azotées.</b>	-solution d'ammoniaque -les solutions à base d'urée. -les solutions de nitrate d'ammoniaque et d'urée	$\text{NH}_4\text{OH}$	20 % N	Les solutions azotées sont généralement employées en couverture sur des cultures en cours de végétation.

## 2. Les engrais phosphatés

Les engrais phosphatés sont fabriqués à partir de phosphate naturels ou de sous-produits de la sidérurgie (MADELEIN, 2014). La source naturelle de phosphore est le phosphate de roche ou la roche de phosphate qui peut être primaire ou secondaire mais contient la fluorapatite minérale  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)(\text{FOH})_2$ . La roche phosphatée est extraite et moulue en poudre, qui peut être utilisée directement comme engrais phosphaté, ou est transformée pour la fabrication d'autres engrais phosphatés (KHAN, 2013). Le phosphate de roche est traité avec de l'acide sulfurique et réagit souvent avec d'autres produits chimiques comme l'ammoniac pour produire des engrais qui sont également des sources d'azote ou d'autres nutriments (BAILEY et KRYZANOWSKI, 2011).

Les engrais phosphatés sont caractérisés par leur teneur en phosphore, exprimée en anhydride phosphorique  $\text{P}_2\text{O}_5$ , et par leur solubilité dans différents réactifs (SCHVARTZ *et al.*, 2005). Le phosphate souterrain est insoluble dans le sol et est solubilisé au fil du temps en ions phosphates et absorbé par les plantes (KHAN, 2013).

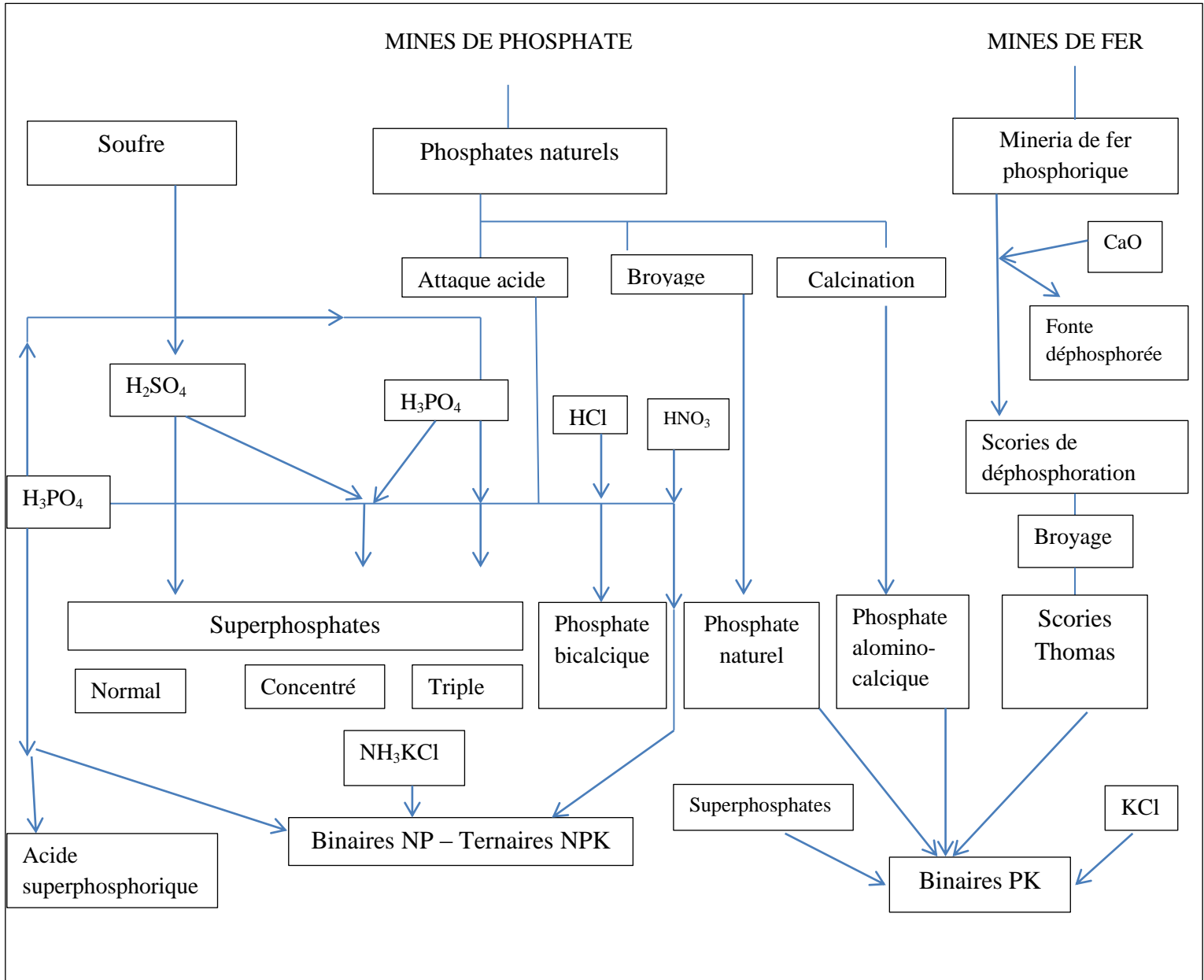


Figure 02 : Principe de fabrication des engrais phosphatés (SCHVARTZ et al., 2005).

Tableau (02) : Classification des engrais phosphatés (UNIFA, 1997 ; SCHVARTZ *et al.*, 2005; MADELEIN, 2014):

Engrais		Formule	%	Remarque
Superphosphates	Superphosphate simple	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2^+$ $\text{CaSO}_4$	16 à 20 % $\text{P}_2\text{O}_5$	Obtenu par réaction du phosphate minéral moulu avec l'acide sulfurique et contenant, comme composant essentiel, du phosphate monocalcique ainsi que du sulfate de calcium. contient 12 % de soufre et plus de 20 % de calcium (CaO).
	Superphosphate concentré		25 à 37 % $\text{P}_2\text{O}_5$	obtenu par réaction du phosphate minéral moulu avec de l'acide sulfurique et de l'acide phosphorique et contenant, comme composant essentiel, du phosphate monocalcique ainsi que du sulfate de calcium
	Superphosphate triple	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	46 % $\text{P}_2\text{O}_5$	Le traitement de la roche phosphatée avec de l'acide phosphorique produit du triple superphosphate TSP, qui est du phosphate monocalcique avec une teneur plus élevée en phosphore.
Phosphates naturels	Partiellement solubilisés	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)(\text{FOH})_2$	20 % $\text{P}_2\text{O}_5$	obtenu par attaque partielle du phosphate naturel moulu, par l'acide sulfurique ou l'acide phosphorique. Ils contiennent essentiellement du phosphate monocalcique, du phosphate tricalcique et du sulfate de calcium.
	Partiellement tendres		25 à 33 % $\text{P}_2\text{O}_5$	obtenus par la mouture de phosphates minéraux naturels tendres dont les composants essentiels sont le phosphate tricalcique et le carbonate de calcium. Ils contiennent du phosphate tricalcique. Cette forme ne convient pas aux sols à pH alcalins.
Scories Thomas			12 % $\text{P}_2\text{O}_5$	Poudre fine. Elles contiennent 10 % de CaO libre et 30 à 35 lié au phosphore, susceptible de jouer un rôle alcalinisant dans le sol. Elles renferment également du magnésium et divers éléments traces (Mn, Si, Va, Fe, Mo,...). sont obtenues en insufflant dans la fonte phosphoreuse

			additionnée d'un fondant (chaux ou dolomie) un puissant jet d'air ou d'oxygène qui oxyde le phosphore et le transforme en acide phosphorique.
<b>Phosphate bicalcique</b>	CaHPO <sub>4</sub>	38 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Soluble dans le citrate d'ammonium alcalin. Il est un sel de calcium de l'acide orthophosphorique

### 3. Les engrais composés :

Selon les procédés de fabrication, on distingue les engrais composés obtenus par réaction chimique, les engrais de mélange physique après mouture, les engrais de mélange mécanique et les engrais composés liquides obtenus par dissolution dans l'eau (SCHVARTZ et *al.*, 2005).

**-Les engrais composés obtenus par réaction chimique entre matières premières et produits intermédiaires (engrais complexes):** produits par des méthodes faisant intervenir une réaction chimique entre les matières premières contenant plusieurs éléments nutritifs choisis (chaque granule contient le même ratio d'éléments fertilisants déclaré sur l'étiquette) (FAO, 2003). Ces réactions chimiques sont réalisées entre des matières premières et des produits intermédiaires : phosphates naturels, ammoniac, acides nitrique, sulfurique et phosphorique, chlorure et sulfate de potassium, etc (SCHVARTZ et *al.*, 2005). On obtient ainsi : - des engrais ternaires NPK, des engrais binaires NP, tels que les phosphates d'ammoniaque (le plus répandu titre 18 % N et 46 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ou les nitrophosphates, et des engrais binaires NK, tels que le nitrate de potassium (13 % N et 46 % K<sub>2</sub>O). Ces engrais composés se présentent, en général, sous forme de produits granulés (UNIFA, 1997).

#### **-Les engrais composés de mélange physique après mouture d'engrais simples :**

Ils sont obtenus par mélange physique d'engrais simples sous forme solide; sans aucune réaction chimique entre eux (FAO, 2003). Les procédés mécaniques utilisés doivent permettre d'obtenir des mélanges de composition homogène et stable. Ces engrais composés se présentent sous forme pulvérulente, compactée, ou granulée (UNIFA, 1997).

On distingue essentiellement les engrais ternaires NPK, et les engrais binaires PK, qui sont les plus utilisés comme engrais de fond à l'automne : super-potassiques, les phospho-potassiques, les scories potassiques.

Les différentes matières premières phosphatées peuvent être généralement associées entre elles pour obtenir des engrais composés PK tels que les super-phospho-potassiques, superphosphal-potassiques, scories-phospho-potassiques (SCHVARTZ *et al.*, 2005).

**-Les engrais composés de mélange mécanique d'engrais simples ou complexes (dit de «bulk-blending»):** consistent en une granulation après un mélange à sec d'engrais simples. Les granules résultant de ce mélange contiennent des teneurs différentes en éléments nutritifs; obtenu par pression mécanique conduisant à des grains homogènes contenant tous les éléments nutritifs dans leur composition déclarée (FAO, 2003). Les caractéristiques physiques des matières premières constitutives du mélange devront être les plus semblables possibles pour obtenir une bonne homogénéité de l'engrais, seule garantie d'un bon épandage. Toute manutention peut entraîner des modifications d'homogénéité du produit (SCHVARTZ *et al.*, 2005).

**-Les engrais composés liquides obtenus par dissolution dans l'eau :**

-Solutions claires : Leur densité varie de 1,2 à 1,4 ; leur dosage peut être exprimé aux 100 kg ou aux 100 litres.

- suspensions : Elles permettent d'atteindre des teneurs en éléments fertilisants analogues à celles des engrais ternaires solides les plus concentrés. Peuvent être additionnés de soufre ou d'oligo-éléments.

Leur épandage implique la mise en œuvre d'un matériel spécialement adapté (UNIFA, 1997).

**Tableau (03) : Classification des engrais composés (MOUGHLI, 2000; FAO, 2003).**

Engrais		Formule	%	Remarque
<b>Engrais binaires</b> <b>NP, NK, PK</b>	Mono-Ammonium Phosphate (MAP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	11% N 55 % $\text{P}_2\text{O}_5$	L'azote sous forme d'ammonium. se place parmi les engrais phosphatés granulaires les plus concentrés
	Di-Ammonium phosphate (DAP)	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	18 % N 46 % $\text{P}_2\text{O}_5$	
	Ammonium Sulfo-Phosphate (ASP)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{HPO}_4$ . $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	19 % N 38 % $\text{P}_2\text{O}_5$ 3 à 14 % S	
	Nitrate de	$\text{KNO}_3$	13% N, 46% $\text{K}_2\text{O}$	L'azote sous forme nitrique.

	potassium			soluble dans l'eau
	Nitrate de calcium	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15,5% N, 34% CaO	
	Le phosphate Dipotassium	$\text{K}_2\text{HPO}_4$		
	Le phosphate de monopotassium	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	52% $\text{P}_2\text{O}_5$ , 34% $\text{K}_2\text{O}$	
<b>Engrais ternaires</b>	NPK		5 à 26 % N 5 à 35 % $\text{P}_2\text{O}_5$ 5 à 26 % $\text{K}_2\text{O}$	

## ***Partie II***

# ***Etude Expérimentale***



# ***Chapitre I***

## ***Matériel et Méthodes***

## **CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES**

### **1. Objectif de travail**

Les sols de l'Algérie sont généralement pauvres en azote et en phosphore surtout en région aride. Dans cette région on trouve un autre problème qu'est la salinité qui s'accompagne souvent avec la présence de gypse ou de calcaire, ces sols sont généralement pauvres en azote et posent toujours le problème de la disponibilité du phosphore assimilable.

Notre travail vise à examiner l'utilisation de différents types, formes et doses d'engrais azoté et phosphaté dont l'objectif est l'optimisation de la fertilisation phospho-azotée en condition saline et carbonatées ; trouver la meilleur formule qui combine la forme et la dose d'engrais ; l'augmentation des rendements et la disponibilité des éléments nutritifs pour la culture de blé dur.

L'expérimentation a été effectuée au niveau du département des sciences agronomiques, université de Biskra.

### **2. Matériel d'étude**

#### **2.1. Matériel végétal :**

Le matériel végétale choisi dans notre étude est une variété de blé dur dit Mohammed ben Bachir (MBB) ; est une sélection généalogique d'une population locale de blé dur. C'est une variété très appréciée sur les hauts plateaux de l'Est algérien. Elle est très précoce à paille haute et a cycle végétative relativement longue, Productivité moyenne, tolérante à la sécheresse (ITGC, 2017).

#### **2.2. Les engrais utilisés :**

Nous avons utilisé dans notre étude deux types d'engrais phospho-azotés ; simple (ne contenant qu'un seul élément nutritif) et composés (qui peuvent en contenir deux ou trois) sous différentes formes.

##### **✓ Les engrais simples :**

- Urée (46% de N) ( $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$ ) : Engrais azoté de couverture, destiné pour toutes les cultures (FERTIAL, 2017), L'urée comme les autres engrais azotés nitrifie plus ou moins rapidement selon les sols (VALLERIE, 2012).

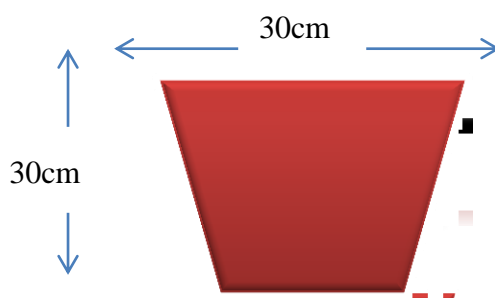
- Le super phosphate triple TSP (46% de P) ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$ ): Engrais phosphaté de fond utilisé avant le semis pour la céréaliculture et les légumes secs. Contient également des oligo-éléments : Bore (61ppm), fer (3638 ppm), manganèse (114 ppm), zinc (170 ppm), cuivre (05 ppm). (FERTIAL, 2017).
- Le super phosphate simple SSP (20% de P) : Engrais phosphaté de fond, destiné pour toutes les cultures. Contient également deux éléments secondaires : Calcium (28%) et du soufre (22%), et des oligo-éléments : Bore (61 ppm), fer (2134 ppm), manganèse (27 ppm), zinc (127 ppm), cuivre (02 ppm). (FERTIAL, 2017).

✓ **Les engrais composés :**

- Monoammonium phosphate MAP (12%, 61%) ( $(\text{NH}_4) \text{H}_2\text{PO}_4$ ): Engrais Monoammonium contenant 61 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$  et 12 % de N sous forme d'ammonium.
- Nitrate de Potassium (13% de N) ( $\text{KNO}_3$ ): Engrais azoté et potassique renfermant 13% d'azote nitrique, 44 % de potasse, qui apporte ses éléments sous une forme immédiatement assimilable. Il est entièrement soluble dans l'eau et peut s'utiliser en couverture comme un autre nitrate (VALLERIE, 2012).
- NPK (15%, 15%, 15%): Est un engrais ternaire qui contient 15% de N, 15% de P et 15% de K. Polyvalent, engrais de fond au moment du semis et pour les différentes plantations. Il s'adapte à tous les types de sols. Il contient également du soufre (8%) et des oligo-éléments : Bore (45 ppm), fer (1723ppm), manganèse (30 ppm), zinc (156ppm). (FERTIAL, 2017).
- NPK (4%, 20%, 25%): Est un engrais complexe ternaire. Il contient 4% de N, 20% de P et 25 % de K. Engrais de fond, il contient également un élément secondaire : soufre (12%) et des oligo-éléments : Bore (29 ppm), fer (2036 ppm), manganèse (34 ppm), zinc (173 ppm), cuivre (02 ppm). (FERTIAL, 2017).
- NPK (20%, 20%, 20%)
- NPK (13%, 40%, 13%)
- NPK (30%, 10%, 10%)

### 2.3. Les pots

Notre étude a été réalisée dans des pots de végétation en plastique d'une capacité de 12 Kg, ils sont d'une forme circulaire à un diamètre de 30 cm et d'une hauteur de (30cm) (figure 03).



**Figure (03) : le pot utilisé pour la culture**

Les pots sont remplis de sol agricole prélevé de terrain d'expérimentation du département des sciences agronomique de l'université de Biskra (Mohamed kheider) dont la texture est limono-argileuse. Les analyses physico-chimiques du sol ont été réalisées avant l'installation de l'essai.

Les caractéristiques physico-chimiques du sol sont résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 04 : Les caractéristiques physico-chimiques du sol :**

Paramètres	Résultats
Conductivité électrique (dS/m)	2.83
pH	7.89
Calcaire total (%)	31.98
Calcaire actif (%)	16.54
Matière organique (%)	1.45
Azote totale (%)	0.083
Phosphore assimilable (ppm)	192.2
La densité apparente $d_a$ ( $g/cm^3$ )	1.4
Granulométrie	
- Sable grossier	13
- Sable fin	6
- Limon grossier	26
- limon fin	27
- Argile	28

### 3. Méthodologie de travail

#### 3.1. Les traitements utilisés

Notre étude est basée sur l'utilisation de deux types d'engrais phospho-azoté ; simple et composée sous différentes formes, ces engrais sont combinés avec trois doses qui sont (150U N et  $P_2O_5/ha$ , 200U N et  $P_2O_5/ha$  et 250U N et  $P_2O_5/ha$ ). Et Nous avons utilisés le

sulfate de potassium ( $K_2SO_4$ ) comme un engrais potassique avec une dose de 85U/ha pour tous les traitements en vue d'uniformiser la teneur en potassium dans l'ensemble du dispositif.

✓ **Calcul de la dose d'engrais (Kg/h) :**

Les concentrations des unités fertilisantes dans les engrais sont exprimées en % (c'est-à-dire par 100 Kg de produit commercial) et les doses en unité proposées sont données par hectare.

La formule de calcul de la dose d'engrais est donc :

100 Kg  $\longrightarrow$  le dosage de l'engrais (U/ha)

La dose d'engrais (Kg/h)  $\longrightarrow$  dose en unité (U/ha)

$$\text{La dose d'engrais (Kg/h)} = \frac{\text{(doses en unité (U/ha) X 100 Kg)}}{\text{Le dosage de l'engrais}}$$

**Le dosage de l'engrais**
































**3.2. Dispositif expérimental :**
































Le dispositif expérimental adopté dans cet essai est split plot comprend 30 traitements avec 03 répétitions (trois blocs) et un témoin avec trois répétitions. Les traitements utilisés sont 10 engrais phospho-azoté : E1= ((Urée\_TSP), E2= (Urée\_SSP), E3= ( $KNO_3$ \_TSP), E4= ( $KNO_3$ \_SSP), E5= MAP (12%, 61%), E6= NPK(15%, 15%, 15%), E7= NPK(30%, 10%, 10%), E8= NPK(20%, 20%, 20%), E9= NPK(4%, 20%, 25%) et E10= NPK(13%, 40%,13%) combinés avec trois doses pour l'azote et le phosphore (D1=150U/ha, D2=200U/ha et D3=250U/ha). Soit au total 93 pots disposés aléatoirement.

Le dispositif est subdivisé en trois blocs comme suit :



**Figure (04) : Le dispositif expérimental.**

		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
 T(0)	D1 150 U/ha										
	D2 200 U/ha										
	D3 250 U/ha										

		E6	E10	E8	E1	E9	E3	E4	E2	E5	E7
 T(0)	D2 200 U/ha										
	D3 250 U/ha										
	D1 150 U/ha										
































		E7	E5	E9	E2	E3	E8	E10	E6	E1	E4
 T(0)	D3 250 U/ha										
	D1 150 U/ha										
	D2 200 U/ha										

Figure (05) : Schéma représentatif du dispositif expérimental.

### 3.3. Conduite de la culture

#### 3.3.1. Remplissage des pots

Les pots sont placés dans une serre recouverte d'une bâche perforée. Dont le fond est tapissé avec du gravier afin d'assurer un bon drainage; chaque pot contient 11 kg de sol. Le sol séché et tamisé à un tamis de 4 mm.

**3.3.2. Le semis :**

Le semis a été effectué manuellement avec une dose de 1.5qx/ha.

La densité de semis est de 21 grains par pots.

Le semis a été réalisé le 10 décembre 2017. Les graines ont été réparties d'une façon homogène sur la surface du pot, puis enfouies à une profondeur de 2 cm.

**3.3.3. L'irrigation :**

La dose d'irrigation se fait par différence de poids sur la base de la capacité de rétention de sol. La différence de poids exprimé en quantité d'eau pour ramener le sol à sa capacité de rétention.

L'eau utilisée en irrigation est l'eau de département des sciences agronomique de Biskra caractérisée par une CE de 4,69 dS/m et un pH 7,32.

