

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité/Option : Phytopharmacie et protection des végétaux

Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème

Raisonnement de la fertilisation azotée phospho-potassique (NPK) de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) (variété vitron) dans la région de Guelma

Présenté par

- **TEFFAHI Abderrahim**
- **NOUN Aimen**

Devant le jury composé de

Président : Mme LAOUAR H. (M. C. B.) Université 8 Mai 1945 Guelma

Examineur : Mr ZITOUNI A. (M. C. B.) Université 8 Mai 1945 Guelma

Encadreur : Mme CHAHAT N. (M. C. B.) Université 8 Mai 1945 Guelma

Membre de jury invité : Mme LAIB F. I.T.G.C. Guelma

Septembre 2021

Remerciements

*En préambule à ce mémoire je remercie **ALLAH** qui m'aide et me donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

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

*Je tiens à remercier infiniment **Mme LAOUAR H.**, qui m'a fait le grand honneur de bien vouloir accepter la présidence de ce jury, je lui adresse mes vifs remerciements.*

*- Mon encadreur **Mme CHAHAT N.**, pour l'honneur qu'elle a fait de m'encourager, m'orienter et me soutenir ainsi que sa patience avec moi tout au long de l'élaboration de ce mémoire.*

*- Je remercie **Mr ZITOUNI A.**, qui a bien voulu participer au jury et examiner mes résultats, je lui exprime mes très sincères remerciements :*

- Mes remerciements vont également à :

*- **Mme Seridi Souad**, la directrice de l'ITGC de Guelma, d'avoir accepté la réalisation de ce travail au niveau de la station.*

*- **Mme LAIB Fouzia**. pour son aide et ses conseils.*

- Aussi pour les travailleurs de L'ITGC de Guelma pour leurs aides.

*- Sans oublier **Mr Khaladi O.**, **Mme ALLIOUI N.**, **Mme Hami M.**, et tout le staff enseignant et techniciens de laboratoires pour leurs conseils et son soutien durant ma carrière universitaire.*

Abderrahim / Aimen

Dédicace

Je dédie ce travail :

A toute ma famille et à mes chers amis

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	2
---------------------------	----------

Chapitre 1 : Généralités sur le blé

1. Historique	5
2. Apparence et caractères morphologiques du blé dur	5
2.1. L'appareil végétatif	5
2.2. La tige du blé dur	6
2.3. Les nœuds	7
2.4. Feuille du blé dur	7
2.5. Jonction gaine et limbe	8
2.6. La racine	8
2.7. Organes reproducteurs	9
2.8. Epillets	9
2.9. Le pistil	10
2.10. Les étamines	10
2.11. Le grain du blé	11
3. Classification Botanique	12
4. La céréaliculture en Algérie	12
5. Les conditions de culture de blé dur	13
5.1. La température	13
5.2. L'Eau	13
5.3. La lumière	13
5.4. Le Sol	13
6. Les agents causals des maladies du blé dur	13

Chapitre 2 : Les fertilisants

1. Définition de la fertilisation	19
2. La fertilisation raisonnée	19
3. Eléments minéraux indispensables à la croissance	19
3.1. Les macro-éléments	21
3.2. Les micros-éléments	21
4. Les engrais	21
4.1. Définition	21
4.2. Types des engrais	21
4.2.1. Engrais minéral	22
4.2.2. Engrais gazeux	22
4.2.3. Engrais organique	22
4.3. Les différentes catégories de la fertilisation	23
4.3.1. L'azote (N)	23
4.3.1.1. L'origine dans le sol	23
4.3.1.2. La forme absorbée par la plante	23
4.3.1.3. Rôle physiologique de l'azote	24
4.3.1.4. Exigences azotées chez le blé	24

4.3.1.5. Les dynamiques de l'azote dans la plante	24
4.3.1.6. Le cycle de l'azote dans la biosphère	25
4.3.2. Phosphore (P)	25
4.3.2.1. Source de phosphore	26
4.3.2.2. La fertilisation phosphatée	26
4.3.2.3. La forme absorbée par la plante	26
4.3.2.4. Rôle physiologique du phosphore	26
4.3.2.5. Exigences nutritionnelles en phosphore des cultures	26
4.3.3. Le potassium (K)	27
4.3.3.1. Sources du potassium	27
4.3.3.2. Le cycle de potassium	28
4.3.3.3. Le potassium dans la plante	28
4.3.3.4. Rôle physiologique du potassium	28
4.3.3.5. Fertilisation potassique	29
5. Les carences d'engrais NPK	29
5.1. Carence en azote	29
5.2. Carence en phosphore	30
5.3. Carence en potassium	31
6. Excès et effets nocifs des engrais (NPK)	31
6.1. Sur l'environnement	31
6.2. Sur la plante	32
6.3. Sur la santé humaine	32

Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

1. L'objectif de l'essai	34
2. Caractéristiques du site d'essai	34
2.1. Localisation	34
2.2. Caractéristiques climatiques	35
2.2.1. La pluviométrie	35
2.2.2. Température	35
3. matériel végétal	36
4. Engrais utilisés	37
4.1. Engrais de fond	37
4.1.1. Triple super phosphate	37
4.1.2. Caractéristiques	37
4.2. Engrais de couverture	37
4.2.1. Urée 64%	37
4.2.2. Composition	38
4.2.3. Caractéristiques	38
4.3. Engrais potassique	38
4.3.1. Sulfate de potasse K(50) S(44)	38
4.3.2. Composition	38
4.3.3. Recommandation d'utilisation	38
5. Produits utilisés pour traitement	38
5.1. Application d'herbicides	39
5.1.1. Composition	39
5.1.2. Mode d'action	39
5.2. Application de fongicides	39
5.2.1. Composition	39
5.2.2. Mode d'action	40
5.3. Application d'insecticides	40

5.3.1. Caractéristiques	40
5.3.2. Mode d'action	40
6. site de mise en œuvre de l'essai	41
7. Protocole expérimental	42
7.1. Traitements utilisés	42
7.2. Facteur étudié	42
7.3. Dimensions de la parcelle élémentaire	42
7.4. Dimensions de la parcelle de l'essai	42
8. Notations et mesures à faire	42
9. Les stades phénologiques	43
10. Paramètres étudiés	44
10.1. Nombre de plants par m ²	44
10.2. Nombre de talle	45
10.3. Nombre de grains par épi	45
10.4. Poids de mille grains (PMG)	45
10.5. Nombre d'épi par m ²	45
10.6. Surface foliaire	45
10.7. Rendement par hectare	45
10.8. Notation sur les maladies	45
10.9. Teneur en chlorophylle a et b	46
11. Analyse statistique	48

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

1. Caractéristiques agronomiques	50
1.1. Nombre de plants / m ²	50
1.2. Nombre de talle / plant	51
1.3. Nombre d'épis / m ²	53
1.4. Hauteur des plants (cm)	55
1.5. Surface foliaire des plants (cm ²)	56
1.6. Nombre de grains / épi	58
1.7. Poids de 1000 grains	60
1.8. Rendement théorique	62
2. Caractéristiques biochimiques	64
2.1. Teneur en chlorophylle a+b	64
Conclusion	66
Références bibliographiques	68
Résumés	

Liste des figures

N° et titre de la figure	Page
Figure 1 : Culture de céréale au Stade de tallage	6
Figure 2 : Tige du blé dur	7
Figure 3 : Feuilles du blé	8
Figure 4 : Jonction gaine et limbe du blé dur	8
Figure 5 : Système racinaire du blé dur	9
Figure 6 : Epillets du blé dur	10
Figure 7 : Le pistil du blé dur	10
Figure 8 : Les étamines du blé dur	11
Figure 9 : Structure du grain du blé	11
Figure 10 : Distribution des principales maladies fongiques des céréales en Algérie	16
Figure 11 : la profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation	19
Figure 12 : Nutrition de la plante	20
Figure 13 : Les trois types des engrais, gazeux, organiques, et minéraux	23
Figure 14 : Cycle de l'azote dans la biosphère	25
Figure 15 : Courbe d'absorption de K_2O chez les céréales	28
Figure 16 : Symptômes de carence en azote	30
Figure 17 : Les différents symptômes de carence en phosphore chez le blé	31
Figure 18 : Carence en potassium chez le blé (chlorose)	31
Figure 19 : Localisation de l'ITGC Guelma	34
Figure 20 : Parcelle de l'essai	35
Figure 21 : ITGC de Guelma	35
Figure 22 : Variété de blé expérimentée (Vitron)	37
Figure 23 : Emballage de l'herbicide Cossack ^{OD}	39
Figure 24 : Emballage du fongicide Amistar® Xtra	40
Figure 25 : Emballage de l'insecticide Karate	41
Figure 26 : Dispositif expérimental de l'essai	42

Figure 27 : Cadran de mètre carré	44
Figure 28 : Rouille jaune Sur blé dur	45
Figure 29 : Dosage de la teneur en chlorophylle a, b et a+b	47
Figure 30 : Nombre de plants / m ²	50
Figure 31 : Nombre de talle	52
Figure 32 : Nombre d'épis / m ²	54
Figure 33 : Hauteur des plants (cm)	55
Figure 34 : Surface foliaire des plants (cm ²)	57
Figure 35 : Nombre de grains / épi	59
Figure 36 : Poids de 1000 grains	61
Figure 37 : Rendement théorique	63
Figure 38 : Teneur en chlorophylle (a+b) mg/g MF	64

Liste des tableaux

N° et titre de tableau	Page
Tableau 1 : Classification botanique du blé	12
Tableau 2 : Quelques maladies de blé dur en Algérie	14
Tableau 3 : Les principaux ravageurs de blé dur	16
Tableau 4 : Classification des cultures selon leur exigence en P	27
Tableau 5 : Moyenne mensuelle des précipitations pour la région de Guelma durant la campagne : Septembre 2020 - 20 août 2021	35
Tableau 6 : Température moyenne mensuelle de la région de Guelma durant la campagne septembre 2020 – 20 août 2021	36
Tableau 7 : Traitements utilisés et objectifs de l'expérimentation	43
Tableau 8 : Dates et stades phénologiques de l'essai	44

Liste des abréviations

C° : Degré Celsius

Chlo : Chlorophylle

CO₂ : Dioxyde de carbone

FAO : Food Agriculture Organisation

FPDS : Ferme de Démonstration et de Production de Semence

Fig. : Figure

g : Gramme

h : Heure

ha : Hectare

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

K: Potassium

K₂O : Oxyde de Potassium

kg : Kilogramme

kg/ha : Kilogramme par hectare

km : Kilomètre

L : Litre

m : Mètre

m² : mètre carré

mg : Milligramme

ml: Millilitre

Max. : Maximal

Min. : Minimal

mm : Millimètre

MO : Matière organique

Moy : Moyenne

N : Azote

P : Phosphore

P₂O₅ : Acide phosphorique

pH : Potentiel hydrogène

PMG : Poids de Mille Grains

P₀ : La masse de la nacelle vide

P₁ : La masse finale

P₂ : La masse de la nacelle contenant les cendres

SAU : Surface Agricole Utilisable

SO₃: Trioxyde de soufre

Tab. : Tableau

T : Traitement

T° : Température

U : Unité

U/ha : Unité par hectare

% : Pourcent

Introduction

Introduction

Les céréales cultivées depuis des milliers d'années, constituent la base de notre alimentation et jouent la carte de la diversité. De l'Europe à l'Asie, en passant par l'Afrique et l'Amérique, les hommes du monde entier en ont développé de nombreuses variétés (**Nadjah, 2014**).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est la deuxième espèce plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre en tant qu'une source importante de protéines dans les pays en voie de développement. Les zones de production de cette espèce sont surtout localisées dans le bassin méditerranéen d'une part (Europe du Sud, Moyen orient et Afrique du Nord), et en Amérique du Nord d'autre part (Canada central et Nord des USA), où est produit le quart du blé dur mondial (**Clerget, 2011**).

En Algérie, les céréales constituent l'essentielle de la ration alimentaire quotidienne de la population et occupent une superficie de 3,3 millions d'hectares. 40% de ces surfaces sont destinées à la production de blé dur soit 1,35 millions d'hectares (**Selmi, 2000**).

La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (**Hamadache, 2002**).

Les engrais permettent souvent de doubler et même de tripler les rendements. Les résultats de plusieurs milliers d'essais et de démonstration effectués pendant plus de 25 ans chez les agriculteurs de 40 pays dans le cadre programme engrais de la FAO ont montré que la moyenne pondérée des rendements pour la culture du blé augmente de 60 % environ dans le cas du meilleur traitement. Cette augmentation varie évidemment d'une région à l'autre d'une culture à l'autre et d'un pays à l'autre (**FAO, 2003**).

La fertilisation est indispensable pour améliorer le rendement. Elle doit être correctement évaluée pour se situer à l'optimum économique. Il existe en effet, si l'on observe l'évolution du rendement en fonction de la dose d'éléments fertilisants apportée, un seuil technique au-delà duquel le rendement diminue par effet de toxicité (sur-dose) et un seuil économique, inférieur au précédent, au-delà duquel le gain supplémentaire ne couvre plus le coût additionnel. Bien entendu ce seuil est délicat à évaluer car le rendement dépend d'autres facteurs moins bien maîtrisés, notamment en culture de plein champ, comme la pluviométrie (**FAO, 2005**).

L'utilisation des engrais complexes NPK qui ont la formule/la composition centésimale garantissant la présence des éléments nutritifs majeurs dans chaque granule. Ces engrais permettent aussi une répartition uniforme des éléments nutritifs lors de chaque application grâce à la qualité stable et le calibre suffisamment uniforme de leurs granules (**FAO, 2003**).

La fertilisation recouvre un vaste ensemble de techniques, de moyens et de produits, dont la mise en œuvre harmonieuse permet d'élever ou de maintenir la capacité des récoltes (**Soltner, 1990**).

Dans cette perspective, notre travail consiste à étudier l'effet de la fertilisation azotée phospho-potassique sur l'amélioration de la production de la culture de blé dur (variété vitron) dans la région du Guelma durant la campagne agricole 2020-2021, Cette étude a beaucoup d'intérêt que nous citons ci-dessous :

Etudier les effets des différents fertilisant (NPK) sur la culture des céréales (blé dur) en choisissant la meilleure combinaison des éléments nutritifs (NPK) d'une part et d'autre part la recherche du meilleur rendement et pour minimiser les pertes économiques (épandage d'un élément nutritif avec aucun effet sur la plante cultivée).

Notre travail est divisé en 4 chapitres :

- Les deux premiers traiteront de généralités bibliographiques sur le blé et les fertilisants.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation du matériel et la méthodologie utilisée.
- Le quatrième chapitre consiste à la présentation des résultats obtenus suivis par une discussion.
- Et enfin une conclusion générale.

Chapitre 1

Généralités sur le blé

1. Historique

L'histoire de l'homme et celle des plantes cultivées constituent un ensemble d'interactions continues dans le temps et l'espace (**Bonjean et Picard, 1990**).

Au Néolithique le passage des premiers groupements humains de l'état de chasseurs - cueilleurs d'une civilisation de nomades à celle d'agriculteurs sédentarisées est le résultat de la domestication progressive de graminées cultivées dont la plus ancienne semble être le blé dur (**Feillet, 2000**).

Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme au proche Orient, il y a environ 10.000 à 15.000 ans avant J.C (**Hervé, 1979**).

Des restes de blés, diploïde et tétraploïde, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche Orient (**Harlan, 1975**), et on croit que le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran (**Feldmen 2001**). Il est compté 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**).

En Algérie, le blé dur (*Triticum durum* Desf.), 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**).

Le blé est une espèce annuelle autogame tétraploïde issue d'un croisement naturel entre un *Triticum* (génome A) et d'un *Aegilops* (génome B) et d'une phase de domestication. Aujourd'hui il est la première céréale cultivée et largement consommées en Algérie et dans le monde [1].

2. Apparence et caractères morphologiques du blé dur

Le blé est une plante annuelle, monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscents, appelé caryopse, constitué d'une graine et de tégument (Feillet, 2000) ; le caryopse est caractérisé par son amande ou encore dit albumen dure et vitreuse, riche en protéine et gluten [4].

2.1. L'appareil végétatif

L'appareil végétatif se compose de talles chacun se développe à partir du bourgeon principal et des bourgeons axillaires ; Le nombre de brin dépend de la variété, des conditions de croissances et de la densité de plantation. Dans des conditions normales une plante peut produire trois brins en plus de la tige principale (**Bozzini, 1988**) ; Chaque talle se compose de différents phytomères formés de tige, gaine,

limbe foliaire et un bourgeon axillaire qui porte à son sommet un épi formé de deux rangées d'épillets situés de part et d'autre du rachis (**Boyeldieu, 1999**).

Le plant idéal de blé est celui qui possède les caractéristiques suivantes (**Fig. 1**) : une paille courte, une seule tige forte, un épi long et large, des feuilles petites et peu nombreuses et un système racinaire (**Hamadache, 2001**).

