



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi –Tébessa-  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : Biologie Appliquée

## **MEMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Domaine :** Sciences de la nature et de la vie

**Filière :** Science Biologique

**Option :** Toxicologie.

*Thème :*

**Effet des fertilisants (NPK) sur la germination de  
blé dur ( *Triticum durum* ).**

**Présenté par :**

***BELGHIT Asma.***

***ABID Hamida.***

***KEMACHE Assia.***

**Devant le jury :**

Dr. ROUABHI Rachid.	Professeur	Université de Tébessa	Président
Dr. BOUCHIHA Hanene	MCA	Université de Tébessa	promotrice
Dr . BEN AICHA Brahim	MCA	Université de Tébessa	Examineur

## ملخص

الحبوب ومشتقاتها هي العمود الفقري للعالم فالقمح الصلب يعتبر من أهم مصادر الغذاء في كثير من بلدان العالم ، و لذلك فالدراسات حولة لا تزال مستمرة بهدف تحسين نوعية وكمية الإنتاج وهو أهم نظام غذائي جزائري. الهدف من دراستنا هو معرفة تأثير سماد NPK في نمو و تركيبة القمح ، من خلال اختبار 3 جرعات مختلفة من هذا السماد ( 2 ملغ / مل ، 4 ملغ / مل , 6 ملغ / مل ) في علب بتري.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أن التركيزات العالية من سماد NPK يؤثر سلبا في التركيب المرفولوجي لنبات القمح حيث تطوره كان بطيئا في الجذور و السيقان و الأوراق .

كما أثر هذا السماد على مستوى التمثيل الغذائي فيسبب تثبيط في تخليق البروتين والكلوروفيل أ و ب و الكلي ، إضافة إلى زيادة ملحوظة فقط في تخليق السكر و البرولين عند نبات القمح .

لهذا تجدر الإشارة إلى أن لهذا السماد تأثير سلبي على القمح عندما يتجاوز جرعه المثالية.

الكلمات المفتاحية : الحبوب ، القمح الصلب ، NPK.

## Résumé

Les céréales et leurs dérivés sont l'épine dorsale du monde, le blé dur est l'une des sources alimentaires les plus importantes dans de nombreux pays du monde, et donc des études à ce sujet sont toujours en cours afin d'améliorer la qualité et la quantité de la production, et c'est l'aliment algérien le plus important. Le but de notre étude est de connaître l'effet de l'engrais NPK sur la croissance et la composition du blé, en testant 3 doses différentes de cet engrais ( 2 mg/ml , 4 mg/ml , 6mg/ml) dans des boîtes de pétri.

Les résultats obtenus indiquent que des concentrations élevées d'engrais azotés affecté négativement la structure morphologique de la plante de blé, car la croissance du blé était lente au niveau des racines, des tiges et des feuilles.

Cette engrais a également affecté le niveau métabolique, provoquant une inhibition de la synthèse des protéines, de la chlorophylle a, b et total, ainsi qu'une augmentation notable uniquement de la synthèse du sucre et de proline dans la plante de blé.

Pour cela, il convient de noter que cet engrais a un effet négatif sur le blé lorsqu'il dépasse la dose idéale.

**Mots clés :** Céréales, Blé dur, NPK.

## **Abstract**

Cereals and their derivatives are the backbone of the world, durum wheat is one of the most important food sources in many countries of the world, and therefore studies on it are still underway in order to improve the quality and quantity of production, and it is the most important Algerian food. The aim of our study is to find out the effect of NPK fertilizer on the growth and composition of wheat, by testing 3 different doses of this fertilizer ( 2 mg / ml , 4 mg / ml , 6 mg / ml ) in petri cans in the laboratory of toxicology Faculty of Exact Sciences and Sciences of nature and life University of TEBESSA .

The results obtained indicate that high concentrations of nitrogen fertilizer negatively affects the morphological structure of wheat plant, where its development was slow in the roots, stems and leaves.

This fertilizer also affected the metabolic level, causing inhibition of protein synthesis, chlorophyll a , b and total , as well as a noticeable increase only in the synthesis of sugar and prolin in the wheat plant .

For this it should be noted that this fertilizer has a negative effect on wheat when it exceeds the ideal dosage.

**Keywords:** Cereals, durum wheat, NPK.

## **Remerciement**

**Nous tenons en premier à remercier "ALLAH " le tout puissant de nous avoir donné la patience, la volonté et le courage et de nous avoir éclairé le chemin de la réussite pour pouvoir accomplir ce modeste travail.**

**Nous présentons tous nos remerciements à notre promotrice M<sup>me</sup> BOUCHIHA**

**D'avoir accepté de nous encadrer, pour tout son aide, sa disponibilité, son suivie et sa confiance**

**Nous voudrions à remercier les jurés et l'équipe de techniciens de laboratoire**

**Nous ne manquerons pas de remercier tous les enseignants de notre département**

**De Biologie Appliquée de la faculté des sciences exacte et science de la nature et de la vie de TEBESSA, de nous avoir partagé son savoir et son expérience.**

*Dedicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes parents « Ahmed » et « Latifa » pour  
leur amour et leur encouragement qu'ils  
trouvent le Témoignage de ma profonde  
affection et gratitude.*

*A mes frères.*

*A ma sœur « Nadjeh ».*

*A la fleur de la maison, ma très chère petite  
« Fatima ».*

*A toute la famille.*

*A tous mes amies.*





*Dedicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes parents « Rídhá » et « Saída » pour  
leurs amour et leur encouragement qu'ils  
trouvent le Témoignage de ma profonde  
affection et gratitude.*

*A mon frère «Ahmed».*

*A ma sœur «Oumaïma ».*

*A la fleur de la maison «Basma».*

*A toute la famille.*

*A tous mes amies.*



## *Dedicace*

*Je dédie ce travail*

*Pour ma famille « BELGHIT » et « KHARCHI »*

*A ma mère et mon ami de mon âge « Zouhra », pour son  
amour, ses encouragements et ses sacrifices*

*A mon père et mon protecteur « Boulaaressse », pour son  
soutien, son affection e la confiance qu'il m'a accordé*

*À l'âme de ma deuxième mère, grand-mère « Baya »*

*À ma main et à mon épaulé droite, mon frère «  
HoussemEdin »*

*Pour sourire à la maison et garder mes secrets « Sara »*

*À mon cher frère et au dernier de la bande « Mouhamed  
Amine »*

*À mes tantes et oncles, oncles et tantes, et leurs enfants*

*À tous mes amis*

*À tous mes enseignants à tous ceux qui m'ont soutenu et  
encouragé*



## Liste des abreviation

**-A.C.I.A, 2006**

<b>-ANOVA:.</b>	Analysis of Variance
<b>-BBC:.</b>	Coomassie Brilliant Blue R-250
<b>-BSA:</b>	Bovine serumalbumin.
<b>-CG :</b>	Cinétique de germination.
<b>-Chl:</b>	Chlorophylle
<b>-DO:</b>	Densités optiques
<b>-G :.</b>	Taux de germination finale
<b>-NGG :.</b>	Nombre de graines germées
<b>-NTG :</b>	Nombre total de graines incubées.

## Liste des figures

N°	Titre	page
<b>Figure 1</b>	Blé dur	06
<b>Figure 2</b>	Cycle de vie de blé dur.	08
<b>Figure 3</b>	Un Cycle De Croissance.	09
<b>Figure 4</b>	Blé, épi et fleur.	10
<b>Figure 5</b>	Le grain de blé.	11
<b>Figure 6</b>	Modèles de développement des différentes maladies.	13
<b>Figure 7</b>	Le piétin-vers.	13
<b>Figure 8</b>	Symptômes de l'oïdium sur les feuilles de blé dur.	14
<b>Figure 9</b>	Symptômes de la septoriose.	15
<b>Figure 10</b>	Les symptômes de rouille brune sur les feuilles de blé dur.	16
<b>Figure 11</b>	Symptômes de la rouille noire sur le blé dur.	16
<b>Figure 12</b>	Symptôme de la rouille jaune sur le blé dur.	16
<b>Figure 13</b>	Cycle de l'azote dans la biosphère.	26
<b>Figure 14</b>	Cycle simple de phosphore.	29
<b>Figure 15</b>	Variété de blé expérimentée (Vitron) .	38
<b>Figure 16</b>	Les étape de développement les graine de blé.	40
<b>Figure 17</b>	Dosage La teneur chlorophylle a et b.	43
<b>Figure 18</b>	Effet des différentes traitements sur le taux de germination.	46
<b>Figure 19</b>	Effet des différentes traitements sur la longueur des racines.	48
<b>Figure 20</b>	Effet des différentes traitements sur la longueur des feuilles.	49
<b>Figure 21</b>	Effet des différentes traitements sur la longueur des tiges .	50
<b>Figure 22</b>	Effet des différentes traitements sur le dosage de protéine.	51
<b>Figure 23</b>	Effet des différentes traitements sur le dosage de proline.	52
<b>Figure 24</b>	Effet des différentes traitements sur le dosage de chlorophylle a et b.	53
<b>Figure 25</b>	Effet des différentes traitements sur le dosage de chlorophylle a+b.	54
<b>Figure 26</b>	Effet des différentes traitements sur le dosage de sucre.	55

## Liste des tableaux

N°	Titre	page
<b>Tableau 1</b>	Classification botanique du blé dur.	07
<b>Tableau 2</b>	Éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante.	21

# Sommaire

<u>Dédicaces</u>	
<u>RESUMES</u>	
<u>ABSTRACT</u>	
ملخص	
Liste des abréviations	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Introduction	1
<u>Partie bibliographique</u>	
Chapitre 01: Généralité sur le blé dur	
1. Historique de blé	04
2. Importance du blé	05
3. Blé dur	05
3.1. Biologie	05
3.2. L'origine de blé dur	06
3.3. Classification	06
3.4. L'appareil végétative	07
3.4.1. Le cycle biologique	07
3.4.2. La croissance et développement de la culture de blé dur	08
3.4.2.1. La période végétative	08
3.4.2.2. La période de reproduction	09
3.4.2.3. La période de maturation	10
3.5. L'appareil reproducteur	10
3.5.1. L'épi	10
3.5.2. Le grain	11
4. Ecologie de la croissance de blé dur	11
4.1. Facteur de température	11
Facteur eau	11

<b>Facteur de lumière</b>	<b>12</b>
<b>4.4. Facteur du sol</b>	<b>12</b>
<b>5. Les maladies fongiques et les ravageurs du blé dur</b>	<b>13</b>
<b>Chapitre 02: Généralité sur la fertilisation</b>	
<b>1. Fertilisation</b>	<b>20</b>
<b>2. Définition des substances nutritives</b>	<b>21</b>
<b>3. Elements nutritifs nécessaires à la croissance de la plante</b>	<b>21</b>
<b>4. Les engrais</b>	<b>22</b>
<b>4.1. Classification des engrais</b>	<b>22</b>
<b>4.1.1. D'après le nombre d'éléments fertilisants qu'ils comportent</b>	<b>23</b>
<b>4.1.2. D'après leur origine et leur forme</b>	<b>23</b>
<b>5. La Fertilisation de l'azote</b>	<b>24</b>
<b>5.1. Définition et source</b>	<b>24</b>
<b>5.2. Rôle physiologique de l'azote</b>	<b>24</b>
<b>5.3. l'azote dans le blé</b>	<b>25</b>
<b>5.4. Forme de l'azote absorbé par la plante</b>	<b>26</b>
<b>5.5. Cycle de l'azote</b>	<b>26</b>
<b>5.6. L'assimilation de l'azote par la plante</b>	<b>27</b>
<b>6. La Fertilisation phosphatée</b>	<b>27</b>
<b>6.1. Définition de phosphore</b>	<b>27</b>
<b>6.2. Rôle physiologique du phosphore</b>	<b>28</b>
<b>6.3. Forme de phosphore absorbé par la plante</b>	<b>28</b>
<b>6.4. Cycle de phosphore</b>	<b>28</b>
<b>6.5. L'assimilation de phosphore</b>	<b>29</b>
<b>7. La Fertilisation de potassium</b>	<b>29</b>
<b>7.1. Définition de potassium</b>	<b>29</b>
<b>7.2. Rôle physiologique du potassium</b>	<b>30</b>
<b>7.3. Le potassium et la plante</b>	<b>31</b>
<b>7.4. Cycle de potassium</b>	<b>32</b>
<b>7.5. L'assimilation de potassium</b>	<b>33</b>
<b>8. Les engrais NPK</b>	<b>33</b>
<b>8.1. Généralité sur les engrais NPK</b>	<b>33</b>

<b>8.2. L'engrais NPK (15-15-15)</b>	<b>34</b>
<b>8.3. La toxicité des engrais NPK</b>	<b>34</b>
<b>Partie pratique</b>	
<b>Chapitre 03 : Matériels et méthodes</b>	
<b>1. Matériel végétale</b>	<b>38</b>
<b>2. Mise en place de l'essai</b>	<b>38</b>
<b>3. Les engrais NPK</b>	<b>38</b>
<b>4. Méthode</b>	<b>39</b>
<b>4.1. Plan experimental</b>	<b>39</b>
<b>4.2. Paramètres étudiés</b>	<b>40</b>
<b>4.2.1. Effets du NPK sur les perametres de croissance</b>	<b>40</b>
<b>4.2.1.1. Taux de la germination</b>	<b>40</b>
<b>4.2.1.2. Longueur des plantes</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2. Effets du NPK sur les perametres biochimiques</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2.1. Dosage de proteine</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2.2. Dosage de proline</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2.3. Dosage de chlorophyle</b>	<b>42</b>
<b>4.2.2.4. Dosage de glucide</b>	<b>43</b>
<b>Chapitre 04 : Résultats et discussions</b>	
<b>Resultats</b>	<b>46</b>
<b>1. Paramètres étudiés</b>	<b>46</b>
<b>1.1. Effets du NPK sur les perametres de croissance</b>	<b>46</b>
<b>1.1.1. Taux de la germination</b>	<b>46</b>
<b>1.1.2. Longueur des plantes</b>	<b>47</b>
<b>1.2. Effets du NPK sur les perametres de biochimique</b>	<b>51</b>
<b>1.2.1. Dosage de proteine</b>	<b>51</b>
<b>1.2.2. Dosage de proline</b>	<b>52</b>
<b>1.2.3. Dosage de chlorophyle</b>	<b>53</b>
<b>1.2.4. Dosage de sucre</b>	<b>55</b>
<b>Conclusion</b>	<b>58</b>
<b>Références bibliographie</b>	
<b>Annexes</b>	

# *Introduction*

### Introduction

Les céréales sont des espèces généralement cultivées pour leur grain, dont l'album en amylofé réduit en farine est consommable par l'homme ou par les animaux domestiques.

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie internationale. Elles ont toujours été et demeurent une denrée importante dans la ration alimentaire (**Yallaouiyaici et Ghalem, 2006;Djermoun, 2009**). La situation actuelle de l'Algérie nécessite une meilleure prise en charge de l'amélioration de la production agricole notamment celles des cultures stratégiques de large consommation qui sont principalement les céréales. La production nationale de blé ne couvre que 30 % des besoins nationaux estimés à plus de 7 millions de tonnes (**Bultin de Ministère de l'Agriculture, 2008**). Le blé dur accapare 43% de la zone de production du pays et le blé tendre vient au deuxième rang avec 800.000 hectares. (**Kacem, 2005**).

Quant on s'intéresse aux techniques culturales, il convient d'évoquer l'élément clé pour l'élaboration des rendements en blé, telle la fertilisation azotée qui nécessite actuellement une gestion plus stricte, qui repose sur la stratégie d'adapter les apports aux besoins de la culture durant ses différents stades de développement (**Justes, 1993**).

Dans la dernière moitié du 20ème siècle, une augmentation importante des rendements a été rendue possible par l'utilisation de l'azote, produit industriellement depuis les années 40. Ainsi, une meilleure nutrition des plantes par la fertilisation peut permettre une augmentation des rendements et de la qualité tout en préservant les sols et les ressources naturelles.

L'utilisation des engrais doit être effectuée de façon adéquate pour protéger l'environnement et restituer au sol les ressources exportées par les plantes ; elle dépend de la richesse initiale du sol en éléments fertilisants, du type de sol, stade d'apport et du niveau de rendement visé (**Badraoui et al., 2000 ; Evans, 1998 ; Latiri, 2002**).

La production agricole devra alors être significativement plus élevée. Les surfaces agricoles ayant atteint leur limite dans de nombreux pays, cette augmentation ne pourra se faire que par une augmentation des rendements. Cette augmentation ne peut se faire que par l'amélioration variétale et les techniques culturales associées,

## Introduction :

---

dont la fertilisation. En effet les apportent aux végétaux cultivés les nutriments nécessaires à leur croissance. Les principaux sont : l'Azote(N), le Phosphore(P) et le potassium(K).

Les produits azotés (nitrates) et les phosphates provoquent des déséquilibres dans les milieux qui reçoivent les eaux de ruissellement ou d'infiltration issues de l'agriculture. D'un autre coté, les engrais ont un effet néfaste sur l'environnement en contaminant l'air par émissions des gaz tel que l'ammoniac, et peuvent pollués les eaux et les nappes phréatiques.

Un stress hydrique se traduit par une réduction de la croissance de la plante et de sa production par rapport au potentiel du génotype. Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (**Debaeke et al., 1996**). La résistance globale d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (**Hsissou, 1994**).