**3.4. Les paramètres étudiés :****3.4.1. Analyse du sol**

Les échantillons du sol sont prélevés des différent points du pot à 0-20 cm de profondeur et laisser séché à l'aire libre, ils sont broyés et tamisés. Les échantillons du sol sont prélèves deux fois, le première prélèvement au fin tallage et le deuxième prélèvement au fin de cycle végétatif après la récolte.

**3.4.1.1. Conductivité électrique (CE) :** C'est un moyen d'apprécier la teneur globale en sels dans la solution du sol. Déterminée par le conductimètre, avec un rapport sol/eau de 1/5 est exprimé en dS/m à 25 °C.

**3.4.1.2. Réaction du sol (pH):** déterminé par le pH mètre avec un rapport sol/ eau de 1/2,5.

**3.4.1.3. Calcaire total :** déterminé par la méthode de calcimètre de Bernard, après attaque avec HCl 50%.

**3.4.1.4. Phosphore assimilable :** le dosage de Phosphore assimilable a été effectué par la méthode de Joret et Hébert (P-JH), oxalate d'ammonium 0,2 N, utilisée en milieu calcaire.

**3.4.1.5. Azote total :** le dosage de l'azote total a été réalisé par la méthode Kjeldhal in Aubert (1967); cette méthode consiste a une destruction de la matière organique à

chaud par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur par entraînement à la vapeur et piégeage par l'acide borique (20%) et titrage par l'acide sulfurique (0,05N).

### **3.5. Analyse du végétal**

L'échantillonnage de végétale a pour but d'analyser le contenu en (N et P) des feuilles et des grains. Après dessiccation, les échantillons sont réduits en poudre fine au moyen d'un broyeur, Le broyage assure une homogénéité des échantillons qui feront l'objet des différentes analyses.

Pour chaque pot, nous avons choisi 3 plantes est pour chaque plante on à prendre 3 feuilles. L'échantillonnage des feuilles est généralement effectué avant la floraison, à ce moment-là les feuilles suffisamment développées, où les ressources peuvent commencer à être redistribuées vers la formation des épis et des grains.

### **3.6. Les paramètres de production**

**3.6.1. La hauteur des plantes (HP) :** on a choisi cinq plantes représentatives de chaque traitement. La hauteur est mesurée du collet jusqu'à l'extrémité de l'épi y compris les barbes à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs données sont les moyennes obtenues des cinq plantes parmi trois répétitions. Ces mesures se fait deux fois au stade montaison et au stade maturité.

**3.6.2. Nombre de grains par épi :** Après égrenage manuel de 05 épis prélevés nous avons évalué le nombre moyen de grains par épi au stade maturité.

#### **3.6.3. Poids de 1000 grains**

Le comptage est effectué manuellement après la récolte. Le poids de 1000 grains est déterminé sur la base du comptage pesage d'un échantillon de 50 grains par pot, puis les peser à l'aide d'une balance de précision puis multiplié foi vingt.

**3.6.4. Rendement en grains :** c'est le poids des grains produit. Il est déterminé pour chaque traitement en g/pot, puis exprimé en qx/ha.

**3.6.5. Rendement en paille:** Il est estimé à partir de la pesée de toutes les tiges récolté de pot, les valeurs obtenues sont exprimées en qx/ha.



**4. Analyse statistique**

Les données ont fait l'objet d'une analyse statistique. L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT. La comparaison des moyennes est faite par le test Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 % qui a été utilisé pour évaluer les différences entre les moyennes de traitements.

## ***Chapitre II***

### ***Résultats et Discussion***

**CHAPITRE II: RESULTATS ET DISCUSSION****I. Résultats de la première année**

Pour choisir les meilleur engrais pour l'expérimentation, on a adopté un essai préliminaire pour la première année avec l'utilisation d'un nombre élevée de type d'engrais phospho-azoté.

Les engrais utilisés sont : Urée (46%), Urée importé (46%), TSP (46%), SSP (20%), le sulfate d'ammoniaque (21%), azote soufré (26%), nitrate de calcium  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (15.5%), nitrate de potassium  $\text{KNO}_3$  (13%), MAP(12%-61%), MAP(18%-44%), NPK (15%,15%,15%), NPK (13%,40%,13%), NPK (30%,10%,10%), NPK (15%,30%,15%), NPK (6%,8%,18%), NPK (10%,52%,10%), NPK (20%,20%,20%) et NPK (4%,20%,25%).

L'essai est effectué en pot de végétation avec une culture de blé dur, en utilisant une seule dose d'engrais (200U N et  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha) en dispositif bloc aléatoire complet comprenant 24 traitements avec 03 répétitions (trois blocs) et un témoin avec trois répétitions. Les traitements utilisés sont: (Urée\_TSP), (Urée<sub>imp</sub>\_TSP), (Urée\_SSP), ( $\text{N}_{21\%}$ -TSP), ( $\text{N}_{21\%}$ -SSP), ( $\text{N}_{26\%}$ -TSP), ( $\text{N}_{26\%}$ -SSP), ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -TSP), ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -SSP), ( $\text{KNO}_3$ \_TSP), ( $\text{KNO}_3$ \_SSP), MAP(12%-61%), MAP(18%-44%), NPK (15%,15%,15%), NPK (13%,40%,13%), NPK (30%,10%,10%), NPK(15%,30%,15%), NPK(6%,8%,18%), NPK(10%,52%,10%), NPK (20%,20%,20%), NPK (4%,20%,25%), Urée, TSP,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , T(0).

Les paramètres étudiés sont : la hauteur des plantes et la matière sèche.

**Tableau (05): Analyse de la variance relative à l'effet de type d'engrais sur la hauteur des plantes et la matière sèche.**

Traitements	la hauteur des plantes (cm)	la matière sèche (qx/ha)
(Urée_TSP)	33,18 cde	53,2 b
(Urée_SSP)	33,15 bcde	48,62 b
(Urée <sub>imp</sub> _TSP)	28,6 fghij	29,65 def
( $\text{N}_{21\%}$ -TSP)	30,9 efg	33 cde
( $\text{N}_{21\%}$ -SSP)	27,79 ghij	35,38 cd
( $\text{N}_{26\%}$ -TSP)	28,17 ghij	16,5 hi

<b>(N<sub>26%</sub>-SSP)</b>	30,34 efgh	22,15 fghi
<b>(Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-TSP)</b>	29,87 efghi	20,3 ghi
<b>(Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-SSP)</b>	30,91 efg	18,41 hi
<b>(KNO<sub>3</sub>_TSP)</b>	32,29 def	55,49 b
<b>(KNO<sub>3</sub>_SSP)</b>	34,91 bcd	48,87 b
<b>MAP(12%-61%)</b>	35,32 bcd	55,49 b
<b>MAP(18%-44%)</b>	26,94 ghij	38,69 c
<b>NPK (15%,15%,15%)</b>	36,41 abc	52,31 b
<b>NPK (13%,40%,13%)</b>	35,79 abcd	54,98 b
<b>NPK (30%,10%,10%)</b>	32,74 cde	51,42 b
<b>NPK(15%,30%,15%)</b>	26,39 hij	33,09 cde
<b>NPK(6%,8%,18%)</b>	28,54 fghij	24,69 efgh
<b>NPK(10%,52%,10%)</b>	26,32 hij	33,77 cde
<b>NPK (20%,20%,20%)</b>	37,93 ab	57,59 ab
<b>NPK (4%,20%,25%)</b>	38,93 a	66,31 a
<b>Urée</b>	28,35 fghij	28,68 defg
<b>TSP</b>	28,55 fghij	39,45 c
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	26,01 ij	27,62 defg
<b>T(0)</b>	25,6 j	14,72 i

L'analyse statistique montre un effet très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) du type d'engrais sur la hauteur des plantes et la matière sèche. La comparaison des moyennes pour l'effet du type d'engrais sur ces paramètres (tableau 05) montre que la hauteur des plantes et la matière sèche les plus élevées sont obtenues par l'engrais NPK (4%,20%,25%) avec des moyennes 38,93 cm et 91,18 qx/ha respectivement. Cependant la hauteur des plantes et la matière sèche les plus faibles sont observées au niveau du témoin sans engrais avec des moyennes 25,6 cm

et 20,24 qx/ha respectivement. Cela confirme la contribution positive des engrais phospho-azotée sur ces paramètres.

Grace à nos résultats (tableau 05), nous avons sélectionné dix engrais phospho-azotée qu'ont donné les meilleurs résultats, pour l'expérimentation de la deuxième année.

Les engrais sont : (Urée\_TSP), (Urée\_SSP), (KNO<sub>3</sub>\_TSP), (KNO<sub>3</sub>\_SSP), MAP (12%-61%), NPK (15%,15%,15%), NPK (13%,40%,13%), NPK (30%,10%,10%), NPK (20%,20%,20%), NPK (4%,20%,25%).

## II. Résultats de la deuxième année

II.1. Effet de la fertilisation phospho-azotée sur les paramètres agronomiques et l'alimentation minérale de la plante.

### 1- Action de type et dose d'engrais sur la croissance des plantes :

Aux stades montaison et récolte nous avons fait des mesures de la hauteur des plantes (HP) afin d'évaluer l'effet de type et dose d'engrais sur l'évolution de la croissance des plantes de blé.

Tableau (06): Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la croissance des plantes.

Traitements	HP (cm) (montaison)	HP (cm) (récolte)
E1=(Urée_TSP) 150	33,95 jkl	69,46 abcdefg
E1=(Urée_TSP) 200	38,71 cdefghi	73,63 ab
E1=(Urée_TSP) 250	41,82 abcd	70,87 abcde
E2=(Urée_SSP) 150	35,10 ijkl	63,33 ghij
E2=(Urée_SSP) 200	39,91 bcdefg	66,57 defghi
E2=(Urée_SSP) 250	41,4 abcde	71,95 abcde
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 150	32,99 kl	68,03 bcdefgh
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 200	39,35 bcdefgh	69,69 abcdef
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 250	42,77 abc	61,91 hijk
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 150	35,25 hijkl	75,12 a
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 200	37,25 efghijk	69,6 abcdef
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 250	39,47 bcdefgh	68,15 bcdef
E5=MAP (12%, 61%) 150	36,21 fghijkl	66,28 efghi
E5=MAP (12%, 61%) 200	40,52 bcdef	71,29 abcde
E5=MAP (12%, 61%) 250	44,63 a	75,56 a
E6=NPK(15%,15%,15%) 150	35,69 ghijkl	61,75 ijk
E6=NPK(15%,15%,15%) 200	40,23 bcdef	67,74 bcdefghi
E6=NPK(15%,15%,15%) 250	43,53 ab	75,59 a
E7=NPK(30%,10%,10%) 150	34,41 jkl	64,51 fghij
E7=NPK(30%,10%,10%) 200	40,45 bcdef	66,93 cdefghi
E7=NPK(30%,10%,10%) 250	43 abc	72,71 abcd
E8=NPK(20%,20%,20%) 150	36,73 fghijk	71,01 abcde
E8=NPK(20%,20%,20%) 200	40,37 bcdef	72,93 abc
E8=NPK(20%,20%,20%) 250	41,67 abcde	66,23 efghi
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150	32,32 l	56,59 k
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200	34,09 jkl	61,75 jk
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250	37,75 defghij	67,45 bcdefghi
E10=NPK(13%,40%,13%) 150	34,25 jkl	63,95 fghij
E10=NPK(13%,40%,13%) 200	35,84 ghijkl	71,41 abcde
E10=NPK(13%,40%,13%) 250	39,75 bcdefg	71,33 abcde
T (0)	28,48 m	56,4 k

Les analyses statistiques révèlent un effet très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) de la fertilisation phospho-azotée sur la hauteur des plantes de blé (tableau 06).

D'après la figure (06), on observe que le traitement E5=MAP (250U/ha) présente la hauteur des plantes le plus élevé avec une moyenne de 44.63 cm. Tandis que la hauteur des plantes la plus faible est présentée par le témoin (28.48 cm). Cela nous montre l'effet positif et significatif de la fertilisation phospho-azotée sur la croissance des plantes de blé à ce stade. Nous remarquons également à partir des résultats obtenus (tableau 06) que tous les types d'engrais ont le même effet sur la hauteur des plantes au stade montaison, car la hauteur des plantes augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais.

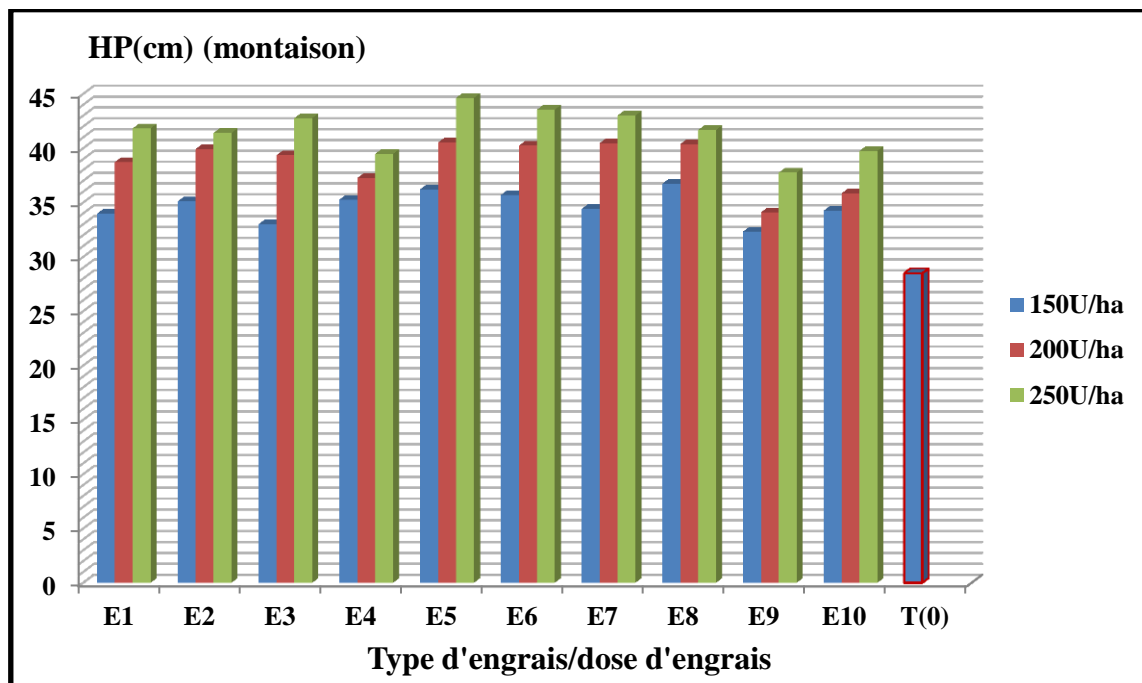


Figure (06): La hauteur des plantes au stade montaison en fonction de type et dose d'engrais.

D'après la figure (07) qui représente la hauteur des plantes de blé au stade récolte en fonction de type d'engrais et dose d'engrais. On remarque que les traitements E4=(KNO<sub>3</sub>-SSP) 150U/ha, E5=MAP 250U/ha et E6=NPK (15%, 15%, 15%) 250U/ha présentent les hauteurs les plus élevées avec des moyennes (75.12 cm, 75.56 cm et 75.59 cm respectivement). Cependant les moyennes de la hauteur des plantes les plus faibles sont marquée chez le traitement NPK (4%,20%,25%) 150U/ha et le témoin avec des moyennes (56.59 cm et 56.40 cm respectivement). Donc on peut dire que la croissance des plantes de blé est affectée par le type d'engrais. C'est ce que l'on observe pour le traitement (KNO<sub>3</sub>-SSP) avec la dose (150

U/ha) qu'a donné le meilleur résultat malgré la faible dose par rapport aux autres traitements. D'autre part et d'après la figure (07) on observe généralement que la hauteur des plantes est influencée par l'augmentation de la dose d'engrais, où nous constatons que la hauteur des plantes croît avec l'augmentation de la dose d'engrais pour les traitements [E2=(Urée\_SSP), E5=MAP (12%, 61%), E6=NPK(15%,15%,15%), E7=NPK(30%,10%,10%), E9=NPK(4%,20%,25%) et E10=NPK(13%,40%,13%)]; et pour les traitements [E1=(Urée\_TSP), E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP) et E8=NPK(20%,20%,20%)] la hauteur des plantes augmente jusqu'à la dose (200U/ha) seulement mais affectée négativement par la dose 250U/ha; par contre pour le traitement E4=(KNO<sub>3</sub>-SSP) la hauteur diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais ; donc l'effet de l'augmentation de la dose d'engrais sur la croissance des plantes de blé au stade récolte varié selon le type d'engrais.

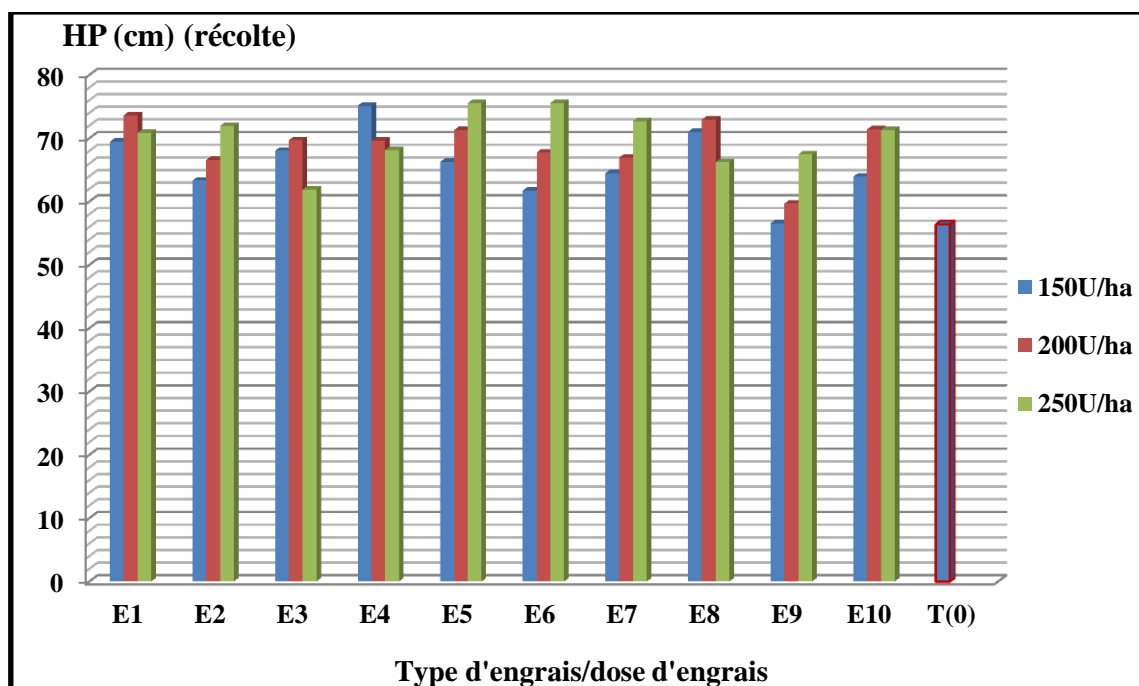


Figure (07): La hauteur des plantes au stade récolte en fonction de type et dose d'engrais.

Nous concluons qu'à travers les résultats de la hauteur des plantes de blé au stade montaison et récolte que l'effet de la dose d'engrais est différente au stade récolte par rapport au stade montaison selon le type d'engrais.

Le phosphore et l'azote sont des éléments minéraux essentiels à la croissance des plantes (FAO, 2003 ; ROGER et *al.*, 2016). D'après AGHDAM et SAMADIYAN (2014) la hauteur de la plantes des céréales s'accroît de façon significative avec l'augmentation de l'application



d'azote. Plusieurs travaux tel que (ARSHAD et *al.*, 2016; MASMOUDI, 2019) montrent que le phosphore appliqué fait augmenter de façon significative la hauteur des plantes. Et les résultats obtenus par ISHETE et TANA (2019) indiquent que l'apport d'engrais N et P augmente la hauteur des plantes de blé. D'après PRAJAPATI et *al.* (2017) la disponibilité accrue du phosphore a favorisé la fixation de l'azote et le taux de photosynthèse, ce qui a permis de produire de meilleurs paramètres de croissance. Il semble que l'effet positif des engrais ( $\text{KNO}_3$ -SSP), MAP et NPK (15%,15%,15%) est dû aux propriétés spécifiques de chaque engrais. Le  $\text{KNO}_3$  se caractérise par sa teneur en azote, immédiatement disponible aux plantes sous forme de nitrate, tandis que le SSP est riche en soufre et a un pH inférieur à 2 (IPNI, 2018). Le MAP est soluble et acide, tandis que, le NPK (15%,15%,15%) a un pouvoir acidifiant élevé. Les engrais acidifiants sont donc très utiles dans les sols calcaires comme montré dans le cas de cette étude.