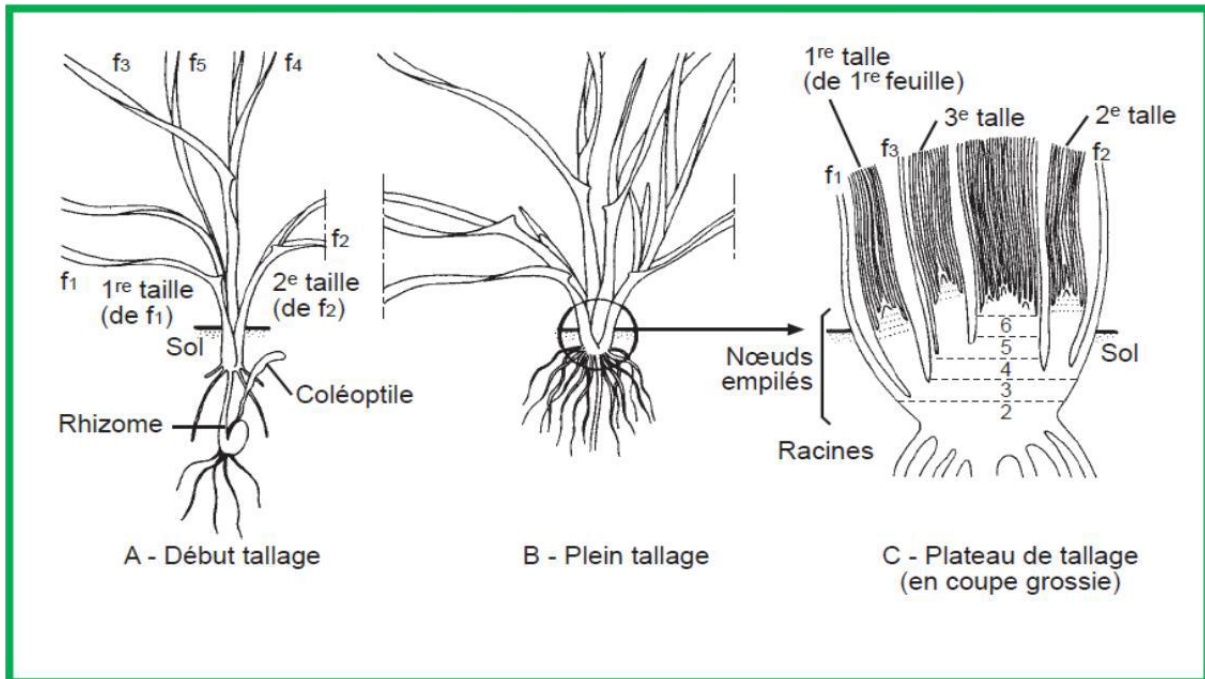


Figure 1 : les différentes étapes du stade tallage chez le blé (**Boyeldieu, 1999**)

2.2. La tige du blé dur

La tige du blé dur est subdivisée en entre-nœuds, de forme cylindrique, dressé habituellement creuse par résorption de la moelle centrale (**Fig. 2**). L'ensemble des tiges se présentent comme des tubes cannelés avec de longs et nombreux faisceaux conducteurs de sève (**Mouellef, 2010**), il existe une autre variété du blé dur qui possède une tige plane (**Clarke, 2002**).



Figure 2 : les talles du blé dur [5]

2.3. Les nœuds

Les nœuds sont des zones de croissance constituées de tissus méristématiques à partir desquels s'allongent les entre-nœuds. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille (**Hamadache, 2001**).

2.4. Feuille du blé dur

Les feuilles du blé dur (**Fig. 3**) sont larges de 7-16 mm ; faiblement poilues [2]. Elles sont alternées ligulées et engainantes ; elles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (**Clement et Prat, 1970**). Les feuilles se composent de 2 parties : la gaine et le limbe. La gaine est attachée au niveau des nœuds.

Le limbe possède à la base deux prolongements arqués qui embrassent plus ou moins complètement la tige : les oreillettes ou stipules ; La première feuille est attachée au premier nœud ; Elle donne naissance à un bourgeon à la base qui donnera naissance à la première talle primaire. La seconde feuille est attachée au second nœud et donne naissance à un bourgeon de base qui se transforme en deuxième talle primaire.

La vitesse d'apparition des feuilles ou le phyllochrone dépend surtout de la température. La somme de températures nécessaire à l'apparition d'une feuille varie entre 80 et 100° C. La vitesse d'apparition des feuilles peut être ralentie par l'excès d'eau, le déficit en azote et l'ombrage (semis dense).

Le nombre final de feuilles par plant dépend surtout de la date de semis et de la variété (paille haute, paille courte) (**Hamadache, 2001**).



Figure 3 : feuilles du blé [12]

2.5. Jonction gaine et limbe

A la soudure du limbe et de la gaine comme elle représente la **figure 4**, se trouve la ligule, une petite membrane non vasculaire entourant en partie le chaume : la ligule. Les caractères morphologiques de la ligule permettent de distinguer les espèces de céréales (blé, orge, avoine, seigle) au stade herbacé (**Hamadache, 2001**).



Figure 4 : Jonction gaine et limbe du blé dur (**Hamadache, 2001**).

2.6. La racine

L'appareil racinaire, chez le blé est formé de deux systèmes racinaires successifs, un système séminal ou primaire dont les racines fonctionnent au cours du cycle de la plante, entre 5 et 7, issues de la semence et utilisées pendant les premières phases de la croissance (levée -3-4 feuilles) et les racines adventives ou de tallage ou secondaires qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Elles sont émises par des différentes talles. Les racines secondaires (**Fig. 5**) assurent dès le second mois, la plus grande partie de la nutrition de la plante (**Hamadache, 2001**).



Figure 5 : Système racinaire du blé dur [5]

2.7. Organes reproducteurs

L'unité morphologique de base de l'inflorescence chez le blé c'est l'épillet constitué de grappe de fleurs enveloppées de leurs glumelles et incluses dans deux bractées appelées les glumes (inférieure et supérieure) (Gate, 1995).

Les organes sexuels chez le blé se composent de 3 étamines, d'un pistil. Ces organes sont situés entre la glumelle supérieure (lemme) et la glumelle inférieure (palea) de l'épillet (Hamadache, 2001).

2.8. Epillets

L'inflorescence du blé est un épi qui se compose d'un rachis sur lequel sont insérés les épillets (Fig. 6) ; chaque épillet est enveloppé par les glumes ou (bractées), la glume a une longueur de 10-12 mm, coriaces, à carène saillante, presque ailée, parfois velue à l'extrémité porte 5 à 7 petites fleurs hermaphrodites dont 3 à 4 seulement arrivent à maturité et donnent, une fois fécondées, des graines. Chaque fleur parfaite est enfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure (lemme) et la glumelle supérieure (paléa) ; Chacune compte trois étamines à anthère biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. Le nombre potentiel d'épillets par épi est une caractéristique variétale mais elle dépend aussi des conditions de culture (Bozzini, 1988).

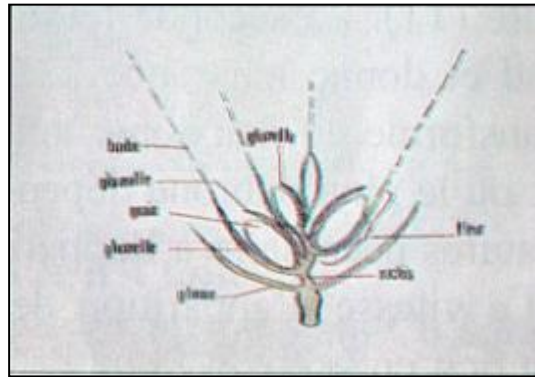


Figure 6 : Epillets du blé dur (Hamadache, 2001)

2.9. Le pistil

C'est l'organe sexuel femelle (**Fig. 7**), Il se compose de stigmate et de l'ovaire ; Le stigmate est plumeux et reçoit le pollen et assure sa germination avant de pénétrer dans l'ovaire et assure la fécondation de l'œuf (**Hamadache, 2001**).



Figure 7 : Le pistil du blé dur (Hamadache, 2001)

2.10. Les étamines

Ce sont les organes reproducteurs mâles (**Fig. 8**). Ils sont au nombre de 3. Chacun se compose d'une anthère qui condanne le pollen (gamètes mâles) et de filet. Le grain de pollen est à la fois sensible aux basses et aux hautes températures (**Hamadache, 2001**).



Figure 8 : Les étamines du blé dur [12]

2.11. Le grain du blé

Le grain du blé (Fig. 9) considéré comme un fruit sec indéhiscent. C'est un caryopse c'est à dire un akène dont l'enveloppe est intimement soudée au tégument de la graine ; le grain se compose de l'amande et l'endosperme (Dupont et Guignard, 2012). L'amande est formée de l'embryon à la base du grain et d'albumen qui sert de réserve utilisée au moment de la germination composé de 65% d'amidon, 15% de protéines, de 15% d'eau et de divers micro éléments comme le Fe, Zn, les acides gras et les vitamines (Bogard, 2011).

Les enveloppes sont riches en matières minérales en azote et en matières grasses. Ces enveloppes donneront au cours de la mouture le son (Hamadache, 2001).

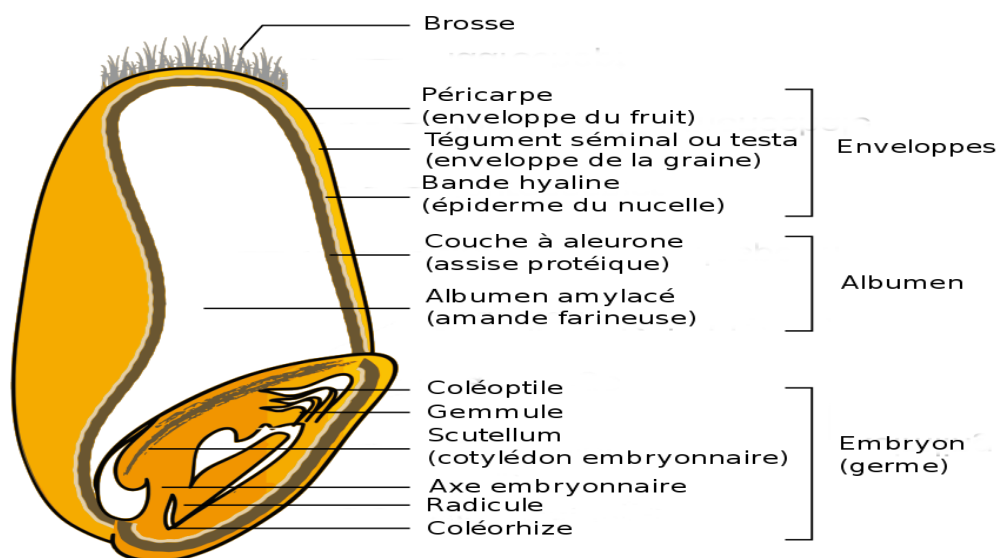


Figure 9 : Structure du grain du blé [3].

3. Classification Botanique

La plupart des céréales, herbacée, annuelle, monocotylédone, appartiennent à la famille des Graminées et/ou Poacées. Ce sont : le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet et le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées : blé, orge, avoine, et seigle et les autres à la sous-famille des Panicoïdées : maïs, riz, sorgho et millet.

Le blé dur est une céréale autogame appartenant à l'ordre des Graminales (Poales), famille des Graminae (Poaceae) (**Rudolphe, 2001**). Une classification (**Tab. 1**) détaillée est donnée par le tableau 1 (cité in **Nadjeh, 2014**).

Tableau 1 : Classification botanique du blé (**Sanah, 2015**).

Embranchment	Spermaphytes
Sous embranchment	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Commélimiflorales
Sous ordre	Poales
Famille	Graminae ou Poaceae;
Genre et espèce	<i>Triticum durum</i>

4. La céréaliculture en Algérie

La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie. En effet les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière claire à travers toutes les phases de la filière ; cependant, la production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays, La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures. Elle apparait donc comme une spéculation dominante.

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire Algérien, et elles fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire ; c'est ainsi, au cours de la période 2001-2003, les disponibilités des blés représentent un apport équivalent à 1505,5 Kcal/personne/jour, 45,533g de protéine /personne/j et 5,43g de lipide/personne /J (**Ceheam, 2007**)

Cependant La production céréalière en Algérie ne couvre plus les besoins de la population depuis 1970 et de 1995 à 2005, le marché Algérien a absorbé, en moyenne annuelle, 4244903 tonnes de blés dont 70,44% de blé dur, soit 2990265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60,36% de blé dur, soit 578 millions (**Chehat, 2007**).

5. Les conditions de culture de blé dur

5.1. La température

Pour une bonne germination, le blé dur a besoin d'un minimum de température de 3 à 5 °C. Sa température optimale de développement se situe entre 16 et 25 °C. En zone des Hauts-Plateaux, les basses températures qui coïncident avec le stade floraison (gelées printanières) sont à craindre, car elles provoquent la coulure des fleurs et affectent le rendement de la culture. Les hautes températures sèches (vents chauds), coïncidant avec le stade remplissage des grains, provoquent l'échaudage, affectant ainsi le rendement et la qualité du grain ((**ITGC, 2020**). Cependant les sélectionneurs ont créé des variétés qui s'adaptent aux situations climatiques différentes ; Certaines sont relativement résistantes au froid, d'autres murissant tôt sont cultivées dans les régions où la sécheresse est précoce (**Gauthier, 1991**).

5.2. L'Eau

La culture du blé dur convient dans les zones à pluviométrie comprise entre 400 et 600 mm. Les besoins en eau du blé dur sont plus importants entre les stades de développement montaison et remplissage des grains (**ITGC, 2020**)

5.3. La lumière

La lumière joue un rôle fondamental sur la vie et le comportement de l'espèce végétale, elle contrôle le processus de la floraison et intervienne au moment de la photosynthèse ; en effet pour avoir un bon tallage du blé nécessite un éclairage optimal (**Soltner, 1990**).

5.4. Le Sol

Selon **Soltner (2005)**, les blés préfèrent des sols :

- Limono-argileux ; pour augmenter la surface de contact des racines afin d'avoir une bonne nutrition.
- Profonds (plus de 40 cm de profondeur) ; aussi richesse et suffisante en colloïdes, pot le but d'assurer la bonne nutrition pour y avoir un niveau de rendement élevé.
- Riches en matière organique et minérale.
- A pH neutre à légèrement alcalin.

- Biens drainés.
- Ayant une bonne capacité de rétention.

6. Les agents causals des maladies du blé dur

Les céréales peuvent être attaquées par de multiples maladies durant leur cycle de développement ; et subir des pertes de rendement importantes, surtout lorsque la variété utilisée est sensible et que les conditions de l'environnement sont favorables au développement des agents pathogènes et particulièrement les agents cryptogamiques qui causent des dégâts importants.

Ces maladies peuvent être contrôlées efficacement lorsqu'elles sont détectées à temps. Les symptômes sont pour la plupart spécifiques, donc il est important de les reconnaître pour pouvoir identifier les différentes maladies qui peuvent apparaître sur les cultures de céréales, ainsi que leurs conditions de développement afin de raisonner une lutte efficace (Aouali et Douici, 2020).

Les ennemis des cultures céréalières (blé dur) se répartissent en deux catégories : les maladies, les ravageurs qui sont résumés dans les (Tab. 2) et (Fig. 10).

Tableau 2 : Quelques maladies de blé dur en Algérie (Aouali et Douici-Khalfi, 2009 ; ElYousfi, 2015)

Maladies	Agent causal)	Symptômes	Moyens de lutte
Septoriose des feuilles	<i>Septoria tritici</i>	Ils commencent par de petites taches de couleur brin rougeâtres irrégulières sur les feuilles inférieures et en particulier sur celles en contact du sol. Les taches sont d'abord délimitées par les nervures pour ensuite s'étendre longitudinalement et prendre une couleur gris clair, après l'apparition des nécroses sur le feuillage, on observe des ponctuations noires alignées parallèlement qu'on appelle pycnides	-La lutte se fait par l'utilisation de variétés tolérantes - Les rotations culturales - La fertilisation équilibrée et l'enfouissement ou la destruction des résidus de culture permettent de réduire le développement de cette maladie. -Les traitements fongiques en végétation, ainsi que le traitement de la semence pour <i>S.nodoruni</i> .
Septoriose des feuilles et des épis	<i>Septoria nodorum</i>	Ils se manifestent sur le feuillage et sur les glumes, on peut observer des taches ovales ou lenticulaires brunes, elles peuvent être entourées d'une chlorose ou d'un jaunissement périphérique, les pycnides sont de couleur brun clair moins apparentes que celles provoquées par la septoriose des feuilles.	

Tableau 2 : Quelques maladies de blé dur en Algérie (Aouali et Douici-Khalfi, 2009 ; ElYousfi, 2015)

La rouille brune	<i>Puccinia recondita f. sp. tritici</i>	Petites pustules circulaires ou ovales de couleur orange ou brune (urédospores). Apparaissent sur la face supérieure et parfois sur la face inférieure des feuilles, en fin de saison, ces pustules prennent une couleur noire (téleutospores).	- La lutte doit être essentiellement préventive afin de minimiser ou de retarder les infections des feuilles basales, pour éviter l'infection des feuilles supérieures.
La rouille jaune	<i>Puccinia striiformis.</i>	Les pustules sont sous forme globuleuse et de couleur jaune ou orange disposées en stries le long des nervures des feuilles d'où le nom de l'espèce Elles peuvent aussi se développer sur la face inférieure des feuilles et sur les épis et les grains	- La rotation culturale - L'utilisation des variétés tolérantes. -La lutte chimique en préventif.
La rouille noire	<i>Puccinia graminis f. sp. tritici</i>	Les pustules sont plus longues que celles de la rouille brune, elles sont de couleur rouge- brique à marron foncé, elles se développent sur les feuilles, les tiges et les épis.	
L'oïdium	<i>Erysiphe graminis f.sp. tritici</i>	Les premiers symptômes apparaissent sous forme d'un duvet blanchâtre ou gris pale sur les limbes des feuilles basales, puis se développent sur les feuilles des étages supérieurs en cas d'attaque sévère les taches apparaissent aussi sur les gaines des feuilles et les glumes des épis.	- L'utilisation des variétés tolérantes - Les rotations culturales. - La fertilisation équilibrée. -La lutte chimique.
Tache auréolée	<i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	La maladie apparaît sous formes de taches chlorotiques au niveau du limbe des feuilles et des nécroses sont aussi observées sous forme de losanges bordés par des zones chlorotiques.	- L'utilisation des variétés tolérantes. - Les rotations culturales. La lutte chimique.
Charbon nu	<i>Ustilago tritici</i>	Les symptômes sont observables entre la floraison et la maturité, les épis atteints sont noirs et apparaissent plus tôt que les épis sains, les épillets des plantes malades sont transformés en amas de spores brune olive foncé à noir ; les enveloppes de la gaine ainsi que leur contenu sont remplacés par une masse de spores noires	-L'utilisation des semences certifiées et désinfectées - L'utilisation des fongicides systémiques.