À cet égard nous avons entrepris un travail pour étudier l'effet de l'engrais NPK (15.15.15) apportés à différentes doses sur la culture du blé dur variété vitrons dans le but de rechercher

Effet des fertilisants (NPK) sur la germination de blé dur (*Triticum Durum*).

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

*Partie*  
*bibliographique*

# *Chapitre 01:*

*Généralité sur le blé dur*

**1. Historique de blé**

Historiquement le blé dur est une plante annuelle, monocotylédone, qui appartient au genre *Triticum*, de la famille des graminées ou « poaceae » (**Feuillet, 2000**). Est l'une des premières céréales cultivées dans le monde, où ça continue de dominer le commerce mondial de Céréales, devant le maïs. Le riz, à l'inverse, est surtout consommé sur place dans les zones de production. Les États-Unis sont le premier exportateur de céréales, rassemblant en 2012/2013 le quart du volume total. Les échanges mondiaux de céréales continuent de s'amplifier, parallèlement à la hausse de la production. Entre les campagnes 1990/1991 et 2012/2013 les exportations de céréales ont crû de plus de la moitié, atteignant 294 millions de tonnes (**Graphagr, 2013**).

En Algérie, le blé dur (*Triticum Durum*), est la première céréale cultivée dans le pays. Elle occupe annuellement plus d'un million d'hectares. Sur les hautes plaines orientales algériennes, la culture pluviale du blé dur représente, avec l'orge et l'élevage ovin, l'essentiel de l'activité agricole (**Abdelhamid et al., 2006**).

La production de blé dur est consommée par l'homme, le plus souvent directement sur le site de l'exploitation, et les résidus du blé sont utilisés par l'élevage (**Abdelhamid et al., 2006**). Il est compte parmi les espèces les plus anciennes et constitue une grande partie de l'alimentation de l'humanité, il assure 15% de ses besoins énergétiques (**Melki et al., 2015**).

Le blé dur est utilisé principalement pour la fabrication des semoules. Le procédé de transformation du blé dur en semoule génère également la production d'issues et de coproduits de blé dur, qui sont des matières premières destinées à l'alimentation animale (**Anonyme, 2012**).

Pour le génome nucléaire, le blé possède l'un des génomes les plus complexes parmi les céréales et, au-delà, dans l'ensemble du monde vivant. De plus, le blé comporte non pas un « simple » génome nucléaire mais un génome nucléaire composite, une association de trois génomes de trois espèces différentes, regroupés dans la même cellule et formant par là-même une nouvelle espèce. Outre un génome nucléaire, le blé possède comme tout végétal un génome mitochondrial et un génome chloroplastique (**Hervé, 2013**).

Les céréales ont d'autre part joué un rôle capital dans le développement de l'humanité : la plupart des civilisations se sont développées autour d'une céréale (**Moule, 1971**).

### 2. Importance du blé

Le blé constitue la première ressource alimentaire de l'humanité et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par les aliments en grains dont 95% sont produits par les principales cultures céréalières (**Bonjean et Picard, 1991**).

L'importance économique des céréales reste considérable. Au niveau mondial, la branche est un secteur économique important, car elle assure l'alimentation de base des milliards d'hommes (**Anonyme, 2015**).

### 3. Blé dur

#### 3.1. Biologie de blé dur

Le blé dur est une graminée annuelle. Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entre nœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (**Clarke et al ., 2002**).

Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale, mais tous ne grènent pas nécessairement (**Bozzini, 1988**).

Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal.

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entre nœuds (**Bozzini, 1988**). Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur parfaite est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (l'Emma ou lemme) et la glumelle supérieure (paléa). Chacune compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux.

À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur.

Le blé dur est bien adapté aux régions à climat relativement sec, où il fait chaud le jour et frais la nuit durant la période végétative, ce qui est typique des climats méditerranéens et tempérés. Les semences peuvent le supporter aussi peu que 2°C, même si la température optimale est de 15°C (**Bozzini, 1988**). La plus grande partie du blé dur produit dans le monde est constituée de blé de printemps ; toutefois, il existe des variétés de blé dur d'hiver (qui ont besoin de vernalisation pour amorcer la transition de la phase végétative à la phase reproductrice); (**Domnez et al., 2000**).



**Figure 1** : blé dur (**Anonyme, 2020**)

### 3.2. L'origine du blé dur

Le blé dur (*Triticum Durum*) est une plante annuelle de la classe monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Le genre *Triticum* appartient à la tribu des Triticées au sein de la famille des Poacées et plus largement au groupe des angiospermes monocotylédones (**Feillet, 2000**).

L'aire d'origine des blés est le proche Orient (**Hervé, 1979**), selon (**Feldman, 2001**) dans la zone dite du Croissant fertile, l'Irak, la Syrie et la Turquie. La diffusion du blé vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord est très ancienne.

### 3.3. Classification :

Le blé dur (*Triticum Durum*), est une monocotylédone de la famille des graminées, dont le fruit est sec et indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. De la

tribu des Triticées et du genre *Triticum* (A.C.I.A, 2006). Une classification détaillée est illustrée dans le tableau ci-dessous (**Tableau N°1**).

**Tableau N°1 : Classification botanique du blé dur (A.C.I.A, 2006).**

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumi florales
Super ordre	Commélini florales
Famille	Gramineae = Poaceae
Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	Triticum Durum

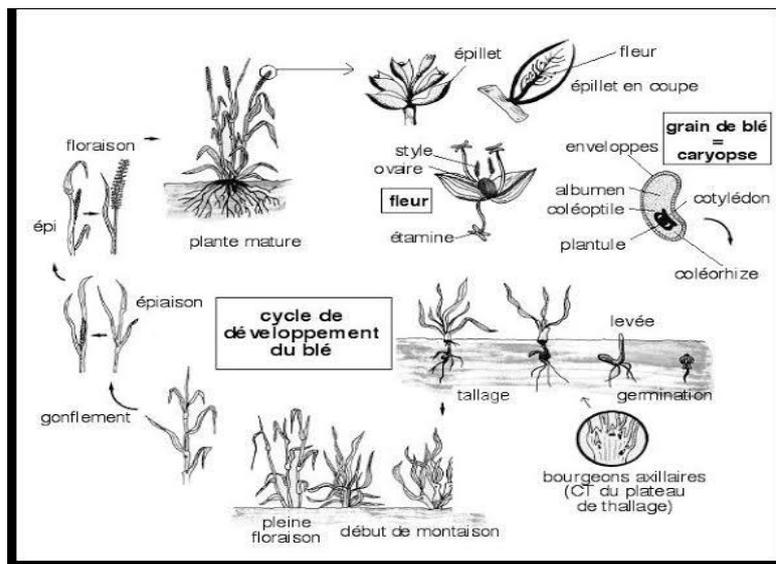
### **3.4.L'appareil végétative**

Le système aérien de la plante se développe en produisant un certain nombre de talles, qui se développent en tiges cylindriques formées par des nœuds séparés par des entre-nœuds. Chaque tige porte à son extrémité une inflorescence. Deux systèmes racinaires se forment au cours de développement : Un système primaire : ce sont des racines séminales qui fonctionnent de la germination au tallage. Un système secondaire : de type fasciculé, les racines partent des nœuds les plus bas et sont presque toutes au même niveau (plateau de tallage)(MORSLI, 2010).

#### **3.4.1. Le cycle biologique**

le cycle végétatif du blé s'accomplit en trois 3 grandes périodes. La première période végétative (ou des feuilles) débute de la germination à la fin du tallage. La période reproductrice (ou des tiges) s'étend du redressement à la fécondation. Elle apparaît au cours du tallage et regroupe la formation de l'ébauche de l'épi, l'initiation florale (montaison-gonflement) et la méiose-fécondation. La troisième période de formation et de maturation des grains est repérée de la fécondation à la maturation complète du grain. Différents échelles ont

été établies pour identifier les stades végétatifs clés du cycle de développement de la culture du blé (Soltner, 2005). Génétiquement, le blé dur est allotétraploïde (deux génome: AABB), comptant au total 28 chromosomes ( $2n= 4x = 28$ ), contenant le complément diploïde complet des chromosomes de chacune des espèces souches. Comme telle, chaque paire de chromosomes du génome (A) a une paire de chromosomes homologues dans le génome (B), à laquelle elle est étroitement apparentée. Toutefois, durant la méiose, l'appariement des chromosomes est limité aux chromosomes homologues par l'activité génétique de gène inhibiteurs (Wall et al., 1971).



**Figure 2:** Cycle de vie de blé dur.

### 3.4.2. La croissance et développement de la culture de blé dur

#### 3.4.2.1. La période végétative

- **La période Semis-Levée**

Suite au semis, au moment de la germination, le coléorhize s'épaissit en une masse blanchâtre et brise les téguments du grain au niveau du germe. Les racines primaires ou séminales, garnies de poils absorbants, apparaissent l'une après l'autre à partir du coléorhize. A l'opposé, le coléoptile qui couvre la première feuille s'allonge vers la surface du sol. Après son émergence, il se laisse percer par la première feuille (Kamel et al., 2017). L'apparition de la première feuille caractérise la levée, assez rapidement, on en voit une seconde, puis une troisième, la coléoptile jaunit et se dessèche progressivement, le grain se vide de sa substance,

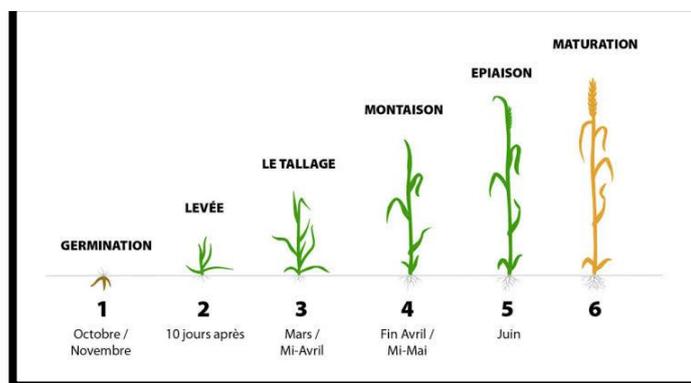
les racines primaires s'allongent tandis que le renflement qui est apparu à la partie supérieure du rhizome grossit pour former le plateau de tallage (Gauthier, 1991).

- **La période Levée-Début tallage**

Dès que la première feuille a percé l'extrémité de la coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche. Cette première feuille fonctionnelle s'allonge, puis apparaît une deuxième, puis une troisième, puis une quatrième feuille. Chacune d'elles est imbriquée dans la précédente, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol et constituée de l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds : le plateau de tallage. Celui-ci est formé de 4 à 5 nœuds, sa hauteur ne dépassant pas 3 à 4 mm. Il est relié au grain par une petite tigelle ou rhizome constitué de deux entre-nœuds (Moule, 1971).

- **La période début tallage-début**

montée Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés à l'aisselle de chacune des premières feuilles :il s'agit donc d'un simple processus de ramification (Boyeldieu, 1999).



**Figure 3:**Un Cycle De Croissance.

### 3.4.2.2.La période de reproduction

La période reproductrice se caractérise par la formation et la croissance de l'épi. Elle s'étend du stade épi-1cm, montaison, au stade de la floraison. La montaison débute à la fin du tallage. Elle se distingue par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. Le stade de l'épiaison –floraison se réalise au stade méiose pollinique, la gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige, la gaine s'éclate et le sommet de l'épi sort de la dernière gaine (Gâte, 1995).

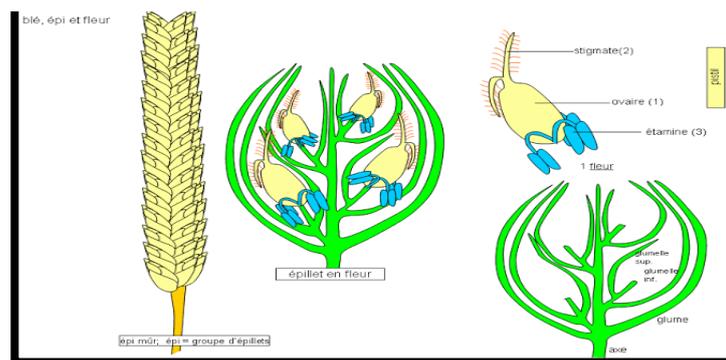
### 3.4.2.3. La période de maturation

**Boufnare et Zaghouna,(2006)** notent qu'au cours de cette phase, l'embryon se développe et l'albumen se charge de substance de réserve. On observe une augmentation du volume du poids des graines. La phase se termine par le stade laiteux. Ensuite, le poids frais des grains continue à augmenter alors que celui des tiges et des feuilles diminue. La phase se termine par le stade pâteux. Entre ces deux stades, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable, c'est le palier hydrique. Puis le grain devient dur et sa couleur devient jaunâtre (la maturité). C'est une étape qui est sensible aux effets de variation environnementale, qui se répercute sur le rendement grains (**Robert et al., 1993; Grignac, 1964 ; Lelievre et Nolot, 1977**).

## 3.5. Appareil reproducteur

### 3.5.1. L'épi

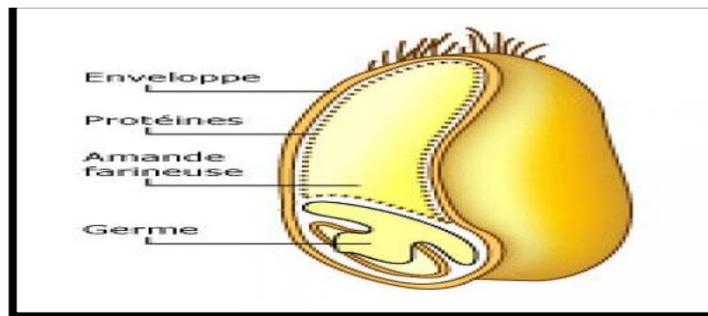
L'axe de l'épi, ou rachis, port, alternativement à droite et à gauche, un épillet. Le nombre d'épillets est variable ; plus il est grand, plus fort est le rendement. L'épillet comprend plusieurs fleurs disposées autour d'un axe secondaire très court. Deux enveloppes, ou glumes les entourent complètement. Chaque fleur se compose d'un ovaire surmonté de deux styles et de trois étamines. Ces organes, qui sont enfermés dans deux écailles, les glumelles, n'apparaissent à l'extérieur que lorsque la fécondation est terminée : il y a autofécondation. Cette particularité assure la conservation de la pureté variétale d'une génération à l'autre (**Figure N° 4**), (**Gauthier, 1991**)



**Figure 4:**L'épi et fleur de blé dur.

### 3.5.2.Le grain :

Un grain de blé (caryopse) est formé de trois régions (**Figure N°5**) : L'albumen : constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloses sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80-85% du grain). → Les enveloppes de la graine et du fruit, formés de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%). → Le germe (3%) : composé d'un embryon (lui-même formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum (**Feuillet, 2000**). Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (5 à 15% selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) ; les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**Feuillet, 2000**).



**Figure 5:** Le grain de blé.

#### 4. Ecologie de la croissance de blé dur

##### 4.1. Facteur de température

La température est un facteur physiologique très important dans toute les phases du cycle végétatif du blé ; la germination bloque ; à 0°C et la phase de croissance nécessite 15 à 25°C, (**Gherairia et Zardoudi, 2018**).

##### 4.2. Facteur eau :

En région méditerranéenne, la sécheresse est l'une des causes principales des pertes de rendement du blé dur, qui varient de 10 à 80% selon les années. Les besoins en eau de la culture varient de 450 à 650 mm. Au début du cycle, ces besoins sont relativement faibles. C'est à partir de la phase épi 1 cm jusqu'à la floraison qu'ils sont les plus importants. En effet,

la période critique en eau se situe de 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (**Loué, 1982**). De nombreuses recherches ont été faites dans ce contexte: Une étude souligne l'effet pénalisant du manque d'eau sur la physiologie de la plante et les composantes du rendement montre qu'un déficit hydrique survenant au stade jeune tallage réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface. Par contre, lorsque ce déficit survient aux stades gonflement ou anthèse, il réduit plutôt le poids des épis et le rendement en grain. C'est cependant le stade juste avant épiaison qui demeure le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70% (**Ben Nacer et al., 1999**).

### 4.3. Facteur de lumière

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

### 4.4. Facteur du sol

Trois caractéristiques font la bonne « terre à blé »

- ❖ Une texture fine limono-argileuse, qui assurera aux racines fasciculées du blé une grande surface de contact, et partant une bonne nutrition.
- ❖ Une structure stable, qui résiste à la dégradation par les pluies d'hiver. Le blé n'y souffrira pas d'asphyxie et la nitrification sera bonne au printemps.
- ❖ Une bonne profondeur, et une richesse suffisante en colloïdes, afin d'assurer la bonne nutrition nécessaire au gros rendement.

Les moins bonnes terres à blé, par contre, sont soit

- ❖ Les terres très argileuses, mal drainées, qui nitrifient mal au printemps.
- ❖ Les terres très calcaires, qui soulèvent sous l'effet du gel.
- ❖ Les terres trop sableuses, acides, à cause de leur pauvreté naturelle en éléments fertilisants (**Soltner, 2005**).
- ❖ La culture du blé dans ces sols n'est possible que dans la mesure où l'on peut corriger leurs défauts par les amendements, les travaux et la fertilisation appropriés (**Soltner, 1990**).