## **2- Action de type et dose d'engrais sur le rendement et ses composantes :**

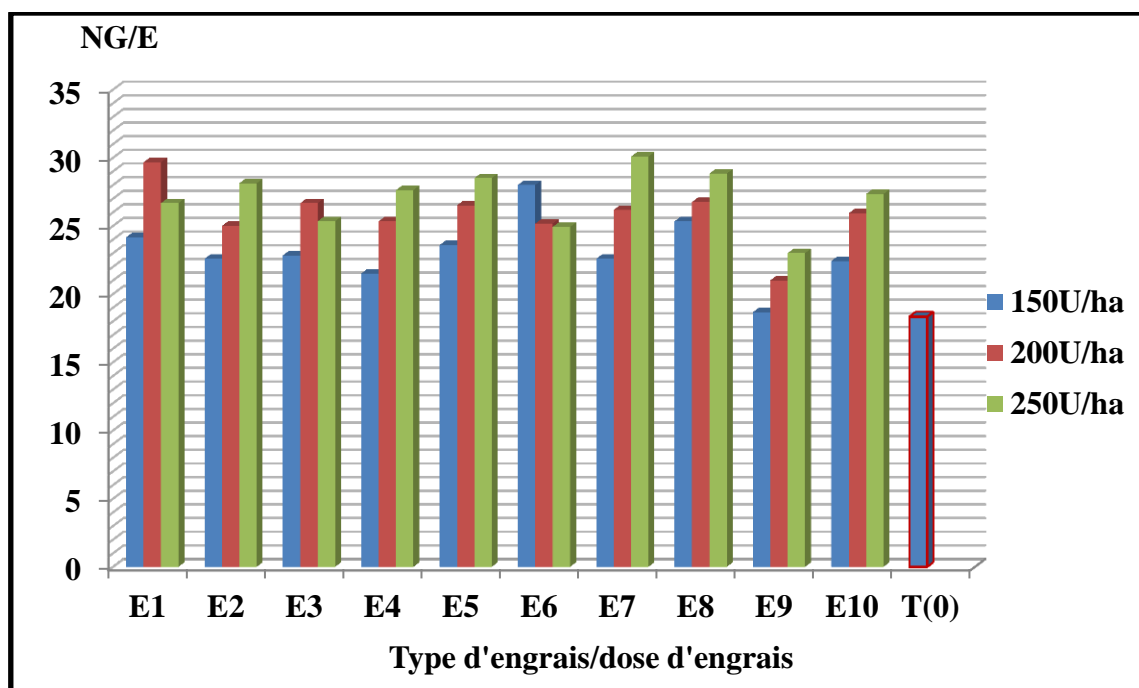
L'évaluation du rendement et de ses composantes, dans cette étude, permet d'indiquer la réponse significative de la culture de blé dur à la fertilisation phospho-azotée en fonction du type et de la dose d'engrais et par conséquent montre l'efficacité de ces derniers dans les sols salés et calcaires (tableau 07).

**Tableau (07) : Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le rendement et ses composantes:**

Traitements	NG/E	PMG (g)	RP (qx /ha)	RG (qx /ha)
<b>E1=(Urée_TSP) 150</b>	<b>24,17</b> efji	<b>46,6</b> bcdefghi	<b>67,57</b> bcdefgh	<b>24,33</b> defghi
<b>E1=(Urée_TSP) 200</b>	<b>29,75</b> ab	<b>49,73</b> b	<b>74,1</b> abcde	<b>27,51</b> abcdef
<b>E1=(Urée_TSP) 250</b>	<b>26,67</b> bcdef	<b>45,87</b> bcdefghi	<b>72,45</b> abcdefg	<b>25,87</b> bcdefgh
<b>E2=(Urée_SSP) 150</b>	<b>22,58</b> hi	<b>43,53</b> hijkl	<b>58,78</b> hi	<b>21,83</b> ghij
<b>E2=(Urée_SSP) 200</b>	<b>25</b> defgh	<b>45,53</b> cdefghij	<b>65,75</b> defghi	<b>26,4</b> bcdefg
<b>E2=(Urée_SSP) 250</b>	<b>28,13</b> abcd	<b>48,9</b> bcd	<b>76,04</b> abcd	<b>29,26</b> ab
<b>E3=(KNO<sub>3</sub>_TSP) 150</b>	<b>22,83</b> ghi	<b>44,53</b> efghijkl	<b>67,12</b> bcdefgh	<b>19,86</b> ijk
<b>E3=(KNO<sub>3</sub>_TSP) 200</b>	<b>26,67</b> bcdef	<b>48,67</b> bcd	<b>74,15</b> abcde	<b>26,96</b> abcdef
<b>E3=(KNO<sub>3</sub>_TSP) 250</b>	<b>25,33</b> cdefgh	<b>45,27</b> defghijk	<b>63,04</b> fghi	<b>18,17</b> jkl
<b>E4=(KNO<sub>3</sub>_SSP) 150</b>	<b>21,5</b> i	<b>41</b> lm	<b>80,93</b> a	<b>15,91</b> kl
<b>E4=(KNO<sub>3</sub>_SSP) 200</b>	<b>25,33</b> cdefgh	<b>44,2</b> fghijkl	<b>72,67</b> abcdefg	<b>21,64</b> hij
<b>E4=(KNO<sub>3</sub>_SSP) 250</b>	<b>27,63</b> abcde	<b>47,8</b> bcdefg	<b>62,29</b> ghi	<b>26,35</b> bcdefg
<b>E5=MAP (12%, 61%) 150</b>	<b>23,58</b> fghi	<b>45,07</b> defghijk	<b>59,39</b> hi	<b>22,99</b> fghi
<b>E5=MAP (12%, 61%) 200</b>	<b>26,5</b> bcdef	<b>47,07</b> bcdefgh	<b>65,09</b> defghi	<b>22,99</b> fghi
<b>E5=MAP (12%, 61%) 250</b>	<b>28,5</b> abcd	<b>48,87</b> bcd	<b>76,64</b> abc	<b>28,64</b> abcd
<b>E6=NPK(15%,15%,15%) 150</b>	<b>28</b> abcd	<b>45,7</b> cdefghij	<b>62,48</b> ghi	<b>30,18</b> a
<b>E6=NPK(15%,15%,15%) 200</b>	<b>25,17</b> defgh	<b>43,8</b> ghijkl	<b>67,56</b> bcdefgh	<b>21,55</b> hij
<b>E6=NPK(15%,15%,15%) 250</b>	<b>24,92</b> defgh	<b>42,6</b> ijkl	<b>80,08</b> a	<b>20,29</b> ij
<b>E7=NPK(30%,10%,10%) 150</b>	<b>22,58</b> hi	<b>44,47</b> efghijk	<b>60,36</b> hi	<b>20,51</b> ij
<b>E7=NPK(30%,10%,10%) 200</b>	<b>26,17</b> cdefg	<b>45,3</b> defghijk	<b>65,47</b> defghi	<b>23,88</b> efghi
<b>E7=NPK(30%,10%,10%) 250</b>	<b>30,08</b> a	<b>48</b> bcdef	<b>75,52</b> abcde	<b>28,5</b> abc
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 150</b>	<b>25,33</b> cdefgh	<b>43,6</b> hijkl	<b>73,73</b> abcde	<b>21,73</b> ghij
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 200</b>	<b>26,75</b> abcdef	<b>44,47</b> efghijkl	<b>77,73</b> ab	<b>25,33</b> cdefgh
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 250</b>	<b>28,83</b> abc	<b>47,33</b> bcdefgh	<b>66,11</b> cdefghi	<b>27,8</b> abcde
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150</b>	<b>18,67</b> j	<b>41,33</b> klm	<b>56,31</b> i	<b>17,63</b> jkl
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200</b>	<b>21</b> i	<b>44,47</b> efghijkl	<b>59,46</b> hi	<b>18,33</b> jkl
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250</b>	<b>23</b> ghi	<b>49,4</b> bc	<b>67,81</b> bcdefgh	<b>23,13</b> fghi
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 150</b>	<b>22,42</b> hi	<b>41,73</b> jklm	<b>64,59</b> efghi	<b>17,76</b> jkl
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 200</b>	<b>25,92</b> cdefgh	<b>48,4</b> abcdef	<b>74,78</b> abcde	<b>23,04</b> fghij
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 250</b>	<b>27,33</b> abcde	<b>52,2</b> a	<b>73,35</b> abcdef	<b>29,98</b> a
<b>T (0)</b>	<b>18,33</b> j	<b>39,27</b> m	<b>45,76</b> j	<b>14,31</b> l

### 2.1. Nombre des grains par épi (NG/E) :

Les résultats obtenus en ce qui concerne l'effet du type et de la dose d'engrais sur le nombre des grains par épi (NG/E), ont permis d'indiquer qu'ils existent des différences très hautement significatives ( $p < 0.0001$ ). D'après l'analyse de la variance (Tableau 07), les moyennes de la variable nombre des grains par épi montrent que la valeur la plus élevée du NG/E se rapporte au traitement E7=NPK (30%,10%,10%) (250 U/ha), avec une moyenne de (30.08 grain/épi). Par contre la valeur la plus faible est enregistrée par le témoin (18.3 grains/épi).



**Figure (08): NG/E en fonction de type et dose d'engrais.**

Cette différence apprécie l'effet de la fertilisation phospho-azoté dans les sols salés et calcaires. MIHOUB *et al.* (2012), montrent que le nombre de grains par épi varie d'une façon significative sous l'action du type d'engrais phosphaté utilisé.

D'autre part, l'augmentation de la dose d'engrais (figure 08) a un effet important sur le nombre des grains par épi, où l'on remarque que le NG/E augmente par l'augmentation de la dose d'engrais pour la majorité des traitements [E2=(Urée\_SSP), E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), E5=MAP (12%, 61%), E7=NPK(30%,10%,10%), E8=NPK(20%,20%,20%), E9=NPK(4%, 20%, 25%) et E10=NPK(13%,40%,13%)], tandis que, pour les traitements E1=(Urée\_TSP) et E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP) le nombre des grains par épi augmente jusqu'à la dose 200U/ha seulement et à la dose 250U/ha le nombre des grains par épi diminue. Mais pour le traitement E6=NPK (15%,15%,15%) le NG/E diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais.

Les résultats donnés par HALILAT et DOGAR, (1999); MOORE, (2001); LAKAB, (2012); MANDIC *et al.* (2015); HAFFAF *et al.* (2016) concluent que le nombre de grains par épi s'accroît significativement avec l'augmentation de la dose d'azote. Il augmente aussi par l'augmentation de la dose du phosphore (ISLAM *et al.*, 2017). Par ailleurs, les résultats obtenus par KHAN *et al.* (2008) et KALEEM *et al.* (2009) montrent que la plus forte dose d'apport de NP a produit un nombre maximal de grains par épi. En outre, le NPK (13%, 40%, 13%) est un engrais cristallin soluble à haute teneur en phosphore (P), enrichi en oligo-

éléments, spécialement conçu pour améliorer le développement des racines, stimule la floraison et la mise en terre des fruits (GREGORIO, 2009).

## 2.2. Poids de mille grains (PMG) :

Les résultats obtenus comme indiqué dans la figure (09) montrent que le type et dose d'engrais ont un effet important sur le poids de 1000 grains (PMG). L'effet est clair par rapport au traitement témoin sans engrais marqué par le plus faible poids de 1000 grains (39.27g). Cela peut montrer l'effet positif de la fertilisation phospho-azoté dans les sols salé et calcaire.

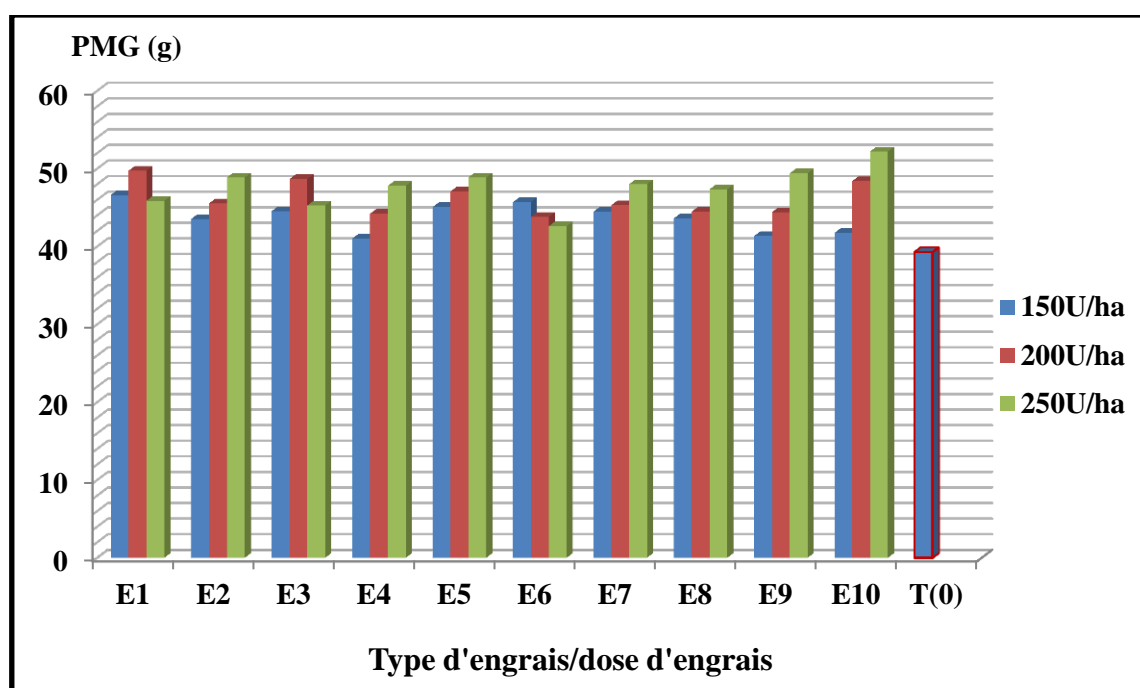


Figure (09): PMG en fonction de type d'engrais et dose d'engrais.

Le poids de 1000 grains est l'une des composantes du rendement en grains, Il traduit la bonne qualité des grains et l'alimentation minérale de la culture de blé. Ainsi, il reflète l'impact des stress biotiques et abiotiques sur la culture et le produit récolté (BEN MBAREK, 2010).

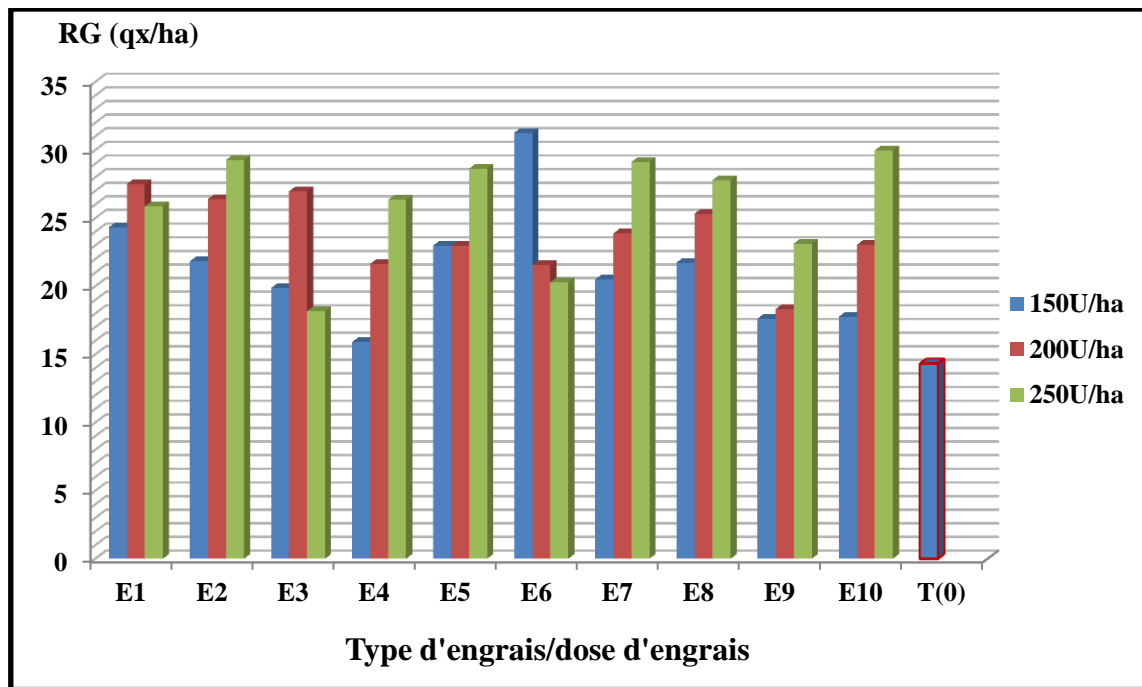
D'autre part, et d'après l'analyse statistique (tableau 07) on trouve que le PMG le plus élevé concerne le traitement E9=NPK (4%, 20%, 25%) (250U/ha), avec une moyenne de (52.2 g). On peut aussi remarquer et à travers ces résultats que le poids de 1000 grains augmente avec l'accroissement de la dose d'engrais au niveau des traitements E2=(Urée\_SSP), E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), E5=MAP (12%, 61%), E7=NPK(30%,10%,10%), E8=NPK(20%,20%,20%), E9=NPK(4%, 20%, 25%) et E10=NPK(13%,40%,13%)]. Mais

les traitements E1=(Urée\_TSP) et E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP) sont affectés négativement par la forte dose d'engrais (250U/ha). Pour le traitement E6=NPK (15%,15%,15%), on observe, un résultat inverse. En effet ; le PMG diminue avec l'augmentation de dose d'engrais.

Plusieurs travaux (HALILAT et DOGAR, 1999; HALILAT, 2004; LAKAB, 2012; MANDIC et *al.*, 2015; HAFFAF et *al.*, 2016) ont montré que le poids de 1000 grains est affecté négativement par l'apport d'azote. D'un autre côté, les travaux menés par (BOUKHALFA et *al.*, 2011; MIHOUB et *al.*, 2012; MIHOUB et BOUKHALFA-DERAOU, 2014; MASMOUDI, 2019) montrent que le poids de 1000 grains est affecté positivement par l'apport de phosphore. Donc et à travers les résultats obtenus, nous confirmons l'importance de la combinaison entre la fertilisation phosphatée et azotée sur le poids de 1000 grains. Ceci est confirmé par les résultats obtenus par KALEEM et *al.* (2009), qui montrent que le taux équilibré du NP augmente le poids de 1000 grains. Il semble également que l'effet positif de NPK (4%, 20%, 25%) est dû à sa richesse en même temps, phosphore, potassium et soufre (FERTIAL, 2017).

### **2.3. Rendement en grains (RG):**

La comparaison des moyennes, concernant l'effet du type et de la dose d'engrais sur le rendement en grains de la culture de blé (tableau 07), montre que les traitements E6=NPK (15%, 15% 15%) (150U/ha) et E10=NPK (13%, 40%, 13%) (250U/ha) constituent le premier groupe homogène qui représente le meilleur rendement, avec des moyennes (30.18 qx/ha et 29.98 qx/ha respectivement). Par contre le plus faible rendement est donné par le témoin avec un rendement de (14.31 qx/ha). Cela montre la contribution efficace de la fertilisation phospho-azotée sur le rendement en grains de la culture de blé dur. Selon MIHOUB et BOUKHALFA-DERAOU (2014), l'engrais est l'intrant le plus important qui contribue de façon significative au rendement final du blé. D'après MASMOUDI (2019), l'engrais a contribué à l'augmentation des rendements dans des conditions salines.



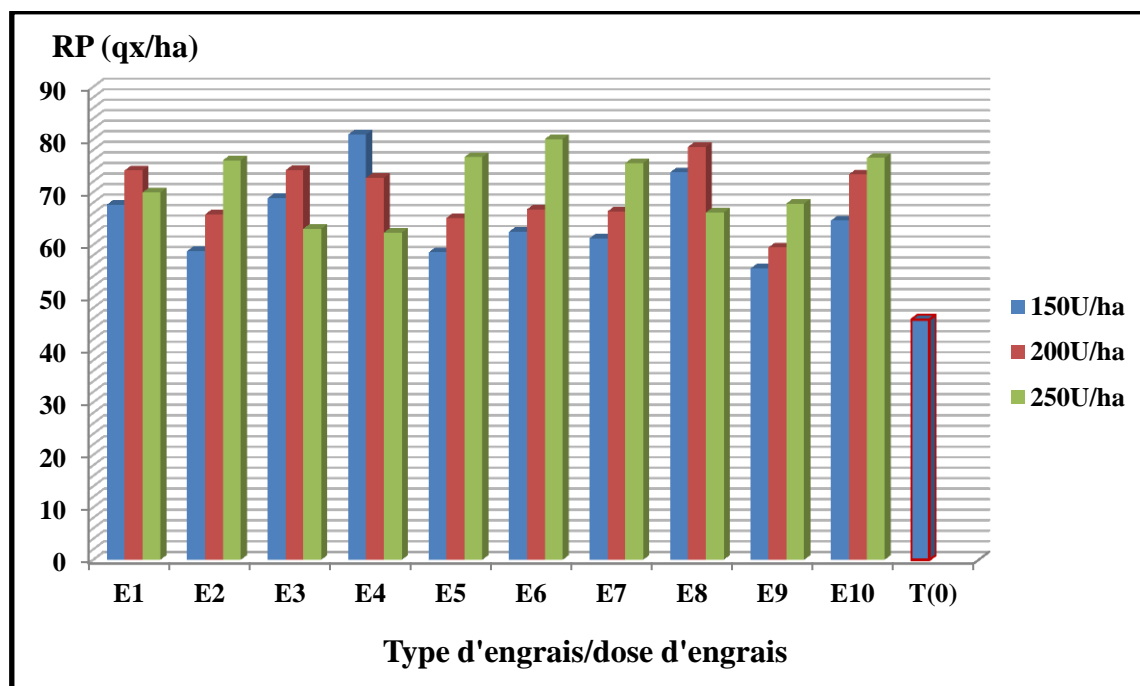
**Figure (10): Rendement en grains en fonction de type et dose d'engrais.**

D'autre part, l'effet de la dose d'engrais dépend du type d'engrais où l'on observe que le meilleur rendement est donné par la dose 150U/ha (NPK (15%, 15%, 15%)) et la dose 250U/ha (NPK (13%,40%,13%)). On observe aussi que le rendement croît avec l'augmentation de la dose d'engrais pour les traitements [E2=(Urée\_SSP), E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), E5=MAP (12%, 61%), E7=NPK(30%,10%,10%), E8=NPK(20%,20%,20%), E9=NPK(4%, 20%, 25%) et E10=NPK(13%,40%,13%)]; mais ce rendement diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais pour le traitement E6=NPK (15%, 15%, 15%). Les traitements E1=(Urée\_TSP) et E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP) sont affectés négativement par la forte dose d'engrais (250U/ha) (figure 10).