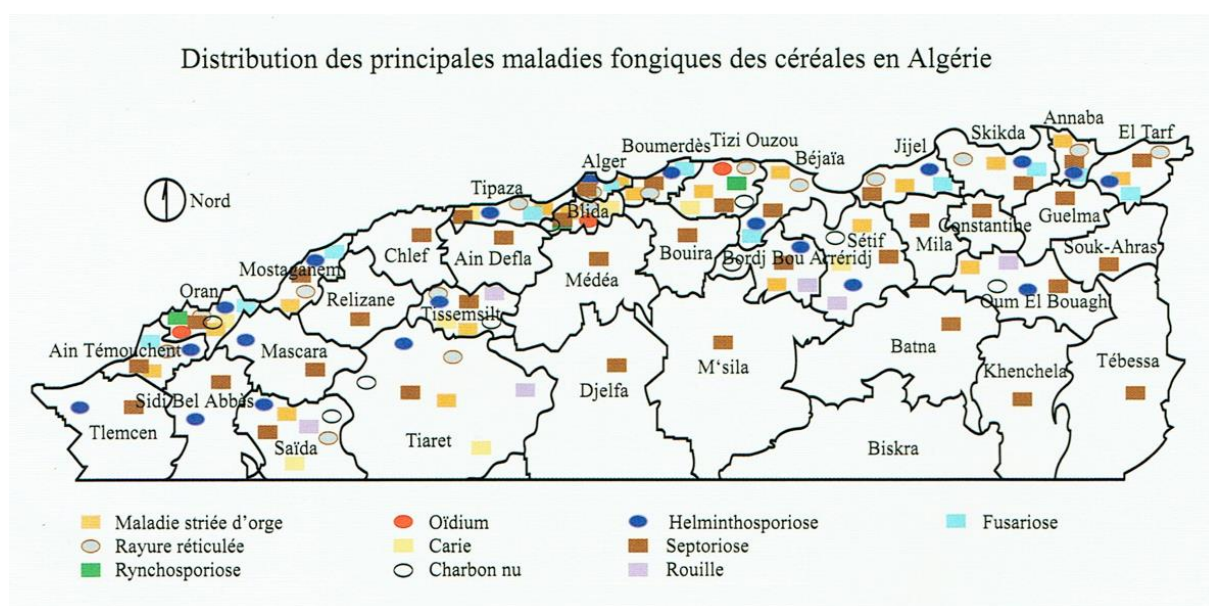


Figure 10 : Distribution des maladies fongiques des céréales en Algérie (Aouali -Douici ,2020)

On peut classifier les ravageurs en Algérie en fonction de leur période d’observation et les symptômes et dégâts (Tab. 3) ;

Tableau 3 : Les principaux ravageurs de blé dur d'après (Buisset, 2015)

Ravageurs	Période d’observation	Symptômes et dégâts
Criocerés (Lémas) <i>Ouléma melanopa</i> et <i>Ouléma lichenis</i>	Au printemps, sur les 3 dernières feuilles	Ils sont dus essentiellement aux larves qui rongent le parenchyme du limbe, mais respectent la face inférieure de la feuille. Les adultes perforent le limbe, entraînant de petites striations aux nervures. Les Lémas peuvent transmettre au blé deux viroses (mosaïques), en faisant passer les virus des rammées aux céréales.
Cicadelle <i>Psamotettix aliénas</i>	Dès le stade 1 feuille	Les cicadelles sont nuisibles de par leurs piqûres lorsqu’elles se nourrissent de la sève de la plante. Mais c’est surtout la transmission du virus de la maladie des pieds chétifs qui peut être responsable de perles de rendement. Cette transmission se fait à l’automne sur jeunes semis et les symptômes apparaissent à la reprise de végétation : plantes naines avec parfois un fort tallage, feuilles décolorées. Souvent, les pieds atteints suivent la ligne de semis.
LIMACES <i>Deroceras reticulatum</i> (gnse)	Du semis à début tallage.	Les limaces peuvent provoquer la destruction de la graine en germination. Ce sont surtout les graines en surface ou nul enterrées qui sont concernées par

et Arion hortensis (noire)		ces attaques Après La levée, les feuilles attaquées ont un aspect « effiloché », elles sont trouées et parfois sectionnées
MOUCHE GRISE Delia coarctata	Sortie d'hiver.	La feuille centrale, sectionnée par les lanes, flétnt puis jaunit. Celle-ci s'arrache alors aisément Une même lane peut s'attaquer successivement à plusieurs talles d'où des attaques parfois considérables en termes de perte de pieds, notamment en cas de dégel brutal
PUCERONS DES EPIS Sitobion avenae	Dès le stade début épiaison jusqu'au stade gram pâteux	En terme de nuisibilité, c'est surtout la dynamique de progression qui est importante. Les pucerons colonisent les feuilles supérieures puis l'épi En forte population, ils peuvent provoquer une Diminution du nombre de grams par épi et donc une diminution du rendement En outre, le nuellat produit permet le développement de fumagme
TORDEUSE Cnephasia pumicana	Fin de montaison	Les morsures de lane ont l'aspect de plages blanches sur la game de l'épi Plusieurs types de dégâts peuvent être observés : - Epis blancs : la tige est sectionnée sous l'épi (visible au mois de juin). La tige coupée se remarque au-dessus des autres épis. - Epis mutilés : l'épi est attaqué. La lane consomme le contenu des pillets. - Grams atrophiés : La Lane a sectionné une partie de la tige et le flux de sève est plus ou moms interrompu. Il y a malnutrition de l'épi et beaucoup de grams atrophiés.

Chapitre 2

Les fertilisants

1. Définition de la fertilisation

La fertilisation consiste en une gestion des apports d'engrais et d'amendements ; globalement, elle s'entend comme l'action de fertiliser le sol, c'est à dire l'exploitation d'un ensemble des techniques de fumure visant à maintenir ou à augmenter la fertilité d'un sol pour placer les plantes cultivées dans les meilleures conditions d'alimentation. Les principaux fertilisants sont l'azote N, le phosphore P et le potassium K, ils sont parmi les principaux éléments nécessaires pour la plante, ceux dont la disponibilité dans les sols cultivés pose généralement problème. On abrège leur composition par le symbole NPK [1].

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. La fertilisation raisonnée

La fertilisation raisonnée a pour objectif de mettre en œuvre des pratiques prenant en compte les données et contraintes techniques, économiques, environnementales et réglementaires actuelles pour répondre à une notion qui se veut nouvelle « d'Agriculture raisonnée ». Ceci ne signifie pas, qu'antérieurement, les agriculteurs ne raisonnaient pas leurs pratiques. Leur raisonnement intégrait les connaissances et les moyens matériels disponibles, les contraintes et les objectifs socioéconomiques ou environnementaux, implicites, liés à un contexte différent de celui que nous connaissons aujourd'hui (Schvartz et al., 2005).

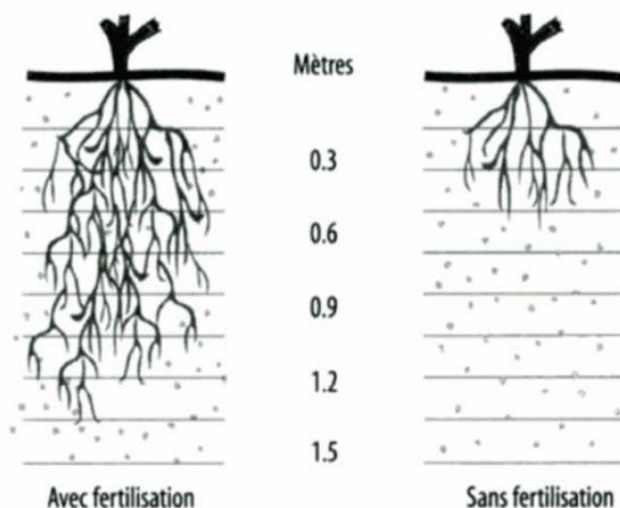


Figure 11 : la profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation (FAO, 2003).

3. Éléments minéraux indispensables à la croissance

Pour assurer sa croissance et son développement, la plante sélectionne et prélève les éléments dont elle a besoin dans le milieu environnant (Fig. 12) : le carbone à partir du dioxyde de carbone

atmosphérique, l'oxygène dans l'air et dans le sol et enfin l'eau et les autres éléments nutritifs qu'elle contient principalement à partir du sol, et de la lumière. La grande majorité des plantes exigent 16 éléments nutritifs. Les éléments ci-après proviennent :

- **De l'air :** Le carbone (C) sous forme de CO_2 (Anhydride carbonique) ;
 - **De l'eau :** L'hydrogène (H) et l'oxygène (O) à l'état d'eau (H_2O) ;
 - **Du sol et des engrais minéraux et organiques :**
- ❖ **Des éléments de Base (macro éléments) :** L'azote (NO_3^-) ou (NH_4^+), le phosphore (H_2PO_4^-), le potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le soufre (SO_4^{2-}).
- ❖ **Des micro éléments :** Le fer (Fe^{2+}) ou (Fe^{3+}) selon les espèces, le manganèse (Mn^{2+}), le zinc (Zn^{2+}), le cuivre (Cu^{2+}), le bore (H_2BO_3^-), le molybdène (MoO_4^{2-}), et le chlore (Cl^-) (**Morot-Gaudry et al., 2009**).

Les micro éléments se trouvent habituellement en quantité suffisante dans le sol, et ne devraient être ajoutés qu'en cas de constatation de carence (**anonyme, 2017**).

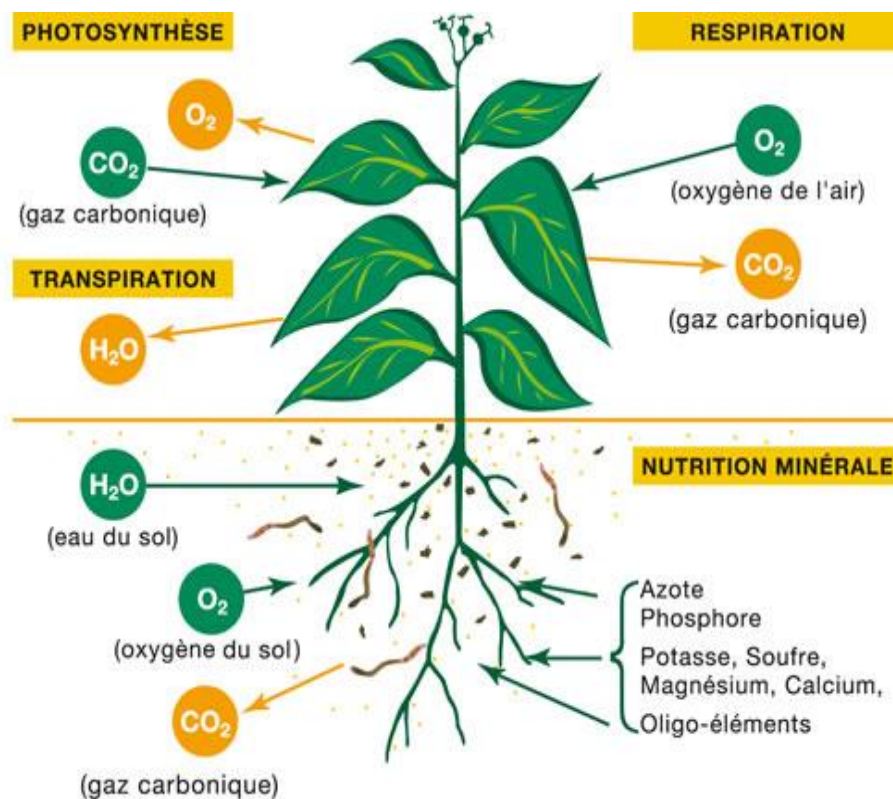


Figure 12 : Nutrition de la plante (**Anonyme, 2017**)

3.1. Les macro-éléments

Les macro-éléments (autre C, H et O), sont ceux qui sont requis en grande quantité par la plante afin d'assurer sa croissance et son développement. Les macro-éléments sont l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, magnésium, le soufre. Chacun d'entre eux représente au moins 0,1% de la matière sèche de la plante (**Morot-Gaudry et al., 2009**).

3.2. Les micro-éléments

Pour les micro éléments, comprennent le bore, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène et le zinc. Les quantités d'oligo-éléments assimilées par les plantes sont infimes par rapport à celles des éléments fertilisants majeurs que sont l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium, mais leur rôle dans la nutrition globale de la plante est quand même crucial (**Morot-Gaudry et al., 2009**). En règle générale, les concentrations d'oligo-éléments dans le sol sont beaucoup moins élevées que celles des éléments nutritifs majeurs. Le pH du sol, sa matière organique, sa teneur en argile et sa minéralogie font varier les teneurs en oligo-éléments. L'estimation de la biodisponibilité des oligo-éléments est de ce fait plus aléatoire que celle des éléments majeurs [2].

4. Les engrais

Les cultivateurs, d'aujourd'hui, utilisent inévitablement des engrais afin de gérer au mieux la qualité et la quantité des rendements et leurs exploitations. Ils peuvent être de natures chimiques ou organiques, avec un impact considérable sur l'environnement, s'ils ne sont pas utilisés de manière responsable. Les engrais ont été utilisés depuis l'antiquité lorsque des phosphates d'os (calcinés ou non), de l'azote provenant de déchets animaux et humains ou du potassium provenant des cendres ont été ajoutés au sol empiriquement [3].

4.1. Définition

Les engrais sont des substances dont la principale fonction est de fournir des éléments nutritifs aux plantes. La composition essentielle d'un engrais est indiquée sous la forme NPK, lequel donne les ratios de composition en azote, phosphore et potassium [1].

Testud (2004), a défini les engrais comme l'ensemble des matières fertilisantes épandues à la surface des sols et destinées à apporter aux végétaux les éléments indispensables à la constitution de leurs tissus.

4.2. Types des engrais

Selon la forme de l'engrais (engrais solide et engrais liquide), leur effet (engrais à action rapide, engrais à libération lente, engrais de dépôt) et la manière dont il est lié, 3 grandes catégories d'engrais ont été distingués :

4.2.1. Engrais minéraux

Les engrais minéraux à usage agricole se présentent en général sous forme de granulés sphériques de 2 à 3 mm de diamètre (**Fig. 13**) ; ils sont épandus de manière mécanique, soit par gravité, soit à l'aide d'appareils centrifuges ou pneumatiques générant des poussières. Il existe également des formes liquides pour pulvérisation ou injection dans le sol. Les engrais à usage domestique (pour plantes d'intérieur ou pour le jardinage) sont usuellement des concentrés liquides à diluer, parfois des granulés ou des bâtonnets imprégnés. Les engrais minéraux peuvent être des engrais simples (azoté [N], phosphaté [P] ou potassique [K]) ou des engrais composés, binaires (NP, NK, PK) ou bien ternaires (NPK) (**Testud, 2004**).

4.2.2. Engrais gazeux

Parmi les engrais gazeux les plus utilisés en agriculture particulièrement en culture en serre et en aquariophilie le dioxyde de carbone CO₂ comme fertilisant gazeux (**Fig. 13**) important pour ces cultures. La carence en CO₂ résultant de la consommation photosynthétique avec une alimentation insuffisante en air frais, surtout en hiver avec ventilation fermée. Les plantes ont besoin de carbone comme substance de base. L'augmentation potentielle du rendement dépend de l'importance de la présence de CO₂ et de l'importance de l'apport de lumière (photosynthèse) pour les plantes. En aquarium, le gaz carbonique est supplémenté par des kits CO₂ spécifiquement conçus pour l'injection dans l'eau [1].

4.2.3. Engrais organiques

Pour ce type d'engrais (**Fig. 13**), les éléments fertilisants sont principalement liés dans des composés organiques réduits contenant du carbone. Dans le cas où ces composés sont partiellement oxydés, comme dans le compost, les minéraux fertilisants sont adsorbés sur les produits de décomposition (acides humiques). En conséquence, ils ont un effet plus durable et sont généralement moins rapidement éliminés que les engrais minéraux. Les engrais organiques sont généralement d'origine animale ou végétale comme des déchets provenant de l'agriculture (fumier), mais peuvent également être synthétisés. Les engrais conduisent également à une teneur plus élevée en humus et à une meilleure qualité du sol. Des exemples d'engrais organiques sont : le jus d'algues, la farine animale, la farine de poisson, le guano, l'urée, les broyats d'os ou de cornes, les restes de plantes compostées (compostage), les boues d'épuration, la vinasse... [1].

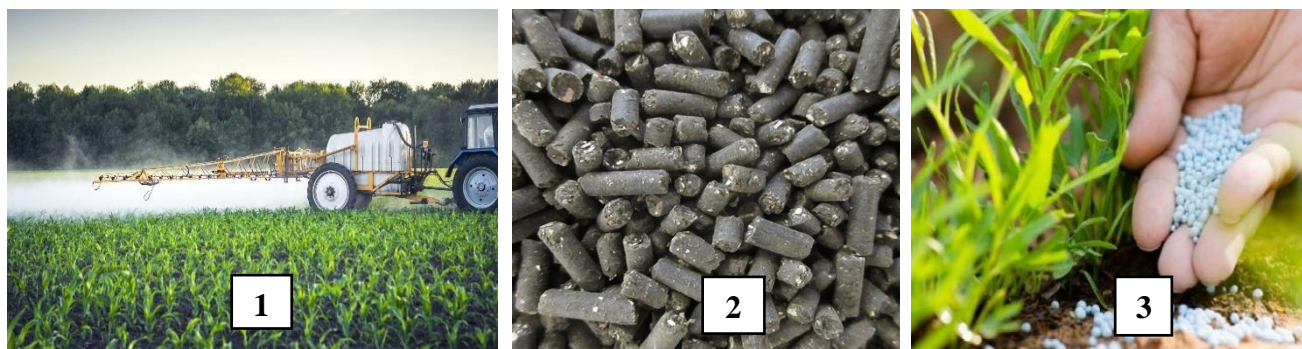


Figure 13 : Les trois types des engrais, gazeux (1), organiques (2), et minéraux (3) [9].

4.3. Les différentes catégories de la fertilisation

4.3.1. Azote (N)

D'après **Pousset (2000)**, l'azote est le macro-élément 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**).