5. Les maladies fongiques et les ravageurs de blé dur

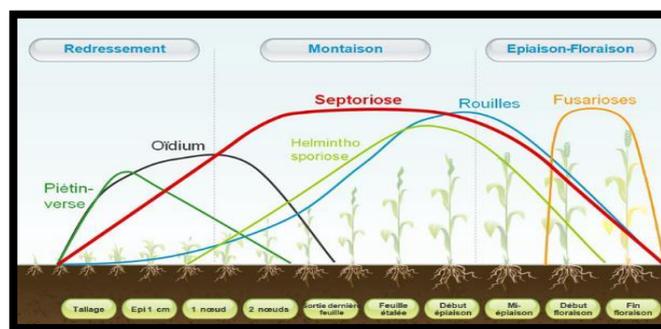
❖ Les maladies

Le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies fongiques ou cryptogamiques à différents stades de croissances (Fig.6), lorsque les conditions climatiques sont favorables, ces maladies peuvent facilement se propager provoquant des symptômes qui leurs sont spécifiques (Ezzahiri, 2001) On distingue des maladies touchant les feuilles, l'épi, le collet et les racines.

Figure 6: modèles de développement des différentes maladies (Anonyme, 2011).

➤ Le piétin-verse

Cette maladie est mondialement répandue dans les régions aux hivers doux et humides. Le blé



et l'orge sont les plus menacés, le seigle et l'avoine peut être également attaqués. Cette maladie est causée par deux espèces de champignons nécrotrophes, *Tapesiayallundae* (syn. : *Oculimaculayallundae*) et *Tapesiaaciformis* (syn. : *Oculimaculaaciformis*) Le piétin-verse est plus grave dans les parcelles où le blé est cultivé en continu (manque de rotation culturale) (Azoui, 2015).

Les symptômes sont observables à partir du tallage jusqu'à la maturation successivement sur les gaines foliaires et sur la tige au niveau de premier entre nœud :

taches ovales brunes à bord diffus au centre desquelles adhèrent les stromas du champignon (cavelier et al., 1992)

Pour traiter contre ces champignons, on peut utiliser du prochloraz ou du cyprodinil. Sachant toutefois que le premier fongicide, c'est le soleil (Merouche, 2015).



**Figure 7:**Le piétin-verse.**➤ L'oïdium**

C'est un champignon qui se développe grâce à une hygrométrie élevée et à des températures douces (Merouche, 2015).

Les premiers symptômes apparaissent sous forme d'un duvet blanchâtre ou gris pâle sur les limbes des feuilles basales, puis se développent sur les feuilles des étages supérieures. (Aouali et Douici-Khalfi,2009).

Le risque avec ce champignon, c'est le manque de talles à partir de la montaison sur toutes les plantes porteuses d'où perte de rendement. On peut traiter si besoin en début montaison

**Figure 8:** symptômes de l'oïdium sur les feuilles de blé dur.**➤ La septoriose**

Cette maladie cryptogamique foliaire rencontrée dans toutes les régions de production du blé participe à la destruction d'environ 2% du blé mondial (Weise, 1987), et cause des millions de tonnes de grains et des billions de dollars de pertes chaque année (Eyal et al., 1987).

Il en existe deux sortes : la septoriatritici (automne-hiver jusqu'à épiaison) et la septorianodorum (stade épiaison) (Merouche, 2015).

Les premiers symptômes sont observés sur les feuilles du bas et progressent au fur et à mesure vers les feuilles supérieures de la plante. Elles se présentent sous forme de tâches allongées de taille variable sur les feuilles, sont d'abord chlorotique et deviennent nécrotiques. C'est une maladie qui peut aussi attaquer les épis. Elle se développe à des précipitations fréquentes et

une température optimale de 15 à 20 °C (Saidouni, 2012)



**Figure 9:** symptômes de la septoriose.

### ➤ Les rouilles

Leur apparition est le plus souvent épidémique et de vastes étendues sont touchées par ce type de maladie, les spores de certaines rouilles sont parfois transportées par le vent à travers des continents entiers sur plusieurs milliers de kilomètres (Laffont, 1985).

Trois espèces de rouilles s'attaquent au blé :

La rouille brune qui attaque la face supérieure des feuilles, apparition de pustules de petite taille, circulaire ou ovale, orange ou brunâtre.



**Figure 10:** les symptômes de rouille brune sur les feuilles de blé dur.

La rouille noire qui se développe sur les feuilles ; les tiges et les épis, apparition de pustules plus longues et de couleur rouge brique à marron foncé.



**Figure 11:** symptômes de la rouille noire sur le blé dur.

La rouille jaune se développe sur la face inférieure des feuilles et sur les épis, apparition de pustules jaunâtres le long des nervures de feuilles sous forme de stries (**Ezzahiri, 2012**).



**Figure 12:** symptôme de la rouille jaune sur le blé dur.

### ❖ Les ravageurs de blé dur

#### ➤ Les nématodes

Les nématodes sont des vers ronds invisibles à l'œil nu de moins de 1 mm. Ils sont naturellement présents dans le sol, mais leurs attaques sont variables selon les années. Ils affaiblissent les plantes en endommageant les racines. Différentes espèces de nématodes peuvent être rencontrées, chacune ayant des symptômes.

#### caractéristiques :

- *Heterodera avenae* est le plus commun des nématodes à kystes des céréales (**Rivoal, 1975**)  
Les racines des plantes touchées sont peu profondes, extrêmement ramifiées.
- *Meloidogynenaasi* qui est un nématode à galles, il induit la formation de nombreuses racines supplémentaires et de galles allongées (**Coyne et al., 2010**).

#### ➤ Les rongeurs

Les rongeurs (ordre des rodiniens) font partie des principaux ravageurs des céréales et des grains stockés. Ils dégradent les grains, et propagent en plus de nombreuses maladies. Ils appartiennent à deux groupes bien distincts :

- **Les Muridés** : à ce groupe appartient le Rat noir (*Rattus rattus*), le Surmulot (*Rattus norvegicus*), le Mulot (*Apodemus sylvaticus*) et la Mérie de Shaw (*Meriones shawi*).
- **Les Microtidés**: Ce sont les campagnols. (**Fritas, 2012**).

#### ➤ Les oiseaux

Les oiseaux sont le plus souvent des êtres vivants utiles à l'agriculture. Plusieurs espèces insectivores consomment des quantités importantes d'insectes ravageurs. Il existe par contre certaines espèces d'oiseaux omnivores qui s'en prennent aux cultures (**Duval, 1993**).

Les oiseaux sont attirés par les céréales depuis le stade laiteux jusqu'à la maturité. Ils détachent le grain de l'épillet, laissant l'épi endommagé et les glumes et glumelles éparpillées sur le sol. Les tiges se brisent sous le poids de l'animal. (**Zilinsky, 1983**).

Selon (**Bellatrèche, 1983**), les principaux prédateurs aviaires de céréales sont les moineaux : *Passer hispaniolensis* (moineau espagnol), *Passer domesticus* (moineau domestique) et le moineau hybride (*Passer domesticus* X *Passer hispaniolensis*).

La protection écologique des cultures contre les oiseaux nuisibles implique des moyens directs de lutte (ex : tir, piégeage), la protection physique des cultures (ex : filet) mais surtout l'utilisation de répulsifs sonores (**Duval, 1993**).

### ➤ Les insectes

Dans les écosystèmes naturels, les plantes et les insectes sont quelques uns des organismes généralité sur les vivants qui interagissent en permanence d'une manière complexe. Ces deux groupes d'organismes sont étroitement associés à travers des relations mutualistes ou antagonistes.

Ainsi les plantes fournissent un abri, un site de ponte et de la nourriture aux insectes, ces derniers participent à la pollinisation ou à la défense des plantes. (**Ketfi, 2018**).

D'autres insectes se nourrissent directement des organes sensibles des plantes, réduisant leur capacité à se reproduire et leurs chances de survie (**Anonyme, 2016**).

Les dégâts causés aux cultures par les insectes sont de natures diversifiées car dépendant de l'immunité de la plante, et propre à chaque espèce.

Il existe des dégâts directs qui sont la conséquence de l'alimentation des insectes, tant les adultes que les larves et des dégâts indirects qui sont les conséquences des piqûres (transmission de virus, destruction des tissus...) et des excréments (par exemple l'excrétion dumiellat par certains insectes piqueurs-suceurs ce qui provoque des moisissures...) et des réactions des plantes (par exemple la formation des excroissances tumorales).

.

...

# *Chapitre 02: Généralité sur la fertilisation*

**1. Fertilisation :**

La fertilisation regroupe toutes les actions réalisées sur le sol afin d'améliorer sa fertilité et apporter les éléments nutritifs nécessaires à la culture et donc sa productivité cependant, la fertilisation désigne surtout les apports d'engrais et de fumier (**Boulal et al., 2007**). Les matières utilisées peuvent être organiques ou minérales. Cet apport de matière fertilisante doit être raisonné pour associer production agricole de qualité et protection des milieux naturels (**Bourgault, 2006**).

La fertilisation assure aussi une utilisation plus efficace de la terre et notamment de l'eau. Ce sont des facteurs importants dans la région à faibles précipitations ou dans des situations où l'irrigation est nécessaire ; tel est le cas où le rendement par unité d'eau utilisée pourrait être plus que doublé (**Abdelmadjid, 2013**). Les Engrais sont à base de fumier, à base de produits chimiques et à base de minéraux qui fournissent un ou plusieurs éléments nutritifs végétaux essentiels. Une utilisation d'engrais au moment propice en utilisant des quantités adéquates peut augmenter de manière importante la croissance des plantes.

La fertilisation de culture a pour objectifs de :

- Fournir à la plante les éléments nutritifs nécessaires à sa croissance, à son développement et à sa reproduction en quantité et en qualité élevées.
- Éviter l'épuisement du sol par le maintien de sa fertilité, notamment, en matière organique et en sels minéraux (**Kamel et al., 2017**).
- Nourrir les êtres vivants du sol qui par leurs activités biologiques fourniront les éléments nécessaires aux plantes (**Kamel et al., 2017**).
- Rendement très proche de l'optimum économique de reproduction.
- Production ayant une bonne qualité technologique.
- Culture valorisant au mieux les disponibilités en fertilisants (sol et apports) et donc respectueuse de l'environnement (**Boulal et al., 2007**).
- Les engrais assurent aussi une utilisation plus efficace de la terre et notamment de l'eau. Ce sont des facteurs importants dans les régions à faibles précipitations ou dans

des situations où l'irrigation est nécessaire ; tel est le cas où le rendement par unité d'eau utilisée pourrait être plus que double (**FAO, 2003**)

### 2. Définition de substance nutritive chez les engrais

**Nutriments primaires :** ce sont les nutriments requis en quantité relativement importante par les plantes pour leur croissance et leur développement. Ceux-ci sont également désignés comme «éléments fertilisants» car la carence de ces éléments est corrigée par l'application d'engrais. **Ex :** N, P et K

**Nutriments secondaires :** ce sont les nutriments dont les plantes ont besoin en quantités modérées. Ils sont dits secondaires car ils sont alimentés sans le savoir par les engrais et autres amendements. Cependant, leur rôle dans la nutrition n'est pas secondaire mais on leur accorde une importance secondaire dans son approvisionnement et sa gestion. **Ex. :** Ca, Mg et S

**Tableau2 :** Eléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante.

<b>Macronutriments du sol :</b>	<b>Oligoéléments du sol :</b>	<b>Nutriments non essentiels :</b>
Azote (N)	Fer (Fe)	Cobalt (Co)
Phosphore (P)	Manganèse (Mn)	Strontium (Sr)
Potassium (K)	Cuivre (Cu)	Vanadium (V)
Calcium (Ca)	Zinc (Zn)	Silicium (Si)
Magnésium (MG)	Bore (B)	Nickel (Ni)
Soufre (S)	Molybdène (Mo)	

### 3. Eléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante

Éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante Pour se développer, la grande majorité des plantes exigent 16 éléments nutritifs provenant de l'air et du sol qui les entourent. Les éléments ci-après proviennent :

- De l'air : Le carbone (C) sous forme de CO<sub>2</sub> (Anhydride carbonique).
- De l'eau : L'hydrogène (H) et l'oxygène (O) à l'état d'eau (H<sub>2</sub>O) (**Rabat, 2003**).
- Du sol et des engrais minéraux et organiques.
- Des éléments de base (macro éléments).

- Des éléments secondaires.
- Des oligo-éléments

## **2. Les engrais**

Substance naturelle ou artificielle contenant les éléments chimiques qui améliorent la croissance et la productivité des plantes. Les engrais améliorent la fertilité naturelle du sol ou remplacent les éléments chimiques extraits du sol par les cultures précédentes.

La fertilité du sol est la qualité d'un sol qui lui permet de fournir des composés en quantités adéquates et un bon équilibre pour favoriser la croissance des plantes lorsque d'autres facteurs (tels que la lumière, l'humidité, la température et la structure du sol) sont favorables. Lorsque la fertilité du sol n'est pas bonne, des matériaux naturels ou manufacturés peuvent être ajoutés pour fournir les nutriments nécessaires aux plantes. Ceux-ci sont appelés engrais, bien que le terme soit généralement appliqué à des matériaux largement inorganiques autres que la chaux ou le gypse.

Au total, les plantes ont besoin d'au moins 16 éléments, dont les plus importants sont le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le phosphore, le soufre, le potassium, le calcium et le magnésium. Les plantes obtiennent du carbone de l'atmosphère et de l'hydrogène et de l'oxygène de l'eau ; d'autres éléments nutritifs sont prélevés dans le sol. Bien que les plantes contiennent du sodium, de l'iode et du cobalt, ceux-ci ne sont apparemment pas essentiels. C'est également le cas du silicium et de l'aluminium.

Les analyses chimiques globales indiquent que l'apport total d'éléments nutritifs dans les sols est généralement élevé par rapport aux besoins des plantes cultivées. Une grande partie de cet approvisionnement potentiel, cependant, est étroitement liée à des formes qui ne sont pas libérées assez rapidement dans les cultures pour donner une croissance satisfaisante. Pour cette raison, l'agriculteur est intéressé à mesurer l'apport d'éléments nutritifs disponibles par opposition à l'apport total d'éléments nutritifs. Lorsque l'apport disponible d'un nutriment donné s'épuise, son absence devient un facteur limitant de la croissance des plantes. Excessive Cependant, certaines quantités de certains éléments nutritifs peuvent entraîner une diminution du rendement. ( **Robert Curley, 1993**)

### **4.1. Classification des engrais**

**4.1.1. D'après le nombre d'éléments fertilisants qu'ils comportent**

- Les engrais simples : n'apportent qu'un seul des éléments fertilisants dits majeurs P-K.
- Les engrais composés : en apportent au moins deux, sinon les trois.

En plus des éléments N-P-K, les engrais simples et composés apportent souvent d'autres éléments dits secondaires (Ca, Mg, S, Na...) et des oligo-éléments. (**Soltner, 2003**). Les engrais composés sont obtenus soit par mélange d'engrais simples, soit par réaction chimique (solubilisation nitrique des phosphates naturels, par exemple). Ce dernier procédé donne naissance aux dits « complexes » (**Gauthier, 1991**).

- **Engrais binaires** : Ils apportent généralement P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O, aussi leur emploi est très simple, puisque ces deux éléments constituent une fumure de base épanchée à l'entrée de l'hiver. Leur choix est seulement guidé par la forme de phosphore que l'on désire utiliser (scories potassiques, superphosphates potassiques, etc.). L'azote est apporté, s'il y a lieu, sous forme d'engrais simple au printemps ou associé à une fumure de complément.
- **Engrais ternaires** : L'épandage simultané des trois éléments n'est pas toujours une opération très rationnelle compte tenu de leur différence de mobilité dans le sol. On essaie de concilier les propriétés de l'azote, très mobile, avec celles de l'anhydride phosphorique et de l'oxyde de potassium qui, au contraire, doivent être mis assez longtemps à l'avance dans le sol (**Gauthier, 1991**).

**4.1.2. D'après leur origine et leur forme**

Les engrais peuvent être classés en deux catégories :

- **Engrais Organiques** : Ils sont obtenus à partir de matières vivantes ou autrefois vivantes tels que les déchets animaux (fumier), les résidus de culture (comme les feuilles, tiges), le compost, et de nombreux autres produits dérivés d'organismes vivants (**Draft, 2012**). Proviennent de la transformation de déchets végétaux et surtout animaux. Ils apportent sous des formes organiques, non seulement N-P-K mais aussi S, Mg, Ca, Na et la plupart des oligo-éléments. Ils peuvent donc être considérés comme des engrais composés (**Soltner, 2003**).

- **Engrais Inorganiques** :(également appelés : engrais minéraux et chimiques) : les produits proviennent essentiellement de sources non vivantes au travers de processus artificiels. La plupart des engrais commerciaux entre dans cette catégorie ont pour origine des roches éruptives (poudre de basalte), sédimentaires (phosphates naturels),ou salines (sels de potassium), soit des synthèses (ammoniac) soit des transformations industrielles (scories, phosphates issus de l'attaque des phosphates naturels)(**Draft, 2012**).

## **5. La Fertilisation l'azote**

### **5.1. Définition et source**

Azote (N) D'après (**Pousset ,2000**), l'azote est le macroélément indispensable à la croissance et au bon développement des végétaux. En effet, il entre dans la composition des protéines et participe au métabolisme spécifique des végétaux, il est à la base de la synthèse des acides aminés et des acides nucléiques dans le sol (**Boulal et al., 2007**).