D'après les résultats obtenus par HALILAT (2004), l'apport d'azote a un effet positif sur le rendement en grains où le meilleur rendement est obtenu par le traitement 250 U N/ha. En outre, CHEN *et al.* (2015) montrent que l'augmentation du taux d'application du phosphore accroît le rendement en grain. ISHETE et TANA (2019) concluent que l'augmentation du taux d'engrais combiné a haussé le rendement céréalière. Selon AISSA et MHIRI (2002), il existe des interactions entre les engrais azotés et phosphatés, qui font augmenter le rendement. Ainsi, on obtient un rendement économique maximum en augmentant les doses d'engrais (BROWN *et al.*, 2009). Enfin, on peut noter l'effet remarquable de l'engrais NPK (15%,15%,15%), qui a apporté le meilleur rendement en grain avec la faible dose et ceci est dû comme nous l'avons déjà signalé à son pouvoir acidifiant et son équilibre nutritif.

#### 2.4. Rendement en paille (RP) :

Comme nous l'avons déjà signalé, l'importance de la fertilisation phospho-azotée sur la croissance et le rendement et ses composantes, de la culture de blé dur dans les conditions saline et carbonaté, a un effet important aussi sur le rendement en paille (figure 11).



**Figure (11): Rendement en paille en fonction de type et dose d'engrais.**

D'après le tableau (07) d'analyse de la variance, on remarque que le type et la dose d'engrais ont un effet moyen très hautement significatif sur le rendement en paille ( $p < 0.0001$ ). Les rendements les plus élevés sont obtenus par les traitements E4=(KNO<sub>3</sub>-SSP) (150U/ha) et E6=NPK (15%, 15%, 15%) (250U/ha), avec des moyennes de 80.93 qx/ha et 80.08 qx/ha respectivement. Cependant le rendement le plus faible est obtenu par le témoin, soit 45.76 qx/ha. On remarque aussi que l'augmentation de la dose d'engrais conduit à des rendements en paille accrus pour les traitements [E2=(Urée\_SSP), E5=MAP (12%, 61%), E6=NPK (15%, 15%,15%), E7=NPK (30%,10%,10%) et E9=NPK (4%, 20%, 25%)]. A l'opposé, l'application du traitement E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), diminue le rendement malgré l'augmentation de la dose d'engrais. Concernant les traitements [E1=(Urée\_TSP), E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP), E8=NPK (20%,20%,20%) et E10=NPK (13%,40%,13%)] le rendement est affecté négativement par la forte dose d'engrais (250U/ha).

ABDELKHALEK et *al.* (2015); HAFFAF et *al.* (2016) ; HASSANEIN et *al.* (2018) ont constaté que le rendement en paille monte en raison de l'augmentation du niveau d'azote.

ROGER *et al.* (2016) et MASMOUDI (2019) ont constaté que l'apport d'engrais phosphaté augmente significativement la biomasse de la paille. De même, les résultats de TADELE ALEM et LEGESE (2018) indiquent que l'engrais combiné a un effet significatif sur le rendement du blé en paille.

En conclusion, les engrais ( $\text{KNO}_3$ -SSP) et NPK (15%-15%-15%) ont donné la meilleure hauteur de la plante et par conséquent le meilleur rendement en paille grâce à ses caractéristiques positives citées ci-dessus.

### **3- Action de type et dose d'engrais sur la teneur des feuilles et des grains en (N) et ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) :**

L'évolution des teneurs des feuilles et des grains de blé dur en azote (N) et en phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) en fonction du type d'engrais et la dose d'engrais permet d'apprécier la nutrition azotée et phosphatée des plantes dans le sol salée et calcaire.

**Tableau (08) : Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur des feuilles et des grains de blé dur en (N) et ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) :**



Traitements	N(%) (Feuilles)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) (Feuilles)	N(%) (grains)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) (grains)
E1=(Urée_TSP) 150	0,88 a	0,041 fgghi	1,93 bc	0,26 a
E1=(Urée_TSP) 200	0,71 abcd	0,029 ijk	1,76 defgh	0,23 defghijk
E1=(Urée_TSP) 250	0,69 abcde	0,025 jk	1,56 ijkl	0,21 l
E2=(Urée_SSP) 150	0,66 de	0,064 c	1,87 bcd	0,21 ijkl
E2=(Urée_SSP) 200	0,7 abcde	0,043 fgh	2,14 a	0,23 defghijk
E2=(Urée_SSP) 250	0,82 a	0,039 ghi	2,17 a	0,23 defghijk
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 150	0,73 a	0,04 ghi	1,62 ghijk	0,21 jkl
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 200	0,83 a	0,052 def	1,67 fghij	0,23 defghij
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 250	0,92 a	0,067 c	1,89 bcd	0,25 bc
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 150	0,68 cde	0,061 cd	1,44 l	0,22 efghijk
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 200	0,7 abcde	0,038 ghi	1,61 ghijk	0,25 b
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 250	0,73 a	0,034 hij	1,81 cdef	0,24 bcdef
E5=MAP (12%, 61%) 150	0,7 abcde	0,03 hijk	1,9 bcd	0,22 fghijkl
E5=MAP (12%, 61%) 200	0,83 a	0,058 cde	1,7 efghi	0,23 bcdefgh
E5=MAP (12%, 61%) 250	0,68 bcde	0,032 hijk	1,53 ijkl	0,24 bcde
E6=NPK(15%,15%,15%) 150	0,7 abcde	0,032 hijk	1,98 b	0,21 jkl
E6=NPK(15%,15%,15%) 200	0,73 ab	0,035 hij	1,74 defgh	0,23 cdefghi
E6=NPK(15%,15%,15%) 250	0,88 a	0,038 hij	1,74 defgh	0,24 bcdefgh
E7=NPK(30%,10%,10%) 150	0,83 a	0,038 ghi	1,76 cdefgh	0,22 fghijkl
E7=NPK(30%,10%,10%) 200	0,73 a	0,041 fgghi	1,7 efghi	0,24 bcdefg
E7=NPK(30%,10%,10%) 250	0,71 abc	0,08 b	1,59 hijkl	0,24 bcdefg
E8=NPK(20%,20%,20%) 150	0,78 a	0,041 fgghi	1,47 kl	0,22 hijkl
E8=NPK(20%,20%,20%) 200	0,78 a	0,04 ghi	1,66 fghij	0,23 cdefghi
E8=NPK(20%,20%,20%) 250	0,76 a	0,033 hijk	1,77 cdefg	0,21 jkl
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150	0,68 abcde	0,039 ghi	1,88 bcd	0,21 kl
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200	0,71 abcd	0,05 efg	1,67 fghij	0,224 efghijkl
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250	0,75 a	0,095 a	1,54 ijkl	0,219 ghijkl
E10=NPK(13%,40%,13%) 150	0,7 abcde	0,039 ghi	1,51 jkl	0,244 bcd
E10=NPK(13%,40%,13%) 200	0,75 a	0,053 de	1,66 fghij	0,236 bcdefgh
E10=NPK(13%,40%,13%) 250	0,66 e	0,062 cd	1,85 bcde	0,23 cdefghi
T (0)	0,57 f	0,021 k	1,27 m	0,19 m

### 3.1. Teneur des feuilles en azote (N):

Les échantillons des feuilles de blé ont été prélevés au stade montaison pour déterminer leur teneur en azote et pour évaluer l'absorption d'azote à ce stade sous l'influence de la salinité et le calcaire. La fertilisation phospho-azotée a un effet fortement favorable sur la teneur en

azote des feuilles de blé; ceci est confirmé par les résultats obtenus (tableau 08). Alors que le témoin a donné la plus faible teneur en azote par rapport aux autres traitements (0.57% MS).

L'analyse statistique montre un effet très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) du type et de la dose d'engrais sur la teneur des feuilles en azote. Le test Newman et Keuls a montré que le premier groupe contenait la moitié des traitements [E1=(Urée\_TSP) (150U/ha), E2=(Urée\_SSP) (150U/ha), E3(KNO<sub>3</sub>\_TSP) (150, 200 et 250U/ha), E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP) (250U/ha), E5=MAP (12%, 61%) (200U/ha), E6=NPK (15%,15%,15%) (250U/ha), E7=NPK(30%,10%,10%) (150 et 200U/ha), E8=NPK(20%,20%,20%) (150, 200 et 250U/ha), E9=NPK(4%, 20%, 25%) (250U/ha), et E10=NPK(13%,40%,13%) (200U/ha)]. Ces résultats montrent que la culture de blé absorbe mieux l'azote à ce stade. On remarque aussi que l'effet de dose d'engrais est varié selon le type d'engrais (figure 12). Les traitements dans lesquels la teneur des feuilles en azote augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais sont [E2=(Urée\_SSP), E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), E6=NPK (15%, 15%, 15%) et E9=NPK (4%, 20%, 25%)]. Cette teneur affectée négativement par la forte dose (250U/ha) pour les traitements [E1=(Urée\_TSP), E5=MAP (12%, 61%), E7= NPK (30%,10%,10%) et E10= NPK(13%,40%,13%)]; alors les traitements E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP) et E8= NPK(20%,20%,20%) la teneur des feuilles en azote n'ont pas été affectés par l'augmentation de la dose d'engrais.

BOJOVIC et MARKOVIC (2009) indique que la teneur de blé en azote est influencée par la présence et le rapport des éléments minéraux dans le sol et la variante la plus favorable de la fertilisation était le NPK. Les résultats obtenus par BOUKHALFA (2016) montre que les doses de phosphore apportées ont fortement affecté les teneurs en azote des feuilles de blé, et conclue que l'amélioration de l'efficacité d'absorption minérale dépend du choix de la qualité des engrais et de la dose optimale apportée (BOUKHALFA et *al.*, 2017).

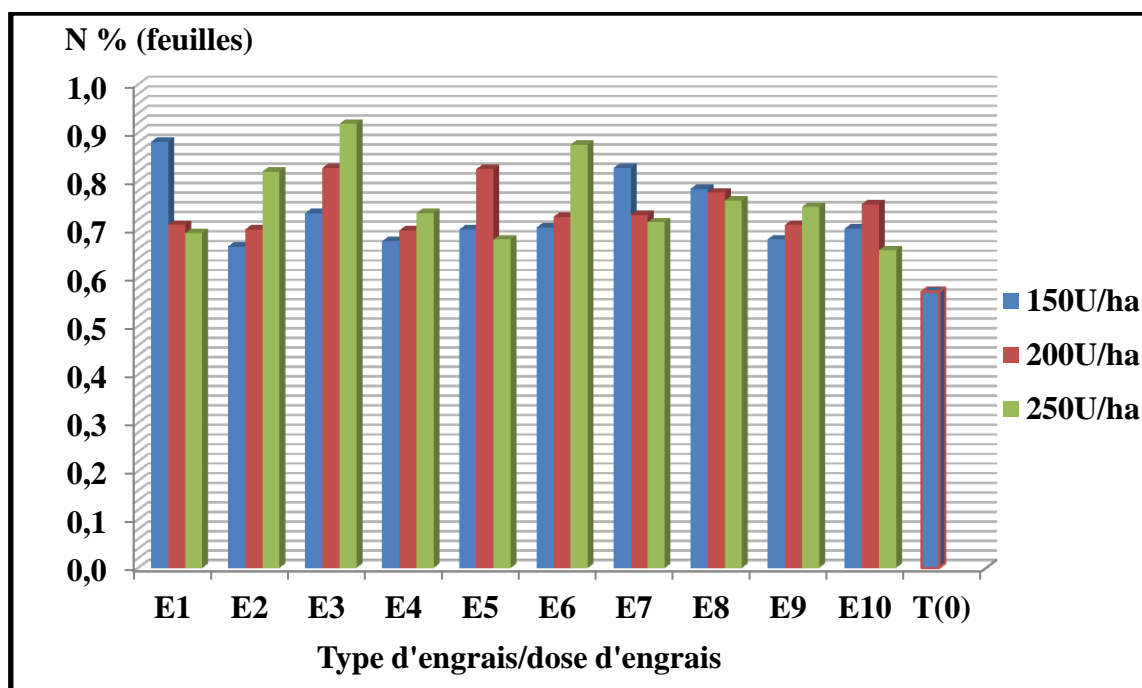


Figure (12): Teneur des feuilles en azote (N%) en fonction de type et dose d'engrais.

### 3.2. Teneur des grains en azote (N) :

La fertilisation phospho-azotée a un effet positif sur la teneur des grains de blé en azote. Ceci est clairement montré à travers les résultats du tableau (08) où la valeur la plus faible de la teneur des grains en azote est enregistrée par le traitement témoin sans engrais T(0) (1.2% MS). L'analyse statistique montre un effet moyen très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) du type et de la dose d'engrais sur la teneur des grains en azote. La teneur la plus élevée est obtenue par les traitements E2=(Urée-SSP) (200U/ha) et (250U/ha) avec des moyennes (2.14% MS et 2.17% MS respectivement). En effet, la teneur des grains en N augmente avec l'accroissement de la dose d'engrais pour les traitements [E2=(Urée\_SSP), E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP), E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), E8=NPK(20%,20%,20%) et E10=NPK(13%,40%,13%)], par contre pour les traitements E1=(Urée\_TSP), E5=MAP (12%, 61%), E6=NPK(15%,15%,15%), E7=NPK(30%,10%,10%) et E9=NPK(4%, 20%, 25%), la teneur des grains en N diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais.

D'après WARECHOWSKA et al. (2019) la disponibilité de l'azote pour les plantes est déterminée par la forme d'azote que l'on trouve dans un engrais. Le type et la dose d'engrais appliqués ont aussi une grande incidence sur l'intensité de l'absorption de N (STANOJKOVIĆ et al., 2012). Il semble que l'urée, en raison de sa teneur élevée en azote et

de sa transformation plus ou moins lente en ammonium et en nitrate, assure une alimentation prolongée des plantes, ce qui augmente la teneur en azote des grains.

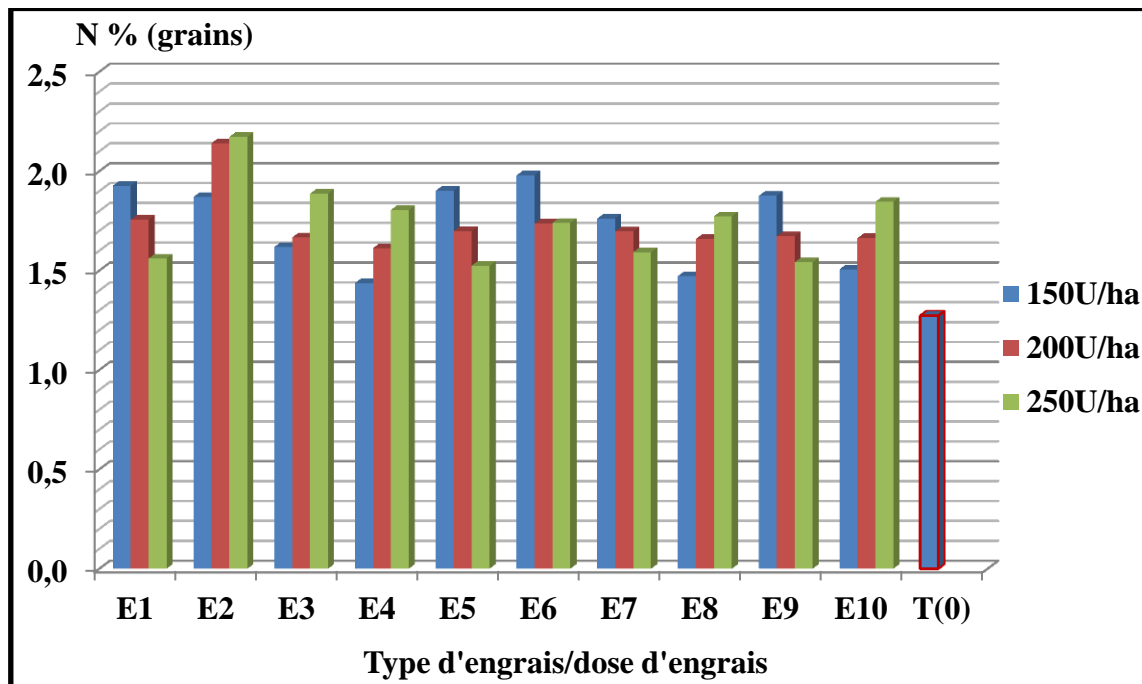


Figure (13): Teneur des grains en azote (N%) en fonction de type et dose d'engrais.

### 3.3. Teneur des feuilles en phosphore ( $P_2O_5$ ) :

La teneur des feuilles de blé en phosphore a également été déterminée au stade montaison et aussi pour évaluer l'absorption de phosphore à ce stade sous l'influence de la salinité et le calcaire. Les analyses statistiques révèlent un effet très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) de la fertilisation phospho-azotée sur la teneur des feuilles de blé en phosphore (tableau 08). D'une part le phosphore est absorbé principalement pendant la croissance végétative et, par la suite, la majeure partie du phosphore absorbé est transférée dans les grains pendant les étapes de reproduction (FAO, 2004). D'autre part cela montre l'importance de la fertilisation phospho-azotée sur la teneur des feuilles en phosphore à ce stade, et l'importance de cette teneur sur le dernier stade de la production des grains.

La comparaison des moyennes pour l'effet du type et de la dose d'engrais sur la teneur des feuilles de blé en phosphore (tableau 08) montre que le traitement E9=NPK (4%, 20%, 25%) (250U/ha) constitue le premier groupe homogène qui représente le meilleur teneur en phosphore, avec une moyenne de (0,095 % MS). Par contre la faible teneur en phosphore est obtenue par le témoin (0,021 % MS).

D'après les résultats illustrés dans la figure (14), on observe que l'effet de la dose d'engrais sur la teneur des feuilles de blé en phosphore est en fonction du type d'engrais, où nous constatons que la teneur en phosphore augmente avec l'augmentation de dose d'engrais au niveau des traitements suivants [E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP), E7=NPK(30%,10%,10%), E9=NPK(4%, 20%, 25%), E10=NPK(13%,40%,13%)], par contre cette teneur diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais au niveau des traitements [E1=(Urée\_TSP), E2=(Urée\_SSP), E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), E8=NPK(20%,20%,20%)]. On remarque aussi cette teneur affectée négativement par la forte dose d'engrais (250U/ha) pour le traitement E5=MAP (12%, 61%), mais au niveau de traitement E6=NPK (15%,15%,15%) la teneur des feuilles en phosphore augmente jusqu'à la dose 200U/ha seulement.

D'après les résultats obtenus par BOUKHALFA *et al.* (2011) l'apport d'engrais phosphaté a un effet significatif sur la teneur des feuilles en phosphore et cette teneur augmente en fonction des stades de croissance. Ainsi l'application de l'azote et le phosphore ont donné des concentrations élevées de phosphore dans les feuilles de blé (LEIKAM *et al.*, 1983).

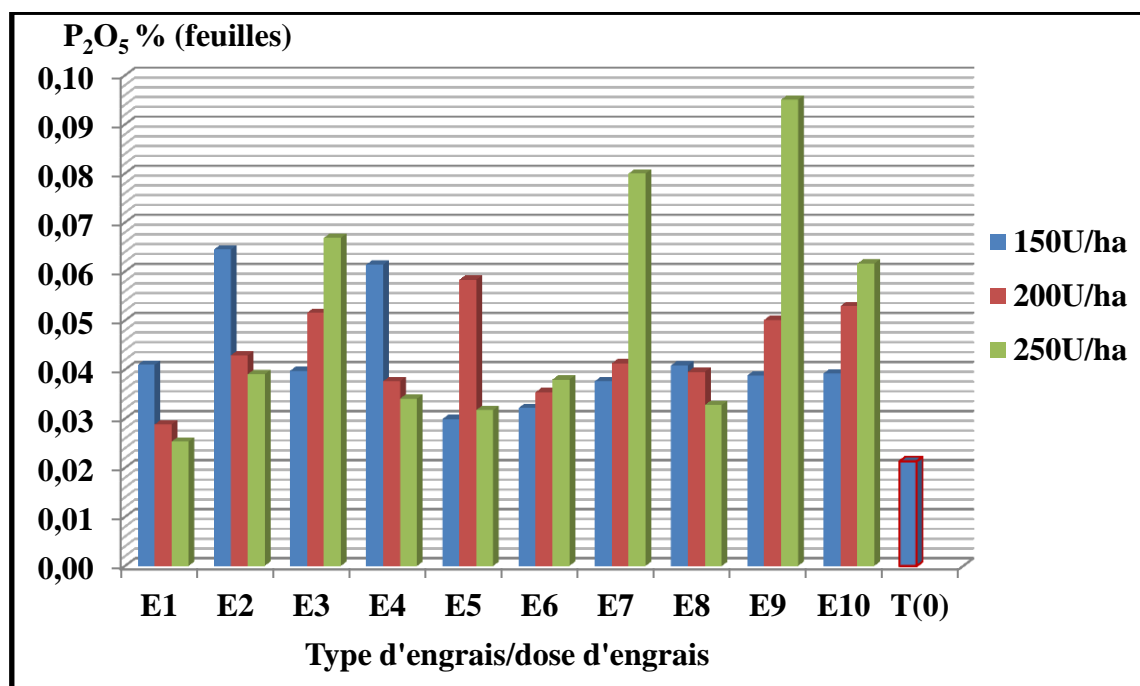
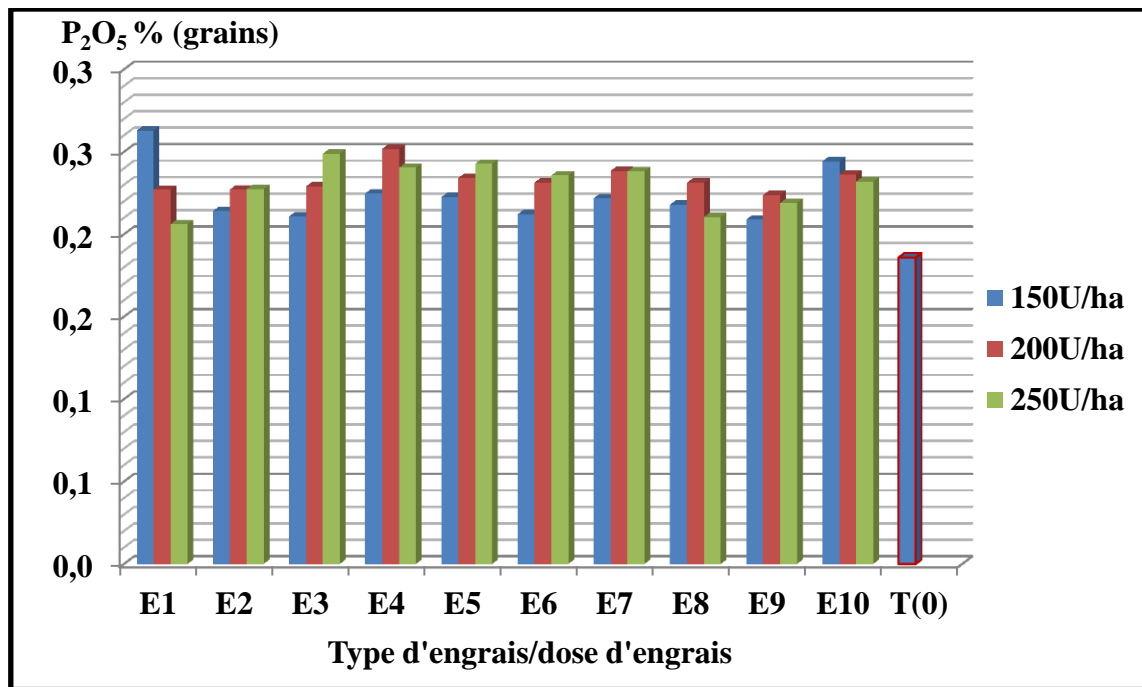


Figure (14): Teneur des feuilles en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%) en fonction de type et dose d'engrais.