4.3.1.1. L'origine dans le sol

Dans la nature, l'azote est présent sous deux états : à l'état libre (N_2) dans l'atmosphère et à l'état combiné, sous forme minérale (ammoniacale et nitrique essentiellement, les nitrites très toxiques n'ont qu'une présence éphémère) ou organique. Les matières organiques du sol (MOS), constituent le troisième réservoir d'azote de la terre après l'atmosphère et les océans. La masse d'azote, presque exclusivement organique, contenue dans les sols cultivés, atteint souvent 3 à 5 tonnes par hectare. Elle est principalement localisée dans la couche labourée (0-30 cm environ). Dans les prairies naturelles, l'accumulation peut aller jusqu'à 10 tonnes d'azote par hectare. Dans le sol l'azote minérale peut être présent sous 3 formes : l'ion ammonium (NH_4^{+}) ou azote ammoniacal, l'ion nitrite (NO_2^{-}) ou azote nitreux et l'ion nitrate (NO_3^{-}) ou azote nitrique. En dehors des périodes suivants immédiatement les apports d'azote par les engrais et les amendements organiques, la quantité d'azote minéral présente dans le sol n'excède généralement pas quelques dizaines de kilogramme par hectare (**Schvartz et al., 2005**).

4.3.1.2. La forme absorbée par la plante

Les plantes absorbent l'azote à partir de la solution du sol et des films d'eau à la surface des feuilles (cas d'une pulvérisation foliaire). L'utilisation de l'azote par les végétaux supérieurs se fait généralement par l'absorption du nitrate au niveau des racines. L'apport combiné de nitrate et d'ammonium donne naissance à une croissance et à un développement optimum pour la plupart des plantes cultivées. De nombreux essais scientifiques démontrent qu'il y a généralement des différences très peu significatives

entre ses différentes sources d'azote. L'élément le plus souvent déterminant dans le choix d'une forme ou l'autre (apport de nitrate ou d'ammonium) reste souvent le coût, la manipulation et la vitesse de réponse recherchée. L'azote sous forme de nitrate (NO_3^-) produit un effet rapide sur la plante (la forme la plus absorbée), mais cette forme est facilement lessivée puisqu'il est faiblement retenu par le sol, tandis que l'ammonium (NH_4^+) est mieux retenu par le sol mais la réponse de la culture à son apport reste relativement tentée [4].

4.3.1.3. Rôle physiologique de l'azote

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

- La synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale ;
- La multiplication des chloroplastes, puisque la chlorophylle est une substance azotée d'où la couleur vert foncé des plantes après un apport d'azote.
- La synthèse des glucides grâce à l'augmentation du nombre de chloroplastes.
- La constitution des réserves azotées dans les graines.
- C'est un facteur de rendement, et parfois de qualité, puisqu'il augmente la teneur en protéines des céréales.
- La multiplication cellulaire donc la croissance des tissus (**Soltner, 2003**).

4.3.1.4. Exigences azotées chez le blé

Les besoins en azote des blés dur varient selon la variété et la région de production. La qualité du blé dur dépend étroitement de sa teneur en protéines. La conduite de la fertilisation azotée est primordiale pour obtenir des blés de qualité supérieure (choix de la dose, du mode de fractionnement et de la forme). Toutes les formes d'azote n'ont pas la même efficacité, en particulier sur la teneur en protéines. Les formes ammonitrate ou urée sont plus efficaces et sont à privilégier pour les apports tardifs. De même, il a été prouvé que l'azote apporté tardivement est plus absorbé par la plante ce qui augmente la teneur en protéines. Un report de 40 unités d'azote au stade dernière feuille étalée permet une augmentation d'au moins 0,5% de teneur en protéines. Ces mises en réserves peuvent être supérieures, notamment dans le cas de fortes doses totales ou dans des situations à faibles fournitures d'azote. Lorsque le report est supérieur ou égal à 60 unités, il peut être fractionné en deux. Dans ce cas, le dernier apport est spécifique de la qualité et sera efficace jusqu'au stade sortie des barbes [5].

4.3.1.5. Les dynamiques de l'azote dans la plante

Nitrate (NO_3^-) et ammonium (NH_4^+) sont les deux principales formes de N assimilées par les espèces non légumineuses. Le nitrate (NO_3^-) est la principale source de N pour des plantes cultivées sur des sols

agricoles bien aérés, tandis que le NH_4^+ est la principale source de N dans le cas de sols acides ou imbibés d'eau (comme pour la culture inondée du riz), ou sous des climats froids dans lesquels la nitrification est inhibée. Dans le cas du blé, c'est donc le (NO_3^-) qui est absorbé majoritairement par les plantes (**cité in Bertheloot, 2009**).

4.3.1.6. Le cycle de l'azote dans la biosphère

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 (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. 14**).

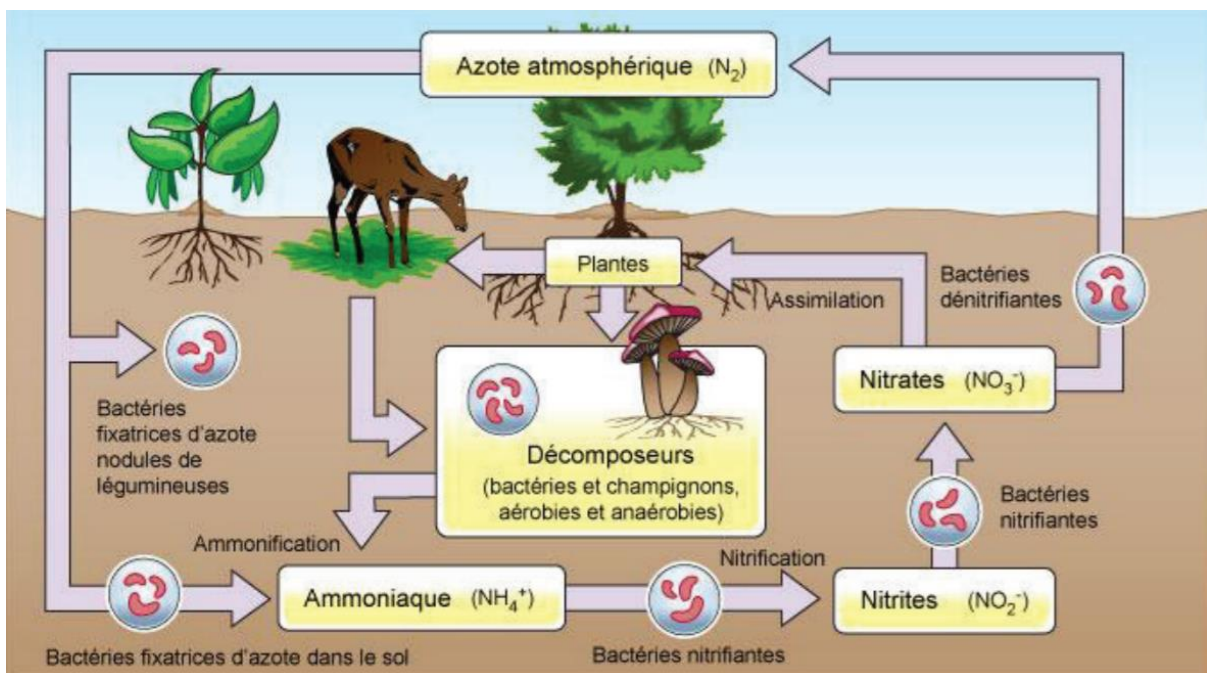


Figure 14 : Cycle de l'azote dans la biosphère [9].

4.3.2. Phosphore (P)

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**).

4.3.2.1. 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**).

4.3.2.2. La fertilisation phosphatée

La fertilisation phosphatée a pour objectif de satisfaire les besoins en phosphore de la plante selon les objectifs de rendement et de qualité, et donc de compléter l'offre du sol en maintenant son potentiel de production. La stratégie actuelle se fonde en premier lieu sur les besoins des plantes cultivées et ensuite sur la biodisponibilité en phosphore de la parcelle. Les critères principaux à prendre en compte sont : l'exigence en P_2O_5 de la culture, l'analyse de terre, le passé récent de fertilisation et les exportations de la culture (**Anonyme, 2005**).

4.3.2.3. La forme absorbée par la plante

Dans la plante, le phosphore se trouve surtout sous la forme de phosphoesters, 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 $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} 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].

4.3.2.4. Rôle physiologique du phosphore

Le phosphore joue des rôles primordiaux dans le fonctionnement biologique des plantes puisqu'il participe à de nombreux processus physico-chimiques, biologiques et enzymatiques. Il est l'un des principaux constituants des acides nucléiques en joignant les nucléotides. Il est aussi un des constituants des phospholipides des membranes végétales (**Sanchez et al., 2009**). Le phosphore active la croissance des bourgeons et des racines et joue aussi le rôle d'activateur dans la mise en réserve des glucides. Le P est mis en réserve dans les grains/graines sous forme de phytate (**Leroy, 2006 cité in Gherairia et Zardoudi**).

4.3.2.5. Exigences nutritionnelles en phosphore des cultures

En générale l'absorption du phosphore par les plantes est à peu près terminée vers la fin de la période de croissance maximale. La production de 1 g de matière sèche par une plante requiert un prélèvement d'environ 3 mg de P (**Fardeau, 1993**).

Aussi, les cultures peuvent être classées selon leurs exigences en P (**Tab. 4**).

Tableau 4 : Classification des cultures selon leur exigence en P (**Snoussi et Haltim, 1996**)

P₂O₅	
Culture très exigeantes	Colza, pomme de terre, betterave.
Cultures exigeantes	Blé sur blé, orge, chou, prairie, féverole, pois, maïs ensilage, sorgho.
Cultures peu exigeantes	Blé, maïs grain, lupin, soja, tournesol, triticale, avoine, seigle, épeautre.

4.3.3. Le potassium (K)

Le potassium est indispensable à la vie : il participe directement à la formation et à la croissance des cellules (**Anonyme, 2005**).

4.3.3.1. Sources du potassium

Le potassium n'est présent dans le sol que sous forme minérale. En effet, le potassium des résidus végétaux est presque exclusivement du K⁺, libéré dans le sol dès la mort des cellules. La minéralisation de la matière organique.

Il se trouve dans le sol sous quatre formes :

- En solution dans l'eau du sol
- Adsorbé à la surface des particules d'argile et d'humus (complexe adsorbant) : il sert à compenser les prélèvements effectués par les racines dans la solution du sol. C'est donc l'ensemble du potassium de la solution du sol et du complexe adsorbant qui est utilisable par la plante.
- Inclus pour la plus grande partie entre les feuillets des argiles : cette forme non échangeable est très lentement libérée lorsque le sol s'appauvrit en potasse échangeable. Il est de l'intérêt de l'agriculture intensive de ne pas compter sur elle, ce qui nécessite le maintien du potassium échangeable à un bon niveau.

- Entrant dans la constitution des minéraux primaires (roche mère) : cette forme est très lentement libérée au cours des processus d'altération. (Anonyme, 2005).

4.3.3.2. Le cycle de potassium

Le recyclage d'éléments nutritifs contenus dans les matières organiques de toute nature : effluents d'élevage, résidus de culture (pailles, fanes, verts...) et autres sous-produits organiques issus des activités humaines, constitue une ressource importante pour la fertilisation.

1. Le potassium est extrait des mines sous forme principalement de mélange de sels de sodium, de potassium et parfois de magnésium. Il subit une purification pour être transformé en engrais utilisable en agriculture.
2. Le potassium évolue dans le sol sous sa forme minérale de cation K^+ . Il est peut-être fixé aux argiles, adsorbé sur la capacité d'échange cationique (CEC) et soluble dans l'eau du sol.
3. La lixiviation du potassium soluble présent dans l'eau du sol (entraînement en profondeur par l'excès d'eau du sol) est un phénomène plus important dans les sols sableux à faible CEC.
4. L'entraînement du potassium hors de la parcelle se fait aussi par ruissellement (terrains en pente) et érosion (potassium lié aux particules solides).
5. L'absorption racinaire des végétaux se fait exclusivement à partir du potassium K^+ dissous dans la solution du sol.
6. La récolte est transformée en nourriture (humaine ou animale), ce qui est l'objectif fondamental de l'agriculture. (Anonyme, 2005)

4.3.3.3. Le potassium dans la plante

Le potassium est toujours abondant dans la matière sèche des végétaux : de 0,5 à 1,5 % dans le grain et les pailles de blé, de 2 à 4 % dans les tubercules et fanes de pommes de terre, et jusqu'à 6 à 7 % dans les épinards et les champignons (Fig. 15).

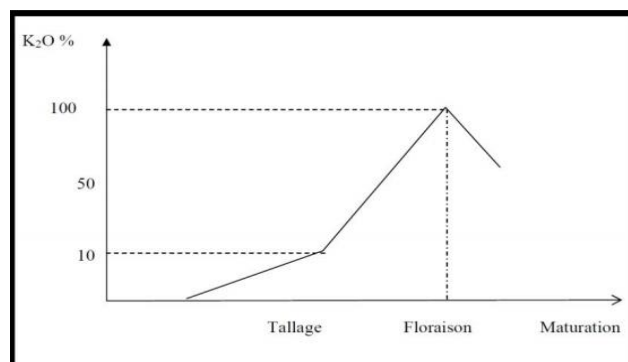


Figure 15 : Courbe d'absorption de K_2O chez les céréales (Duthil, 1973).

4.3.3.4. Rôle physiologique du potassium

Le potassium joue un rôle multiple dans la plante :

- Il intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules et régularise les échanges intra cellulaires.
- Il active la photosynthèse et favorise la formation des glucides (sucres, amidon) dans la feuille et leur accumulation dans les organes de réserve (racines des betteraves, tubercules des pommes de terre). C'est pourquoi les plantes racines et les tubercules répondent particulièrement bien aux engrais potassiques.
- Il participe à la formation des protéines, intervient dans les processus d'évolution des composés azotés dans la plante et favorise leur migration vers les organes de réserve. Les besoins en potassium sont d'autant plus grands que la fertilisation azotée est plus importante : l'effet de l'azote est renforcé par le potassium et réciproquement ; c'est le phénomène d'interaction positive.
- En réduisant la transpiration, le potassium diminue les besoins des plantes en eau, augmente leur résistance à la sécheresse et assure une meilleure efficacité de l'irrigation (**Anonyme, 2005**).

4.3.3.5. Fertilisation potassique

Pour déterminer le niveau de la fumure potassique, il faut tenir compte :

a. La teneur du sol en Potassium

La teneur en potassium échangeable est donnée par l'analyse du sol. Si la terre est suffisamment pourvue, on appliquera une fumure d'entretien afin de maintenir l'équilibre, dans le cas contraire, on utilise une fumure de correction pour augmenter le niveau de réserve.

b. Exportation de potassium

Chaque fois qu'on effectue une récolte, on prélève dans le sol une partie de son stock alimentaire (**Bayens, 1967**). Le seul retour au sol de quantités d'éléments minéraux égales aux exportations d'une culture, sous forme de fumure organique et d'engrais minéraux, ne suffit pas à améliorer la fertilité, donc les rendements. Ainsi, on doit tenir compte des pertes en éléments fertilisants par lessivage, érosion. Par exemple les pertes en zones humides peuvent être les suivantes :

- 0 à 10 Kg/ha de K₂O en terre argileuse ;
- 10 à 20 Kg/ha de K₂O en terre limoneuse ;
- 20 à 30 Kg/ha de K₂O en terre sableuse (**cité in boumaaza,2019**).

5. Les carences d'engrais NPK

5.1. Carence en azote

L'azote est un constituant de nombreuses molécules importantes comme les protéines, les acides nucléiques, certaines hormones (par exemple l'acide -3-indole acétique, les cytokines) et la chlorophylle. Il n'est donc pas surprenant que la plupart des symptômes d'une carence en azote, se manifestent par une lente réduction de la croissance ainsi que par une chlorose générale des feuilles (**Fig. 16**). L'azote est fortement mobile dans la plante. Lorsque les feuilles les plus âgées jaunissent et meurent, l'azote essentiellement sous forme d'amines ou d'amides solubles, et mobilisé dans les feuilles le plus et exporté vers les feuilles les plus jeunes qui se développent le plus rapidement. Par conséquent les symptômes de carence en azote apparaissent dans les feuilles les plus âgées et n'apparaissent dans les feuilles les plus jeunes que lorsque la carence devient sévère. A ce moment, les feuilles les plus vieilles deviendront complètement jaune ou brunes et tombent (**Hopkins, 2003**).



Figure 16 : Symptômes de carence en azote [5].

5.2. Carence en phosphore

La manifestation la plus caractéristique d'une carence en phosphore est une intense coloration verte des feuilles. Dans des cas extrêmes, les feuilles subissent des malformations et présentent des taches nécrotiques (**Fig.17**). Dans certains cas, les anthocyanes s'accumulent également conférant aux feuilles une coloration qui varie du vert foncé ou pourpre. Comme l'azote, le phosphore est facilement mobilisé et redistribué dans la plante, provoquant une sénescence rapide puis la mort des feuilles les plus âgées. Les tiges sont généralement raccourcies et plus minces, de plus la production de fruits ou de semences est fortement réduite (**Hopkins, 2003**).

La pointe des vieilles feuilles rougit puis se nécrose. Un jaunissement de la pointe des vieilles feuilles peut également être observé, un tallage est réduit avec un rougissement des gaines [7].



Figure 17 : Les différents symptômes de carence en phosphore chez le blé [5].

5.3. Carence en potassium

Les symptômes de carence apparaissent d'abord dans les feuilles les plus âgées, qui présentent un aspect tacheté ou des signes de chlorose qui sont suivis de lésions nécrotiques (zones de tissu mort) sur le bord des feuilles (**Fig.18**). Chez les monocotylédones, et particulièrement chez le maïs et d'autres céréales, les lésions de nécrose débutent à la pointe de la feuille, constituée des cellules les plus vieilles, puis progressent graduellement le long des bords vers les cellules plus jeunes de la partie basale de la feuille. Les feuilles sont raccourcies et moins rigides et leur sensibilité aux champignons responsables de la pourriture des racines est accrue. Il en résulte que les plantes carencées en potassium versent facilement (**Hopkins,2003**).



Figure 18 : Carence en potassium chez le blé (chlorose) [5].