### **Sources de l'azote**

Les sources d'azote pour les cultures peuvent être :

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

### **5.2. Rôle physiologique de l'azote**

L'azote a de nombreuses fonctions physiologiques pour la plante dans les plus importantes sont :

- L'azote est un élément indispensable à la multiplication cellulaire, puisqu'il intervient dans la composition des noyaux. D'où son abondance dans tous les tissus jeunes.

- Ce rôle essentiel fait que l'azote est, la plupart du temps, le facteur déterminant du rendement. Il agit surtout en augmentant le volume des organes végétatifs, la quantité de chlorophylle, donc la photosynthèse (**Diehl, 1975**).
- L'azote est utilisé pour la synthèse d'acides aminés et nucléiques dans la formation de protéines, dans la formation de la chlorophylle, d'enzymes et de vitamines (**Christian et al., 2005**).
- Il est le moteur de la croissance végétatif de toutes les parties aériennes de la plante, feuilles, tiges et formation des graines d'où sa contribution à l'amélioration du rendement.

**Attention :** les excès d'azote ont plusieurs effets négatifs sur les végétaux dont: le développement du feuillage au détriment de la floraison et de la fructification, mauvaise résistance aux maladies et attire les pucerons sur les jeunes bien vertes (**Anonyme, 2010**).

### **5.3. L'azote dans le blé**

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

Lors du gonflement floraison, la matière végétale augmente rapidement et par conséquent les besoins en azote du blé deviennent importants (**Grignac, 1981**). Un manque en azote à cette période se traduit par une floraison précoce qui peut répercuter sur les rendements.

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

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

- Herbacée jusqu'à la montaison avec une absorption de l'ordre de 4,5 Kg d'azote/quintal.
- Élongation avec une activité intense de croissance, cette phase se termine à la floraison.

- Fructification où l'absorption se ralentit et où les phénomènes de translocation deviennent importants.
- Maturation avec la sénescence des tissus suivie d'une perte d'eau, de matière sèche et même d'azote (**Soltner, 2003**).

#### **5.4. Forme de l'azote absorbé par la plante**

Les plantes absorbent l'azote minéral du sol. Tandis que les cultures légumineuses ont la capacité de fixer l'azote par le processus symbiotique des nodosités (**Anonyme, 2005**).

Les céréales à croissance rapide absorbent l'azote au rythme journalier de 5 Kg/ha (**Buckman, 1990**).

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

- ✓ Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) constituant la forme préférentielle d'absorption de l'azote par les cultures ;
- ✓ Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ):une grande partie de l'ammonium dans le sol est convertie en nitrate par les microorganismes du sol et d'autres parties sont absorbées directement par les racines (**Soltner, 2003**).

#### **5.5. Cycle de l'azote**

L'azote total est généralement réparti dans trois ensembles principaux : l'ensemble constitué par l'atmosphère, le sol (et l'eau qui lui est associée) et l'azote contenu dans la biomasse. Les échanges complexes entre ces trois ensembles sont connus sous le terme de cycle de l'azote.

L'azote du sol pénètre dans la biomasse surtout sous la forme de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) qui est absorbé par les plantes et les microorganismes. Une fois assimilé, l'azote nitrique est converti en azote organique sous la forme d'acides aminés, et d'autres composés azotés qui constitueront les protéines ainsi que d'autres macromolécules. L'azote continue son chemin dans la chaîne alimentaire, lorsque les animaux mangent les plantes. Puis l'azote retourne au sol sous la forme de déchets animaux, ou lors de la mort et la décomposition des différents organismes (**Fig. 13**).

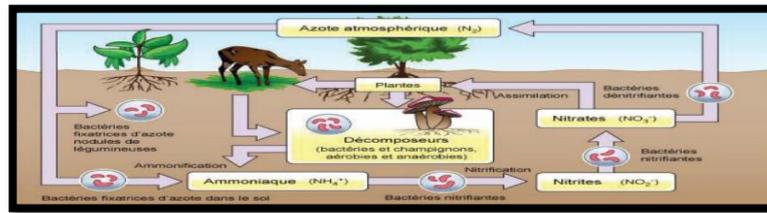


Figure 13 : Cycle de l'azote dans la biosphère.

## 5.6. L'assimilation de l'azote par la plante

L'absorption de l'azote par les plantes se réalise sous forme ammoniacal et nitrique. Ce dernier est directement assimilable et il subit dans le végétal une série de transformation :

Nitrate → Nitrite → Hypo nitrite → Hydroxylamine → Ammonium.

(Blanc ,1971) a rapporté des informations plus précises sur les enzymes responsables de ces réductions. L'enzyme nitrate réductase assure la réduction des nitrates en nitrites et sous l'action du nitrite réductase ces derniers se transforment en hypo nitrites. Une hydroxylamine réductase transforme l'hydroxylamine en ammonium. Les basses températures influent défavorablement sur l'assimilation de l'azote chez les plantes. Cette réaction n'est toutefois pas irréversible. (Cottignies ,1977) confirme que les racines ne sont pas les seuls organes d'absorption d'azote. Les feuilles possèdent également la capacité d'absorption à travers leurs tissus superficiels (Ghouar, 2006).

## 6. La Fertilisation phosphatée

### 6.1. Définition de phosphore

Le phosphore est une composante importante de la membrane cellulaire des végétaux et intervient aussi dans le processus de transfert de l'énergie cellulaire (ATP). Une bonne fertilisation phosphatée stimule également l'enracinement et accélère la maturité (Abdelmadjid, 2013).

### Source de phosphore

Le phosphore se trouve dans le sol, dans compost, et dans les engrais chimiques ainsi qu'à l'état de phosphate naturel.

Dans le sol, le phosphore est disponible surtout sous la forme d'un acide : l'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ). Un polyacide contient plus d'un proton labile, chacun possédant une constante de dissociation différente. Le pH du sol joue par conséquent un rôle majeur dans la disponibilité du phosphore (**Hopkins, 2003**).

### **6.2. Rôle physiologique du phosphore**

Le phosphore est le deuxième élément après l'azote qui limite la production des céréales dans le Maghreb. Le phosphore intervient dans de nombreux métabolismes physiologiques de la plante : fixateur et transporteur dans le cycle de la photosynthèse, synthèse des protéines, ...etc. Au niveau du cycle de la culture, le phosphore favorise la croissance des plantes, le développement des racines et la résistance à la verse (**Boulal et al., 2007**).

Le phosphore est un élément nécessaire à la croissance et au développement des cultures. Il a comme avantages :

- À la levée, il favorise l'installation et le démarrage actif et accéléré de la culture.
- Aux stades tallage et montaison, il active le développement du système racinaire.
- Il est un facteur de précocité et de fructification.
- Il accroît la résistance au froid et aux maladies (**Kamel et al., 2017**).

### **6.3. Forme de phosphore absorbée par la plante**

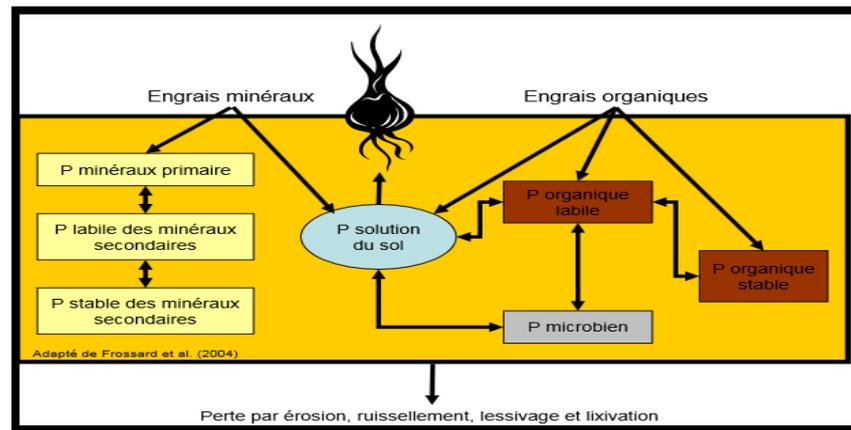
Dans la plante, le phosphore se trouve surtout sous la forme de phosphores, comprenant les glucides phosphorylés qui jouent un rôle dextrement important dans la photosynthèse et le métabolisme intermédiaire (**Hopkins, 2003**).

Les racines des plantes absorbent le phosphore sous forme d'ions phosphoriques dans la solution du sol. Ces ions minéraux proviennent de la solubilisation des phosphates et des ions minéraux adsorbés sur les différentes phases solides du sol. Le phosphore « organique » contenu dans des molécules des effluents organiques doit être minéralisé en ions phosphoriques pour devenir assimilable par les plantes .

### **6.4. Cycle de phosphore**

L'altération et l'érosion des roches ignées sous l'influence de divers facteurs climatiques et de l'eau ont probablement été les premiers moyens de diffusion du phosphore sur notre planète (**Figure 14**).

Les eaux des fleuves, des lacs et des océans se sont progressivement enrichies en cet élément jusqu'au point de rendre possible l'apparition de la vie (**Gervy,1970**).



**Figure 14:** Cycle simple de phosphore (**Frossard et al., 2004**).

### 6.5. L'assimilation de phosphore

Le phosphore est généralement absorbé par les racines sous forme d'ions phosphoriques monovalents ou bivalents ( $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$ ). La proportion de ces deux formes varie avec l'augmentation du pH du substrat. Les plantes semblent absorber surtout la forme monovalente qui diminue avec l'augmentation du pH de la solution du substrat.

Le phosphore est facilement absorbé par les racines et entreposé dans la plantule. Son absorption est fortement influencée par la température et le pH du substrat. En dessous de 13 °C et avec un pH supérieur à 6, 5, son absorption est grandement diminuée. Le phosphore est fortement fixé par les particules de sols minéraux, mais il est facilement lessivé dans les substrats à base de tourbe. Sa disponibilité est souvent réduite, car il réagit avec plusieurs cations pour former des précipités solubles, plus ou moins solubles et insolubles. A forte concentration ou lorsque le pH est élevé, il réagit avec le calcium pour former précipité insoluble (**Christian et al., 2005**).

### 7. La Fertilisation de potassium

**7.1. Définition de potassium**

Le potassium est un élément essentiel pour la vie sur terre. Il est nécessaire en grandes quantités pour toutes les plantes et les animaux et il est absorbé par les plantes depuis le sol. Les animaux l'assimilent par les plantes soit directement ou en mangeant d'autres animaux (ou des dérivés animaux) qui se sont nourris de plantes.

La récolte de produits agricoles tels que les grains, les fruits et les feuilles exporte du champ le potassium absorbé par les plantes. Comme la population mondiale et la production de denrées alimentaires augmentent, les quantités de potassium prélevées dans les terres agricoles augmentent également et doivent être compensées afin de maintenir la fertilité et la capacité de production des sols. Ces apports sont indispensables pour sécuriser une production alimentaire pérenne.

Une part de cette compensation est assurée par le recyclage des fumiers et résidus de culture sur l'exploitation. Cependant la plus grande part du potassium de l'alimentation humaine ne retourne pas sur les terres agricoles mais est rejetée dans les mers à partir des systèmes de collecte des effluents urbains. Cette part non recyclée du potassium est compensée par les engrais potassiques épandus sur les champs produisant les produits destinés à l'alimentation. (Christian *et al.* , 2005)

**7.2. Rôle physiologique de potassium**

(Marschner, 1995). Le potassium agit sur trois processus distincts : l'activation d'enzymes, le potentiel électrochimique cellulaire (rôles « biochimiques », seuil minimum de 50 mm de K dans le milieu cytoplasmique) et le potentiel osmotique (rôles « biophysiques », seuil de 100 mm dans les vacuoles).

L'activation d'enzyme contrôle notamment la synthèse des protéines dont certaines sont impliquées directement (synthèse d'ATP, de NADPH ...) ou indirectement (synthèse d'amidon) dans les processus photosynthétiques. Par sa charge et sa forte mobilité, il joue un rôle important sur le potentiel électrochimique membranaire (pH ...), constitue un cation accompagnateur de certains solutés (nutriments, métabolites, phytohormones) à travers le phloème et le xylème, influence les mouvements d'eau. Enfin, sa très forte mobilité lui confère également un rôle essentiel dans les processus basés sur le potentiel osmotique (pression de turgescence des cellules, notamment stomatiques). Les conséquences d'une carence en K sont décrites dans de nombreux

articles, à des échelles différentes et pour des niveaux de carence très variés. Les mécanismes physiologiques et les variables de croissance affectés par la carence en K sont connus pour interagir avec d'autres stress potentiels, biotiques et abiotiques, que subissent les plantes cultivées (Cakmak 2005, Amtmann et al., 2008). (Jordanlionel et al., 2009).

### **7.3. Le potassium et la plante**

Une culture de blé dur conduite dans des conditions non limitantes en eau et en azote a réagi à un apport potassique au sol (Aissa et Mhiri, 2000). Selon (l'UNIFA, 2005) le potassium joue un rôle multiple :

- il intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules et régularise les échanges intracellulaires.
- il réduit la transpiration des plantes, augmentant la résistance à la sécheresse.
- il active la photosynthèse et favorise la formation des glucides dans la feuille.
- il participe à la formation des protéines, et favorise leur migration vers les organes de réserve (tubercules et fruits).
- il contribue à renforcer les parois cellulaires, offrant aux plantes une meilleure résistance à la verse et à l'agression des maladies ou parasites.

Le potassium est un macroélément nutritif essentiel, car une culture en a besoin en grande quantité. Une plante n'est capable d'absorber le potassium du sol que lorsqu'il est sous la forme de solution ( $K^+$ ). Le potassium est très mobile dans la plante et joue un rôle majeur dans la gestion de l'eau. Contrairement à la plupart des autres nutriments, le potassium de la plante n'est pas converti en molécules organiques complexes (sauf le bois), mais en tant que cofacteur important, il facilite de nombreux processus :

- Régulation de la pression de l'eau (turgescence) dans les cellules végétales, essentielle dans l'étirement des cellules, la respiration (ouverture et fermeture des stomates), l'absorption de l'eau et l'orientation des feuilles vers la lumière.
- Activation des enzymes.

- Développement et transport de composés organiques dans la plante tels que les sucres, les acides aminés et l'amidon.
- Régulation du pH dans les cellules végétales.
- Capture du dioxyde de carbone pendant le processus de photosynthèse.
- Équilibrage de la charge électrique dans les différentes parties de la cellule végétale.
- En outre, la culture résiste mieux au stress et aux dommages causés par les insectes et/ou les maladies, lorsqu'elle est capable d'absorber suffisamment de potassium.
- Besoins en potassium de la culture pendant la saison de récolte

Après l'azote, le potassium est le deuxième besoin essentiel de la plante. Si le potassium disponible est insuffisant, la plante inhibe la croissance et extrait le potassium des vieilles feuilles. Une grave carence en potassium est d'abord visible en raison de la chlorose (coloration jaune) dans les parties inférieures de la plante et surtout à l'extrémité et au bord des feuilles (tipburn). De plus, elle affaiblit la lignification des faisceaux vasculaires, entraînant une perte de solidité des plantes et éventuellement la verse.

Le besoin de la plante d'absorber du potassium augmente considérablement pendant la saison. Les besoins en potassium sont relativement élevés, surtout pendant la période de floraison et de nouaison. En tant qu'ion chargé positivement, le potassium est très important pour l'absorption et le transport des ions chargés négativement tels que le nitrate, le phosphate et les acides aminés. Le potassium dirige également la translocation des sucres et de l'amidon des feuilles vers les organes de stockage tels que les fruits, les bulbes et les tubercules. Si une carence en potassium survient pendant cette période, cela a un effet sur la qualité des produits à récolter. Le potassium joue donc un rôle crucial dans la phase de maturation et de stockage, en particulier chez les légumes-fruits, les pommes de terre et les oignons

#### **7.4. Cycle de potassium**

Le potassium est présent exclusivement sous forme minérale. On le trouve dans le sol sous quatre formes :

- Entrant dans la constitution des minéraux de la roche mère.
- Inclus entre les feuillets des argiles, et donc peu échangeable.
- Adsorbé à la surface des particules d'argile et d'humus : il sert à compenser les prélèvements effectués par les racines dans la solution du sol.
- En solution dans l'eau du sol

Dans le sol, le potassium est libéré durant la phase de croissance du végétal à partir de la phase solide du sol. Comme pour le phosphore, le cycle du potassium est dépendant des caractéristiques physiques et chimiques du sol. Il s'agit d'un élément assez mobile mais qui peut être adsorbé sur la capacité d'échange cationique CEC des sols. Le potassium de la solution du sol est retenu par l'humus ou l'argile ; celui contenu dans les minéraux ne sera libéré que très lentement.

Les principales voies de perte de ce nutriment sont les exportations agricoles, le lessivage (plus important en sols sableux, pauvres en matière organique et de faible capacité d'échange cationique CEC) et enfin le ruissellement et l'érosion. Les voies d'entrée sont principalement les engrais minéraux et les apports organiques. (*France 1988-2010*)

### **7.5. L'assimilation de potassium**

Le potassium (K) est utile à la circulation de la sève et à l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes. Il améliore leur résistance au gel, aux ravageurs et maladies, la couleur et la qualité gustative des fruits, ainsi que la conservation des légumes racines.

Le potassium est présent de façon importante dans les engrais pour plantes fleuries, ou dans les engrais spécialisés qu'on trouve dans le commerce comme les engrais à rosiers, à géraniums, à agrumes ou pour les arbres fruitiers. Il peut être utilisé en alternance avec un engrais azoté, à l'approche et pendant la période de floraison des plantes ou pour améliorer la fructification ou la production de légumes.