### 3.4. Teneur des grains en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) :

Les valeurs de la teneur des grains de blé en phosphore pour les traitements E1 jusqu'à E10 sont supérieures à la valeur du témoin sans engrais. Ceci dénote l'importance de la

fertilisation phospho-azotée dans le sol salé et calcaire. Ceci est également confirmé par l'analyse de la variance (tableau 08), qui montre un effet moyen très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) du type et de la dose d'engrais sur la teneur des grains en phosphore. On remarque que la teneur la plus élevée concerne le traitement E1=(Urée-TSP) (150U/ha) avec une moyenne de (0.26% MS). La moyenne la plus faible est observée sur le témoin avec une moyenne de (0.19% MS). La figure (15) montre que l'effet de la dose d'engrais dépend du type d'engrais. En effet, on remarque que la teneur des grains en phosphore croît avec l'augmentation de la dose d'engrais pour les traitements [E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP), E5=MAP (12%, 61%) et E6=NPK (15%,15%,15%)], et au niveau des traitements E2=(Urée\_SSP) et E7=NPK (30%,10%,10%) la teneur des grains en phosphore augmente jusqu'à la dose 200U/ha seulement. Mais cette teneur diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais pour les traitements E1=(Urée\_TSP) et NPK E10=(13%,40%,13%). Pour les traitements [E4=(KNO<sub>3</sub>\_SSP), E8=NPK (20%,20%,20%) et E9=NPK (4%, 20%, 25%)], la teneur des grains de blé en phosphore diminue dans le cas de la plus forte dose (250U/ha). Comme nous l'avons mentionné précédemment et d'après STANOJKOVIĆ et *al.* (2012), le type et le taux d'engrais appliqués ont une grande incidence sur l'intensité de l'absorption de N, ont une grande incidence aussi sur l'intensité de l'absorption de P. Il existe des interactions entre les engrais azotés et phosphatés, qui font augmenter le rendement et améliorer la solubilité et l'absorption du phosphore (AISSA et MHIRI, 2002). Ainsi, les résultats obtenus par (CHEN et *al.*, 2015) montrent que l'augmentation du taux d'application du phosphore accroît son absorption par la plante. L'effet positif du traitement (Urée\_TSP) sur la teneur en phosphore du grain peut résulter de sa teneur élevée en phosphore et de sa solubilité.



**Figure (15): Teneur des grains en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>%) en fonction de type et dose d'engrais.**

### Conclusion

Les résultats obtenus indiquent que, l'effet de la fertilisation phospho-azotée sur les paramètres étudiés varie en fonction du type et de la dose d'engrais. Les meilleurs résultats sont obtenus par les engrais composés avec la dose (250U/ha). La hauteur des plantes (MAP et NPK (15%,15%,15%)), le rendement et ses composantes (NG/E = NPK (13%,40%,13%), PMG= NPK (4%,20%,25%), RG= NPK (13%,40%,13%) et NPK (15%,15%,15%) (150U/ha), RP= NPK (15%,15%,15%)), On trouve également l'engrais (KNO<sub>3</sub>-SSP) qui donne les meilleurs résultats de la hauteur des plantes et rendement en paille avec la faible dose (150U/ha). Les engrais composés sont la formule centésimale garantissant la présence des éléments nutritifs majeurs dans chaque granule. Ces engrais permettent aussi une répartition uniforme des éléments nutritifs lors de chaque application grâce à la qualité stable et le calibre suffisamment uniforme de leurs granules (FAO, 2003). Le principe des engrais composés, qui associent dans leur composition un retardant de nitrification, est plus intéressant. On limite ainsi les risques de lessivage des nitrates (LARRIEU, 2019). Le NPK (15%,15%,15%) est un engrais riche en soufre, et cette teneur élevée assure un effet prolongé du phosphore et améliore l'absorption d'azote du sol et des engrais (PHOSAGRO, 2018).

Tous les types d'engrais réagissent positivement à la teneur des feuilles en azote (N), et le NPK(4%,20%,25%) (250 U/ha) a donné le meilleur teneur des feuilles en phosphore.

Cependant la teneur la plus élevée des grains en azote et en phosphore est obtenue par les engrais simples, N= (Urée-SSP) avec la dose (200 et 250 U/ha), et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= (Urée-TSP) avec la dose (150U/ha).



## II.2. Effet de la fertilisation phospho-azotée sur l'évolution de quelques paramètres chimique du sol

Pour évaluer l'effet de type et dose d'engrais sur les paramètres chimique du sol (pH, la conductivité électrique (CE), calcaire total, et l'enrichissement du sol en phosphore assimilable et en azote total), et de suivre l'évolution des teneurs de ces dernier dans le sol salé et calcaire ; On a effectué deux prélèvements durant le cycle de la culture (fin tallage (prélèvement 1) et récolte (prélèvement 2)).

### 1- Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de pH du sol :

Les valeurs de pH durant le stade fin tallage et récolte sont consignés dans le tableau (09).

**Tableau (09): Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le pH du sol.**

Traitements	pH (fin tallage)	pH (récolte)
E1=(Urée_TSP) 150	8,55	8,38
E1=(Urée_TSP) 200	8,52	8,31
E1=(Urée_TSP) 250	8,44	8,33
E2=(Urée_SSP) 150	8,48	8,20
E2=(Urée_SSP) 200	8,54	8,34
E2=(Urée_SSP) 250	8,66	8,26
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 150	8,46	8,29
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 200	8,43	8,27
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 250	8,50	8,35
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 150	8,53	8,39
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 200	8,47	8,31
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 250	8,36	8,33
E5=MAP (12%, 61%) 150	8,50	8,31
E5=MAP (12%, 61%) 200	8,54	8,30
E5=MAP (12%, 61%) 250	8,50	8,26
E6=NPK(15%,15%,15%) 150	8,35	8,27
E6=NPK(15%,15%,15%) 200	8,48	8,35
E6=NPK(15%,15%,15%) 250	8,41	8,18
E7=NPK(30%,10%,10%) 150	8,42	8,33
E7=NPK(30%,10%,10%) 200	8,62	8,40
E7=NPK(30%,10%,10%) 250	8,35	8,30
E8=NPK(20%,20%,20%) 150	8,46	8,32
E8=NPK(20%,20%,20%) 200	8,41	8,33
E8=NPK(20%,20%,20%) 250	8,54	8,32
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150	8,54	8,25
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200	8,49	8,29
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250	8,47	8,31
E10=NPK(13%,40%,13%) 150	8,50	8,19
E10=NPK(13%,40%,13%) 200	8,60	8,35
E10=NPK(13%,40%,13%) 250	8,52	8,35

<b>T (0)</b>	<b>8,41</b>	<b>8,33</b>
--------------	-------------	-------------

Le pH du sol est un facteur qui définit l'état de fertilité d'un sol dont le niveau détermine la disponibilité des éléments nutritifs essentiels des plantes et influe sur la croissance des plantes (JONES, 2012).

L'analyse de la variance ne montre aucune différence significative de l'effet de types et des doses d'engrais apportées sur le pH du sol au niveau des stades fin tallage et récolte ( $p=0.132$  (fin tallage) et  $p= 0.619$  (récolte)).

D'après les résultats obtenus (tableau 09), on remarque que le pH du sol a augmenté à la fin de tallage où il était égal à 7.89 avant le semis.

Par contre, comme l'illustrent les résultats obtenus dans le tableau (09) et la figure (16), on note une légère diminution du pH au stade récolte au niveau de tous les traitements et aussi au niveau de témoin sans engrais. Où le pH le plus bas au niveau de traitement E6=NPK(15%,15%,15%) (250) au stade récolte avec une moyenne de (8.18). Cela montre que, cette diminution du pH ne concerne pas les engrais, mais un autre facteur.

D'après KHAN (2013). Les plantes produisent du dioxyde de carbone en raison de leurs processus de respiration, et pendant les périodes de croissance active, les racines peuvent provoquer une quantité de dioxyde de carbone dans le sol plusieurs fois supérieure à celle présente dans l'atmosphère. Le résultat est une augmentation de la quantité de dioxyde de carbone dissoute dans l'eau du sol et donc une acidité plus élevée ou un pH plus faible.

Les résultats obtenus par REFAT et *al.* (1989) indiquent qu'une légère diminution du pH de la rhizosphère a été observée dans les sols ayant un pH global de 8,4.

Donc on peut dire que les racines sont responsables de la diminution du pH dans le sol.

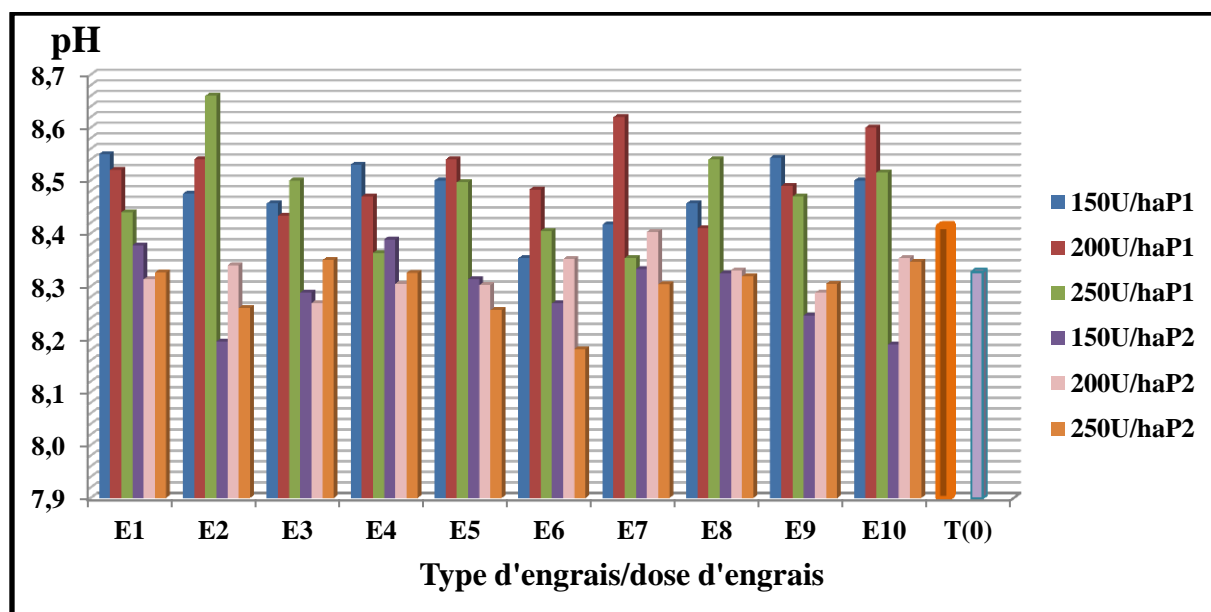


Figure (16) : Evolution du pH du sol en fonction de type et dose d'engrais.

## 2- Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de la conductivité électrique (CE) du sol:

Les résultats de l'évolution de la conductivité électrique (CE) du sol en fonction de type et dose d'engrais exprimés en dS/m sont consignés et illustrés dans le tableau (10) et la figure (17).

Tableau (10): Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la conductivité électrique du sol.

Traitements	CE (dS/m) (fin tallage)	CE (dS/m) (récolte)
E1=(Urée_TSP) 150	3,83 i	7,5 jkl
E1=(Urée_TSP) 200	4,3 ghi	8,97 efghij
E1=(Urée_TSP) 250	4,53 cdefghi	11,17 ab
E2=(Urée_SSP) 150	4,23 ghi	8,43 ghij
E2=(Urée_SSP) 200	4,47 efghi	9,83 bcdefg
E2=(Urée_SSP) 250	4,83 bcdefg	10,05 bcdefg
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 150	3,9 hi	6,7 klm
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 200	4,6 cdefgh	7,8 ijk
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 250	4,93 bcdefg	11,7 a
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 150	4,4 fghi	6,3 lm
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 200	4,83 bcdefg	8,43 ghij
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 250	5,33 ab	9,43 defghi
E5=MAP (12%, 61%) 150	3,83 i	8,9 efghi
E5=MAP (12%, 61%) 200	5,17 abcde	9,6 bcdefgh
E5=MAP (12%, 61%) 250	5,67 a	11,7 a

<b>E6=NPK(15%,15%,15%) 150</b>	<b>4,27</b> ghi	<b>9,37</b> defghi
<b>E6=NPK(15%,15%,15%) 200</b>	<b>4,3</b> ghi	<b>10,1</b> bcdefg
<b>E6=NPK(15%,15%,15%) 250</b>	<b>5,13</b> abcdef	<b>10,53</b> abcde
<b>E7=NPK(30%,10%,10%) 150</b>	<b>4,5</b> defghi	<b>7,37</b> jkl
<b>E7=NPK(30%,10%,10%) 200</b>	<b>4,63</b> bcdefgh	<b>8,7</b> ghij
<b>E7=NPK(30%,10%,10%) 250</b>	<b>4,97</b> bcdefg	<b>10,43</b> abcdef
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 150</b>	<b>4,2</b> ghi	<b>8,67</b> ghij
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 200</b>	<b>4,33</b> ghi	<b>9,5</b> cdefghi
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 250</b>	<b>5,23</b> abcd	<b>11,93</b> a
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150</b>	<b>4,4</b> fghi	<b>7,63</b> jkl
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200</b>	<b>4,53</b> cdefghi	<b>8,77</b> fghij
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250</b>	<b>4,87</b> bcdefg	<b>10,83</b> abcd
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 150</b>	<b>4,33</b> ghi	<b>7,97</b> hijk
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 200</b>	<b>4,73</b> bcdefg	<b>9,3</b> defghi
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 250</b>	<b>5,23</b> abc	<b>11,07</b> abc
<b>T (0)</b>	<b>3,27</b> j	<b>5,83</b> m

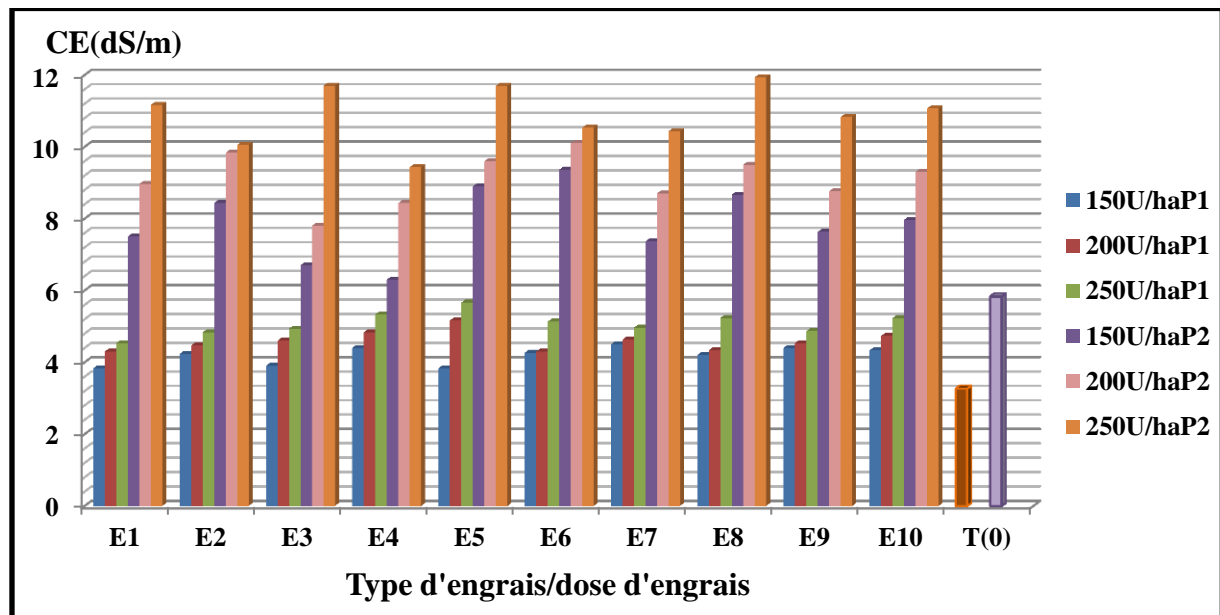
D'après les résultats obtenus (tableau 10) on observe une augmentation générale de la conductivité électrique (CE) du sol du stade fin tallage à la récolte.

Les valeurs de la conductivité électrique (CE) du sol au stade fin tallage et récolte pour les traitements E1 jusqu'à E10 sont supérieures à la valeur du témoin sans engrais (3.27 dS/m au fin tallage et 5.83 dS/m au stade récolte) (tableau 10). Cela montre que l'apport d'engrais minéraux contribue à augmenter la salinité du sol. D'après SLAMA (2004) et ANONYME (2009); L'utilisation des engrais minéraux, en particulier quand les terres soumises à une agriculture intensive ont une faible perméabilité et des possibilités limitées de lessivage influencent la salinité du sol par l'action spécifique de chacun de leur ions, ainsi que par les quantités solubilisées.

D'autre part, à travers les résultats obtenus, nous constatons que la conductivité électrique accroître au cours de cycle de la culture (tableau 10); où la conductivité électrique du sol était égale à 2.83 dS/m avant le début de l'expérimentation. Nous notons également que la salinité augmente au niveau des témoins (sans engrais) au cours du cycle de la culture, ceci est dû à l'eau d'irrigation qui a une conductivité électrique égale à 4.69 dS/m. donc et à travers ces résultats on peut dire que les engrais minéraux et l'eau d'irrigation sont des facteurs qui contribuent à augmenter la salinité du sol.

L'analyse statistique montre un effet moyen très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) du type et de la dose d'engrais sur la conductivité électrique (CE) du sol au stade fin tallage et récolte. On remarque que la conductivité électrique la plus élevée concerne les traitements E5= MAP (250 U/ha) au stade fin tallage et récolte avec des moyennes (5.67 dS/m et 11.7 dS/m

respectivement), et les traitements E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP) (250 U/ha) et E8=NPK(20%,20%,20%) (250 U/ha) au stade récolte avec des moyennes (11.93 dS/m et 11.7 dS/m respectivement).



**Figure (17) : Evolution de la conductivité électrique (CE) du sol en fonction de type et dose d'engrais.**

Nous remarquons également à partir des résultats obtenus (figure 17) que les apports élevés d'engrais a un effet négatif sur la salinité du sol, car la conductivité électrique augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais au niveau de tous les traitements.

La conductivité électrique (CE) du sol s'élève avec l'augmentation de la concentration saline (REZKALLAH et al., 2014). Et aussi augmente lorsque des engrais chimiques sont ajoutés au sol (IQBAL et al., 2020). D'après MOUGHLI (2000), l'apport d'engrais a contribué dans l'enrichissement de la solution du sol en sels solubles. Ce phénomène peut être expliqué par l'effet salinisant de l'engrais ajouté sur la concentration en sels de la solution de sol. Les résultats obtenus par AZIZI et al. (2016) et YADAV et al. (2020) montrent que la CE du sol augmentait progressivement avec une augmentation de la dose de NPK. L'effet d'interaction NPK sur la CE du sol a été trouvé de manière significative. Parce que NPK contient une quantité de sel et d'autres nutriments. Comme le sel favorise la salinité dans le sol, il apporte donc une augmentation de la CE.

## 3- Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de calcaire total du sol :

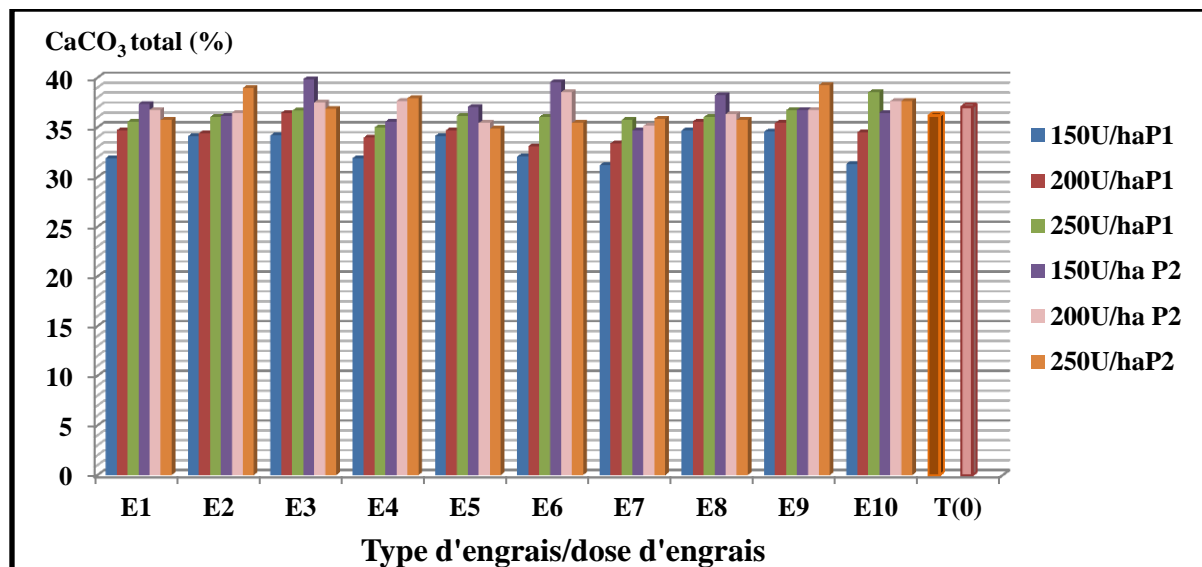
Tableau (11): Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le calcaire total du sol.