6. Excès et effets nocifs des engrais (NPK)

L'utilisation non raisonnée des engrais nuit à l'environnement et en particulier aux sources d'eau ainsi qu'à la santé de l'être humain à travers la nourriture.

6.1. Sur l'environnement

En agriculture, les engrais chimiques sont administrés en vue d'augmenter le rendement des cultures. Ils sont responsables d'une pollution massive des sols, mais sont surtout la cause majeure de pollution des eaux souterraines, principaux réservoirs d'eau potable [7].

Les engrais minéraux, bien plus que les engrais organiques, peuvent être très néfaste pour l'environnement et ses différents écosystèmes. Si leur utilisation n'est pas effectuée dans un cadre mesuré, leur surconsommation apporte des transformations radicales des sols, mais aussi une surabondance néfaste dans les eaux. Par exemple les engrais azotés polluent en particulier les eaux souterraines et les nappes phréatiques, arrivant ainsi jusque dans les boissons des hommes. Un danger en particulier pour les nourrissons [3].

6.2. Sur la plante

Un excès d'azote stimule une croissance exubérante de la partie aérienne, favorisant ainsi une augmentation du rapport tiges feuillées/racines et retardant la mise à fleur de nombreuses espèces cultivées. Pour le phosphore, il a des effets inverses de ceux de l'azote, en ce sens qu'il stimule préférentiellement la croissance des racines comparés à celle des tiges feuillées, diminuant ainsi le rapport tiges feuillées/racines. Des engrais à forte teneur en phosphore, comme la farine d'os, sont souvent appliqués lors de la transplantation d'espèces pérennes afin de favoriser la mise en place d'un système racinaire vigoureux (**Hopkins, 2003**). Un excès de potassium sature d'eau des feuilles et les récoltes. Il provoque également une carence en magnésium et en bore (**Van Schöll, 2005**).

6.3. Sur la santé humaine

De nombreux agriculteurs utilisent des engrais (minéraux ou organiques, solides ou liquides ...) de façon fréquente, intensive et prolongée. L'utilisation massive des engrais, produits fertilisants des récoltes, par épandage ou pulvérisation, présente des risques pour l'environnement (sol, eau, air) mais aussi chimiques et/ou biologiques pour la santé des agriculteurs exposés. Par ailleurs, l'utilisation d'engins et machines agricoles de traction et d'épandage est dangereuse : chutes et renversements des tracteurs, coincements, écrasements, happements par les accessoires des machines en rotation ... Outre leur toxicité environnementale et sanitaire, certains engrais solides à base de nitrate d'ammonium sont explosifs dans des conditions particulières.

En cas d'incendie de leur lieu de stockage, certains engrais sont susceptibles de se décomposer et de libérer des gaz toxiques. Comme pour toute activité susceptible de présenter un risque d'exposition à des agents chimiques et/ou biologiques, l'employeur doit procéder à une évaluation des risques encourus pour la sécurité et la santé des travailleurs, limiter l'usage des engrais au strict nécessaire, adopter de bonnes pratiques et d'hygiène au travail, former ses salariés et mettre à leur disposition les équipements de protection individuelle adéquats (combinaison, gants, bottes, masque) pour éviter tout contact et inhalation de poussières ou émanations gazeuses d'engrais [7].

Chapitre 3

Matériel et méthodes

1. L'objectif de l'essai

Le travail a pour objectif de mise en évidence de l'effet de la fertilisation NPK sur l'amélioration de la Production de la culture de blé, et aussi de l'intérêt de cette fertilisation sur le blé par le principe des 4Rs (Bonne source, bonne dose, bon moment d'application pour une zone donnée).

2. Caractéristiques du site d'essai

2.1. Localisation

L'essai a été effectué durant la campagne agricole 2020-2021 au niveau de la station expérimentale et l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C) de la wilaya de Guelma (**Fig. 21**).

Cette station se situe au sud-ouest de la ville de Guelma à une altitude de 272 m, latitude 36° et longitude 7°4 (ITGC Guelma, 2021), la station s'étale sur 38ha, dont 34ha pour la multiplication de semences et 4ha pour les essais d'expérimentations, notre parcelle d'essai (**Fig. 20**) se situe au nord de la station sur une superficie de 6 417 m² (**Fig. 19**).

Sous l'autorité de la directrice, l'organisation interne de la ferme de démonstration et de production de semences de Guelma, comprend les services suivants :

- ❖ Service de l'obtention variétale et de production de semences.
- ❖ Service d'agrotechnie.
- ❖ Service d'appui au développement.
- ❖ Service de l'administration générale (ITGC Guelma, 2021).



Figure 19 : Photo satellite montre la localisation du site d'expérimentation (Google Earth, 2021)



Figure 20 : Parcelle de l’essai (photo personnelle) **Figure 21 :** ITGC de Guelma (photo personnelle)

2.2. Caractéristiques climatiques

La station est située dans l'étage bioclimatique Sub-humide à hiver doux caractérisé par une saison pluvieuse allant d'Octobre à Mai. Suivi d'une saison sèche de juin à Septembre.

2.2.1. La pluviométrie

En Algérie la production céréalière est étroitement liée aux quantités de pluies tombées et à leur répartition dans le temps. Dès la germination l'eau se comporte en facteur limitant de la croissance, les besoins en eau durant le cycle de développement sont en fonction des stades végétatifs et des conditions climatiques (Bouasla, 2001).

Ce paramètre est déterminé par la quantité de pluie mensuelle accumulée et le nombre de jours de pluie mensuelle présenté dans le **tableau 5**

Tableau 5 : Moyenne mensuelle des précipitations pour la région de Guelma durant la campagne : Septembre 2020 - 20 août 2021 (ITGC-Guelma, 2021).

Année	2020				2021								Cumul
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Jui.	Jui.	Août	
Pluie enregistrée (mm)	53	23	145	129	53	11	61	48	25	2	0	0	550

2.2.2. Température

Ce paramètre constitue un des facteurs déterminants du comportement des végétaux dans leur milieu surtout lorsqu'il s'agit d'espèce résistants à des conditions extrêmes telles que les céréales. Le métabolisme de la plante ainsi que la respiration et la photosynthèse des céréales varient nettement en fonction de la température (Bouasla, 2001).

Les paramètres thermiques mensuels sont indiqués dans le **tableau 6**.

- Température minimales m.

- Température maximales M.
- Température moyenne et l'amplitude thermique M - m.

Tableau 6 : Température moyenne mensuelle de la région de Guelma durant la campagne septembre 2020 – 20 août 2021 [8].

Année	2020				2021							
Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Jui.	Jui.	Août
Température (C°)												
T. Max Moy.	30,1	26,1	22,6	16,6	17,3	20,8	19,2	22,5	27,7	33,7	37,8	39,3
T. Min Moy.	17,2	10,9	10,8	7,5	6,2	6,8	6,0	8,9	13,1	17,8	19,1	21,2
T. Moy.	23,7	18,5	16,7	12,1	11,7	13,8	12,6	15,7	20,4	25,7	28,5	30,2

D'après le (Tab. 6), les températures moyennes mensuelles sont relativement saisonnières avec un hiver doux (9 à 12 °C) qui se prolonge jusqu'au printemps.

3. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé est une variété de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Vitron (dénomination locale : Hoggar) d'origine espagnole fourni par (ITGC) de Guelma (Fig. 22), dont les principales caractéristiques sont résumées comme suit :

Caractéristiques morphologiques

Epi : demi-lâche, blanc.

Paille : moyenne.

Grain : roux, moyen.

Caractéristiques culturales

Cycle végétatif : précoce.

Tallage : moyen

Comportement à l'égard des maladies

-Peu sensible à l'helminthosporiose.

-Moyennement tolérante aux rouilles.

Caractéristiques technologiques

-Légèrement sensible au mitadinage et à la moucheture.

-PMG : élevé

Productivité

Bonne.

Zone d'adaptation

Hauts plateaux et zones sahariennes.

Conseil de culture

- Tolérante à la verse
- A semer en novembre (ITGC Guelma, 2021).



Figure 22 : Variété de blé expérimentée (Vitron) (photo personnelle).

4. Engrais utilisés

Dans le cadre de notre expérimentation trois types d'engrais fournis par l'FDPS de Guelma (ITGC-Guelma) sont utilisés :

4.1. Engrais de fond

4.1.1. Triple super phosphate

TSP 00-46-00, engrais granulé.

Le superphosphate est un engrais minéral phosphaté. Bien connu des agriculteurs, le superphosphate triple TSP est obtenu par attaque chimique acide d'une roche phosphatée par de l'acide phosphorique. Il s'agit de la forme de superphosphate la plus efficace [13].

Pour l'utilisation, le TSP peut être directement appliqué pour la fertilisation des sols.

5.1.2. Caractéristiques

- Couleur Grise
- Etat physique Granulé
- Formule chimique $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- pH de solution 3
- Teneur en P 45 % P_2O_5 (0-45-0)
- Teneur en Ca 15 % de Ca
- Solubilité de P dans l'eau en général > 90 %

4.2. Engrais de couverture

4.2.1. Urée 46% (engrais azoté)

NPK 46-0-0

L'urée 46 granulé est l'un des engrais sous forme granulée les plus utilisés par les agriculteurs. Il possède certains avantages non négligeables tels que ses capacités à se stocker facilement, à déplacer ou utiliser. Il est à base d'azote uréique (à 46%). Cet engrais azoté permet une alimentation des cultures de manière progressive en azote. Son processus d'action appelée l'hydrolyse (minéralisation de l'urée) va dépendre de l'activité microbienne et des conditions de températures [9] ; et son application est recommandée avant une pluie et il doit être enfoui afin d'éviter, d'éventuelles pertes par volatilisation.

4.2.2. Composition

- 46% Azote sous forme urée (H_4CON_2)
- 0% Phosphate
- 0% Potasse

5.2.3. Caractéristiques

- Couleur Blanche
- Azote total 46%
- Humidité 0,5% max
- Biuret 1% max
- Granulométrie 1-4 mm 90 %
- Conditionnement Sac polypropylène de 50kg
- Domaines d'applications Polyvalents

4.3. Engrais potassique

4.3.1. Sulfate de potasse K(50) S(44)

Le Sulfate de potassium (sous forme de cristaux) est un engrais de couverture hautement concentré en deux éléments, le potassium et le soufre. Il contient des éléments facilement solubles dans l'eau. Ainsi le potassium et le soufre sont immédiatement disponibles pour la plante, aussi il est très pauvre en Chlore, ce qui le rend compatible avec les cultures sensibles au Chlore.

5.3.2. Composition

- 50 % (K_2O) oxyde de potassium soluble dans l'eau.
- 44 % (SO_3) anhydride sulfurique soluble dans l'eau.

4.3.3. Recommandation d'utilisation

- 1^{er} apport : (1/3) au semis (04/01/2021).
- 2^{ème} apport : (2/3) au début montaison (épi 1cm) (11/03/2021).

L'engrais étant choisi, selon sa nature il est soit épandu, soit incorporé au sol. L'application peut être faite manuellement ou mécaniquement (épandeur, semoir...).

5. traitements phytosanitaires

Pour notre expérimentation on a utilisé les pesticides suivants :

5.1. Application d'herbicides

On utilise **Cossack^{OD}** contre les mauvaises herbes graminées et dicotylédones annuelles (**Fig. 23**).

➤ **Date de dose de l'application : 21/02/2021** à la dose de **1 l/ha**.

5.1.1. Composition

Cossack^{OD} est la combinaison de mesosulfuron-méthyle (3%), iodosulfuron-méthyle-sodium (3%), et de mefenpyr-diethyl (safener) (9%), formulés en granulés à disperser dans l'eau (WG).

5.1.2. Mode d'action

Le mesosulfuron-methyl et l'iodosulfuron-methyl-sodium sont absorbés par voie foliaire, ils sont véhiculés par systémie ascendante et descendante dans l'adventice. Ils bloquent la synthèse des acides aminés responsables de la division cellulaire dans les méristèmes des plantes en inhibant l'acétolactase synthétase (ALS)

Le mefenpyr-diethyl assure une haute sélectivité sur Blé. Il agit comme catalyseur :

- Amélioration de la dégradation des 2 substances actives dans la culture.
- Réduction de l'assimilation et de la translocation de l'herbicide dans la culture. (**Bayer AG, 2021**).



Figure 23 : emballage de l'herbicide Cossack^{OD} (**Photo personnelle**)

5.2. Application de fongicides

On utilise **Amistar[®] Xtra** pour combattre les maladies fongiques (**Fig. 24**).

➤ **Date et dose de l'application : 11/04/2021** à la dose de **0,8 ml/ha**, au stade épiaison.

Deuxième passage : **10/05/2021** à la formation des grains.

5.2.1. Composition

Amistar® Xtra (suspension concentrée) est l'association de deux substances actives, l'azoxystrobine et le cyproconazole. L'azoxystrobine appartient à la famille chimique des strobilurines, le cyproconazole à celle des triazoles. L'association de ces 2 substances actives confère à Amistar Xtra une action préventive et curative, un haut niveau d'efficacité et une très longue persistance d'action vis à vis d'un grand nombre de maladies.

5.2.2. Mode d'action

L'Azoxytrobine, matière active de la famille des strobilurines : elle a une action translaminaire et agit au niveau de la mitochondrie par le blocage de la respiration des champignons pathogènes. Le Cyproconazole, matière active de la famille des triazoles : elle a une action systémique et agit par inhibition de la biosynthèse de l'ergostérol des champignons pathogènes.

Amistar® Xtra est, à la fois préventif en bloquant la germination des spores et curatif en empêchant la croissance mycélienne et la sporulation.



Figure 24 : emballage du fongicide Amistar® Xtra [12]

5.3. Application d'insecticides

Afin d'éviter les dégâts causés par les insectes (pucerons surtout), on a utilisé un produit chimique insecticide polyvalent qui s'appelle **Karate (Fig. 25)**.

➤ **Date et dose de l'application : 10/05/2021** à la dose de **0,25 ml/ha**, au stade de la formation des grains.

5.3.1. Caractéristiques

- Composition 5 g/l lambda + cyhalothrine 100 g/l pyrimicarbe
- Famille chimique Pyréthriinoïdes de synthèse, Carbamates
- Formulation EC (Concentré émulsionnable)
- Mode d'action Curatif, préventif, Contact, Translinaire, Vapeur, Foliaire, Ingestion, Action de choc.

5.3.2. Mode d'action

Le **Karate** combine 3 modes d'action. Tout d'abord il y a l'action par contact, le produit atteint les insectes directement ou dès leur contact avec la cuticule des plantes sur laquelle il se fixe. Ensuite il y a par action translaminaire, dès la pulvérisation le produit se diffuse à travers le limbe jusqu'à la face intérieure. Pour finir il y a l'action par effet vapeur qui permet d'atteindre tous les pucerons présents dans le couvert végétal, même ceux qui ne sont pas touchés par la pulvérisation.



Figure 25 : emballage de l'insecticide Karate [12]

6. Site de mise en œuvre de l'essai

L'essai expérimental est un bloc aléatoire complet à 4 répétitions, composé de 6 traitements et qui se trouve dans l'ITGC de la wilaya de Guelma -Algerie- (**Fig. 26**)

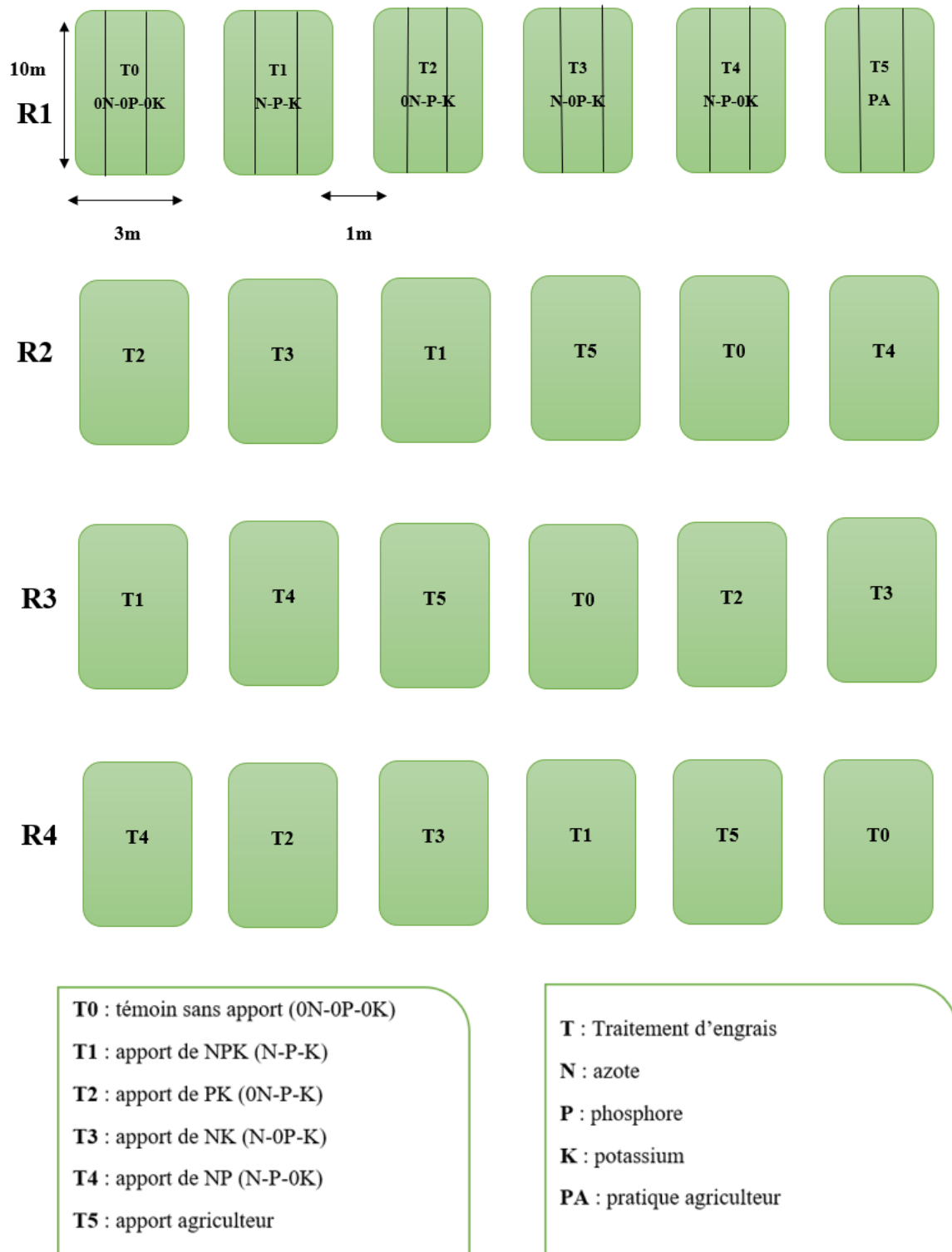


Figure 26 : Dispositif expérimental de l'essai

7. Protocole expérimental

7.1. Traitements utilisés

Les traitements étudiés son :

Tableau 7 : Traitements utilisés et objectifs de l'expérimentation

FDPS	Rendement objectif (q/ha)	Doses : N, P et K					
		T1			T5		
		N	P	K	N	P	K
Guelma	55	136,85	69	60	110	78	0

NB: les doses d'azote qui dépassent les 90 Unité doivent être fractionnées deux apports : un (1/3) de la dose totale au semi + deux tiers (2/3) de la dose totale au stade épis 1cm.