## **8. Les engrais NPK**

### **8.1. Généralité sur Les engrais NPK**

Selon le règlement européen relatif aux engrais, les engrais appartiennent à la famille des fertilisants. (Georges Dimithe,2012) montre qu'un engrais est une matière naturelle ou synthétique contenant les éléments nutritifs essentiels à la croissance de la plante. Il est appliqué à la racine ou au feuillage de la plante.

Les engrais peuvent apporter un ou plusieurs éléments nutritifs à la plante. L'engrais qui apporte un seul élément nutritif est appelé engrais simple tandis que celui qui apporte plus d'un élément nutritif est appelé engrais composé. Un exemple d'engrais simple est l'urée qui n'apporte que l'azote à la plante. Des exemples d'engrais composés sont les différentes formulations NPK (Azote, Phosphore et Potassium) qui apportent les trois macroéléments ou éléments nutritifs primaires à différentes proportions. Selon le même auteur parmi les engrais composés contenant au moins deux éléments fertilisants majeurs, nous avons distingué les engrais binaires (NP, NK, PK) et les engrais ternaires (NPK), ces engrais peuvent être préparés à l'aide de diverses sources d'éléments majeurs et par différents modes d'obtention. Aussi, il existe une multitude de combinaisons possibles.

### **8.2. L'engrais NPK (15-15-15)**

Selon Phosagro (un leader mondial dans l'industrie des engrais) l'engrais NPK (15.15.15) est un engrais riche en soufre, cet engrais offre aux plantes une gamme complète d'éléments nutritifs en un seul granulé solide et facile à appliquer.

Actuellement, la composante soufrée devient de plus en plus importante car les dépôts atmosphériques du soufre s'épuisent progressivement. Il est appliqué avant les ensemencements et sur les planches de semis, en sillon ou par diffusion.

Selon le même auteur les avantages de cet engrais sont:

- Assure les résultats stables quelles que soient les caractéristiques du sol ou de la culture ;
- La forme soluble dans l'eau permet un effet rapide ;
- La teneur élevée en soufre favorise l'absorption de l'azote du sol et des engrais ;
- Les proportions de soufre, d'azote, de phosphore et de potassium augmentent la teneur en protéines des céréales et la qualité des légumes-racines.

### **8.3.La toxicité des engrais NPK**

Une toxicité peut apparaître quand les éléments deviennent trop solubles ou trop disponibles. Cela se produit habituellement dans des conditions extrêmes : inondation, engorgement et réduction ; acidité, alcalinité ou bien en présence d'une teneur exceptionnellement élevée d'un élément soluble ou assimilable (**Alpha et al. , 2009**).

Deux mécanismes peuvent entraîner la toxicité d'un élément :

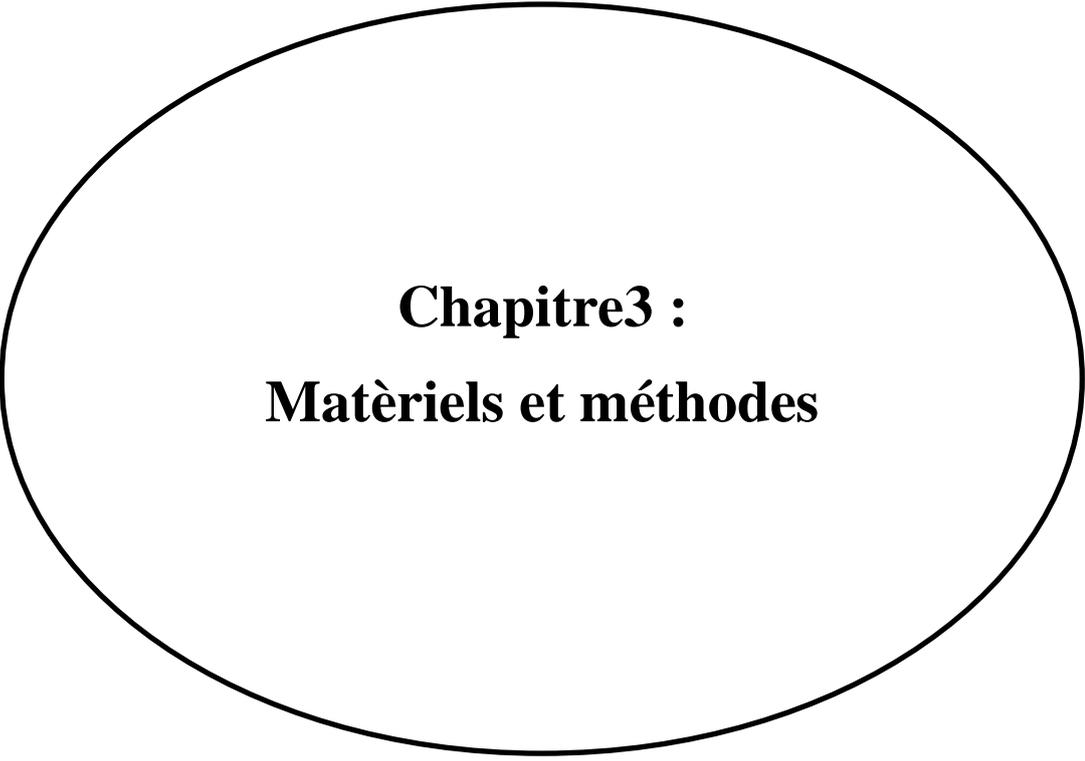
- Soit il est absorbé et s'accumule dans la plante en empêchant son fonctionnement normal ;
- Soit il n'est pas absorbé mais sa présence dans le sol ou la rhizosphère empêche l'assimilation d'autres éléments induisant ainsi des carences ; cet effet peut résulter de la diminution de la solubilité de la précipitation des éléments utiles, ou bien d'un rapport déséquilibré entre l'élément toxique et l'élément utile, ou encore la formation d'un précipité à la surface de la racine (**Alpha et al., 2009**).

Dans le cas des engrais NPK, si ce dernier ne contient pas de nitrate d'ammonium, le risque de détonation est inexistant. Mais comme le souligne L.Médard dans ses ouvrages "Les explosifs occasionnels", l'engrais NPK a des propriétés explosives faibles et ce risque ne se présente que parmi les engrais de cette nature renfermant du nitrate d'ammonium à une teneur relativement élevée. Aussi, les formulations contenant une teneur élevée en nitrate d'ammonium sont susceptibles de détoner ainsi, selon le règlement européen des engrais, ces engrais, à partir d'une teneur à 28 % en azote provenant du nitrate d'ammonium, doivent subir l'épreuve CE de détonabilité.

Dès que les engrais contiennent du nitrate d'ammonium, ils peuvent subir une décomposition thermique, surtout si la concentration en nitrate d'ammonium est élevée.

Mais la présence de plusieurs composés chimiques et notamment de matières de base comme le chlorure de potassium, vont modifier les réactions de décomposition thermique du nitrate d'ammonium : un phénomène de décomposition auto-entretenu (DAE) peut avoir lieu au sein de l'engrais NPK.

# *Partie pratique*



**Chapitre3 :**  
**Matèriels et méthodes**

**1. Matériel végétal**

Notre étude a été portée sur 1 seule espèce de blé dur (*Triticum durum*) variété de vitron fourni par (OAIC) de Tebessa .



**Figure 15 :** Variété de blé expérimentée (Vitron) (photo personnelle).

**2. Mise en place de l'essai**

L'expérimentation a été conduite au laboratoire de toxicologie Université science de la nature et de vie tebessa.

**3. L'engrais NPK:** Le produit chimique utilisé dans notre expérimentation est un engrais composé temaire (NPK 15.15.15).

- **Utilisation:** NPK 15 15 15 est recommandé sur toutes cultures, au moment de la plantation, au semis et en couverture.
- **Composition:**
  - Azote Total (N): 15%
  - Azote Ammoniacal (NH<sub>4</sub>): 15%
  - Anhydride phosphorique (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 15%
  - Oxyde de Potassium (K<sub>2</sub>O): 15% Anhydride Sulfurique (SO<sub>3</sub>): 20%

➤ **Caractéristiques:**

NPK 15 15 15:

- Se presente sous forme de granulés homogènes et réguliers de même densité permettant un bon épandage et une Couverture optimale.
- L'azote ammoniacal pour une alimentation régulière et participant ainsi à l'acidification du sol.
- Tous ses éléments ont un pH bas, ils contribuent à une acidification forte de la rhizospère en libérant et facilitant l'assimilation des éléments nutritifs plante.

#### **4. Méthode**

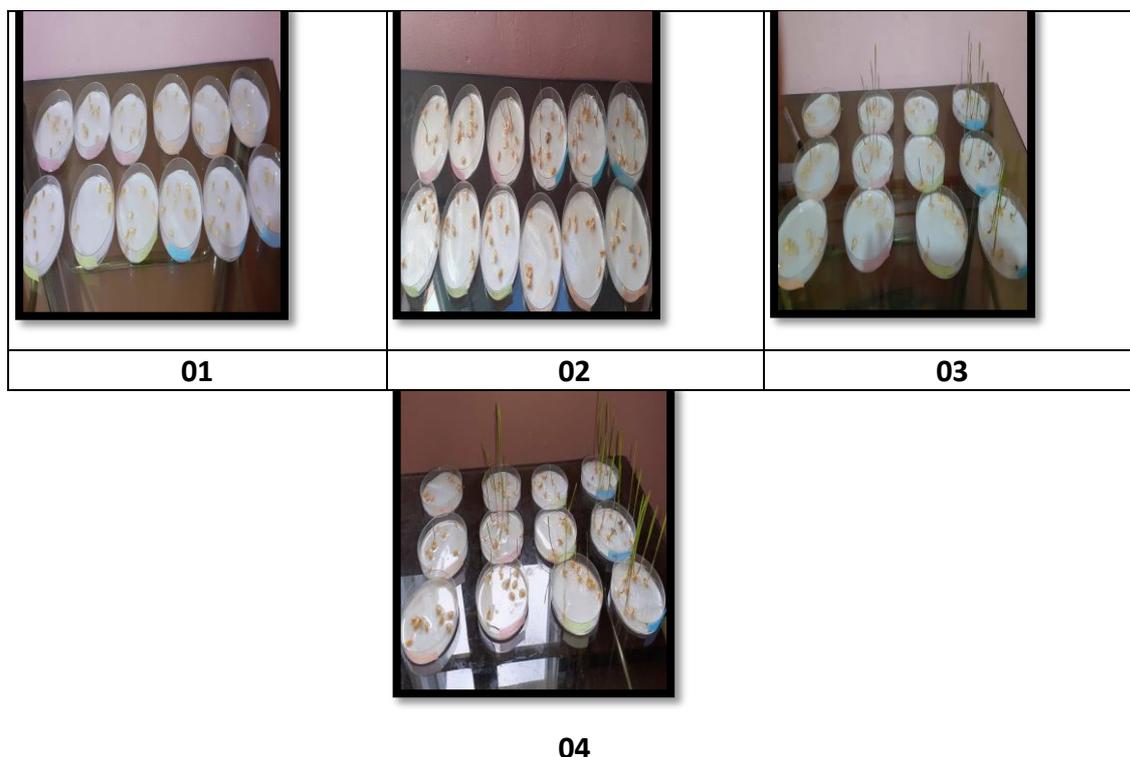
##### **4.1. Le plan expérimental**

Notre étude consiste à analyser l'effet du NPK (151515) sur la germination de blé dur variété vitron.

Les graines ont été stérilisées et désinfectées à l'aide d'une solution de chlore (hypochlorite de sodium à 5%) pendant 15 minutes puis rincées trois fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore.

Les graines sont ensuite mises dans des boites de pétri tapissées de deux couches de papier filtre .

- Nous avons préparé trois doses différentes de NPK 15-15-15(2mg/ml 4mg/ml 6mg/ml )
- Nous avons pris 12 boîtes de Petri. Dans chaque boite, neuf graines de blé dur ont été placées. Nous avons divisé les boites en quatre groupes, chaque groupe contient troisboites (repetitions) de Petritraiter selon les doses choisis.



**Figure 16** :Les etapes de développement des graines de blé . (photos personnelles).

Un lot a été utilisé comme témoin(été arrosée avec l'eau uniquement).

- Puis nous avons suivi la croissance des graines de blé dur tout en continuant à irriguer tous les deux jours avec 10 ml d'eau dans chaque boîte de pétri.

## 4.2. Paramètres étudiés

### 4.2.1.Effets du NPK sur les paramètres de croissance

#### 4.2.1.1.Taux de la germination(G, %)

Ce paramètre permet d'analyser la capacité germinative des génotypes de blé dur étudiés. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur le nombre total de graines, soit le pourcentage définitif de germination (G%). Une graine est considérée comme germée lorsque sa radicule est visible après avoir percé des téguments.(Boukerrouche, 2021 ).

Il est déterminé par la formule de Côme (1970):  $G (\%) = 100(NGG / NTG)$

G (%) représente le pourcentage de germination;

NGG représente le nombre de graines germées

NTG représente le nombre total de graines incubées.

#### **4.2.1.2. Longueur des plantes**

La hauteur des plantes apparaît comme un critère de sélection important.

Nous avons utilisé 9 grains de blé dans chaque boîte de Pétri, et mesuré les longueurs de ces grains à l'aide d'une règle centimétrique à chacune des racines, tiges et feuilles de chaque plante, et la mesure a été effectuée chaque deux joursa partir du 4<sup>ème</sup> jour jusqu'au 15<sup>ème</sup> jour de germination.

#### **4.2.2.Effets du NPK sur les perametres debiochimiques**

##### **4.2.2.1. Dosage de protéine totale**

Le dosage des protéines est réalisé selon la méthode (**Bradford ,1976**) qui se basée sur changement couleur pigment de Coomassie Brilliant Blue R-250 (BBC) de la couleur rouge vers couleur bleu conséquence se liaison avec protéine.

- Peser 100mg des feuilles vert Fraîche de chaque échantillon.
- Broyage des feuilles vert Fraîche avec 5 ml de l'eau distillée dans un mortier ensuite faire filtration puis on ajoute 5ml de l'eau distillée des solutions.
- Prendre 0.2ml de solution puis ajoute 0.2ml de réaction de BBC et 1.6ml de l'eau distillée aux solutions.
- Agitation des solutions par vortex, Laisser les solutions durée de 5min à 1h.
- Lecture densité optique en longe d'onde 595min.

Pour déterminer le contenu de protéines totales en se référant à la courbe d'étalonnage dressée à partir de concentrations connues de BSA.

##### **4.2.2.2. Dosage de proline**

Elle est déterminée selon la méthode(**Troll et Lindsley ,1955**), modifiée par(**MonneveuxNemmar ,1986**).

-Prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout est chauffé à 85°C dans un bain-Marie pendant 60mn. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après

refroidissement; on prélève 1ml d'extrait auquel il faut Ajouter :

- 1 ml d'acideacétique (CH<sub>3</sub>COOH) ;
- 25 mg de ninhydrine (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>) ;

- 1 ml de mélange contenant :
  - 120 ml d’eaudistillée ;
  - 300 ml d’acideacétique ;
  - 80 ml d’acide orthophosphorique ( $H_3PO_4.d=1.7$ ).
    - La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30 mn à 100°C,
    - la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline).
- Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l’ajout d’une spatule de Sulfate de Sodium  $Na_2SO_4$  anhydre (pour éliminer l’eau qu’elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l’aide d’un spectrophotomètre (type 20D) sur une longueur d’onde de 528nm.

#### **4.2.2.3. Dosage de chlorophyle**

La teneur en chlorophylle a été déterminée sur un prélèvement de 100 mg de matière fraîche du tiers médian de la dernière feuille bien développée. Les échantillons foliaires sont broyés dans 10 ml d’acétone à 80%. Après filtration, sur du papier Whatman N°1, l’absorbance de l’extrait est mesurée à l’aide d’un spectrophotomètre, modèle SontarysTechtron 635, aux longueurs d’ondes 663 et 645 nm, utilisant une cuvette en plastique de 1 ml de volume et de 1cm d’épaisseur. La concentration en chlorophylle totale, exprimée en  $mg\ l^{-1}$ , est déduite par la formule suivante, attribuée à (**Arnon ,1949**) par (**Richardson *et al.* ,2002**) :

Chl.a = 12.7 (D.O663) - 2.69 (D.O645) ;

Chl.b = 22.9 (D.O645) - 4.86 (D.O663) ;

Chl.Totale = 8.02 (D.O663) + 20.20 (D.O645).



Figure 17 : dosage de chlorophylle a et b (photos personnelles).

#### 4.2.2.4. Dosage des sucres totaux

Le dosage des sucres solubles est réalisées selon la méthode de( **Dubois et al., 1956**).