Traitements	CaCO <sub>3</sub> total (%) (fin tallage)	CaCO <sub>3</sub> total (%) (récolte)
E1=(Urée_TSP) 150	31,91 cde	37,35 abcde
E1=(Urée_TSP) 200	34,71 bc	36,76 abcde
E1=(Urée_TSP) 250	35,59 ab	35,74 cde
E2=(Urée_SSP) 150	34,12 bcde	36,47 abcde
E2=(Urée_SSP) 200	34,41 bcde	38,97 abcde
E2=(Urée_SSP) 250	36,03 ab	36,18 abcd
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 150	34,19 bcde	39,85 a
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 200	36,47 ab	37,5 abcde
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 250	36,69 ab	36,87 abcde
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 150	31,91 cde	35,59 cde
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 200	33,97 bcde	37,65 abcde
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 250	35 abc	37,94 abcde
E5=MAP (12%, 61%) 150	34,12 bcde	37,06 abcde
E5=MAP (12%, 61%) 200	34,71 bc	35,44 de
E5=MAP (12%, 61%) 250	36,18 ab	34,85 e
E6=NPK(15%,15%,15%) 150	32,06 cde	39,56 ab
E6=NPK(15%,15%,15%) 200	33,09 bcde	38,53 abcde
E6=NPK(15%,15%,15%) 250	36,03 ab	35,44 de
E7=NPK(30%,10%,10%) 150	31,18 e	34,71 e
E7=NPK(30%,10%,10%) 200	33,38 bcde	35,15 e
E7=NPK(30%,10%,10%) 250	35,74 ab	35,88 bcde
E8=NPK(20%,20%,20%) 150	34,71 bc	38,24 abcde
E8=NPK(20%,20%,20%) 200	35,59 ab	36,32 abcde
E8=NPK(20%,20%,20%) 250	36,03 ab	35,74 cde
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150	34,56 bcd	36,76 abcde
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200	35,44 ab	36,76 abcde
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250	36,73 ab	39,26 abc
E10=NPK(13%,40%,13%) 150	31,32 de	36,47 abcde
E10=NPK(13%,40%,13%) 200	34,51 bcd	37,65 abcde
E10=NPK(13%,40%,13%) 250	38,53 a	37,65 abcde
T (0)	36,18 ab	37,06 abcde

D'après les résultats obtenus on observe une augmentation générale de calcaire total dans le sol au cours de cycle de la culture (tableau 11); où le taux de calcaire total dans sol était égal à 31.98% avant le début de l'expérimentation. Cette augmentation due à la richesse de l'eau d'irrigation en Ca et bicarbonate, qui vont précipiter dans le sol sous formes de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>).

D'après l'analyse de la variance (Tableau 11), les moyennes de calcaire total dans le sol montrent que les valeurs les plus élevées de  $\text{CaCO}_3$  total se rapportent au traitement E10= NPK(13%,40%,13%) (250 U/ha) au stade fin tallage, avec une moyenne de (38,53%), et au traitement E3=( $\text{KNO}_3$ \_TSP) (150 U/ha) au stade récolte avec une moyenne de (39,85 %). Par contre la valeur la plus faible est enregistrée par le traitement E7=NPK(30%,10%,10%) (150 U/ha) au stade fin tallage (31,18%), et par les traitements E5=MAP (12%, 61%) (250 U/ha) et E7=NPK(30%,10%,10%) (150 U/ha, 200 U/ha) au stade récolte, avec des moyennes (34.85%, 34.71%, 35.15% respectivement).

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



**Figure (18) : Evolution de calcaire total en fonction de type et dose d'engrais.**

D'après les résultats obtenus (figure 18) on observe que le taux de calcaire total a augmenté pendant le stade fin tallage et récolte. Cette augmentation peut être expliquée par la précipitation du Ca et du bicarbonate (MASMOUDI, 2011).

Le calcaire dans le sol influe sur son pH qui influe à son tour sur l'assimilation du phosphore. Le calcium issu des sols calcaires très abondant dans les sols, forme avec le phosphore, des phosphates de moins en moins solubles, donc également plus difficiles à mobiliser

(SOLTNER, 2005). Dans les sols alcalins et calcaires, c'est généralement le facteur le plus contrôlant pour immobiliser le P et réduire sa disponibilité pour l'absorption des cultures. Plus précisément, lorsque la concentration en Ca augmente dans le sol, la disponibilité en P des plantes diminue (CAREY et *al.*, 2011).

#### 4- Action de type et dose d'engrais sur l'évolution du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable :

Les résultats de la teneur de sol en phosphore assimilable en fonction de type et dose d'engrais exprimés en ppm sont consignés et illustrés dans le tableau (12) et la figure (19).

**Tableau (12): Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable**

Traitements	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm) (fin tallage)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm) (récolte)
E1=(Urée_TSP) 150	227,62 fghij	336,61 ijk
E1=(Urée_TSP) 200	317,81 bcd	392,01 fgghi
E1=(Urée_TSP) 250	336,29 bc	479,55 cde
E2=(Urée_SSP) 150	237,18 efghi	365,84 hij
E2=(Urée_SSP) 200	272,86 cdefg	410,39 fgh
E2=(Urée_SSP) 250	309,13 bcd	444,83 efg
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 150	231,89 efghij	263,67 l
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 200	268,16 defgh	413,36 fgh
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 250	338,82 b	596,89 a
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 150	205,02 hij	284,01 kl
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 200	238,87 efghi	353,2 hij
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 250	284,83 bcdef	386,55 ghi
E5=MAP (12%, 61%) 150	211,37 ghij	319 jk
E5=MAP (12%, 61%) 200	225,26 fghij	327,43 ijk
E5=MAP (12%, 61%) 250	297,01 bcde	448,57 def
E6=NPK(15%,15%,15%) 150	242,69 efghi	356,55 hij
E6=NPK(15%,15%,15%) 200	280,81 bcdef	406,5 fgh
E6=NPK(15%,15%,15%) 250	326,59 bcd	501,48 bcd
E7=NPK(30%,10%,10%) 150	193,15 ij	333,18 ijk
E7=NPK(30%,10%,10%) 200	291,89 bcdef	416,08 fgh
E7=NPK(30%,10%,10%) 250	335,36 bc	539,5 b
E8=NPK(20%,20%,20%) 150	233,41 efghij	334,27 ijk
E8=NPK(20%,20%,20%) 200	279,24 bcdef	374,71 hij
E8=NPK(20%,20%,20%) 250	395,64 a	482,12 cde
E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150	235,44 efghi	328,03 ijk



<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200</b>	<b>282,16</b> bcdef	<b>365,83</b> hij
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250</b>	<b>316,69</b> bcd	<b>493,92</b> bcde
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 150</b>	<b>230,09</b> fghij	<b>380,94</b> hij
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 200</b>	<b>241,73</b> efghi	<b>413,29</b> fgh
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 250</b>	<b>278,12</b> bcdef	<b>504,91</b> bc
<b>T (0)</b>	<b>174,2</b> j	<b>134,49</b> m

La fertilisation phospho-azoté a indiqué un effet très hautement significative ( $p < 0.0001$ ) sur la richesse du sol en phosphore assimilable (tableau 12), ceci illustré par l'effet des engrais phospho-azoté apporté au sol par rapport aux traitements témoins sans engrais, ces derniers ont enregistré les teneurs du sol les plus faibles en phosphore assimilable avec des moyennes (174.2 ppm au stade fin tallage et 134.49 ppm au stade récolte), cela est dû à l'effet des engrais apportés au sol qui ont libéré des ions phosphatés dans le sol qui ont contribué significativement à la richesse du sol en phosphore assimilable.

Les meilleures teneurs moyennes du phosphore assimilable sont enregistrées par le traitement E8=NPK (20%,20%,20%) (250 U/ha) au stade fin tallage et par le traitement E3=(KNO<sub>3</sub>\_TSP) (250 U/ha) au stade récolte avec des moyennes (395,64 ppm et 596,89 ppm respectivement).

La teneur du sol en phosphore assimilable s'accroît avec l'augmentation des doses d'engrais au niveau de toutes les types d'engrais apportées au cours de cycle de la culture, ceci est démontré par les résultats statistiques que nous avons obtenus (tableau 12). Donc l'accroissement des doses d'engrais ont un effet positif sur la disponibilité du phosphore assimilable dans le sol.

D'après MASMOUDI (2019), qui dit que la fertilisation joue un rôle très important dans la fertilité des sols et crée un milieu favorable de nutrition pour les cultures. Les résultats obtenus par BOUKHALFA et *al.* (2011) montrent que l'apport d'engrais phosphaté a provoqué un enrichissement du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Les résultats obtenus par DILMI et KOURGLI (2018) montrent une augmentation dans les teneurs du sol en phosphore assimilable après une fertilisation phosphatée, cette augmentation est en fonction du type d'engrais phosphaté appliqué.

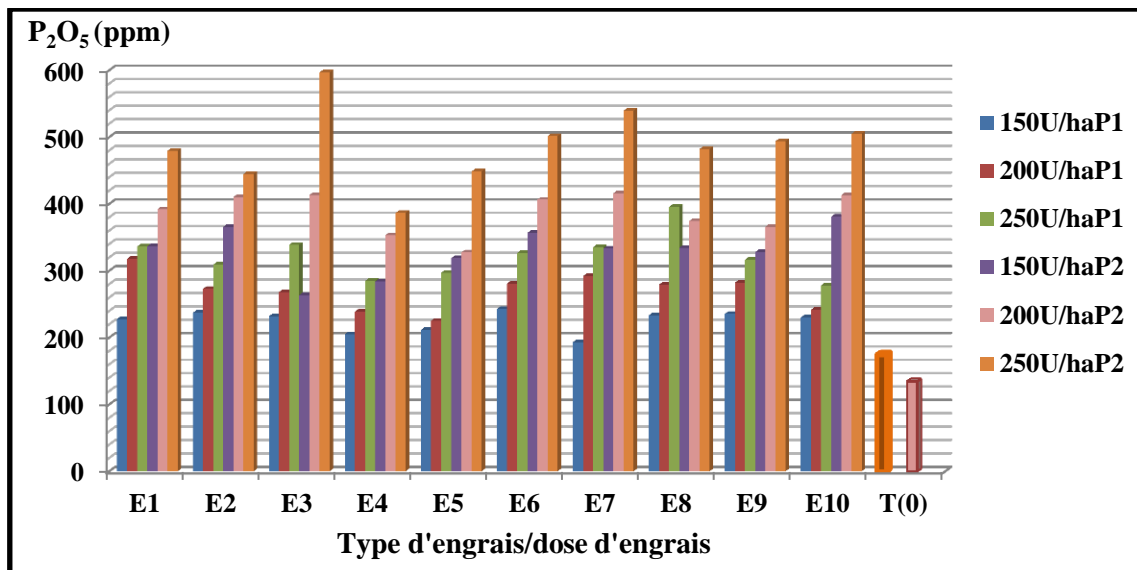


Figure (19) : Evolution de  $P_2O_5$  assimilable en fonction de type et dose d'engrais.

L'évolution du phosphore assimilable dans le sol est toujours affectée par un certain nombre des paramètres à savoir : le pH, la matière organique, le calcaire, les sels solubles,...etc. tous ces paramètres rentrent en jeu dans le statut phosphorique du sol (MIHOUB, 2012 et BOUKHALFA, 2016).

Dans notre étude, nous constatons que la teneur du sol en phosphore assimilable augmente pendant le stade fin tallage et récolte, c'est ce que montrent les résultats obtenus dans le tableau (12) ; par contre il s'est produit dans le témoin (sans engrais) une diminution de sa teneur en phosphore assimilable.

D'après DUTIL (1976), les engrais apportés au sol sont dissous et libèrent des ions phosphoriques qui vont prendre diverses voies d'organisation dans le milieu. Les ions libérés dans le milieu se répartissent alors de la manière suivante: Une partie reste à l'état dissout dans la solution du sol, une partie se fixe sur les surfaces externes de minéraux argileux et enfin une partie s'engage dans les réactions chimiques avec le calcium (le calcium libéré par le calcaire présent dans le sol). Dans les sols calcaires à forte concentration en P, le P est plus susceptible d'être lié sous forme de précipités Ca-P que d'autres voies. Le calcium réagit avec le P dans le sol pour former des précipités de phosphate de calcium ( $CaPO_4$ ) (CAREY et al., 2011). La plante s'alimente à partir de la solution du sol, modifie la concentration du milieu et exporte le phosphore du sol. Dans les sols riches en calcaire où le phosphore serait très lié aux ions  $Ca^{+2}$ , il a été montré que les plantes sécrètent au niveau de la rhizosphère des acides organiques (LOPEZ- BUCIO et al., 2000), et de protons ( $H^+$ ), ce qui aboutira alors à

l'acidification de la rhizosphère (HINSINGER, 2001 ; RENGEL, 2008 ; SANCHEZ CHAVEZ et al., 2009) pour mobiliser le phosphore fixé. D'après les résultats obtenus par MASMOUDI (1998), trouve que l'action de la rhizosphère à contribué avec de 30 % de phosphore soluble par rapport à l'essai sans végétal. Donc et d'après les résultats obtenus (tableau 12) il y a une augmentation de la solubilité de phosphore pendant le stade fin tallage et récolte. Cette solubilité est favorisée par le pH, qui élève instantanément la concentration en phosphore de la solution du sol. Cet effet du pH est confirmé par les résultats obtenus (tableau 09) qui montrent une légère diminution du pH du sol pendant cette période.

### 5- Action de type et dose d'engrais sur l'évolution de l'azote total :

Les résultats de la teneur de sol en azote total en fonction de type et dose d'engrais exprimés en % sont consignés et illustrés dans le tableau (13) et la figure (20).

**Tableau (13): Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en azote total**

Traitements	N(%) totale (fin tallage)	N (%) total (récolte)
E1=(Urée_TSP) 150	0,15 bcdef	0,07 defgh
E1=(Urée_TSP) 200	0,17 bcd	0,09 bcdefgh
E1=(Urée_TSP) 250	0,24 a	0,15 a
E2=(Urée_SSP) 150	0,12 efgh	0,07 defgh
E2=(Urée_SSP) 200	0,16 bcde	0,09 bcdefgh
E2=(Urée_SSP) 250	0,17 bcd	0,1 bcde
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 150	0,1 h	0,06 fgh
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 200	0,12 efgh	0,08 bcdefgh
E3=(KNO <sub>3</sub> _TSP) 250	0,18 bc	0,11 bc
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 150	0,11 fgh	0,05 gh
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 200	0,15 bcdef	0,08 bcdefgh
E4=(KNO <sub>3</sub> _SSP) 250	0,17 bcd	0,12 b
E5=MAP (12%, 61%) 150	0,12 efgh	0,06 efgh
E5=MAP (12%, 61%) 200	0,16 bcde	0,07 defgh
E5=MAP (12%, 61%) 250	0,19 b	0,1 bcd
E6=NPK(15%,15%,15%) 150	0,13 defgh	0,05 gh
E6=NPK(15%,15%,15%) 200	0,15 bcde	0,07 defgh
E6=NPK(15%,15%,15%) 250	0,17 bcd	0,1 bcdef
E7=NPK(30%,10%,10%) 150	0,12 efgh	0,06 efgh
E7=NPK(30%,10%,10%) 200	0,14 cdefg	0,08 bcdefgh

<b>E7=NPK(30%,10%,10%) 250</b>	<b>0,18 bc</b>	<b>0,1 bcd</b>
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 150</b>	<b>0,12 efgh</b>	<b>0,06 fgh</b>
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 200</b>	<b>0,15 bcdef</b>	<b>0,08 cdefgh</b>
<b>E8=NPK(20%,20%,20%) 250</b>	<b>0,18 bc</b>	<b>0,09 bcdefg</b>
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 150</b>	<b>0,11 gh</b>	<b>0,07 defgh</b>
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 200</b>	<b>0,15 bcde</b>	<b>0,08 bcdefgh</b>
<b>E9=NPK(4%, 20%, 25%) 250</b>	<b>0,18 bc</b>	<b>0,09 bcdefg</b>
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 150</b>	<b>0,11 gh</b>	<b>0,07 defgh</b>
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 200</b>	<b>0,15 bcde</b>	<b>0,08 bcdefgh</b>
<b>E10=NPK(13%,40%,13%) 250</b>	<b>0,17 bcd</b>	<b>0,09 bcdefgh</b>
<b>T (0)</b>	<b>0,07 i</b>	<b>0,05 h</b>

Comme nous avons conclu précédemment que la fertilisation phospho-azotée a un effet important sur la richesse du sol en phosphore assimilable dans les conditions saline et carbonaté, il a un effet important aussi sur la richesse en azote total, ceci est confirmé par les résultats obtenus dans le tableau (13). Cela est dû à l'effet des engrais apportés au sol qui a libèrent l'azote dans le sol qui ont contribué significativement à la richesse du sol en azote total.

L'analyse statistique montre un effet très hautement significatif ( $p < 0.0001$ ) du type et de la dose d'engrais sur la teneur du sol en azote total. Les meilleures teneurs en azote total sont obtenues par le traitement E1=(Urée\_TSP) (250 U/ha) au stade fin tallage et récoltes avec des moyennes (0.24 % et 0.15% respectivement). L'urée est l'engrais sec le plus riche en azote et il est complètement soluble à l'eau. Il agit moins rapidement que les nitrates, et son effet dure plus longtemps (ZIADI, 2007). L'urée est transformée en ammonium. Une partie est alors fixée au complexe argilo-humique et une autre partie est transformée en nitrate par les microorganismes. La minéralisation de l'urée dans le sol commence au printemps, dès que la température du sol augmente (LUSTI et al., 2000).

Par contre la plus faible teneur est obtenue par le témoin sans engrais avec des moyennes 0.07% au fin tallage et 0.05 % à la récolte.

D'autre part et à travers ces résultats on constate que l'application accrue de ces engrais conduit à une augmentation de la teneur du sol en N total (figures 20). Ceci apprécier le rôle important de ces types et dose d'engrais dans l'enrichissement des sols salé et calcaire en N totale.

D'après les résultats obtenus par SADEJ et PRZEKWAS (2008), qui montrent que la teneur moyenne en azote total du sol dépendait du type et du taux d'engrais, et les engrais appliqués ont entraîné une augmentation significative de la teneur du sol en azote total.

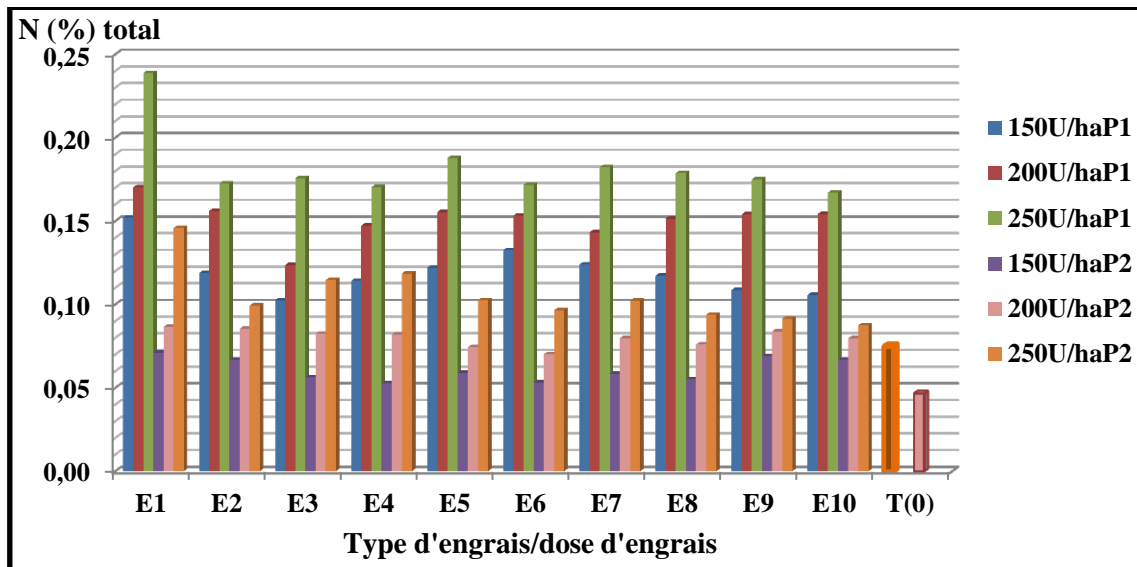


Figure (20) : Evolution de l'azote total (%) en fonction de type et dose d'engrais.

La teneur du sol en azote total diminue au cours du cycle de la culture, c'est ce que montrent les résultats obtenus dans la figure (20). Les quantités de l'azote total ont diminué au stade récolte par rapport aux quantités initiales (stade tallage). Cette diminution est due aux prélèvements de l'azote par les plantes, et aussi perdu par lessivage ou par des autres facteurs.