7.2. Facteur étudié

Un seul facteur 'élément fertilisant'

T0 : témoin sans aucune fertilisation

T1 : est les apports en élément minéraux pour produire un certain rendement objectif de la région de la plateforme.

T2, T3 et T4 : sont les apports avec un élément manquant.

T5 : est la pratique de l'agriculteur.

7.3. Dimensions de la parcelle élémentaire

$$3m \times 10m = 30m^2$$

La conduite culturale des essais doit être identique :

- Même précédent cultural (jachère).
- Même période de semis.
- Protection phytosanitaire complète (mauvaise herbes, maladies, insectes) et ceci pour tous les traitements.

7.4. Dimensions de la parcelle de l'essai

$$30m^2 \times 06 \text{ traitements} \times 04 \text{ répétitions} = 720m^2 + \text{inter bloc de } 1m.$$

8. Notations et mesures

❖ Sur le sol

Avant semis : Caractérisation des parcelles.

Après récolte : Prélèvement pour chaque traitement pour l'analyse des éléments fertilisants N.P.K.

❖ Sur la culture

- Date d'apparition des différents stades phénologiques (levée, tallage, montaison, gonflement, épiaison, floraison, formation des grains et maturité).
- Nombre de plants/m²

- Nombre d'épis/m²
- Nombre de grains/épi
- Poids de 1000 grains (PMG)
- Nombre de talle/plant
- Surface foliaire
- Rendement théorique

9. Les stades phénologiques

Le tableau ci-dessous (**Tab. 8**) montre les différents stades phénologiques.

Tableau 8 : Dates et stades phénologiques de l'essai

Le stade	La date
Date de semis	04/01/2021
La levée	19/01/2021
Le tallage	14/02/2021
Montaison	11/03/2021
Gonflement	04/04/2021
L'épiaison	11/04/2021
Floraison	17/04/2021
La formation des grains	21/04/2021
Maturité physiologique	20/05/2021

10. Paramètres étudiés

10.1. Nombre de plants par m²

Le nombre de plante par mètre carré (**Fig. 27**) a été évalué au stade de la levée (3feuille) par le comptage de toutes les plantes dans un cadran d'un mètre carré de chaque parcelle.



Figure 27 : Cadran de mètre carré (photo personnelle).

10.2. Nombre de talle

Le nombre de talle a été effectué au stade fin tallage par le comptage de nombre de talle par plant avec une répétition de 3 fois pour chaque parcelle d'essai.

10.3. Nombre de grains par épi

Le nombre de grains a été évalué au stade maturité physiologique par le comptage des moyennes de grains d'un échantillon de 25 épis prise au hasard pour chaque parcelle.

10.4. Poids de mille grains (PMG)

Le poids de mille grains a été évalué au stade maturité physiologique, après l'isolement les épis choisis sont mis à sécher à l'air libre pendant 24 heures, puis on a pesé un échantillon de mille grains pour chaque parcelle d'essai avec une balance de précision

10.5. Nombre d'épi par m²

Le nombre d'épi par mètre carré pour les différents traitements a été déterminé au stade formation des grains, en comptant tous les épis de chaque plante se trouvant dans un cadran d'un mètre carré pour chaque parcelle d'essai.

10.6. Surface foliaire

La surface foliaire a été déterminée par une méthode qui consiste à couper un carré en papier de 1cm de côté et de le peser juste après. Ensuite prendre une feuille du blé sur papier calque ou (en photocopie) de la même nature du papier et la peser aussi par la suite. Par un simple calcul de règle de 3, On déduit ainsi la surface foliaire (SF) des échantillons étudiés (**Paul et al., 1979**)

10.7. Rendement par hectare

Le rendement par hectare a été évalué au stade maturité agronomique en calculant la production en gramme par mètre carré et on rapporte la production en quintaux par hectare.

10.8. Notation sur les maladies

Nous avons noté l'apparition d'une seule maladie qui s'appelle : la Rouille Jaune (**Fig. 28**).



Figure 28 : Rouille jaune sur blé dur (Photo personnelle)

10.9. Teneur en chlorophylle a et b

Le dosage de la chlorophylle a été réalisé selon la méthode de **Rao et Blanc (1956)**, qui consiste à peser 0,5 g de feuilles fraîches de chaque échantillon, puis la broyer dans un mortier en ajoutant pincé de carbonates de calcium (Ca Co₃) pour neutraliser l'acidité vacuolaire et faciliter l'extraction de la chlorophylle et 20 ml d'acétone à 80%, ensuite on procède à la filtration de la solution obtenu. Avant la lecture spectrophotométrique la solution chlorophyllienne est conservée dans des chambres noires afin d'éviter la photo oxydation (**Fig. 29**).

La densité optique (D.O.) des extraits chlorophylliens est lue, sur un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes suivantes : 645nm, 663nm.

Les teneurs en chlorophylle a et b et chlorophylle a+b sont calculées selon les formules suivantes :

$$\text{Chl}_a = 12,7 \text{ D0 } 663 - 2,69 \text{ D0 } 645$$

$$\text{Chl}_b = 22,9 \text{ D0 } 645 - 4,68 \text{ D0 } 663$$

$$\text{Chl}_{a+b} = 8,02(\text{DO } 663) + 20,20 (\text{DO } 645)$$



Figure 29 : Dosage de la teneur en chlorophylle total (a+b) (Photos personnelles)

11. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de logicielle Minitab 2018, en utilisant l'analyse de la variance à un seul critère de classification (ANOVA).

Chapitre 4

Résultats et discussion

1. Caractéristiques agronomiques

1.1. Nombre de plants / m²

Le nombre de plante par mètre carré a été évalué au stade de la levée (3feuille) par le comptage de toutes les plantes dans un cadran d'un mètre carré de chaque parcelle après le semis, au niveau des parcelles élémentaires déterminées préalablement par le protocole expérimental, les résultats obtenus sont consignés dans la (**Fig. 30**).

Les résultats relatifs à ce paramètre ont montré une augmentation de nombre de plants/m² pour le traitement T1 avec une valeur moyenne (236 plants/m²) suivi par les traitements T4, T5, T3 et T2 en comparaison avec le traitement T0 (134 plants/m²). Cette hétérogénéité peut s'expliquer par les pertes des plantes à la levée pour les différents traitements (**Hebert, 1975**). Selon **Buckman (1990)** la densité de la culture est en fonction du nombre de grains semés et de la survie des plantes.

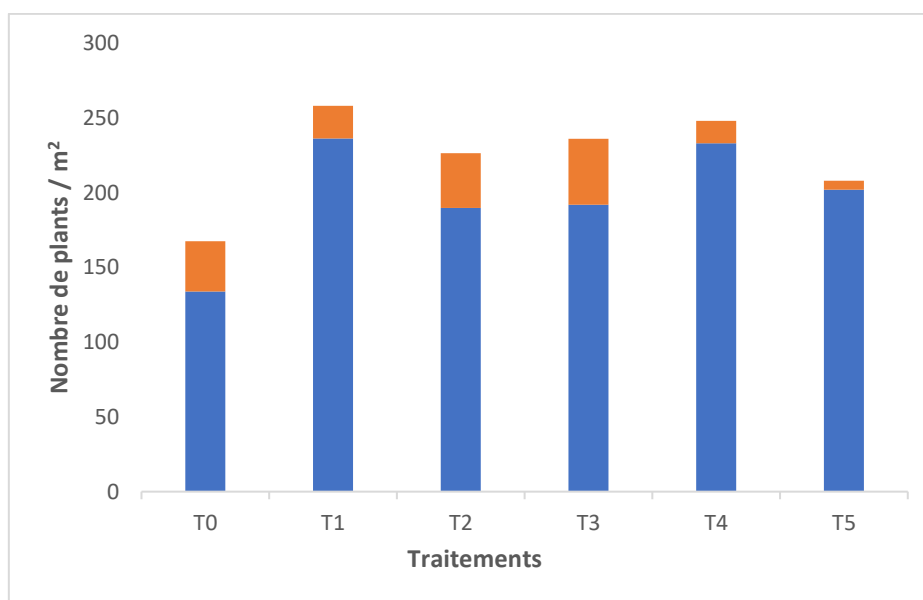


Figure 30 : Nombre de plants / m²

ANOVA à un facteur contrôlé : nombre de plants/m² en fonction de traitements

Méthode :

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyennes ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	5	27616	5523	3,53	0,021
Erreur	18	28177	1565		
Total	23	55793			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	236,3	A
t4	4	233,0	A
t5	4	202,00	A
t3	4	192,0	A
t2	4	189,8	A
t0	4	134,0	*

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA), a montré des différences significatives entre les traitements.

1.2. Nombre de talles / plant

Le tallage est un phénomène naturel qui permet d'obtenir plusieurs tiges à partir d'une seule. Le nombre de talles par plant est consigné dans la **figure 31**.

Les résultats obtenus indiquent un nombre de talle varie entre 4 pour le traitement T0 et 6 talles enregistrés au niveau du traitement T2.

Gate (1995), a rapporté que le manque d'azote en début de montaison provoque une régression des talles. De même **Couvreur (1981)**, considère que le stade épi à 1cm est caractérisé par une croissance active des talles. Le plant de blé a besoin, durant cette phase, d'un important apport d'azote.

Selon **Hebert (1975)**, la fertilité du sol, la densité de semis avec sa profondeur et les facteurs de l'environnement influent sur le nombre de talles herbacées. D'autres auteurs ont rajouté que le facteur nutritionnel influe sur le nombre, la vitesse et la durée du tallage (**Austin et Jones, 1975**).

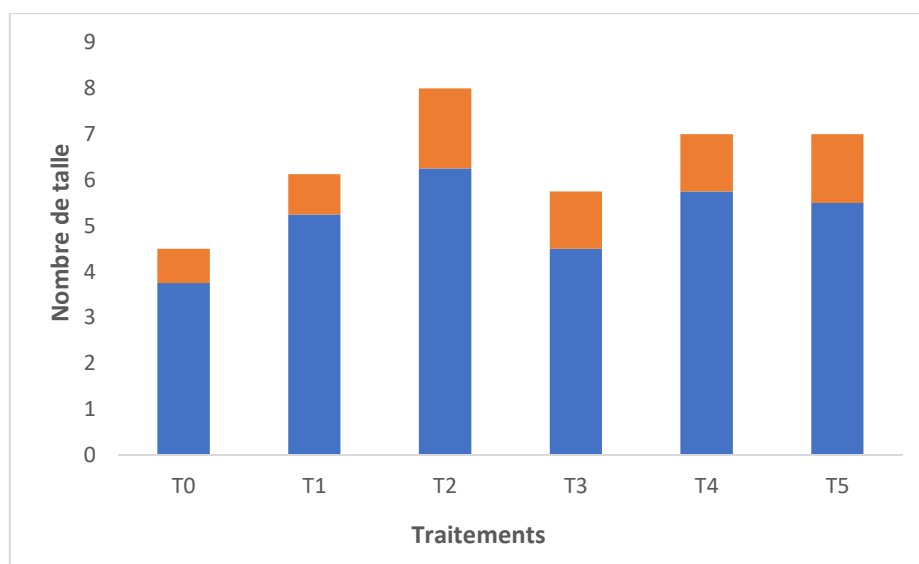


Figure 31 : Nombre de talles/plant

ANOVA à un facteur contrôlé : nbr talles/plants en fonction de traitements

Méthode :

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyenne ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	5	16,33	3,267	1,07	0,410
Erreur	18	55,00	3,056		
Total	23	71,33			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	5,250	A
t2	4	6,25	A
t4	4	5,750	A
t5	4	5,50	A
t3	4	4,500	A
t0	4	3,750	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Les résultats de l'analyse statistique ne présentent pas une différence significative entre les traitements ($p > 0.05$), donc on constate qu'il n'y a pas un effet traitement pour ce paramètre.

1.3. Nombre d'épis / m²

Le nombre d'épis/m² est une composante essentielle du rendement final puisqu'il détermine le nombre de grain/m², c'est à partir du comptage des épis de station préparée précédemment de chaque parcelle élémentaire, puis ramené au mètre carré (**Lakab, 2012**). Les résultats obtenus pour ce paramètre sont présentés dans la **figure 32**. Ces résultats montrent que le traitement T4 a enregistré le nombre le plus élevé des épis avec une valeur moyenne de 465 épis contre 302.8 pour le traitement T0.

Grignae (1986) et Gâte (1987), (cité in Bhourri et al., 2015), ont rapporté que le déficit hydrique en période de montaison affecte le nombre d'épis et surtout sa fertilité. De même **Debaeke et al. (1996), (cité in Amor et al., 2005)** ajoutent que le déficit hydrique en période de montaison se traduit par la chute des épis par et la baisse du nombre de grains par épi. D'autre part **Gervy (1970)**, a signalé que le phosphore favorise la fécondation des plantes en permettant une meilleure épiaison.

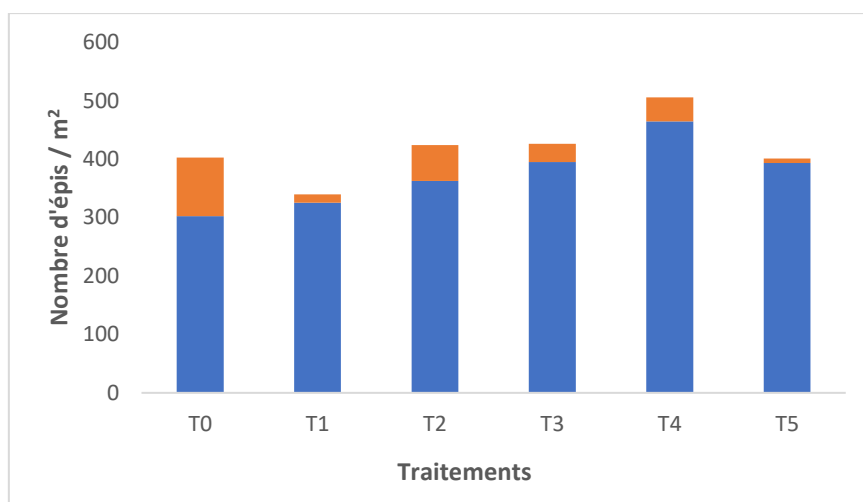


Figure 32 : Nombre d'épis / m²

ANOVA à un facteur contrôlé : hauteur d'une plante en fonction de traitements

Méthode :

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyennes ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	5	30,73	6,146	0,29	0,910
Erreur	18	377,15	20,953		
Total	23	407,88			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	77,05	A
t4	4	79,10	A

t5	4	76,80	A
t2	4	76,30	A
t0	4	76,000	A
t3	4	75,60	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA), a montré qu'il ya des différences significatives entre les traitements.

1.4. Hauteur des plants (cm)

La hauteur des plants apparaît comme un critère de sélection important, **Meklich-Hanifi (1983)**, trouve une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la paille.

Les résultats illustrés dans la **figure 33** révèlent que le traitement T4 a enregistré la meilleure valeur (79.10 cm) en comparaison avec le témoin non traité (76 cm).

Fisher et Maurer (1978), mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi- nains.

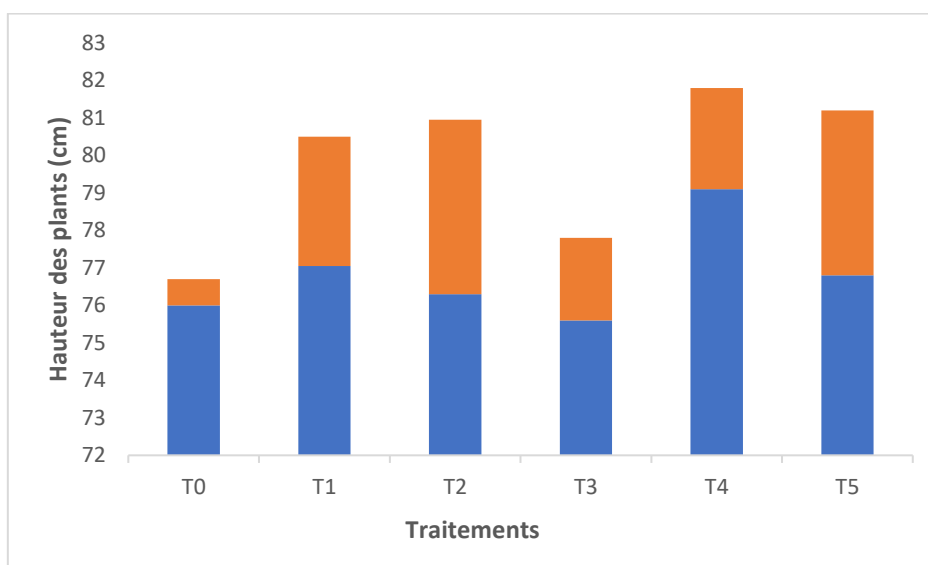


Figure 33 : Hauteur des plants (cm)

ANOVA à un facteur contrôlé : hauteur d'une plante en fonction de traitements

Méthode

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyenne ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse

Analyse de variance :

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
traitemnts	5	30,73	6,146	0,29	0,910
Erreur	18	377,15	20,953		
Total	23	407,88			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	77,05	A
t4	4	79,10	A
t5	4	76,80	A
t2	4	76,30	A
t0	4	76,000	A
t3	4	75,60	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA), a montré qu'il n'y'a aucune différence significative entre la hauteur de la plante et les traitements.