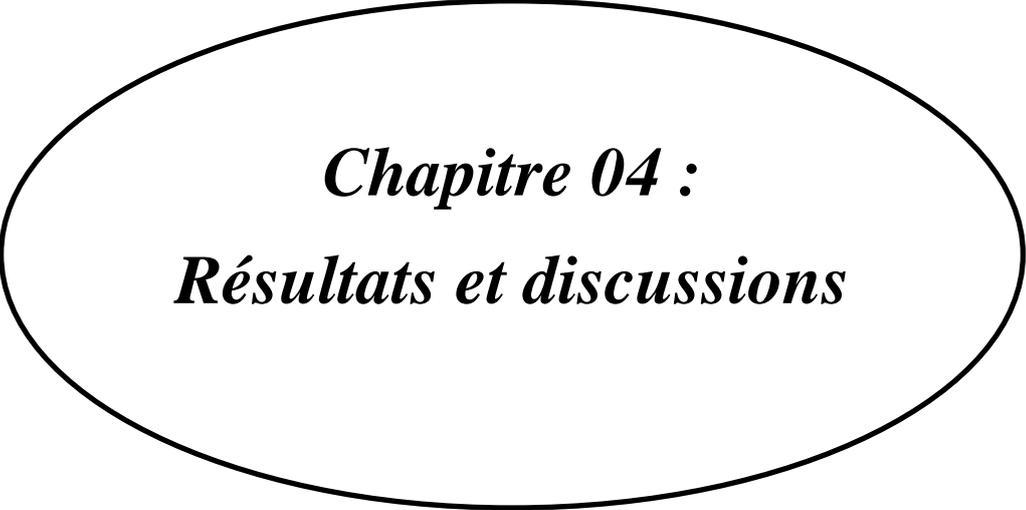
- On pèse 100 mg de feuilles, les mettre dans des tubes à essai.
- Ajouter 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres.
- Puis les laisser à température ambiante et à l'obscurité pendant 48 heures.

- Ensuite, les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'éthanol. Une fois évaporé, on ajoute dans chaque tube 20 ml d'eau distillée à l'extrait (solution à analyser).
- Au moment du dosage, on dépose dans des tubes en verre 2 ml de solution à analyser (de l'échantillon), puis on ajoute 1 ml de phénol à 5%, suivie directement de 5 ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré à 96 %. On obtient une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la solution.
- On laisse les tubes pendant 10 min à l'obscurité et à température ambiante et on les place ensuite au bain-marie durant 10 à 20 min à une température de 30°C.

A ce moment, l'absorbance est lue à une longueur d'onde de 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les concentrations sont déterminées à partir d'un courbe étalon.

- **Analyse statistique :**

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de logicielle Microsoft Excel 2007, en étudiant l'analyse de la variance à un seul critère de classification ( ANOVA 1 ).



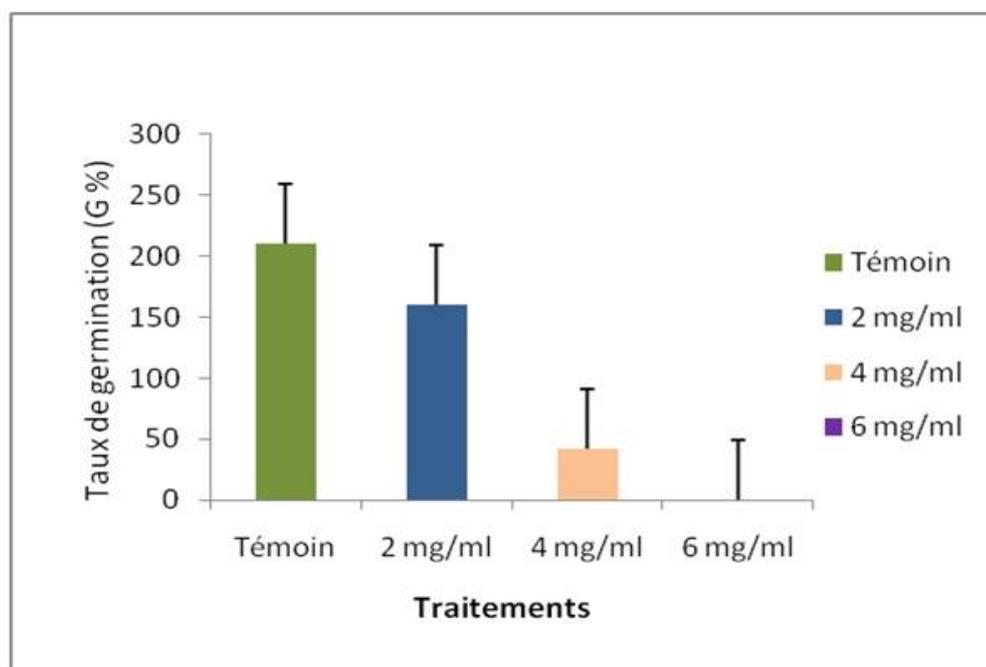
***Chapitre 04 :***  
***Résultats et discussions***

## Resultats

## 1. Paramètres étudiés

## 1.1. Effets du NPK sur les paramètres de croissance

## 1.1.1. Taux de la germination



**Figure18** : Effet des différents traitements sur le taux de germination.

La figure(18) représente le taux de germination du blé dur traité par différentes concentrations du NPK par rapport au témoin. On a enregistré le pourcentage le plus élevé du taux de germination avec le témoin 23% pour les différentes doses on a enregistré une diminution significative ( $p < 0,05$ ) avec une dose dépendante selon les doses 2 mg/ml, 4 mg/ml et 6 mg/ml du NPK respectivement (17% /4% /0%).

Nos résultats sont tout à fait cohérents avec les travaux de (Savoie et Smith, 1997), qui ont montré que la germination diminue avec l'augmentation de la concentration en azote, ce qui indique que les concentrations des trois éléments peuvent avoir un effet négatif sur la croissance des plantes. Cela a été confirmé par (Alpha et al., 2009) ou a indiqué que la toxicité se fait soit par absorption et accumulation dans la plante, ce qui empêche son fonctionnement normal, soit il n'est pas absorbé, mais sa présence dans les racines empêche l'assimilation d'autres éléments.

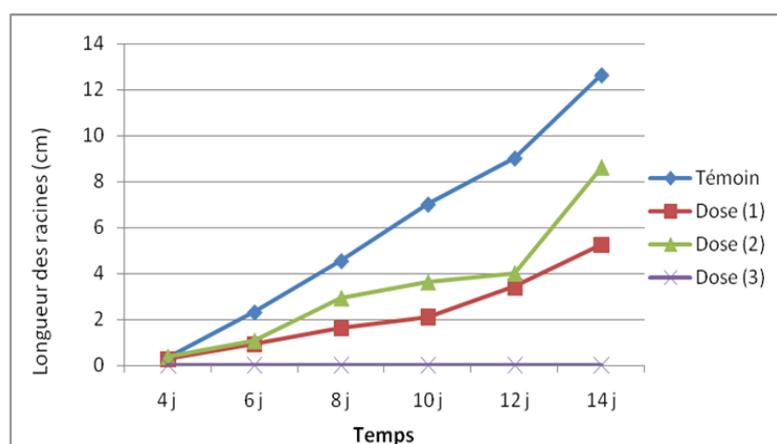
Selon plusieurs auteurs une baisse de la teneur en eau des organes de la plante est souvent notée lors d'un stress métallique (**Barcelo et Poschenrieder, 1990 ; Pandolfini et al., 1992**). Celle-ci est à la base d'une diminution de la pression de turgescence et de plasticité pariétale des cellules, responsable d'une activité mitotique faible donc d'une réduction de la croissance (**Maroti et Bogнар, 1991**). L'effet du traitement NPK sur les teneurs en eau de notre modèle biologique pourrait s'expliquer par l'effet des éléments pris en mixture, ainsi il a été démontré que l'application de Cd, de Pb ou de Ni entraîne une fermeture des stomates (**Bazzaz et al., 1975**) aboutissant à une diminution de l'activité transpiratoire et une restriction du flux hydrique ascendant (**Costa et al., 1994**). Cette restriction à l'intérieur des vaisseaux du xylème est due à une réduction du diamètre voire une obstruction de ces vaisseaux suite à un déséquilibre hormonal induit par ces derniers et qui serait à la base de l'inhibition de la croissance cellulaire (**Lane et al., 1978**).

Lorsque l'azote est augmenté au-delà de la limite appropriée, la couleur des feuilles devient vert foncé et leur teneur en chlorophylle augmente, suivie d'une augmentation du taux de photosynthèse. Le stockage des aliments et la formation de fibres qui soutiennent la plante sont réduits, ainsi que la floraison et la fructification sont réduites, puis les tiges sont minces, et leurs parois sont minces, et le rendement est faible, qu'il s'agisse d'une récolte de fruits, de graines ou sous la forme d'organes de stockage végétatifs, et l'augmentation de l'azote s'accompagne d'un retard de maturation, du fait qu'elle favorise une croissance excessive, et le manque de traits de qualité, peut également favoriser l'excès d'azote que la limite appropriée pour augmenter l'incidence de la maladie (**Buckman et Brady, 1960**).

### **1.1.2. La longueur des plantes**

Dans cette partie de notre travail, nous avons étudié la réponse biologique de notre modèle végétal à savoir les grains de blé vis-à-vis un xénobiotique connu pour son influence sur le rendement mais d'un point de vue purement physiologique.

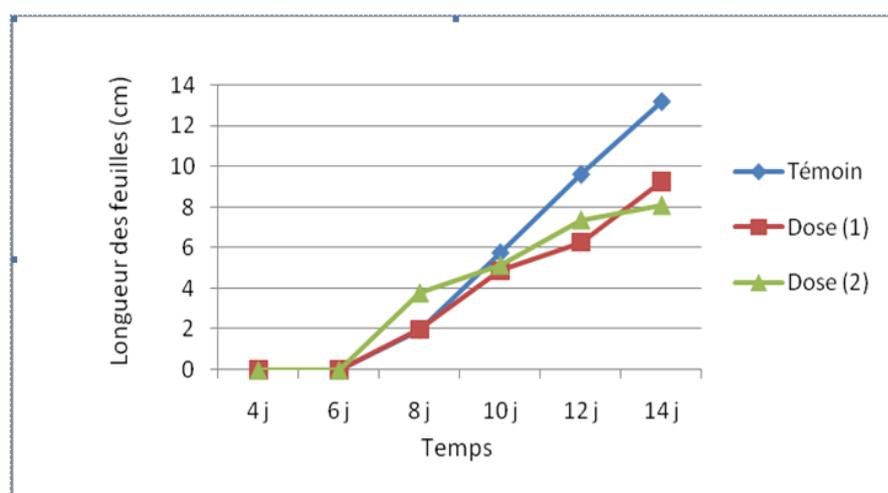
#### **❖ La longueur des racines**



**Figure19** : Effet des différents traitements sur la longueur des racines.

La figure (19) montre les longueurs des racines de blé du témoin et les trois doses : la première dose 2 (mg/ml) mg, la deuxième dose 4 (mg/ml) et la troisième dose 6 (mg/ml). On note une diminution des longueurs des racines selon les différentes doses. Nous avons enregistré du 4<sup>ème</sup> jour jusqu'à 14<sup>ème</sup> jour la croissance la plus rapide de la longueur de racine dans le témoin 12,648 cm, alors que dans la dose 1 et dose 2 on a enregistré les valeurs (5,25 cm , 8,622 cm) respectivement, la croissance des racines a été un peu plus lente.

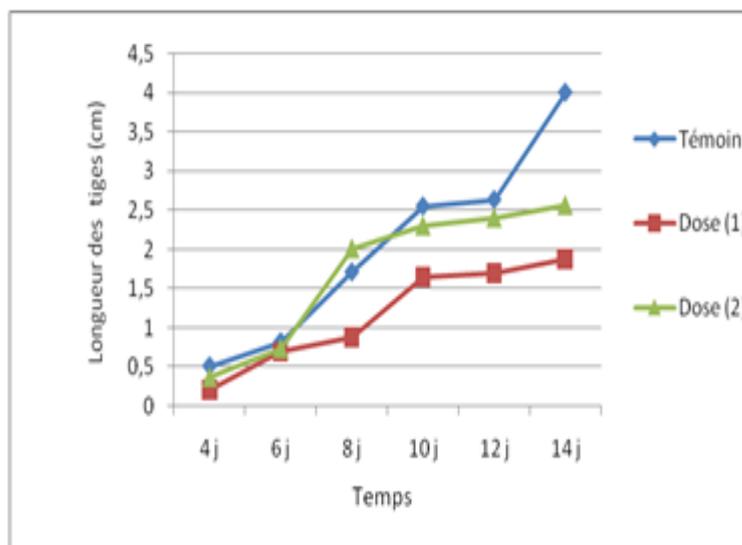
#### ❖ La longueur des feuilles



**Figure20** : Effet des différents traitements sur la longueur des feuilles.

La figure (20) montre les longueurs des feuilles de blé du témoin et les trois doses: la première dose 2 (mg/ml), la deuxième dose 4 (mg/ml) et la troisième dose 6 (mg/ml). On note, selon les différentes doses, une fluctuation dans les longueurs des feuilles. Nous avons enregistré du 6<sup>ème</sup> jour jusqu'à 10<sup>ème</sup> jour une augmentation de la croissance de la longueur des feuilles par rapport au témoin (13,18 cm). Alors qu'avec la dose 1 et dose 2 on a enregistré les valeurs (9,27 cm, 8,1 cm) respectivement. Tandis qu'on a remarqué une diminution de la croissance du 10<sup>ème</sup> jour jusqu'à 14<sup>ème</sup>.

#### ❖ La longueur des tiges



**Figure 21** : Effet des différents traitements sur la longueur des tiges .

La figure (21) montre les longueurs des tiges de blé du témoin et les trois doses. On note, selon les différentes doses, une fluctuation dans les longueurs des tiges. Nous avons enregistré du 4<sup>ème</sup> jour jusqu'à 8<sup>ème</sup> jour une augmentation de la croissance de la longueur des tiges. Alors qu'avec la dose 1 et dose 2 on a enregistré les valeurs (0,87 cm, 2,01 cm) respectivement. Tandis qu'on a remarqué une diminution de la croissance du 8<sup>ème</sup> jour jusqu'à 14<sup>ème</sup> sauf le témoin.

La longueur des racines est également affectée par les fortes doses de NPK. De telles réponses ont été confirmées par (Kelly et al., 1979) qui ont constaté que l'allongement racinaire est affecté négativement en fonction de concentrations en Cadmium dans le sol à cause des fortes concentrations d'apports en fertilisants chimiques. De plus, (Epron et al., 1999) ont montré que les traitements chimiques

provoquent une salinité modérée à élevée qui peut altérer fortement l'élongation des racines. Ainsi, selon (**Khurth et al.,1986**), la réduction de l'élongation de la racine par la salinité peut être due à l'inhibition de l'extension des cellules suite à la diminution de la turgescence.

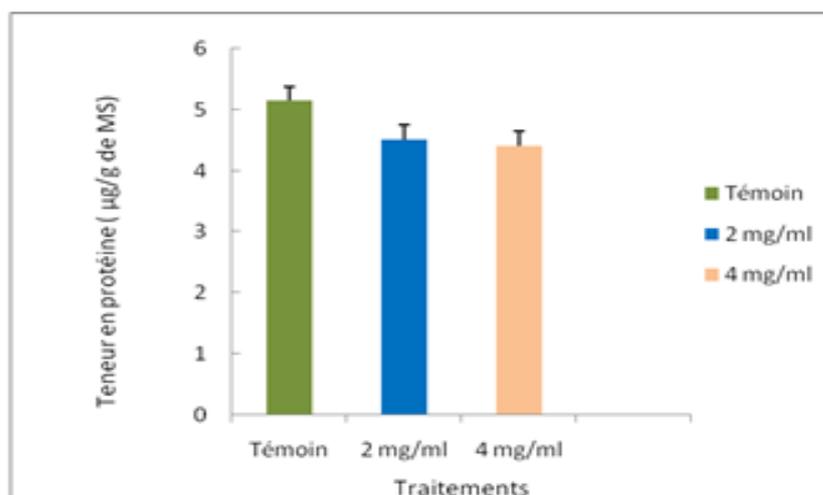
Selon les références on constate que les graines de blé sont très sensibles aux différents régimes de NPK. Il en est de même pour les longueurs moyenne des racines et des tiges. Ceci pourrait être expliqué que la présence de phosphore a induit une inhibition de la croissance des tiges comme le montrent les travaux de (**William et Hopkin ,1999**).

Les précédents résultats sont directement liés au rôle de l'azote sur le développement végétatif des végétaux ; qui favorise la multiplication cellulaire et permet l'élongation des feuilles (**Khelifaetal ., 2009**). Nos résultats sont en parfait d'accord avec plusieurs études qui ont montré l'existence d'une bonne corrélation de l'absorption de l'azote en fonction des doses croissantes de potassium (**Loué, 1982**). En tenant compte de l'importance du phénomène de l'interaction entre ces deux éléments (N et K) dans le développement des cultures.

Dans le cas de l'augmentation des engrais ammoniacaux, qui sont des engrais dans lesquels l'azote est présent sous forme d'ammoniac ( $\text{NH}_4^+$ ), des symptômes d'empoisonnement des plantes par l'ammoniac peuvent apparaître et les espèces végétales diffèrent par leur degré de tolérance à une augmentation de la concentration de l'ion ammonium. Dans la plupart des plantes, l'exposition à des concentrations élevées d'ammonium entraîne le jaunissement des feuilles, l'arrêt de la croissance, l'apparition de taches de décomposition sur les feuilles et parfois la mort des feuilles et des tissus infectés (**Mills et Jones, 1979**).