Selon KHAN et *al.* (2018), pour les engrais azotés appliqués au sol, seulement 50 % sont utilisés par les plantes, 2 % à 20 % sont perdus par évaporation, 15 % à 25 % réagissent avec des composés organiques dans le sol et les 2 % à 10 % restants pénètrent les eaux de surface et les eaux souterraines. L'azote présent dans le sol est sous forme de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  et azote organique (organique-N). Parmi ces formes d'azote, le  $\text{NO}_3^-$ , très mobile, est principalement responsable des pertes d'azote des sols par lessivage. Étant chargé négativement, le  $\text{NO}_3^-$  n'est pas attiré par les particules de sol chargées négativement et est soluble dans l'eau; il peut pénétrer facilement dans les eaux souterraines par drainage ou lessivage. Les conditions climatiques, le type de sol, la quantité et le type d'engrais utilisé constituent les principaux facteurs qui peuvent influencer la perte de l'azote (ZIADI, 2007).

**Conclusion**

Les résultats de l'action de type et dose d'engrais sur les paramètres chimique du sol (pH, la conductivité électrique (CE), calcaire total, et l'enrichissement du sol en phosphore assimilable et en azote total) au stade fin tallage et à la récolte montrent que :

- Aucune différence significative de l'effet des types et des doses d'engrais apportées sur le pH du sol. Par contre, il y a une légère diminution du pH au stade récolte au niveau de tous les traitements et aussi au niveau de témoin sans engrais. Cette diminution est due à l'effet de la rhizosphère.
- les engrais minéraux et l'eau d'irrigation sont des facteurs qui contribuent à augmenter la salinité du sol.
- le taux de calcaire total a augmenté pendant le cycle de la culture. Cette augmentation due à la richesse de l'eau d'irrigation en Ca et bicarbonate, qui vont précipiter dans le sol sous formes de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).
- Les engrais apportés au sol contribué significativement à la richesse du sol en phosphore assimilable et en azote totale. l'accroissement des doses d'engrais ont un effet positif aussi sur la disponibilité du phosphore assimilable et l'azote total dans le sol. Il y a une augmentation de la solubilité du phosphore pendant le stade fin tallage à la récolte, Cette solubilité est favorisée par le pH. Tandis que La teneur du sol en azote total diminué au cours du cycle de la culture.

**Synthèse et**  
**Conclusion générale**

**Synthèse et Conclusion générale**

A travers le travail présenté dans cette thèse, nous avons mis en évidence l'effet de la fertilisation phospho-azotée en examinant l'utilisation de différentes formes, type et dose d'engrais azotée et phosphatée sur la croissance des plantes de blé dur, le rendement et ses composantes (Nombre des grains par épi, poids de mille grains, rendement en grains et rendement en paille), et la teneur des feuilles et des grains en (N) et ( $P_2O_5$ ), et aussi sur les paramètres chimique du sol (pH, la conductivité électrique (CE), calcaire total, et l'enrichissement du sol en phosphore assimilable et en azote total). Ces paramètres ont été évalués afin de caractériser le niveau de l'effet de la fertilisation phospho-azotée dans des conditions salines et carbonatées dont l'objectif est d'arriver à une formule convenable de la fertilisation dans ce type du sol.

Les résultats globaux obtenus ont montré des effets très hautement significatifs de la fertilisation phospho-azotée sur les paramètres étudiés. D'après ces résultats obtenus, il est possible de retenir les points essentiels suivants :

La fertilisation phospho-azotée agit de façon significative sur l'évolution de la croissance des plantes de blé aux stades montaison et récolte. Cette dernière se manifeste entre les traitements ayant reçu des engrais phospho-azotée et le témoin sans engrais. Les meilleurs résultats sont obtenus par les traitements : MAP (250U/ha) au stade montaison; [( $KNO_3$ -SSP) 150U/ha], MAP (250U/ha) et [NPK (15%, 15%, 15%) 250U/h] au stade récolte. la hauteur des plantes de blé au stade montaison augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais au niveau de tous les type d'engrais, mais au stade récolte l'effet de l'augmentation de la dose d'engrais varié selon le type d'engrais, donc l'effet de l'augmentation de la dose d'engrais sur la croissance des plantes a changé après le stade montaison.

Les résultats de rendement et ses composantes dans cette étude nous permettent d'indiquer la réponse significative de la culture de blé dur à la fertilisation phospho-azotée en fonction de type et dose d'engrais, ainsi l'efficacité de ces derniers dans les sols salés et calcaires. Donc d'après ces résultats on montre que :

Les traitements qui donnent les meilleurs résultats de rendement et ses composantes sont: 1) le nombre des grains par épi = NPK (13%, 40%, 13%) (250 U/ha). 2) le poids de 1000 grains = NPK (4%, 20%, 25%) (250U/ha). 3) le rendement en grains = NPK (15%, 15% 15%) (150U/ha) et NPK (4%, 20%, 25%) (250U/ha). 4) rendement en paille = ( $KNO_3$ -SSP) (150U/ha) et NPK (15%, 15%, 15%) (150U/ha).



D'autre part, l'effet de l'augmentation de la dose d'engrais sur rendement et ses composants est en fonction de type d'engrais. L'effet de certains engrais d'une part est positif, car le rendement et ses composants augmentent avec l'augmentation de la dose d'engrais. En revanche, cet effet est négatif, car le rendement et ses composants diminuent avec l'augmentation de la dose d'engrais. Nous constatons également que ces paramètres sont négativement affectés par la forte dose d'engrais (250U/ha) pour certains engrais.

La dose accrue des engrais (Urée\_SSP), (KNO<sub>3</sub>\_SSP), MAP (12%, 61%), NPK(30%,10%,10%), NPK(20%,20%,20%), NPK(4%, 20%, 25%) et NPK(13%,40%,13%) entraîne une augmentation du nombre des grains par épi, poids de mille grains et le rendement en grains. par contre l'application accrue de l'engrais NPK (15%, 15%, 15%) induit une diminution de ces paramètres. Alors que ces derniers soient affectés négativement par la forte dose (250U/ha) lors de l'application des engrais (Urée\_TSP) et (KNO<sub>3</sub>\_TSP). Cependant le rendement en paille augmente en augmentant la dose des engrais (Urée\_SSP), MAP (12%, 61%), NPK (15%, 15%,15%), NPK (30%,10%,10%) et NPK (4%, 20%, 25%); mais le rendement diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais lors de l'utilisation de l'engrais (KNO<sub>3</sub>\_SSP) , cependant lors de l'application des engrais (Urée\_TSP), (KNO<sub>3</sub>\_TSP), NPK (20%,20%,20%) et NPK(13%,40%,13%), le rendement est affecté négativement par la forte dose (250U/ha).

La teneur des feuilles et des grains de blé dur en azote (N) et en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en fonction du type d'engrais et de la dose d'engrais permet d'apprécier la nutrition azotée et phosphatée des plantes de blé dans le sol salée et calcaire.

La fertilisation phospho-azotée a un effet fortement favorable sur la teneur des feuilles et des grains de blé dur en azote (N) et en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). D'autre part, l'effet de la dose d'engrais est en fonction de type d'engrais. Tous les types d'engrais réagissent positivement à la teneur des feuilles en azote (N) en se classant en même groupe. Cependant la teneur des grains de blé dur en azote (N) le plus élevée est obtenue par les traitements (Urée-SSP) (200U/ha) et (250U/ha). Les engrais dans lesquels la teneur des feuilles en azote augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais sont (KNO<sub>3</sub>\_SSP), NPK (15%, 15%, 15%) et NPK(4%, 20%, 25%). Cette teneur est affectée négativement par la forte dose (250U/ha) pour les engrais (Urée\_TSP), MAP (12%, 61%), NPK(30%,10%,10%) et NPK(13%,40%,13%); alors au niveau des engrais (KNO<sub>3</sub>\_TSP) et NPK(20%,20%,20%) la teneur des feuilles en azote n'ont pas été affectés par l'augmentation de la dose d'engrais. L'influence de

l'augmentation de la dose d'engrais s'est manifestée par une augmentation de la teneur des grains en azote (N) au niveau des engrais : (Urée\_SSP), (KNO<sub>3</sub>\_TSP), (KNO<sub>3</sub>\_SSP), NPK(20%,20%,20%) et NPK(13%,40%,13%). Et par une réduction de la teneur des grains en azote (N) au niveau des engrais : (Urée\_TSP), MAP (12%, 61%), NPK(15%,15%,15%), NPK(30%,10%,10%) et NPK(4%, 20%, 25%).

En revanche le traitement NPK (4%, 20%, 25%) (250 U/ha) a donné le meilleur teneur des feuilles en phosphore. Cependant la teneur des grains en phosphore le plus élevée est obtenu par le traitement (Urée-TSP) (150U/ha). la teneur des feuilles en phosphore augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais au niveau des engrais (KNO<sub>3</sub>\_TSP), NPK(30%,10%,10%), NPK(4%, 20%, 25%), NPK(13%,40%,13%), par contre cette teneur diminue avec l'augmentation de dose d'engrais au niveau des engrais (Urée\_TSP), (Urée\_SSP), (KNO<sub>3</sub>\_SSP), NPK(20%,20%,20%). Cette teneur est affectée négativement par la forte dose d'engrais (250U/ha) pour l'engrais MAP (12%, 61%), mais au niveau de l'engrais NPK (15%,15%,15%) la teneur des feuilles en phosphore augmente jusqu'à la dose 200U/ha seulement puis stabilisation. D'autre part, la teneur des grains en phosphore augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais pour les engrais (KNO<sub>3</sub>\_SSP), MAP (12%, 61%) et NPK (15%,15%,15%), et au niveau des engrais (Urée\_SSP) et NPK (30%,10%,10%) la teneur des grains en phosphore augmente jusqu'à la dose (200U/ha) seulement. Tandis que, cette teneur diminue avec l'augmentation de la dose d'engrais au niveau des engrais (Urée\_TSP) et NPK (13%,40%,13%). Pour les engrais (KNO<sub>3</sub>\_SSP), NPK (20%,20%,20%) et NPK (13%,40%,13%), cette teneur diminue au niveau de la forte dose (250U/ha).

Les résultats de l'effet de la fertilisation phospho-azotée sur les paramètres chimique du sol (pH, la conductivité électrique (CE), calcaire total, et l'enrichissement du sol en phosphore assimilable et en azote total), et l'évolution des teneurs de ces derniers dans le sol salé et calcaire, montrent que :

Les types et les doses d'engrais apportées n'ont aucun effet sur le pH du sol. Par contre, il y a une légère diminution du pH au stade récolte au niveau de tous les traitements et aussi au niveau de témoin sans engrais. Cette diminution est due aux racines des plantes. La diminution du pH à son tour affecte la solubilité du phosphore dans le sol.

L'apport d'engrais minéraux contribue à augmenter la conductivité électrique (CE) du sol. Et les apports élevées d'engrais a un effet négatif sur la salinité du sol, car la conductivité

électrique augmente avec l'augmentation de la dose d'engrais. Les engrais qui donnent la conductivité électrique la plus élevée sont : MAP (250 U/ha) au stade fin tallage et récolte, et les engrais (KNO<sub>3</sub>\_TSP) (250 U/ha) et NPK(20%,20%,20%) (250 U/ha) au stade récolte. D'autre part, la conductivité électrique accroître au cours de cycle de la culture au niveau de tous les traitements et au niveau de témoin. Donc les engrais minéraux et l'eau d'irrigation sont des facteurs qui contribuent à augmenter la salinité du sol.

La fertilisation phospho-azotée joue un rôle très important dans la richesse du sol en phosphore assimilable et en azote total dans les conditions salines et carbonatées. Cela est dû à l'effet des engrais apportés au sol qui ont libèrent des ions phosphatés et azotés dans le sol. Les meilleures teneurs du sol en phosphore assimilable sont obtenues par le traitement NPK (20%,20%,20%) (250 U/ha) au stade fin tallage et par le traitement (KNO<sub>3</sub>\_TSP) (250 U/ha) au stade récolte. Les meilleures teneurs en azote total sont obtenues par le traitement (Urée\_TSP) (250 U/ha) au stade fin tallage et récoltes.

L'accroissement des doses d'engrais ont un effet positif sur la disponibilité du phosphore assimilable et de l'azote total dans le sol, car la teneur du sol en phosphore assimilable et en azote total s'accroître avec l'augmentation des doses d'engrais au niveau de toutes les types d'engrais apportées au cour de cycle de la culture.

Concernant l'évolution du phosphore et de l'azote total dans le sol, on trouve que, le phosphore assimilable augmente pendant le stade fin tallage et récolte. Donc il y a une augmentation de la solubilité de phosphore pendant cette phase. Cette solubilité est favorisée par le pH. Par contre, La teneur du sol en azote total diminue pendant le stade fin tallage et récolte. Cette diminution est due aux prélèvements de l'azote par les plantes, et aussi la perte par lessivage.

Enfin, on peut dire que les résultats obtenus confirment l'importance de la fertilisation phospho-azotée pour ce type de sol. Ces résultats indiquent par ailleurs, que l'effet de la fertilisation phospho-azotée sur les paramètres étudiés varie en fonction du type et de la dose d'engrais. Les meilleurs résultats du rendement et ses composants sont obtenus par les engrais composés. Cependant la teneur la plus élevée des grains en azote et en phosphore est obtenue par les engrais simples.

La fertilisation phospho-azotée contribué significativement à la richesse du sol en phosphore assimilable et en azote total.

Les résultats les plus pertinents dans cette étude sont l'obtention de meilleurs rendements en grains et en paille avec la plus faible dose (150 U/ha) d'engrais NPK (15%, 15%, 15%), ainsi

## *Synthèse et Conclusion générale*

---

que l'obtention de meilleures hauteurs de la plante et un meilleur rendement en paille avec la plus faible dose (150 U/ha) des engrais ( $\text{KNO}_3$ -SSP). Enfin, on suggère l'utilisation de l'engrais composé NPK (15%, 15%, 15%), surtout pour la production des grains de blé et l'engrais ( $\text{KNO}_3$ -SSP) surtout pour la croissance et la production de la biomasse.

En perspective, on peut suggérer des recherches de l'utilisation combinée des engrais minéraux avec des amendements organiques.

## **Références Bibliographiques**

*Références Bibliographiques*

- **Abdelkhalek A.A., Darwesh R.K.H., El-Mansoury M.A.M., 2015.** Response of some wheat varieties to irrigation and nitrogen fertilization using ammonia gas in North Nile Delta region. *Annals of Agricultural Science*, Vol 6, N°2. pp 245–256.
- **Aghdam S.M., Samadiyan F., 2014.** Effect of nitrogen and cultivars on some of traits of barley (*Hordeum Vulgare L.*). *Advanced Biological and Biomedical Research*, Vol 2, N°2. pp 295-299.
- **Aissa A.D., Mhiri A., 2002.** Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. *Cah, d'études recher. Franco/Agri*, Vol 11, N°6. pp 391-397.
- **Ali N.S., Al-Ameri B.H.A., 2015.** Agronomic efficiency of Zn-DTPA and boric acid fertilizers applied to calcareous Iraqi soil. *The Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, Vol 46, N°6. pp 1117-1122.
- **Anonyme., 2009.** Salinisation et sodification. L'agriculture durable et la conservation des sols. *Processus de dégradation des sols. Fiche technique N°4.* 4 p.
- **Anonyme., 2020.** Notice technique des céréales. *Profert. 5ème Edition.* 68 p.
- **Arshad M., Adnan M., Ahmed S., Khan A., Ali I., Ali M., Ali A., Khan A., Kamal M.A., Gul F., Khan M.A., 2016.** Integrated Effect of Phosphorus and Zinc on Wheat Crop. *American-Eurasian J, Agric and Environ, Sci*, Vol 16, N°3. pp 455-459.
- **Azizi S., Thomas T and Rao S., 2016.** Effect of different levels of chemical fertilizers on soil physico-chemical properties of inceptisols. *Int J Multidisc Res Dev.* Vol 3, N°8. pp 29–32.
- **Bailey V.L., Kryzanowski L., 2011.** Plant nutrient management. *Management of agricultural, forestry, and fisheries enterprises.* Vol 1. 6 p.
- **Balemi and Negisho., 2012.** Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* Vol 12, N° 3. pp 547-561.
- **Barber S.A., 1977.** Application des engrais phosphatés: méthode, dose, et époque d'application en fonction de l'état phosphorique des sols. *Phosphore et agriculture* N° 70. pp 121 à 128.
- **Belaid D., 2013.** Algérie: fertilisation phosphatée en grande culture, aspects physiologiques et agronomiques. *Tome 1. Edition (2015).* 172 p.

- **Ben khaled A., Hayek T., Mansour E and Ferchichi A., 2014.** Comparing the interactive effects of NPK fertilization and saline water on tow genotypes of barley (*Hordeum vulgare*L.) grown in southern of Tunisia. *Revue des Régions Arides*. N° 35. pp 1436- 1446.
- **Ben Khaled L., Ouarraqie M et Zid E., 2007.** Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique. *Acta Botanica Gallica*, Vol 154, N°1. pp 101-116.
- **Ben Mbarek K et Boubaker M., 2017.** Manuel des grandes cultures : Les céréales. Edition : Universitaires européennes. 198 p.
- **Ben Mbarek K., 2010.** Manuel de Grandes Cultures. Les céréales. 198 p.
- **Bojović B and Marković A., 2009.** Correlation between nitrogen and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Kragujevac J. Sci.* Vol 31. pp 69-74.
- **Boukhalfa-Deraoui N., Halilat M et Mekliche A., 2011.** Effet d'un apport de phosphore sur une culture de blé tendre conduite en conditions irriguées. *Bio-Ressources*, Vol 1, N°1. pp 39-46.
- **Boukhalfa-Deraoui N., 2016.** Fertilisation phosphatée d'une culture de blé dur (*Triticum durum* Desf. Variété Carioca) irriguée, en milieu saharien (El-Menia). Thèse doctorat. Alger. 148p.
- **Boukhalfa-Deraoui N., hanifi-Mekliche L et Mekliche., 2017.** Effet des sources de phosphore sur la croissance et l'efficacite des prelevements d'azote par le ble dur Sous irrigation (el-menia). *Revue des BioRessources*. Vol 7, N° 2. pp 72- 79.
- **Boukhalfa-Deraoui N., Hanifi-Mekliche L., Mekliche A., Mihoub A et Daddibouhoun M., 2015.** Effect of phosphorus application on durum wheat in alkaline sandy soil in arid condition of Southern Algeria. *Asian journal of crop science*, Vol 7, N°1. pp 61-71.
- **Brar B.S., Singh J., Singh G and Kaur G. 2015.** Effects of Long Term Application of Inorganic and Organic Fertilizers on Soil Organic Carbon and Physical Properties in Maize–Wheat Rotation. *Agronomy*, Vol 5, N°2. pp 220-238.
- **Brown C.J., Bagg J., Mcdonald I and Reid K., 2009.** Guide agronomique des grandes cultures. Ontario (Edit), 279 p.
- **Calvet R., 2013.** Le sol. France Agricole (Edit). 679 p.

- **Carey A., Moor A and Leytem A., 2011.** Phosphorus in the calcareous soil of southern Idaho. University of Idaho Library. BUL 877. 9 p.  
[https://www.lib.uidaho.edu/digital/etd/items/weyers\\_idaho\\_0089n\\_10953.html](https://www.lib.uidaho.edu/digital/etd/items/weyers_idaho_0089n_10953.html)
- **Chen Y., Zhou T., Zhang C., Wang K., Liu J., Lu J and Xu K., 2015.** Rational Phosphorus Application Facilitates the Sustainability of the Wheat/Maize/Soybean Relay Strip Intercropping System. PLoS ONE, Vol 10, N°11. pp 1-16.
- **Debar J.S., 2015.** Pour une nutrition des plantes responsable. FARM. 20 p.  
[https://old.fondationfarm.org/zoe/doc/farm\\_pointdevue4\\_201512\\_hebebrand\\_a4\\_fr](https://old.fondationfarm.org/zoe/doc/farm_pointdevue4_201512_hebebrand_a4_fr).
- **Dilmi A et Kourgli N., 2018.** Etude expérimentale de l'efficacité de la fumure phosphatée en fonction de la nature des engrais utilisés. Algerian Annals of Agronomy. Vol 30, N° 1 et 2. pp 11-17.
- **Durand J.H et Simonneau P., 1961.** Travaux des sections pédologie et agrologie. Contribution à l'étude des sols irrigués. Bulletin N° 6. 27 p.
- **Dutil P., 1976.** La fertilité phosphatée des sols calcaires. Séminaire national de Sciences du sol 21-26 avril El Harache, Alger. 6 p.
- **EL hassani T.A et Persoons E., 1995.** Agronomie moderne. Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Ouvrage collectif, Universités francophones. 548 p.
- **Emmanuel L., Rafelis M et Pasco A., 2007.** Géologie. Dunod, Paris. 228 p.
- **FAO., 2003.** Les engrais et leurs applications, Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole., Quatrième édition, Editions F.A.O.,I.F.A. (Paris, France) et IMPHOS. (Casablanca, Maroc). 84 p.
- **FAO., 2004.** Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. Rome, Bulletin N° 13. 151p.
- **FAO., 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie. Rome. 43 p.
- **FAO., 2018.** Informations actualisées sur le Partenariat mondial sur les sols, y compris le Code de conduite international sur l'utilisation et la gestion des engrais. COAG. 34 p.
- **FIBL., 2016.** The Basics of Soil Fertility. Shaping our relationship to the soil. Basic guide. 32 p.
- **Foth H.D et Ellis B.G., 1997.** Soil fertility. Taylor & Francis. Second Edition. 285 p.