1.5. Surface foliaire des plants (cm²)

Les résultats de la **figure 34** montrent que le traitement T1 a enregistré la valeur moyenne la plus élevée pour ce paramètre (36.95 cm²) contre (26.70 cm²) pour le témoin non traité.

Selon **Boyer (1970)** et **Hsiao (1973)** in **Gettouche (1990)**, lors du déficit hydrique, la plante réagit par la diminution de la biomasse aérienne, en particulier la surface de sa dernière feuille.

Blum (1996) observe une diminution de la surface de la feuille, sous stress hydrique, qui change sa forme et sa propre orientation (**Gate et al.,1993**), se fait se traduit biologiquement par la conservation des ressources en eau qui permet de la plante de survivre selon (**Lebon et al.,2004**).

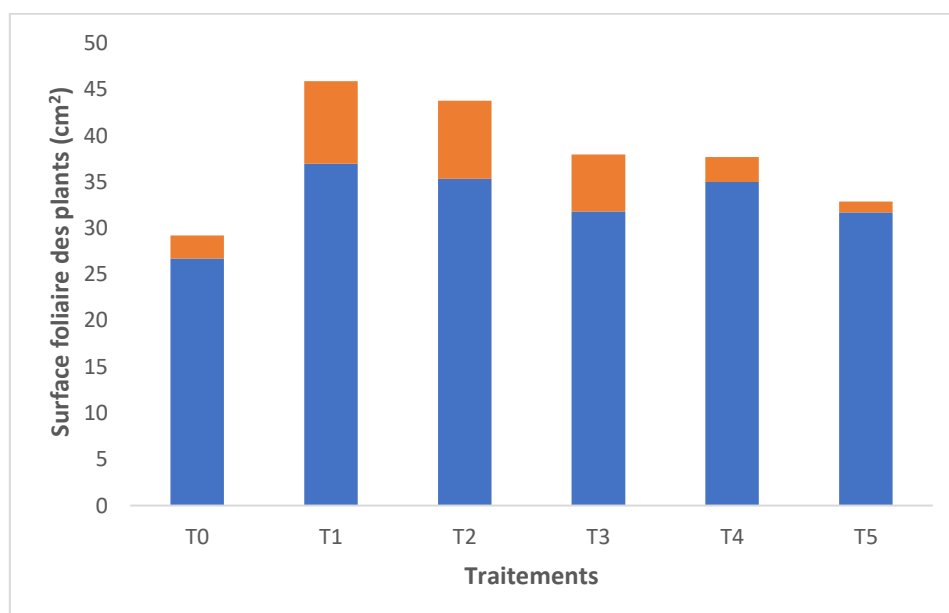


Figure 34 : Surface foliaire des plants (cm²)

ANOVA à un facteur contrôlé : surface foliaire cm² en fonction de traitements

Méthode :

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyenne ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	5	270,8	54,17	0,89	0,508
Erreur	18	1095,2	60,84		
Total	23	1366,0			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	36,95	A
t2	4	35,33	A
t4	4	34,98	A
t3	4	31,80	A
t5	4	31,693	A
t0	4	26,70	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Les résultats de l'analyse statistique ne présentent pas une différence significative entre les traitements ($p > 0.05$), donc on constate qu'il n'y a pas un effet traitement pour ce paramètre.

1.6. Nombre de grains / épi

Le nombre de grains/épi a été évalué au stade maturité physiologique par le comptage des moyennes de grains d'un échantillon de 25 épis prise au hasard pour chaque parcelle après battage manuel, le nombre total de grains est compté pour déduire la moyenne par épi (**Melki et al., 2015**). Les résultats obtenus sont présentés dans la **figure 35**. Ces résultats montrent une augmentation du nombre de grains/épi chez les plantes soumises au traitement T1 en comparaison avec tous les autres traitements d'où la valeur moyenne enregistré est de (56.50 grains / épi) contre la valeur du T0 qui atteignent (51.75 grains / épi).

Selon **Belaid (1986)**, le nombre de grains/ épi est très influencé par le nombre d'épi/m², par les caractéristiques variétales, par la disponibilité en eau et par la nutrition azotée et phospho-potassique et note que les facteurs trophiques dont l'azote est l'un des principaux éléments ce qui le confirme **Couvreur (1981)**, le nombre de grains augmente pour les faibles coefficients d'épiaison mais aussi en fonction de l'azote absorbé et note que le nombre de grains par épi est une caractéristique variétale qui est très influencée par le nombre d'épi par mètre carré.

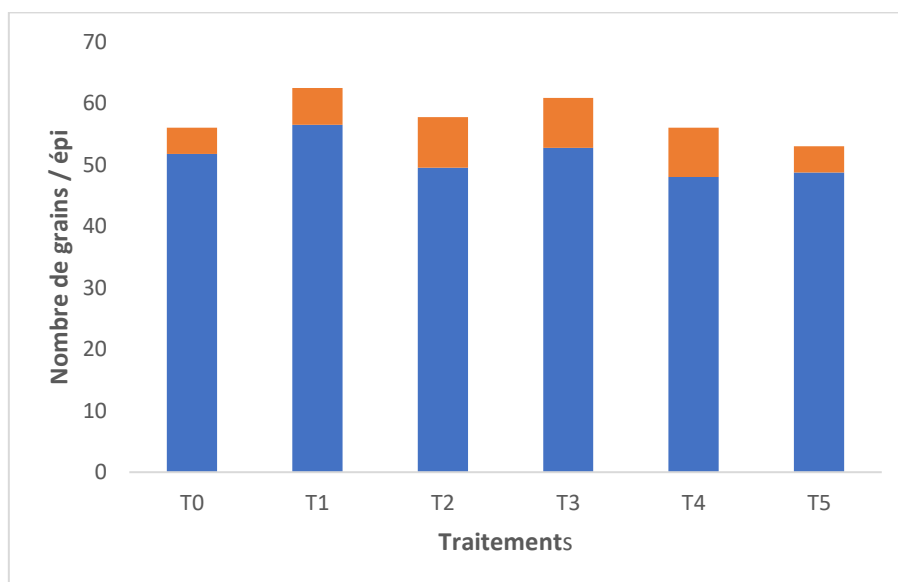


Figure 35 : Nombre de grains / épi

ANOVA à un facteur contrôlé : nbr grains/épis en fonction de traitements

Méthode :

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyenne ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	5	294,7	58,94	0,81	0,556
Erreur	18	1306,3	72,57		
Total	23	1601,0			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	56,50	A
t0	4	51,75	A
t2	4	49,50	A
t5	4	48,75	A
t4	4	48,00	A
t3	4	45,25	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Pour ce paramètre, les résultats des analyses statistiques ne présentent pas une différence significative entre les traitements ($p > 0.05$), donc on constate qu'il n'y a pas un effet traitement.

1.7. Poids de 1000 grains

Le poids de 1000 grains est la dernière composante du rendement qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales durant la phase du remplissage des grains, influencé non seulement par les conditions de nutrition minérale et plus particulièrement phospho-potassique, mais également par les conditions climatiques et la variété elle-même. Les résultats obtenus (**Fig. 36**) ont montré une augmentation du poids de 1000 grains chez le traitement T2 qui a présenté le meilleur résultat avec 61.25 grammes suivie par le traitement T3 et le T0 avec (56.50) ; (55.75) grammes respectivement et on remarque que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des traitements T1(50.25 grammes), T5 (50.50 grammes) et T4 (46 grammes).

De nombreuses études dont celles de **Loué (1984)** et **Batten (1992)** ont signalé que le poids de 1000 grains est très influencé par les conditions de nutrition minérale surtout la nutrition potassique. De même **Boukhalfa (2011)**, (cité in **Abdelliche et al., 2018**) a rapporté que l'azote a un effet dépressif sur le poids de 1000 grains, le résultat obtenu pour le traitement T2 (la valeur la plus élevée) confirme cette constatation. D'autres auteurs ont suggéré que les conditions climatiques influent également sur ce paramètre (**Gate et al., 1995**) et la quantité d'eau prélevée pendant la phase de maturité qui détermine le poids de 1000 grains (**Soltner, 1990**).

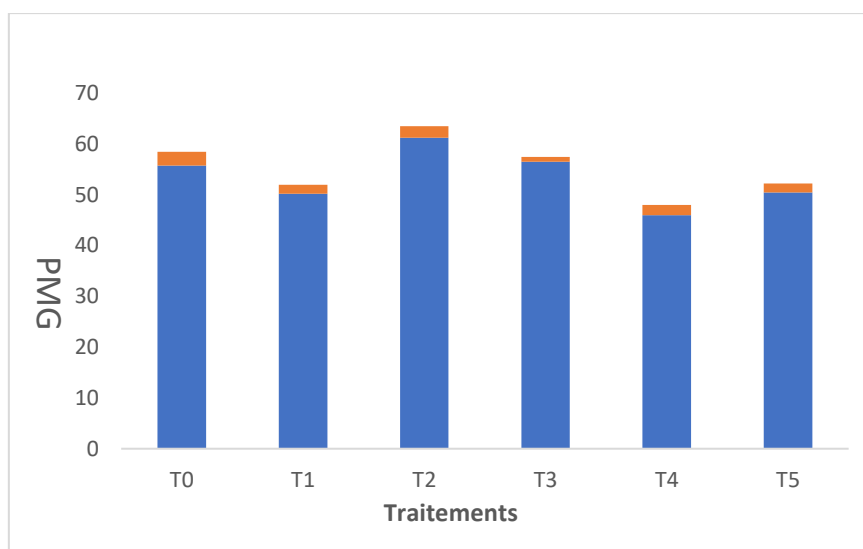


Figure 36 : Poids de 1000 grains

ANOVA à un facteur contrôlé : PMG en fonction de traitements

Méthode :

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyenne ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	5	599,4	119,875	17,65	0,000
Erreur	18	122,3	6,792		
Total	23	721,6			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	50,25	A
t2	4	61,25	*
t3	4	56,500	*

t0	4	55,75	*
t5	4	50,50	A
t4	4	46,00	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Les résultats des analyses statistiques présentent une différence significative entre les traitements ($p > 0.05$), donc on constate qu'il y a un effet sur les traitements.

1.8. Rendement théorique

Ce caractère est le produit de trois facteurs : le nombre d'épis/m² le nombre de grains/épi et le PMG doit provoquer un changement de rendement (**Benbelkacem et al., 2000**). Les résultats obtenus (**Fig. 37**) ont montré une augmentation du rendement (q/ha) chez le traitement T2 qui a présenté le meilleur résultat avec (112 q/ha) suivie par le traitement T3 et le T4 avec (101.11 q/ha) ; (101.7 q/ha) respectivement et on remarque que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau des traitements T5(96.86 q/ha), T1 (92.76 q/ha) et T0 (83.3 q/ha).

Ces résultats sont probablement la conséquence du lessivage des éléments nutritifs (surtout l'azote) durant la période de croissance du blé dur et le non fractionnement d'azote sur les différents stades phénologiques. Nos résultats sont en accord avec (**cité in Boumaaza, 2019**).

Selon (**Wang et al, 2013**) la fertilisation azotée en doses croissantes a permis d'améliorer significativement le rendement doublé et on peut expliquer ceci par un bon développement racinaire du blé suite à une fertilisation azotée).

Plusieurs travaux ont montré qu'il existe une synergie entre les différents éléments nutritifs N, P et K. Il existe des interactions entre les engrais azotés et phosphatés, qui font augmenter le rendement et améliorer la solubilité et l'absorption du phosphore (**Soulaf, 2020**)

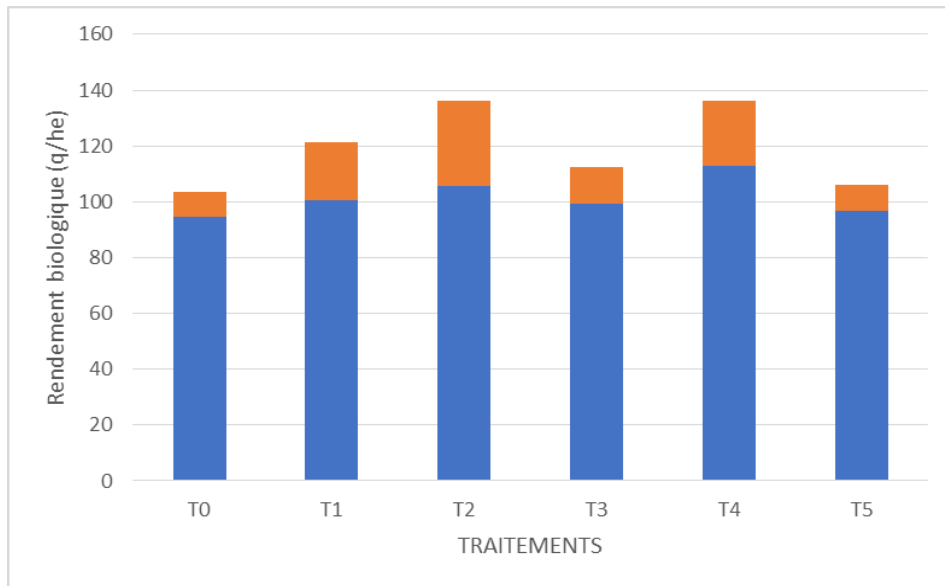


Figure 37 : Rendement théorique

ANOVA à un facteur contrôlé : rendement théorique en fonction de traitements
Méthode

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyennes ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
traitemnts	5	1968	393,5	0,66	0,661
Erreur	18	10798	599,9		
Total	23	12766			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

traitemnts	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	92,76	A
t2	4	113,0	A
t4	4	101,7	A
t3	4	101,11	A
t5	4	96,86	A
t0	4	83,3	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que l'effet traitement est non significatif sur le rendement théorique.

2. Caractéristiques biochimiques

2.1. Teneur en chlorophylle a+b

Les mesures de la teneur en chlorophylle total (a+b) présentent des variations notables qui sont illustrées dans la **figure 38**. Les résultats obtenus montrent que le traitement T4 a enregistré la valeur la plus élevée avec (52,59 mg/g MF) suivi par le T0, T2, T5, T3 et le traitement T1 a enregistré la valeur minimale avec (37.84 mg/g MF).

Selon **Hikosaka et al. (2006)**, la teneur en chlorophylle total (a+b) dans les feuilles varie en fonction de divers facteurs : l'âge de la feuille, la position de la feuille, la lumière et la disponibilité en eau.

La teneur en chlorophylle des feuilles pourrait être attribuée à la localisation de l'azote dans les molécules de chlorophylle, ce qui exprime la bonne corrélation entre la teneur de la feuille en chlorophylle et sa teneur en azote (**cité in boumaaza, 2019**).

Zhang et al., (1997) ont montré que la fertilisation azotée stimule la synthèse de la chlorophylle.

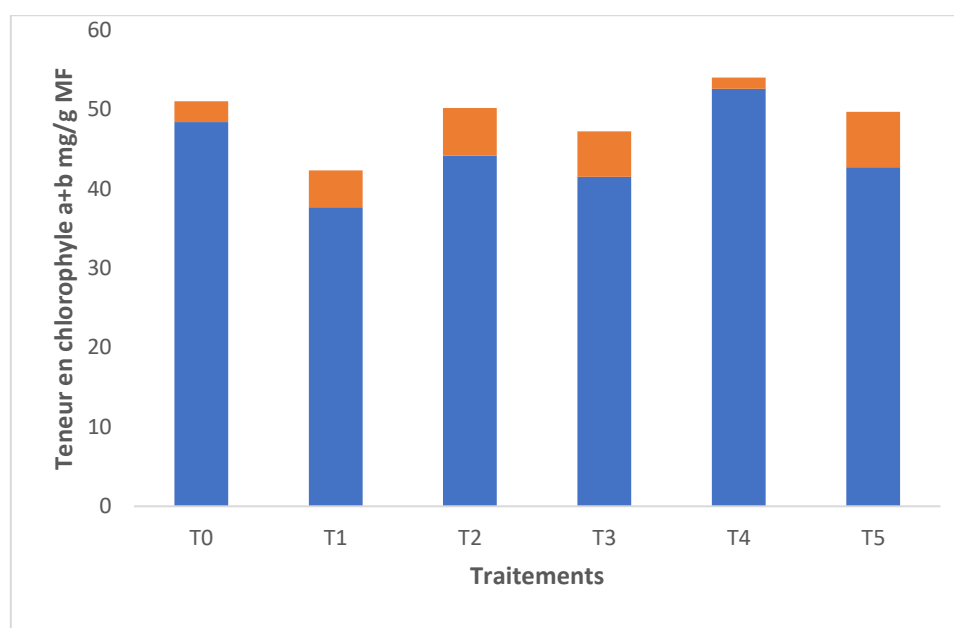


Figure 38 : Teneur en chlorophylle (a+b) mg/g MF

ANOVA à un facteur contrôlé : teneur de chlorophylle a+b en fonction de traitements

Méthode :

Hypothèse nulle Toutes les moyennes sont égales

Hypothèse alternative Toutes les moyennes ne sont pas égales

Seuil de signification $\alpha = 0,05$

Les variances ont été supposées égales pour l'analyse.

Analyse de variance

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Traitements	5	549,4	109,87	3,10	0,034
Erreur	18	638,2	35,45		
Total	23	1187,5			

Comparaisons multiples de Dunnett avec un contrôle

Informations de groupement avec la méthode de Dunnett et un niveau de confiance de 95 %

Traitements	N	Moyenne	Groupement
t1 (contrôle)	4	37,84	A
t4	4	52,59	*
t0	4	48,41	A
t2	4	44,15	A
t5	4	42,71	A
t3	4	41,48	A

Les moyennes non étiquetées avec la lettre A sont significativement différentes de la moyenne du niveau de contrôle.