## **1.2. Effets du NPK sur les paramètres de croissance biochimique**

### **1.2.1. Dosage de protéine**



**Figure22** : Effet des différentes traitements sur le dosage de protéine.

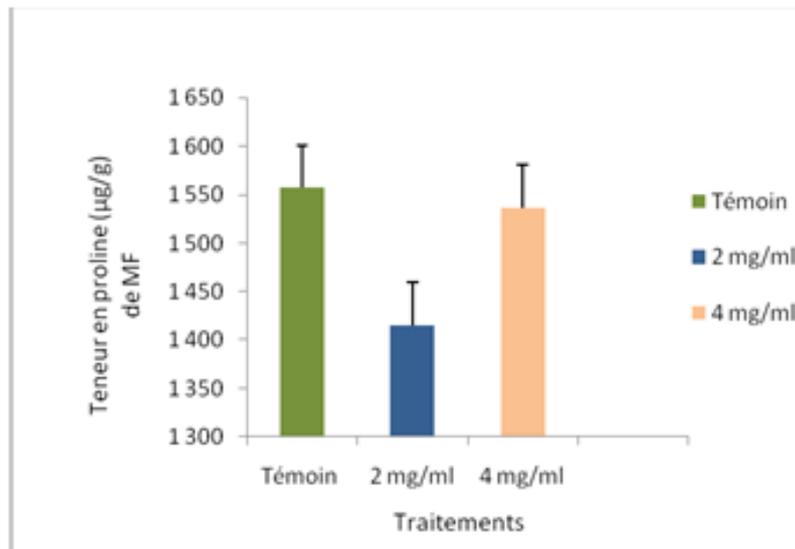
La synthèse des protéines est un processus biologique important. La figure (22) représente l'évolution de la quantité étudiée de protéines pour les concentrations de NPK par rapport à l'expérience témoin. On a enregistré l'évolution la plus élevée avec témoin **5,2µg/g de MS** pour les différentes doses on a enregistré une diminution significative ( $p < 0,05$ ) avec une dose dépendante selon les doses (2 mg/ml 4 mg/ml 6 mg/ml) du NPK respectivement (4,5/4,3/0)µg/g.

Et cela a été prouvé par (Zheng *et al.*, 2005) que des concentrations élevées entraînent une diminution du niveau de protéines dans la plante de blé, ce qui commence par des effets directs sur les racines, réduisant ainsi l'absorption d'eau et l'absorption d'ions. La toxicité se fait soit par absorption et accumulation dans la plante, ce qui empêche son fonctionnement normal, ou elle n'est pas absorbée, mais sa présence dans les racines empêche l'assimilation des autres éléments. (Alpha *et al.*, 2009).

NPK provoque une perturbation sévère de la synthèse des protéines qui se traduit par une diminution de la teneur en protéines comme indiqué par (Rabe *et al.*, 1979).

Zhang *et al.*, 2017 on signalé que l'utilisation excessive d'engrais phosphorés, en particulier en hiver, peut entraîner une réduction de la tolérance au gel hivernal des plants de blé ainsi qu'une réduction de la teneur en protéines des grains et de la biodisponibilité du zinc.

### 1.2.2. Dosage de proline



**Figure23** : Effet des differentes traitements sur le dosage de proline.

Proline c'est l'un des acides aminés impliqués dans la synthèse des protéines dans des conditions de stress hydrique, car il a pour rôle de contrôler la pression osmotique et de stocker l'azote(Moheb,2002). Où la figure (23) représente l'évolution et de la quantité de proline étudiée pour les différentes concentrations de NPK par rapport à l'expérience témoin. où on a enregistré la valeur du taux de proline (1.5µg/g)avec la deuxième dose (4mg/ml NPK) ou on a constaté une augmentation non considérable par rapport au témoin (1.4µg/g). la doses 2mg/ml du NPK a diminué le taux de proline cette diminution est statistiquement hautement significative( $P < 0,05$ ).

L'augmentation de la teneur proline qu'on a enregistré est en accord avec les travaux Zidet *al.*, 1991 qui ont signalé que l'accumulation pourrait être liée au niveau de tolérance au stress, et cette accumulation liée au niveau de tolérance au stress n'est qu'un signe de désordre selon ce qu'a dit Hernandez *etal.*, 1993. Selon Wilfred, 2005 la capacité à accumuler de la proline dans les plantes est un facteur de polyvalence, qui permet de maintenir la turgescence et le volume cytosolique aussi élevés que possible.

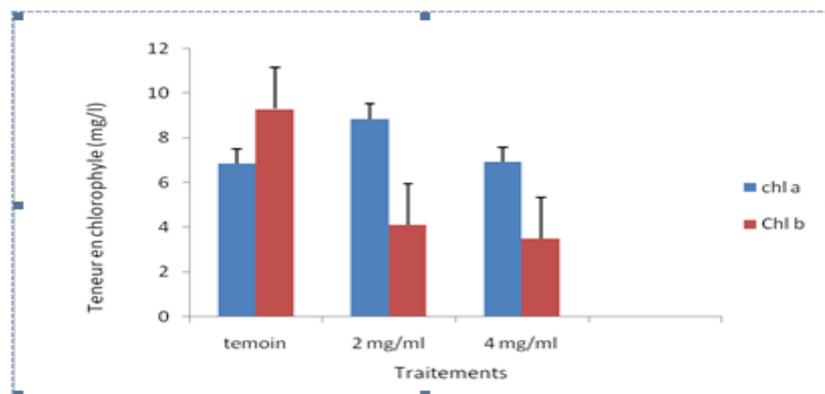
Cet acide aminé induit dans des conditions restreintes peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Tahri *etal.*, 1988). et donc l'excès de proline est le résultat de l'inhibition de l'absorption de dioxyde de carbone(Viégas et

Gomes, 1999) et l'augmentation du catabolisme des protéines (Viégas et Gomes, 1999 ; Lluch *et al.*, 1995 ) et/ou une synthèse de nouveau de cet acide aminé. .

Des résultats connexes montrent une pertinence de la capacité d'accumulation de la proline et de la réduction de l'inclinaison du grain sous stress hydrique (Addad *et al.*, 2005).

Selon un autre point de vue, l'accumulation de proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (Hanson *et al.*, 1977; Hernandez *et al.*, 2000).

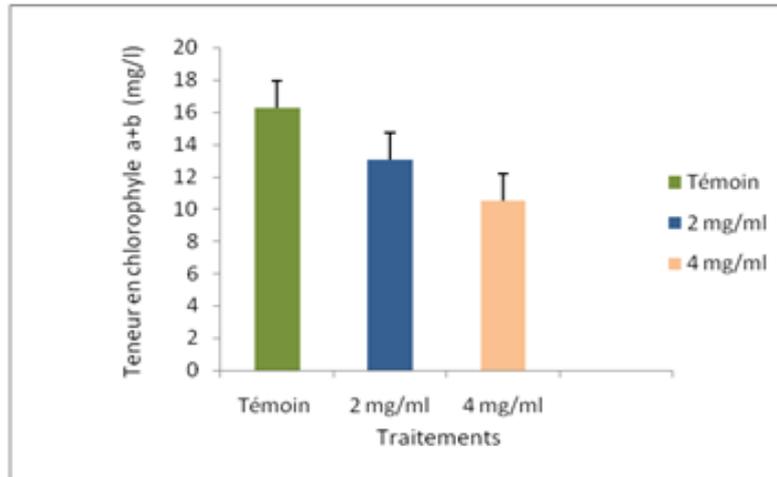
### 1.2.3. Dosage de chlorophyle



**Figure24** : Effet des différentes traitements sur le dosage de chlorophylle a et b.

La figure (24) montre les différences de chlorophylle a, b au témoin et les trois doses. Les résultats ont montré une augmentation du taux de chlorophylle a avec la dose 1 et 2 respectivement par rapport au témoin cette augmentation est statistiquement significative ( $p < 0,05$ ). Pour le chlorophylle b on a enregistré une diminution avec une dose dépendante.

Les résultats ont montré que la teneur en chlorophylle b enregistrée dans le témoin a enregistré la valeur la plus élevée de 9,297 (mg/ml) a enregistré une diminution significative ( $p < 0,05$ ). Quant aux autres doses elle a diminué progressivement, la dose 1, la dose 2, la dose 3 (4,089 mg/ml, 3,476 mg/ml) respectivement, et elle a enregistré la valeur nulle à la dose 3.



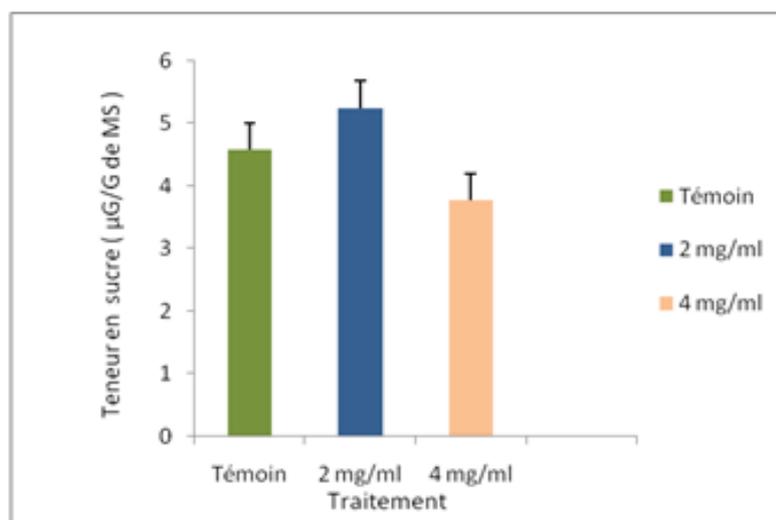
**Figure25** : Effet des différentes traitements sur le dosage de chlorophyllea+b.,

La figure (25) montre les mesures de la teneur totale en chlorophylle (a + b) au témoin et les trois doses. Sur la figure, on constate l'effet des différents traitements sur le dosage chlorophyllea+b. Les résultats ont montré une diminution progressive de témoin 16,262 (mg/l), la dose 1 13,083 (mg/l) et dose 2 10,500 (mg/l). A enregistré un effet indésirable et on remarque une diminution avec une dose dépendant et statistique significative ( $p < 0,05$ )

Nos résultats ont mis en évidence une augmentation de la teneur moyenne en chlorophylle **a** et **b** et par conséquent **a+b**. Ceci est en parfait accord avec les travaux de (Zhang et al., 1997) qui montre que la fertilisation azotée stimule la synthèse de la chlorophylle mais non la photosynthèse. Selon Ernez et (Lannoye, 1991), l'altération de l'état physiologique des plantes, causée par des conditions défavorables de l'environnement, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermiques émis par les feuilles. Les métaux lourds peuvent interférer avec les processus photosynthétiques d'une manière directe via une inhibition des enzymes de synthèse de la chlorophylle (Padmaja et al., 1990; Chugh et Sawhney, 1999). La diminution de l'activité photosynthétique, lors d'un stress hydrique, est en relation avec la fermeture des stomates (Tabaeizadeh, 1998). Selon les travaux de (Reichman, 2002), Les teneurs en chlorophylle a, b et totale ont été réduites sous une concentration élevée en Cu. Les travaux de (Heckman et al., 1987). Il est clairement exposé dans la littérature que la photosynthèse et les échanges gazeux des feuilles sont affectés par plusieurs stress : la salinité, le stress hydrique, le stress métallique, la compaction du sol,

une nutrition inadéquate...etc. (Thripathi et Tripathi, 1999). Pour notre cas les fortes doses en NPK peuvent engendrer une salinité et/ou pollution par les métaux lourds. En effet, il a été démontré aussi, que l'action toxique se traduit par la substitution du Mg par les métaux lourds dans les molécules de chlorophylle (Cu, Zn, P, K..), ce qui réduit la photosynthèse. Un effet secondaire de l'inhibition de la photosynthèse par le Cu est une augmentation dans la production de radicaux libres et par conséquent une augmentation dans le taux de sénescence des feuilles suite à un stress oxydatif (Luna et al. 1994). Plusieurs auteurs ont constaté une réduction des chlorophylles sous l'effet d'un stress salin (Almeida viegas et al.,1999). La réduction de la chlorophylle sous stress salin peut être attribuée à une augmentation de l'activité de l'enzyme chlorophyllase ou l'interruption de la structure fine de la chloroplaste et l'instabilité du pigment (Djanaguiraman et al.,2006).

#### 1.2.4. Dosage de sucre



**Figure 26 :** Effet des différents traitements sur le dosage de sucre.

La figure (26) représente l'évolution et la quantité de sucre étudiée pour les différentes concentrations de NPK par rapport à l'expérience témoin. où on a enregistré la valeur la plus élevée du taux de sucre (5,048 µg/g) avec la première dose (2mg/ml NPK) par rapport au témoin (4.812µg/g). On remarque une diminution nocive dans la deuxième dose 4mg/ml du NPK. Cette diminution est significative ( $P < 0,05$ ).

Les résultats que nous avons obtenus concernant la teneur moyenne de sucres qui a montré un taux croissant pour le blé pourrait être dû à un stress osmotique en réponse au traitement par le NPK. (Stiborova *et al.*, 1988).

De nombreuses études mettent en évidence une accumulation de teneurs élevées en sucres solubles chez différents types de plantes soumises à différents stress : hydrique (Mefti *et al.*, 1998 ; Kameli et Losel, 1995) ; salin (Zid et Grignon, 1991), osmotique (Abdelkrim *et al.*, 2005) et métallique (Bouchelaghem *et al.*, 2011). Cette augmentation est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress (Tahri *et al.*, 1998), permettant de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée (Mefti *et al.*, 1998).

En effet, les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques (David *et al.*, 1998). Le saccharose peut agir en tant que composé soluble compatible et son accumulation peut permettre d'éviter la cristallisation des molécules contenues dans la cellule. Elle limite donc les dommages au niveau des structures cellulaires.

# *Conclusion*

### Conclusion générale

Dans notre travail nous avons mis en évidence l'effet de la fertilisation NPK sur le blé dur (*Triticum durum.*) , l'objectif principal de cette expérience est de connaître l'effet de l'engrais NPK sur la croissance et la morphologie et la composition du blé dur .

Nous avons étudié quelques paramètres biotiques exprimés par longueur des racines, la longueur des feuilles, la longueur des tiges, le dosage de protéine et le chlorophylle a, b et total et le dosage de proline et sucres solubles.

Les résultats ont également montré une diminution des protéines et de la chlorophylle totale pour la chlorophylle a, on a eu une exception avec la dose 1 (2mg/l) ou on a enregistré une augmentation.

On note également une augmentation de la teneur en proline et en sucre soluble avec une dose dépendante.

Don nos résultats obtenus ont montré l'effet nocif de l'engrais NPK sur le blé.

Enfin, il serait intéressant de poursuivre cette étude afin de cerner le comportement du blé dur et l'effet de l'engrais NPK sur celui-ci *in vitro* car ils peuvent constituer une série d'essai à venir et qui devront préciser les doses optimales des éléments nutritifs (N.P.K.) à appliquer pour pouvoir obtenir des rendements satisfaisants.

Pour une meilleure explication et confirmation de nos résultats ; il est recommandé de :

- Elargir l'expérimentation en plein champs aux conditions naturelles pour avoir des résultats plus précises ;
- utiliser d'autres variétés de blé dur pour connaître si le NPK affecte sur toutes les variétés de la même façon ;
- étudier autres types de paramètres pour connaître mieux l'effet de le NPK ;
- étudier l'effet de le NPK sur d'autres espèces des céréales pour avoir si les effets pour cet engrais sont les mêmes ou non ;
- rechercher l'effet de l'NPK sur la productivité du sol ;

## Conclusion générale

---

- rechercher l'effet de l'NPK sur la qualité nutritionnelle de la graine qui est un élément de base pour la nutrition de la population algérienne par rapport à la qualité.

*Références  
bibliographiques*

## Référence bibliographique

---

- **A.C.I.A., 2006.** Agence canadienne d'inspection des aliments. La biologie de (*Triticumturgidumssp. Durum*) (blédur. Bureau de la biosécuritévégétal, 13p.
- **Abdelhamid M., Hamana B., Amar B., Abdelkarim H. S., Nadir H., 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*TriticumdurumDesf.*)au climat semi-aride. Article scientifique. Sécheresse ; 17 (4) : 507-13, 508p.
- **Abdelkrim F, Djebbar R. et Aid F, 2005.**Effet d'un stress osmotique sur la germination et le début de croissance de deux variétés de colza : Brassicanapus L. Eurol et Goeland. 1er Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.
- **Abdelmadjid H, 2013.** Grandes cultures éléments de pyrotechnie générale 1ère ED. T1. Le blé, 256p.
- **Addad et al., 2005.** Etude de la réponse des plantules de blé dur (*TriticumdurumDesf.*) aux stress abiotiques et des liaisons avec le comportement de la plante en plein champ. 1er Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement Annaba 28-30 novembre 2005.
- **Alpha et al., 2009.**Effect of different N fertilizer forms on antioxidant capacity and grain yield of rice growing under Cd stress. Journal of Hazardous Materiel. 162 :1276-1281.
- **Anonyme., 2010.** Manuel utilisation des engrais, 96p.
- **Arnon (1949) par Richardson et al ., (2002).**Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. Rachis, 12 : 11
- **Azoui H., 2015** - Etude du comportement d'une collection de blés cultivés en Algérie visà-vis de quelques stress biotiques. Mém. Magister. Université El Hadj Lakhdar – BatnaInstitut des sciences vétérinaires et des sciences agronomiques. 75 p
- **Badraoui et ., 2000 ; Evans, 1998 in Latiri ,2002 ; Latiri, 2002.,** Normes d'interprétation des analyses de sol pour les cultures de blé et de betterave en irrigué dans les Doukkala. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux', Rabat, 2-3 Novembre 2000. 31-47 pp.
- **Barcelo et Poschenrieder, 1990 ; Pandolfini et al., 1992.** Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. Journal of Plant Nutrition ;Vol/Issue: 13:1; 1-37.