- **Frossard E., Julien P., Neyroud J A et Sinaj S., 2004.** Le phosphore dans les sols. État de la situation en Suisse. Cahier de l'environnement N° 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 180 p.
- **Gobat J.M., Aragno M et Matthey W., 2010.** Le sol vivant. Bases de pédologie - Biologie des sols. Science et ingénierie de l'environnement. 3<sup>e</sup> édition. 819 p.
- **Gregorio M., 2009.** ENGRAIS CE, Engrais soluble NPK avec des oligoéléments chélatés (13-40-13). Fiche technique JISA, N°9: 1 p.
- **Gruhn P., Goletti F and Yudelman M., 2000.** Integrated Nutrient Management, Soil Fertility, and Sustainable Agriculture: Current Issues and Future Challenges. Food, Agriculture, and the Environment Discussion. BRIEF. 32 p.
- **Guimeur K et Barkat D., 2014.** Conséquence d'un apport gypseux en présence de la matière organique sur quelques paramètres essentiels du sol et du blé dur (*Triticum turgidum* L.). Courrier du Savoir, 18. pp 123-128.
- **Haffaf H., Benkherbache N., Benniou R et Saoudi M., 2016.** Étude de la fertilisation azotée appliquée pour la production de semences du blé dur *Triticum durum* (variété waha) en zone semi-aride (M'sila). Revue Agriculture, N°1. pp 272 – 277.
- **Halajnia A., Haghnia G.H., Fotovat A and Khorasani R., 2009.** Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure. Geoderma. Vol 150. pp 209–213.
- **Halilat M.T et Dogar M.A., 1999.** Influence de la fertilisation azotée et potassique sur le comportement du blé en zones sahariennes. Annales de l'INA El-Harrach, Vol 20, N° 1 et 2. pp 18-28.
- **Halilat M.T., 2004.** Effect of Potash and Nitrogen Fertilization on Wheat under Saharan Conditions. IPI regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa. Rabat, Morocco. 16 p.
- **Halitim A., 1988.** Sol des régions Aride d'Algérie. OPU (Edit). 384 p.
- **Hashem A., 2013.** Effect of nitrogen rate on seed yield, protein and oil content of two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Acta agriculturae Slovenica, 101. pp 183-190.
- **Hassanein M.S., Amal G., Ahmed., Nabila M and Zaki., 2018.** Effect of nitrogen fertilizer and bio-fertilizer on yield and yield components of two wheat cultivars under sandy soil. Middle East Journal of Applied, Vol 8, N°1. pp 37-42.

- **Hinsinger P., 2001.** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes. *Plant and Soil*, 237. pp 173-195.
- **International Plant Nutrition Institute (Ipni) 2018.** Les sources spécifiques des éléments nutritifs. N° 10. [www.ipni.net](http://www.ipni.net). consultées le 10/05/2021.
- **Ishete T.A and Tana T., 2019.** Growth, yield component and yield response of durum wheat (*Triticum Turgidum* L. var. Durum) to blended NPS fertilizer supplemented with N rates at ArsiNegelle, Central Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, Vol 13, N°1. pp 9-20.
- **Islam S., Saif Ullah., Anjum M.M., Nawab A., Bilal A and Saad A., 2017.** Impact of Various Levels of Phosphorus on Wheat (CV.PIRSABAK-2013). *Environmental Sciences & Natural Resources*, Vol 6, N°5. pp 106-11.
- **Jamagne M et Ruellan A., 2009.** Les principaux sols du monde. Lavoisier (Edit). 225 p.
- **Jiao W., Chen W., Chang A.C and Page A.L., 2012.** Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review. *Environmental Pollution*, 168. pp 44-53.
- **Jones B.J., 2012.** Plant nutrition and soil fertility manual. Taylor & Francis, second edition. 273 p.
- **Kafkafi U and tarchitzky J., 2011.** Fertigation. A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management. First edition, IFA, Paris, 138 p.
- **Kaleem S., Ansar M., Anjum A.M., Sher A., Ahmad G and Rashid M., 2009.** Effect of phosphorus on the yield and yield components of wheat variety “INQLAB-91” under rainfed conditions. *Sarhad J, Agric*, Vol 25, N°1. pp 21-24.
- **Khadka D., Lamichhane S., Amgain R., Joshi S., Vista S.P., Sah K and Ghimire N.H., 2019.** Soil fertility assessment and mapping spatial distribution of Agricultural Research Station, Bijayanagar, Jumla, Nepal. *Eurasian J Soil Sci.* vol 8, N° 3. pp 237 – 248.
- **Khan M.N., Mobin M., Abbas Z.K and Alamri S.A., 2018.** Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater. In: Dominick A. DellaSala, and Michael I. Goldstein (eds.) *The Encyclopedia of the Anthropocene*, Oxford: Elsevier. vol 5, pp 225-240.
- **Khan P., Imtiaz M., Aslam M., Shah S.K.H., Nizamuddin., Memon M.Y and Siddiqui S.U., 2008.** Effect of different nitrogen and phosphorus ratios on the

- performance of wheat cultivar 'KHIRMAN. Sarhad J, Agric, Vol 24, N°2. pp 234-239.
- **Khan T.O., 2013.** Soils. Principes, Properties and Management. Springer (Edit). 263 p.
  - **Lakab R., 2012.** Effet de la fertilisation azotée sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété « bousselam » et sur la décomposition de la matière organique en semis direct dans la région semi-aride de Sétif. Mémoire Maj. Sétif. 134 p.
  - **Larrieu J.F., 2019.** Guide : Fertilisation raisonnée en arboriculture fruitière. Chambre d'Agriculture de Tarn-et-Garonne. 43 p.
  - **Le Tacon F., 1978.** La présence de calcaire dans le sol. Influence sur le comportement de l'Épicéa commun (*Picea excelsa* Link.) et du Pin noir d'Autriche (*Pinus Nigra nigricans* Host.). Ann. Sei. forest., Vol 35, N° 2. pp 165-174.
  - **Leikam D.F., Murphy L.S., Kissel D.E., Whitney D.A and Moser H.C., 1983.** Effects of Nitrogen and Phosphorus Application Method and Nitrogen Source on Winter Wheat Grain Yield and Leaf Tissue Phosphorus. Soil Science Society of America Journal. Vol 47, N° 3. pp 530-535.
  - **Leytem A.B and Mikkelsen R.L., 2005.** The Nature of phosphorus in Calcareous Soils. Better Crops, Vol 89, N°2. pp 11-13.
  - **Lopez-Bucio J., Nieto-Jacobo M.F., Ramirez-Rodriguez V and Herreraestrella L., 2000.** Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. Plant Science, 160. pp 1-13.
  - **Lusti H., Gisler G et Waldmann H., 2000.** Fumure azote. La bonne forme au bon moment. Production végétale. REVUE UFA. 39 p.  
[https://www.landor.ch/fileadmin/user\\_upload/Fachartikel/F\\_Landor\\_Stickstoff\\_2020\\_09](https://www.landor.ch/fileadmin/user_upload/Fachartikel/F_Landor_Stickstoff_2020_09).
  - **Madelein A., 2014.** Fertilisation et amendements. Educagri. 3ème édition. 131p.
  - **Mandic V., Krnjaja V., Tomic Z., Bijelic Z., Simic A., Ruzic Muslic D and Gogic M., 2015.** Nitrogen fertilizer influence on wheat yield and use efficiency under different environmental conditions. Chilean journal of Agricultural Research, Vol 75, N°1. pp 92-97.

- **Manitoba Agriculture, Sustainability Initiatives. 2007.** Soil fertility guid. MANITOBA. 67 p. <https://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/soil-fertility/soil-fertility-guide/index.html>
- **Masmoudi A., 1998.** Etude expérimentale sur l'efficacité du phosphate naturel de Djebel Onkt (Tébessa) par rapport au TSP dans la fertilisation des sols au Sahara. Mémoire magistère (Batna). 98 p.
- **Masmoudi A., 2011.** Effet de La salinité des eaux et les fréquences d'irrigation sur le sol et le végétal. Courrier du Savoir – N°11. pp.61-69.
- **Masmoudi A., 2016.** Effect of NaCl in presence of calcium and potassium on germination and growth of durum wheat (*Triticum durum* L.). International Journal of Agriculture and Environmental Research, Vol 2, N°6. pp 1822-1834.
- **Masmoudi A., 2019.** Effects of phospho-potassic fertilization on wheat culture irrigated with saline water. Ponte, International Journal of Sciences and Research, Vol 75, N°8. pp 86-97.
- **Masmoudi A., Hemeir A et Benaissa M., 2014.** Impacts de la concentration et du type de sel sur le potentiel germinatif et la production de biomasse chez l'orge (*Hordeum Vulgare*). Courrier du Savoir, 18. pp 95-101.
- **Melkamu H.S., Gashaw M and Wassie H., 2019.** Effects of different blended fertilizers on yield and yield components of food barley (*Hordeumvulgare*L.) on nitisols at hulla district, southern Ethiopia. Acad Res J Agri Sci. Res, Vol 7, N°1. pp 49-56.
- **Mihoub A., 2012.** Dynamique du phosphore dans le système sol-plante en conditions pédoclimatiques sahariennes. Mémoire Magistère. Ouargla. 101p.
- **Mihoub A., Boukhalfa-Deraoui N., 2014.** Performance of different phosphorus fertilizer types on wheat grown in calcareous sandy soil of El-Menia, Southern Algeria. Asian Journal of crop Science, Vol 6, N°4. pp 383-391.
- **Mihoub A., Cheloufi H., Boukhalfa-Deraoui N., 2012.** Dynamique du phosphore dans le système sol-plante (cas du blé dur) en conditions agro-climatiques sahariennes. BioRessources, Vol 2, N°2. pp 70-78.
- **Moore G.A., 2001.** Soil guide: a handbook for understanding and managing agricultural soils. Agriculture Western Australia. 375 p.
- **Morel C., Planchette C et Fardeau J.c., 1992.** La fertilisation phosphatée raisonnée de la culture du blé. Agronomie, EDP Sciences, VOL 12, N°8. pp 565-579.

- **Moughli L., 2000.** Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N° 72. 4 p.
- **Moughli L., 2000.** Mineral fertilizers: Characteristics and uses. Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II (IAVH2), Rabat, Morocco, pp 72-74.
- **Moussaouali B., 2014.** Effets de la fertilisation phosphatée sur le rendement et ses composantes d'une culture de blé dur (*Triticum durum* Desf. Var. CARIOCA) en milieu saharien (cas d'El-Goléa, Ghardaïa, Algérie). Revue des Régions Arides. N° 35. pp 1391- 1397.
- **Munroe J., 2018.** Manuel sur la fertilité du sol. MAAARO, Ontario. 3<sup>e</sup> édition. 231 p.
- **Noura Z., 2007.** Utilisation des engrais minéraux azotés en grandes cultures : description des différentes formes et leurs impacts en agroenvironnement. Colloque sur l'azote. CRAAQ-OAQ. 29 p.
- **Parida A. K., Das A. B., 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants. A review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol 60. pp 324-349.
- **Patrice A., 2012.** Manuel de Formation Statistiques sur les Engrais en Afrique. Les engrais et les bonnes pratiques agricoles en Afrique. Africafertilizer.org : IFDC, FAO, IFA et l'Union africaine. 95p.
- **Peter G., Francesco G and Montague Y., 2000.** Integrated Nutrient Management, Soil Fertility, and Sustainable Agriculture: Current Issues and Future Challenges. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Paper 32. 27 p.
- **Phosagro., 2018.** Nutrition optimale des plantes pour une alimentation saine. Catalogue produits. 40 p. [www.phosagro.com](http://www.phosagro.com).
- **Prajapati B.J., Gudadhe N., Gamit Andhv R and Chhaganiya J., 2017.** Effect of integrated phosphorus management on growth, yield attributes and yield of chickpea. Fmg. & Mngmt, Vol 2, N°1. pp 36-40.
- **Radhakishan Y., Tarence T and Narendra S., 2020.** Effect of Different Levels of NPK and FYM on Physico-Chemical Properties of Soil of Okra [*Abelmoschus esculentus* L.] Var. Parbhani Kranti. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. Vol 9, N°8. pp 603-612.
- **Rani S., Kumar Sharma M., Kumar N and Neelam., 2019.** Impact of salinity and zinc application on growth, physiological and yield traits in wheat. CURRENT SCIENCE. Vol 116, N° 8. pp 1324-1330.

- **Recous S., Chabbi A., Vertes F., Thiebeau P et Chenu C., 2015.** Fertilité des sols et minéralisation de l'azote: sous l'influence des pratiques culturales, quels processus et interactions sont impliqués. *Fourrages*. 223. pp 189-196.
- **Refat A., Youssef and Mitsuo Chino., 1989.** Root-induced changes in the rhizosphere of plants. pH changes in relation to the bulk soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* N°3. pp 461-468.
- **Rengel Z., 2008.** Bioavailability of Phosphorus and Micronutrients in the Soil-Plant-Microbe Continuum. Keynote papers. Fifth International Symposium ISMOM 2008-November 24th - 28th, 2008, Pucón, Chile. 8 p.
- **Rezkallah C., Djemai R., Maalem S et Fehdi C., 2014.** Les effets d'irrigation par l'eau salée sur les propriétés physico-chimiques d'un sol planté avec *Atriplex halimus*. *Afrique SCIENCE*. Vol 10, N° 1. pp 139 – 144.
- **Richard G., 2016.** The Basics of Soil Fertility. Shaping our relationship to the soil. Basic guide. *Fibl*. 32 p.
- **Richner W., Flisch R., Mayer J., Schlegel P., Zähler M et Menzi H., 2017.** Propriétés et utilisation des engrais. Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF). 24 p.
- **Roger A., Pluchon S., Yvin J.C., Benbrahim M., Kremer L et Sinaj S., 2016.** Effets d'un nouvel engrais phosphaté sur la nutrition et le rendement du blé. *Production végétale*, Vol 7. N°8. pp 316–321.
- **Rousselet M., Eveillard P et Boukraa E., 2009.** Guide d'optimisation de l'épandage des engrais minéraux solides, conseils pour des pratiques respectueuses de l'environnement. *COMIFER*. 63 p.
- **Rusek P., Mikos-szymańska M., Karsznia M., Sienkiewicz-cholewa U and Igras J., 2016.** The effectiveness of nitrogen-phosphorus fertilization in winter wheat (*triticum aestivum* l.) Cultivation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. Vol 22, N° 5. pp752–755.
- **Sánchez Chávez E., Muñoz E., Anchondo Á., Ruiz J.M., Romero L., 2009.** Nitrogen impact on nutritional status of Phosphorus and its main bioindicator: response in the roots and leaves of green bean plants. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, Vol 15, N°2. pp 177-182.
- **Schwartz C., Muller J.C et Decroux J., 2005.** Guide de la fertilisation raisonnée. *France Agricole* (Edit). 407 p.

- **Shabani G., Chaichi M.R., Ardakani M.R., Friedel J.K et Khavazi K., 2017.** Effect of different fertilizing and farming systems in annual medic (*Medicago scutellata* 'Robinson') on soil organic matter and nutrients status. *Acta agriculturae Slovenica*, Vol 109, N°1. pp 5-13.
- **Shazia I., Umair R., Ghulam M., Moazzam J., Maqshoof A., Azhar H and Zafar A., 2020.** Chemical Fertilizers, Formulation, and Their Influence on Soil Health. Springer Nature Switzerland. 16 p. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48771-3_1)
- **Slama F., 2004.** La salinité et la production végétale. Centre de publication Universitaire, Tunis. 161 p.
- **Société de fertilisants d'Algérie (Fertial) Edition (2017).** Manuel: Utilisation des engrais. 96 p.
- **Soltner D., 2005.** Les grandes productions végétales. Ed. Collection sciences et techniques agricoles, Paris (20ème édition). 472 p.
- **Stanojković A., Đukić D.A., Mandić L., Pivić R and Jošić D., 2012.** Evaluation of the chemical composition and yield of crops as influenced by bacterial and mineral fertilization. *Romanian Biotechnological Letters*, Vol 17, N°2. pp 7136-7144.
- **Tadele Alem A and Legese H., 2018.** Effects of fertilizer rate (blended) and sowing methods on yield of bread wheat (*Triticum Aestivum*) and its economic profitability in western Ethiopia. *Comprehensive Research in Biological Sciences*, Vol 5, N°7. pp 1-14.
- **Taffouo V.D., Meguekam L., Kenne M., Yayi E., Magnitsop A., Akoa A et Ourry A., 2008.** Germination et accumulation des métabolites chez les plantules de légumineuses cultivées sous stress salin. *Bibliographiques Agronomie Africaine*, Vol 20, N°2. pp 129–139.
- **Tremblay N., Scharpf H.C., Weier U., Laurence H et Owen J., 2001.** Guide pour une fertilisation raisonnée. Régie de l'azote chez les cultures maraîchères. Agriculture et agroalimentaire, Canada. 69p.
- **UNIFA (Union des Industries de la Fertilisation), 1997.** La Fertilisation. 7<sup>e</sup> édition. 78 p.
- **Vale M., 2010.** Perspectives d'évolution pour le raisonnement de la fertilisation phosphatée. Conférence phosphore SAS Laboratoire / AGRO-Systèmes – CHALONS EN CHAMPAGNE – 30 septembre 2010. 25p.

- **Vallerie M., 2012.** Fertilité et fertilisation des sols tropicaux. Cours donné à l'Ecole Fédérale Supérieure d'Agriculture. CAMEROUN. 181 p.
- **Warechowska M., Stępień A., Wojtkowiak K and Nawrocka A., 2019.** The impact of nitrogen fertilization strategies on selected qualitative parameters of spring wheat grain and flour. Polish journal of natural sciences. Vol 34, N° 2. pp 199–212.
- **Yang R., Yongzhong S and Yang Q., 2015.** Crop Yields and Soil Nutrients in Response to Long-Term Fertilization in a Desert Oasis. Soil Fertility & Crop nutrition. Vol 107, N°1. pp 83-92.



# ***ANNEXE***

---

**ANNEXE****Annexe I : première année****Annexe 01: Analyse de la variance relative à l'effet du type d'engrais sur la hauteur des plantes.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	24	1109,630	46,235	20,692	< 0,0001
Erreur	50	111,723	2,234		
Total corrigé	74	1221,353			

DDL : degré de liberté.

F : valeur observée de F de Fisher.

Pr : probabilité de mettre en évidence des différences significatives.

**Annexe 02: Analyse de la variance relative à l'effet du type d'engrais sur la Matière sèche.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	24	16194,631	674,776	51,309	< 0,0001
Erreur	50	657,562	13,151		
Total corrigé	74	16852,193			

**Annexe II : deuxième année****Annexe 01: Analyse de la variance relative à l'effet du type et dose d'engrais sur la hauteur des plantes au stade Montaison.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	1302,123	43,404	17,466	< 0,0001
Erreur	62	154,073	2,485		
Total corrigé	92	1456,196			

**Annexe 02: Analyse de la variance relative à l'effet du type et dose d'engrais sur la hauteur des plantes au stade récolte.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	2327,384	77,579	20,992	< 0,0001
Erreur	62	229,129	3,696		
Total corrigé	92	2556,513			

**Annexe 02: Analyse de la variance relative à l'effet du type et dose d'engrais sur le Nombre des grains par épi.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	783,726	26,124	16,861	< 0,0001
Erreur	62	96,062	1,549		
Total corrigé	92	879,789			

**Annexe 03: Analyse de la variance relative à l'effet du type et dose d'engrais sur le Poids 1000 grains.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	759,030	25,301	12,731	< 0,0001
Erreur	62	123,213	1,987		
Total corrigé	92	882,243			

**Annexe 03: Analyse de la variance relative à l'effet du type et dose d'engrais sur le Rendement en grains.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	1730,108	57,670	20,254	< 0,0001
Erreur	62	176,539	2,847		
Total corrigé	92	1906,647			

**Annexe 04: Analyse de la variance relative à l'effet du type et dose d'engrais sur le Rendement en paille.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	5766,032	192,201	21,961	< 0,0001
Erreur	62	542,614	8,752		
Total corrigé	92	6308,645			

**Annexe 05: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur des feuilles en Azote.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	0,504	0,017	53,042	< 0,0001
Erreur	62	0,020	0,000		
Total corrigé	92	0,523			

**Annexe 06: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur des grains en azote.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	3,487	0,116	29,083	< 0,0001
Erreur	62	0,248	0,004		
Total corrigé	92	3,734			

**Annexe 07: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur des feuilles en phosphore.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	0,027	0,001	41,643	< 0,0001
Erreur	62	0,001	0,000		
Total corrigé	92	0,028			

**Annexe 08: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur des grains en phosphore.**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	0,022	0,001	16,219	< 0,0001
Erreur	62	0,003	0,000		
Total corrigé	92	0,024			

**Annexe 09: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le pH du sol (stade fin tallage).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	0,486	0,016	1,399	0,132
Erreur	62	0,717	0,012		
Total corrigé	92	1,203			

**Annexe 10: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le pH du sol (Récolte).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	0,260	0,009	0,898	0,619
Erreur	62	0,599	0,010		
Total corrigé	92	0,859			

**Annexe 11: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la conductivité électrique (CE) du sol (stade fin tallage).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	23,385	0,779	11,865	< 0,0001
Erreur	62	4,073	0,066		
Total corrigé	92	27,458			

**Annexe 12: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la conductivité électrique (CE) du sol (Récolte).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	227,322	7,577	20,637	< 0,0001
Erreur	62	22,765	0,367		
Total corrigé	92	250,087			

**Annexe 13: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le calcaire total du sol (fin tallage).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	273,217	9,107	6,620	< 0,0001
Erreur	62	85,296	1,376		
Total corrigé	92	358,513			

**Annexe 14: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur le calcaire total du sol (Récolte).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	169,475	5,649	3,857	< 0,0001
Erreur	62	90,803	1,465		
Total corrigé	92	260,278			

**Annexe 15: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable (fin tallage).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	227762,863	7592,095	14,646	< 0,0001
Erreur	62	32139,550	518,380		
Total corrigé	92	259902,413			

**Annexe 16: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> assimilable (Récolte).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	735333,722	24511,124	45,204	< 0,0001
Erreur	62	33618,220	542,229		
Total corrigé	92	768951,942			

**Annexe 17: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en azote total (fin tallage).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	0,096	0,003	16,219	< 0,0001
Erreur	62	0,012	0,000		
Total corrigé	92	0,108			

**Annexe 18: Analyse de la variance relative à l'effet de type et dose d'engrais sur la teneur du sol en azote total (Récolte).**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	30	0,043	0,001	7,949	< 0,0001
Erreur	62	0,011	0,000		
Total corrigé	92	0,055			