L'analyse statistique ANOVA à un seul critère de classification a montré des différences significatives entre les traitements.

Conclusion

Conclusion

Cette étude a porté sur le rôle de la fertilisation azotée phospho-potassique (NPK) dans l'amélioration de la production de la culture de blé dur (*triticum durum* Desf) variété Vitron dans la région de Guelma durant la campagne agricole 2020-2021, prenant en considération la fertilité des sols et le potentiel de la culture.

Les résultats obtenus ont montré que la fertilisation raisonnée a un rôle efficace dans l'amélioration de la qualité de la culture. Plusieurs expérimentations ont été faites sur notre variété en utilisant deux catégories d'engrais, le triple super phosphate comme un engrais de fond, et aussi le sulfate de potasse et l'urée 46% comme des engrais de couverture, dans le traitement (T1) et un élément manquant dans les traitements (T2, T3 et T4), plus la pratique de l'agriculteur (T5). Pour bien déterminer le rôle fondamental de chaque engrais, nous avons effectué un ensemble de mesures sur plusieurs paramètres agronomiques et physiologiques.

L'efficacité des différents traitements utilisés a montré des différences significatives presque pour toutes les variables étudiées sauf les paramètres suivants : la hauteur de la plante (en cm) et la surface foliaire (SF).

En ce qui concerne les deux premiers paramètres étudiés (nombre de plant/m² et le nombre d'épis/m²), les résultats relatifs obtenus ont montré une augmentation significative de pour le traitement T4 (N-P-0K) avec une valeur moyenne de 236 plants/m² et 451 épis/m², suivi par les traitements T1 qui contient les 3 engrais (N-P-K).

Pour le nombre de talles, les résultats obtenus ont montré une diminution significative pour le traitement T0 (témoin), le nombre le plus élevé est celui du traitement T2 avec une moyenne de 6,25 talles suivi par le T5 (traitement agriculteur) avec du N-K seulement.

Les résultats obtenus validés par des études statistiques ont montré une augmentation de la teneur moyenne en chlorophylle totale en présence de l'azote (NPK et NK), ainsi qu'une augmentation du poids 1000 graines (PMG) et du rendement estimé en présence d'engrais azotée et potassique (NK).

Enfin, il serait intéressant de poursuivre cette étude par d'autres complémentaires afin de cerner le comportement du blé dur vis-à-vis d'une fertilisation azotée phospho-potassique en précisant les doses optimales des éléments nutritifs (N.P.K.) à appliquer pour pouvoir obtenir des rendements satisfaisants.

Références bibliographiques

-A-

- **Abdelmadjid H., 2013.** Grandes cultures éléments de pyrotechnie générale 1ère ED. T1. Le blé, 256p.
- **Anonyme, 2005.** La fertilisation. Union des Industries de la Fertilisation. 7^{ème} édition. Unifa. 37p
- **Anonyme, 2012.** Industrie de la semoulerie de blé dur. Journal officiel du 10 mai 2012), N° 5912, version disponible sur : www.ladocumentationfrancaise.fr/, 5p.
- **Anonyme, 2017.** Manuel d'utilisation des engrais. Grandes cultures, arboriculture, cultures maraichères et industrielle. Ed. Ferital 2017. pp 10-14
- **Abdelhamid M., Hamana B., Amar B., Abdelkarim H. S., Nadir H. 2006.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Article scientifique. Sécheresse ; 17 (4) : 507-13, 508p.
- **Aouali S., douici., khalfi A., 2009.** Recueil des principes maladies fongiques des céréales en Algérie. ITGC. El harrache. Alger. pp 4-20
- **Aouali S., Douici, 2020.** Symptômes, développement de lutte. itgc-BP16 ;El-harrach ;16200. Alger. pp 8-9
- **Austin and Jones. 1975.** Blé dur. Ed. ARP. 11p.

-B-

- **Boulal H., Zaghouane O., Mourid M., Rezgui, S., 2007.** Guide pratique de la 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. Fabriani G. et C. lintas. Durum : chimistry and technologie. AACC. P1-16.
- **Bertheloot J. 2009.** Distribution de l'azote chez le blé (*Triticum aestivum* L.) après la floraison : un modèle dynamique fondé sur une approche structure-fonction. Thèse pour obtenir le grade DOCTEUR D'AGROPARISTECH. Ecole Doctorale ABIÉS. 133p
- **Bonjean A .et Picard E., 1990.** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Ed. Nathan. 235p.
- **Baeyens J., 1967.** Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliqué aux plates agricoles Ed. Nauwelaerts Louvain. 278p

- **Belhouchi S. 2017.** Contribution à l'étude des effets d'un biofertilisant (SIZAM) sur la croissance et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de master en phytopharmacie et protection des végétaux. Département d'écologie et génie de l'environnement. Université 8 Mai 1945 Guelma. pp 30-31
- **Boumaaza A., 2019.** Raisonnement de la fertilisation azotée phospho-potassique (NPK) de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf) dans la région de Guelma. Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master. Univ. Guelma. 65p
- **Bouasla S., 2001.** effet d'une nouvelle formule d'engrais phosphaté le SSP 20 sur la production et la qualité d'une variété de blé Dur (var-waha) dans la région de Guelma. Mémoire de fin d'étude. Univ. Badji mokhtar. Annaba. 76p
- **Boyeldieu J., 1999.** Encyclopédie des techniques agricoles : production végétale-Blé Tendre. Ed. Paris. pp 20-20.
- **Bogard M., 2011.** Analyse génétique et écophysiological de l'écart à la relation teneur en protéines - rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Thèse de Doctorat. Université d'Auvergne.France. 127p.
- **Buisset Ch., 2015.** Recueil des seuils utilisés dans les Bulletins de santé du végétal grandes cultures et pomme de terre, bulletin de santé de végétal, Ecophyto.picardie. France. pp 9-11
- **Buckman., 1990.** Agriculture et fertilisation. Ed. Norsk hydro a.s. 258p.
- **Belaid D., 1986.** Aspects de la céréaliculture algérienne O.P.U Alger. 217p
- **Boukhalifa, 2011 (cité in Abdelliche et al., 2018)** Contribution à l'étude et l'optimisation de la fertilisation minérale du blé dur (*Triticum durum* Desf), mémoire de master, domaine sciences de la nature et de la vie biotechnologies et génomique végétale, université des frères Mentouri Constantine 1.
- **Benbelkacem., et kellou k., 2000.** Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Station ITGC, B.P. 35 El khroub, 25100 Algérie, ISN, Université de Constantine, 25000 Algérie ; article disponible en ligne <http://am.ciheam.org/aride.php?IDPDF=600011> . pp105-110.

-C-

- **Clerget, Y. 2011.** Biodiversité des céréales Origine et évolution : In La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme. Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard. Extrait de la vidéoconférence du Service éducatif du Muséum Cuvier de la Ville de Montbéliard. La biodiversité des céréales et leur utilisation par l'homme, pp 1-16.

- **Clarke J. Norvell F., 2002.** Concentration of cadmium and other elements in the grain of near isogenic durum lines. Can. J. Plant Sci/ revue canadienne de phytotechnie. 82p.
- **Clement G. et Prats J., 1970.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351p.
- **Couvreur F., 1981.** La culture de blé se raisonne. Cultivar. Juin. pp 39-41.
- **Couvreur F., 1981.** La culture du blé se raisonne. Perspectives agricoles 91,28-32p.

-D-

- **Duthil J., 1973.** Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, Ed. J.B. Baillière. 654p.
- **Debaeke et al., 1996. (cité in Amor et al., 2005)** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le maghreb (Algérie. Maroc. Tunisie), 176p

-F-

- **FAO., 2003.** Les engrais et leurs applications, quatrième édition, 77p.
- **FAO, 2005.** Effect of Organic Matter Amendment on Hydraulic and Pore Characteristics of a Clay Loam Soil.
- **Feillet P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, paris. 308p
- **Fardeau J.C.,1993.** Le phosphore assimilable des sols : Sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. Agronomie; 13: 317-33p
- **Fischer R.A. et Maurer R., 1978.** Drought resistance in spring resistance wheat cultivar. I. Grain yield responses. Aust, J, Agri, Res, 29 : 105-912.

-G-

- **Gate, P. H., 1995.** Ecophysiologie du blé, Technique et documentation. Ed. Lavoisier, Paris, 429p
- **Gauthier J., 1991.** Notions d'agricultures. Rue Michel-Haidy, 575p
- **Grignae, 1986 et Gâte, 1987, (cité in Bhourri et al., 2015)** Guide pour l'interprétation d'une analyse de sol. Coures de fertilisation des sols en agriculture biologique /cégep de victoria ville disponible sur blog.ac-versailles.fr/pdf
- **Gervy R., 1970.** Les phosphates et l'agriculture. Ed. DUNOD. Paris. 298p

-H-

- **Hamadache, A. 2002.** Evolution récente des principales ressources fourragères et possibilités d'amélioration en Algérie. Céréaliculture, pp13-20.

- **Hamadache, A., 2001.** Stades et variétés de blé. DFRV 2001. pp7-11
- **Hopkins 2003.** Physiologie végétale. 1^{ère} édition. deboeck. 514p
- **Herve Y., 1979.** Introduction à l'amélioration des plantes. Cours. École nationale supérieure agronomique de Rennes.
- **Hebert J., 1975.** Techniques nouvelles de production du blé. Document I.T.C.F. 16p.
- **Hikosaka et al.,2006.** Temperature acclimation of photosynthetic. j.exp. bot 57 p 291-302.

-K-

- **Kamel B., Mohsen B., 2017.** Manuel de grandes cultures-les céréales, édition universitaires européennes, 230p

-L-

- **Latreche F., 2011.** Le rendement et l'efficience d'utilisation de l'eau de la culture de blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous les effets du précédent cultural et de l'outil de labour du sol en environnement semi-aride. Mémoire de mastère en Agronomie. Option amélioration de la production végétale, Département des Sciences Agronomiques, Université de Sétif Algérie, 70p.
- **Lakab R., 2012.** Effet de la fertilisation azotée sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Variété « Bousselam »et sur la décomposition de la matière organique en semis direct dans la région semi-aride de Sétif. Mémoire de Magister en Agronomiques. Université Ferhat Abbas Sétif 1.
- **Loué, 1984 et Batten, 1992.** Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* L.var.Carioca et Vitron) conduite sous palmier dattier au niveau de la région de Ouargla. Mémoire d'Ingénieur d'État en Agronomie Saharienne, Option pyrotechnie, Département des Sciences Agronomiques Université de Ouargla Algérie, 48p

-M-

- **Morot-Gaudry J.F. Roger Prat F.M. Maurel C. et Sentenac H., 2009.** Biologie Végétale : Nutrition et métabolisme. Ed. Dunod. Paris, 216p.
- **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.
- **Mouellef A. 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf) au stress hydrique. Mémoire de magistère en Biotechnologies Végétales. Département de Biologie Végétale et Écologie, Université de Constantine Algérie, 84p

- **Mekliche H.L., 1983.** Etude agronomique, analyses diallèles et cytogénétique de quatre variétés de blé tendre cultivées en Algérie. Thèse de Magister. I.N.A. El-Harrach, 150 p

-N-

- **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

-P-

- **Pousset J., 2000.** Engrais verts et fertilité des sols. Ed. Agridécisions, Paris. 287p

- **Paul MH., Planchton C., 1979.** Etude de relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le soja. Ann amélio plants, 29 pp 479-492.

- **Van Schöll L., 2005.** Gérer la fertilité du sol. 5ème édition. Fondation agromisa. Wageningen. 83p

-S-

- **Sanah M. 2015.** Inventaire des maladies fongiques sur les céréales dans la région de Constantine, Mémoire de mastère en biologie. Biotechnologie des Mycètes : Fermentation et Production de Substances Fongiques, Département Microbiologie, Université des Frères Mentouri Constantine Algérie, 2015,04 p.

- **Sanchez E., Muñoz E., Anchondo Á., Ruiz J.M., Romero L., 2009.** Nitrogen impact on nutritional status of Phosphorus and its main bioindicator: response in the roots and leaves of green bean plants. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(2) pp 177-182.

- **Schvartz C., Muller J-C., Decroux J. 2005.** Guide de la fertilisation raisonnée. Ed. France Agricole, Paris. 414 p.

- **Selmi, R. 2000.** Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. Revue Afrique Agriculture, 280 : pp 30-23

- **Soltner., 2003.** Les basses des productions végétales. Ed. 23ème T1. Le sol et son amélioration. 464p.

- **Snoussi, Haltim, 1996.** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude. Gst. Sols. pp 289-298

- **Soltner D., 1990.** Les basses de production végétale. Les collections sciences techniques agricole .16ème Ed. 464p

- **Soltner D. 1990.** Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles.17ème édition. 464p.

- **Soltner D., 2005.** La grande production végétale. 20 ème édition. Paris. 472p

-T-

- **Testud F., 2004.** Engrais minéraux. EMC - Toxicologie-Pathologie 1. pp 21–28

-W-

- **Wang G.Y., Abe T., et Sasahara T., 1998.** Concentrations of grains of rice (*Oryza sativa* L.) cultivated under organic and customary farming practices. Japanese journal of crop science.67 :(3). pp 307 311.

-Z-

- **Zhang, N., Zhang, J., Purcell, K.J., Cheng, Y., Howard, K. (1997).** The *Drosophila* protein Wunen repels migrating germ cells. Nature 385 (6611): 64-67p

Sites web

[1]. <https://www.aquaportail.com/>

[2]. <http://www.omafra.gov.on.ca/>

[3]. <https://wikiagri.fr/>

[4]. <https://www.bio-enligne.com/>

[5]. <https://www.arvalis-infos.fr/>

[6]. <https://fertilisation-edu.fr/>

[7]. <https://www.futura-sciences.com/>

[8]. <https://www.infoclimat.fr/>

[9]. <https://www.utinam.cnrs.fr/>

[10]. <https://www.gie-bledur.fr>

[11]. <https://www.infoflora.ch/fr>

[12]. <https://www.google.com>

[13]. <https://comparateuragricole.com>

Résumé

Le blé dur est considéré comme l'une des sources de nourriture les plus importantes dans de nombreux pays du monde, et c'est pourquoi des études à son sujet sont toujours en cours dans le but d'améliorer la qualité et la quantité de la production. La fertilisation azotée phospho-potassique en est un facteur clé, car la pratique raisonnée, prenant en compte la fertilité des sols et le potentiel de la culture, en plus des diverses applications parallèles de désherbage et respectant les doses dans l'utilisation des pesticides chimiques, tout cela nous permet d'obtenir des résultats très satisfaisants.

Afin de le confirmer, nous avons mené, en collaboration avec la station expérimentale (FDPS) de Guelma qui dérive de l'ITGC Guelma, plusieurs expérimentations sur une variété de blé dur (*Triticum durum* Desf) (variété Vitron), qui se présentent comme suit : T0 (Témoin), T1 (N-P-K), T2 (0N-P-K), T3 (N-0P-K), T4 (N-P-0K), T5 (apport agriculteur).

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que l'effet traitement est significatif sur le rendement en présence de l'azote (NPK), ainsi qu'une augmentation du poids 1000 grains (PMG) en présence d'engrais azotée et potassique (NK).

Mots clés : La fertilisation azotée phospho-potassique, Céréales, Blé dur, Vitron, I.T.G.C. de Guelma.

Abstract

Durum wheat is considered one of the most important food sources in many countries around the world, and that is why studies on it are still being done with the aim of improving the quality and quantity of the yield. Nitrogen phospho-potassium fertilization is a key factor, because the reasoned practice, taking into account the fertility of the soils and the potential of the culture, in addition to the various parallel applications of weeding and respecting the doses in the use of chemical pesticides, all this allows us to obtain very satisfactory results.

In order to confirm our study, we have carried out, in collaboration with the experimental station (FDPS) of Guelma which derives from ITGC Guelma, several experiments on a variety of durum wheat (*Triticum durum* Desf) (variety Vitron), which is as following: T0 (control), T1 (N-P-K), T2 (0N-P-K), T3 (N-0P-K), T4 (N-P-0K), T5 (farmers input).

The results of the analyzes and their variables proved that the effects of treatment are significant on the estimated yield in the presence of nitrogen (N-P-K), and also on the weight of 1000 grain of wheat in the presence of nitrogen and potassium (N-K).

Key words: Phospho-potassium nitrogen fertilization, cereals, durum wheat, vitron, I.T.G.C. Guelma.

الملخص

يعتبر القمح الصلب من أهم مصادر الغذاء في العالم في الكثير من بلدان العالم، ولذلك فالدراسات حوله لا تزال مستمرة بهدف تحسين نوعية وكمية الإنتاج. يمثل التسميد النيتروجيني والفسفوري البوتاسي عاملاً أساسياً في ذلك، حيث أن الممارسة المنطقية مع مراعاة إمكانيات المحصول بالإضافة إلى مختلف التطبيقات الموازية من إزالة الأعشاب الضارة و احترام الجرعات في خصوبة التربة و استعمال المبيدات الكيميائية، كل هذا من شأنه أن يمكن من الحصول على نتائج جد مرضية.

لغرض تأكيد ذلك، قمنا بالتعاون المحطة النموذجية لقالمة و التي تعتبر فرع تابع للمعهد الوطني للزراعات الكبرى (اي تي جي سي)، و أجرينا العديد من التجارب على نوعية من القمح الصلب فيترون و هي كالآتي :

(مدخلات المزارعين) T5 (N-P-OK), T4 (N-P-OK), T3 (N-OP-K), T2 (ON-P-K), T1 (N-P-K), T0 (الشاهد)

نتائج التحاليل و متغيراتها أثبتت أن تأثيرات المعالجة تكون ظاهرة على المردودية بتواجد الأزوت و أيضا على وزن حبة قمح بتواجد الأزوت و البوتاسيوم.

الكلمات المفتاحية: التسميد النيتروجيني و الفوسفوري البوتاسي، الحبوب، القمح الصلب، فيترون، المعهد التقني للزراعات الواسعة قالمة.