## Référence bibliographique

---

- **Bazzaz et al., 1975.** Inhibition of Corn and Sunflower Photosynthesis by Lead. *Physiologia Plantarum* 34(4): 326-329.
- **Bellatrèche M., 1983** - contribution à l'étude des oiseaux des écosystèmes de Mitidja. Une attention particulière étant portée à ceux du genre passer Brisson, biologie écoéthologie , impacts agronomiques et économiques, examen critique des techniques de lutte. Mém. Magister. Sci.agro.inst. nat. Agro, El Harrach. 140 p
- **Bouchelaghem S. Djebbar Berrebbah H. Djebbar M.R. 2001.** The impact of dust emits by the steel complex of El Hadjar (ANNABA) on two biological models: Mousses and lichens. *African Journal of Biotechnology* Vol. 10(18), 3574-3578 .
- **Boulal H., Zaghouane O., Mourid M., Rezgui S., 2007.** Guide pratique de la
- **Bourgault., 2006.,** Bonnes pratiques agricoles en production de canne à sucre. Version 4, février. Disponible au CTICS, 23p.
- **Bonjean A., et Picard E., 1990.** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan. 235p.
- **Boyeldieu., 1999.,** Blé tendre. Techniques agricoles, éditions Techniques. Fascicule 2020 conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le maghreb (Algérie. Maroc.Tunisie), 176p.
- **Bozzini A., 1988.** Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In Fabriani G. & Lintas C. (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota). Etats-Unis : 1-16 p.
- **Christian S., 2005.** Guide de la fertilisation raisonnée. Grandes cultures et prairies. Edition France agricole, 407p.
- **Chugh L.K., Sawhney S.K., 1999.** Photosynthetic activities of *Pisumsativum* seedlings grown in presence of cadmium. *Plant. Physiol. Biochem.*, 37 (4): 297-303.
- **Clark J.M., Norvell W.A., Clark F.R., & Buckley T.W., 2002.** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*. 82 : 27-33 p.
- **Cottignies X., 1977.** Potasse et agriculture. Société commerciale des potasses et de l'azote, Mulhouse. 112p.
- **Coyne D.L., Nicol J.M., Claudius-Cole B., 2010** – Les nématodes des plantes : Un guide pratique des technique de terrain et de laboratoire. Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Cotonou, Benin

## Référence bibliographique

---

- **Diehl J.A., 1975.** Agriculture générale. pp 205-211.
- **Donnez, J., Spada, F., Squifflet, J., & Nisolle, M., 2000.** Bladder endometriosis must be considered as bladder adenomyosis. *Fertility and sterility*, 74(6), 1175-1181.
- **Draft., 2012.,** Manuel de Formation Statistiques sur les Engrais en Afrique, 19p
- **Duval J., 1993** – Le hanneton commun et les vers blancs. Ecological agriculture project. Mc Gill University. Canada. 6 p
- **Epron D., Toussat M.L., Badot P.M., 1999.** Effect of sodium chloride salinity on root growth and respiration in oak seedlings. *Ann. For. Sci.* 56: 41-47.
- **Eyal Z., Scharen A.L., Perscott J.M., and M. VanGinel., 1987** - The septoria diseases of wheat: Concepts and methods of diseases management. CIMMYT, Mexico. 31 p
- **Ezzahiri B., (2001).** Les maladies du blé. Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. *Transfert de technologie en Agriculture*, n°77, 4 pages
- **FAO., 1977** – Crop water requirement. *Bull. Irrig. Drain.* N° 24. FAO Rome : 120 p
- **FAO, 2003.,** Les engrais et leurs applications, quatrième édition, 77p
- **Feldman, M., 2001.** Origin of Cultivated Wheat. Dans Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) *The World Wheat Book: à history of wheat breeding.* Intercept Limited, Andover, Angleterre, 3-58.
- **Feuillet P., 2000.** Le Grain de blé: composition et utilisation. INRA. Ed Quae.
- 2000. Paris. France, 308p.
- **Fritas S., 2012** - "Etude bioécologique du complexe des insectes liés aux cultures céréalières dans la region de Batna. (Algérie)". Mémoire de magister. Université Abou BakrBelkaid Tlemcen. 105 p.
- **Gate., 1995.,** Ecophysologie du blé. Ed. Lavoisier. Paris (France). pp78-81
- **Gauthier., 1991.,** Notions d'agricultures. Rue Michel-Haidy, 575p
- **Gervy R., 1970.** Les phosphates et l'agriculture 6<sup>ème</sup> ED, 298p.
- **GHERAIRIA I et ZARDOUDI F (2018).** Effet de la fertilisation sur la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la région de Guelma. Mémoire de Master : Sciences Agronomiques Spécialité/Option : phytopharmacie et production des végétaux Département : Ecologie et génie de l'Environnement. Université de Guelma Algérie, 4,5,8,9,10,13,14, 15p
- **Ghouar., 2006.** Fertilisation azotée du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété simeto.

## Référence bibliographique

---

- **Ghouar W., 2006.** Effet du cumul de pluie hivernale sur la réponse du cultivar Waha (*Triticum durum Desf*) à la fertilisation azotée. Mémoire de magister, Institut Agronomique, Université de Batna, 45p.
- **Grignac P., 1981.** Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen. Séminaire scientifique. Bari (Italie). pp185-194.
- **Graphagri., 2013.** Céréales produit agroalimentaire, pp 121-126.
- **Hanson et al., 1977; Hernandez et al., 2000 .** Accumulation de proline dans les tissus foliaire de tomates en réponse à la salinité. Life Science, 323: 551-557.
- **Heckman J. R., Angle J.S., Chaney R.L., 1987.** Residual effects of sewage sludge on soybean:II. Accumulation of heavy metals. J. Environ. Qual, 16(2): 113-117.
- **Hernandez, et al., 1993 .** Accumulation de proline dans les tissus foliaire de tomates en réponse à la salinité. Life Science, 323: 551-557.
- **Herve, Y., 1979.** Introduction à l'amélioration des plantes. Cours. École nationale supérieure agronomique de Rennes.
- **Hervé L., et Jean-F., 2013.** Le blé, une plante domestiquée au génome polyploïde complexe, (consulté le 04-04-2013), disponible sur : <http://html.ENS-lyon.fr>>pdf.
- **Hopkins., 2003.** Physiologie végétale. 1<sup>ère</sup> édition. deboeck. 514p
- **Hsissou., 1994 .**, Sélection *In vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- **Kamel B., Mohsen B., 2017.** Manuel de grandes cultures-les céréales, édition universitaires européennes, 230p.
- **Kameli A. et Losel D.M., 1995.** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. J. Plant Physiol. 145: 363-366.
- **Kelly et al., 1979.** Heavy metal accumulation and growth of seedling of five species as influenced by soil cadmium level. J. Environ. Qual, 8(3): 361-364
- **Ketfi H., 2018 -** Bioécologie des insectes nuisibles (Classe ; Insecta) du blé (*Triticum Desf* 1889) dans la région de Constantine, Algérie. Mém master. Université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la vie. 60 p
- **Lafon J.P, Tharaud-Prayer C., Levy G. ; 1988.** Biologie des plantes cultivées. Organisation, physiologie de la nutrition. Paris : Technique et Documentation Lavoisier.1 : 103-124.
- **Lane et al., 1978.** Lead toxicity effect on indole-3- acetic-induced cell elongation. Planta, 144: 79-84.

## Référence bibliographique

---

- **Li et ., 2004.** Adaptation of Higher Plants to Freezing. In Life in the Frozen State Eds. B.J. Fuller, N. Lane and E.E. Benson. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., pp. 171-203.
- **Luna C. M., Gonzalez C.A., Trippi V.S., 1994.** Oxidative damage caused by excess of copper in oat leaves. *Plant Cell Physiol.*, 35: 11-15.
- **MarotietBognar, 1991.** Effect of toxic metals inhibiting the growth of plant cellus tissues. *ActaAgronomicaHungaria*, 40: 39-47.
- **Masl E., et meynardJh., 1981.** L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse docteur ingénieur I.N.R. Paris. Grignon. France. 274 P.
- **Mefti M., Abdelguerfi A. et Chebouti A., 1998.** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula*(L.) Gaertn. *Science (5)* : 173-176.
- **Melki M., Samaali S., Mechri M., et Saidi W.,2015.** Étude qualitative et quantitative de la production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) conduit sous différentes modalités de fractionnement de nitrate d'ammonium. *Journal of new sciences. Agriculture and Biotechnology.* 20(6), pp810-817.
- **Merouche A., 2015** – Besoins en eau et maîtrise de l'irrigation d'appoint du blé dur dans la vallée du Chélif. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 85 p
- **Moheb .,2002.** فيسيولوجيا الإجهاد، كلية الزراعة، جامعة المنصورة.
- **Moule C., 1971.** Céréales Tome II, la maison rustique. Paris, 1-40p.
- **MonneveuxNemmar (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6(6), 583-590.
- **Nedjah I., 2012.** Changements physiologiques chez des plantes Blé dur (*Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb), Thèse de doctorat 3ème cycle. Université badji Mokhtar-Annaba., 98p.
- **Nedjeh I. (2015).** Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de doctorat en Biologie, option Ecophysiologie végétale, département de Biologie, Université de Annaba Algérie, 98p.

## Référence bibliographique

---

- **Padmaja K., Passad D. D. K. and Prasad A.R. K., 1990.** Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. Seedlings by cadmium acetate. *Photosynthetica*, 24: 399-405.
- **Rabe et krep . ,1979 .** Enzyme activities and chlorophyll and protein content in plants as indicator of air pollution. *Environnemental pollution*, 19; 119-137.
- **Reichman S.M., 2002.** The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. The Australian Minerals & Energy Environment Foundation. 157pp.
- **Rivol R., 1975 –** Le nématode à kystes des céréales, *Heterodera avenae* Woll., en France : nuisibilité, caractéristiques biologiques et perspectives de lutte. *Bulletin OEPP*, vol.5, issue 4, 425-435 p.
- **Robert, Gate et Couvreur, 1993; Grignac, 1964 ;** Lelievre et Nolot, 1977 *in* Ghouar, 2006). . Fertilisation azotée du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété simeto, en Mitidja : comparaison des formes et modalités d'apport de l'azote (au sol et foliaire). *Mem. Ing. Agro. INA. Alger.* 16p.
- **Pousset J., 2000.** Engrais verts et fertilité des sols, ED agri-décisions. 287 p.
- **Remy J., et Viaux P., 1980 .** Evolution des engrais azotés dans le sol. Perspectives agricoles spéciales. pp 35-67.
- **Saidouni- Ain Alouane L., 2012 –** Diversité de l'entomofaune des céréales et dynamique des populations de la mouche de Hesse (*Mayetiola destructor*) (Diptera- Cecidomyidae) dans la région de la Mitidja occidentale. Mém de magister. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach. 73 p
- **Savoie et Smith . ,1997.** Effet de l'azote sur la production de semences du ray-grass vivace Barrage. Ministère de l'Agriculture, l'Aquaculture et des Pêches.
- **Soltner D. 1990 :** Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed .17<sup>ème</sup> édition, 464
- **Soltner., 2003.** Les basses des productions végétales. Ed. 23<sup>ème</sup> T1. Le sol et son amélioration. 464p.
- **Soltner, 2005.,** Les Grandes productions végétales 20<sup>ème</sup> Ed. Coll.Sci et Tec Agri. Paris France. 140 P.
- **Stiborova M, M Doubravova, ABrezinova and F A., 1988.** "Effect of heavy metal ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley (*Hordeum vulgare* L.)." *Photosynthetica* 20(4): 418-425.

## Référence bibliographique

---

- **Sutherst W., Cuddy W., Yonow T., Beddow J., Kriticos D et Duveiller E., 2015** – *Puccinia striiformis* ( wheat stripe Rust) ( N°. 882-2016-64513)
- **Tabaeizadeh Z., 1998.** Drought-induced responses in plant cells. *Int Rev Cytol*, 182: 193-247.
- **Tahri E. H., Belabed A. et Sabki K., 1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de la proline et chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur ( *Triticum durum*). *Bull. Inst. Sci., Rabat*, (21) : 81-87.
- **Thripathi A.K., Tripathi S. 1999.** Change in some physiological and biochemical characters in *Albizia lebbek* as bioindicateurs of heavy metal toxicity. *J. Environ. Biol.*, 20 ( 2): 93-98.
- **Troll et Lindsley (1955).** A photometric method for the determination of proline. *Journal of biological chemistry*, 215(2), 655-660 .
- **Yallaouiyaici et Ghalem., 2006 ; Djermoun, 2009.** Présentation de la méthodologie pour l'évaluation du programme d'intensification céréalière. *Revue N°46. 1ère Ed. ITGC de Sétif.* 4p.
- **Wall et al., 1971.** The position of a locus on chromosome 5B of *Triticum aestivum* affecting homoeologous meiotic pairing. *Genet Res.*, 18: 329-339
- **Wiese M .v., 1987** - Compendium of wheat diseases; APS PRESS , the American phytopathological society. 112 p.
- **Wilfred ., 2005.** proline as a mesure of stress in tomato plants .*plant science*, 168(1), 241-248.
- **Zid et al ., 1991.** Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux aride. Ed. AUPELF-UREF. John LibbeyEurotext. Paris. 91-108.
- **Zahri., J. Appl. Biosci., 2014** - Statut des principales maladies cryptogamiques foliaires du blé au Maroc en 2003.
- **Zid E., Grignon C., 1991.** Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux aride. Ed. AUPELF-UREF. John LibbeyEurotext. Paris. 91-108.
- **Zilinsiky F.J., 1983** - Maladies des céréales à paille : guide d'identification : CIMMYT, Mexico

## Référence bibliographique

---

- **Zhang S., Hennessey T.C., Heinemann A., 1997.** Acclimation of loblolly pine (*Pinustaeda*) foliage light intensity as related to leaf nitrogen availability. National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada, 27: 1032-1040.
- **Zheng et al .,2005.** Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum . J. Agronomy 22: 391–403.
- **Les doses : Les dose choisies selon de fertiale de annaba .**

### Webographiques

<https://schweizerbrot.ch>app.5p>.

<http://technomitron.aainb.com/constituants-pain-et-pate/le-ble/>

[www.ladocumentationfrancaise.fr/](http://www.ladocumentationfrancaise.fr/), 5p.

<https://naturealpha.skyrock.com/3285667282-Le-Ble.html>

<https://www.planetoscope.com/cereales/190-production-mondialede-cereales.htm>

<http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/biodiversite/dossiers-thematiques/poacees>.

<https://espace-pain.info/culture-du-ble/>

<http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1620>

<https://inewa.ca/nutrition/item/56-anatomie-du-grain-de-ble>

[https://www.arvalis.fr/infos-techniques/la-septoriose-une-maladie-propagee-par-les-eclaboussures-de-pluie\)](https://www.arvalis.fr/infos-techniques/la-septoriose-une-maladie-propagee-par-les-eclaboussures-de-pluie)

[https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies\\_du\\_ble/oidium\\_du\\_ble/](https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/oidium_du_ble/)

<https://plantix.net/fr/library/plant-diseases/100060/wheat-stem-rust>

[https://www.noriap.com/blog/rouille-jaune-une-adaptation-des-programmes-fongicides-sur-ble?hs\\_amp=true](https://www.noriap.com/blog/rouille-jaune-une-adaptation-des-programmes-fongicides-sur-ble?hs_amp=true)

<http://ecoursesonline.iasri.res.in/course/index.php?categoryid=2>

<https://www.bacfertilizers.com/>

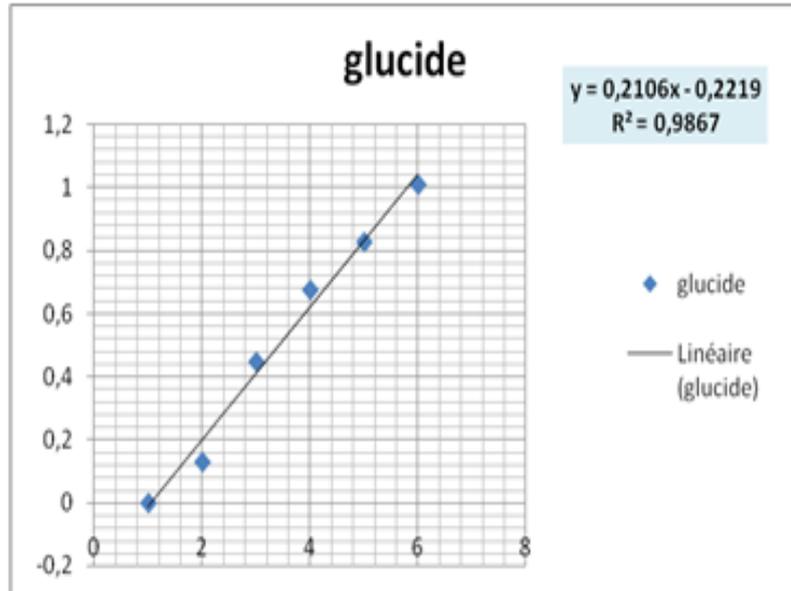
<https://www.utinam.cnrs.fr/>

<http://ecoursesonline.iasri.res.in/course/index.php?categoryid=2>

# *Annexes*

## Annexes : courbes d'étalonnages

### 1. Courbe d'étalonnage de glucose



### 2. Courbe d'étalonnage de protéine

