

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, 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: Phytopathologie et phytopharmacie

Département: Écologie et Génie de l'environnement

Contribution à l'étude des effets d'un biofertilisant (SIZAM) sur la croissance et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

Présenté par : BELHOUCHE Souffiane

Devant le jury composé de :

Président: Mme OUCHTATI N. (MCB)

Université de Guelma

Examineur : Mme CHAHAT N. (MAA)

Université de Guelma

Encadreur: Mme ALLIOUI N. (MCB)

Université de Guelma

Membre: Mme LAOUAR H. (MAA)

Université de Guelma

Membre: Mr. ZITOUNI A. (MCB)

Université de Guelma

Membre: Mr. BOUMAAZA B. (MCB)

Université de Guelma

Juin 2017

Remerciements

Dieu merci pour la volonté que vous m'avez donnée pour que j'ai pu achever mon travail et le mener à terme. *ALHAMDOLILAH...*

Pour commencer je tiens à remercier du fond du cœur mon encadreur Madame *ALLIOUI Nora*, sans qui la réalisation de ce travail n'aurait pu être possible et avec qui j'ai appris beaucoup de choses, je la remercie aussi pour le temps qu'elle me l'a consacré malgré ses engagements et ses responsabilités. Je pris mon Dieu qu'il la bénisse et la protège.

Mes remerciements vont aussi aux membres du jury :

- Madame *OUCHTATI Nadia* pour avoir accepté de présider le jury,
- Madame *CHAHAT Nora* pour avoir accepté de juger mon travail,
- Ainsi qu'a tous mes enseignants membres de la commission de soutenance, Monsieur *ZITOUNI Ali*, Monsieur *BOUMAAZA Boualam* pour son soutien tant précieux et Madame *LAOUAR Hadia*, pour leur contribution à l'évaluation de ce modeste travail. Qu'il me soit permis d'exprimer mes vifs remerciements plus particulièrement à monsieur *Zitouni Ali* pour son aide dans le traitement statistique des résultats.

J'adresse aussi mes remerciements les plus sincères au personnel de l'I.T.G.C de Guelma, à leur tête sa directrice Mme *SERIDI Souad*,

et Mr ATMANIA Nabil pour l' aide qu' il m' a apporté dans le travail sur terrain, ainsi qu' à tous le personnel.

Un grand merci pour mon épouse Zahra qu' elle m' a soutenu moralement pendant la réalisation de ce travail.

J' ai à remercier Mr le directeur de l' ITMAS de Guelma KHOUDRIA Abderrazak pour sa compréhension en m' autorisant à accomplir mon master, que Dieu l' aide à bien mener sa tâche de diriger notre institut.

Je voudrais exprimer un grand merci à mes enseignants, de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l' univers de l' université du 8 Mai 1945 de Guelma, pour leur efforts consentis dans notre formation.

À la fin je tiens à remercier mes collègues de la promotion.

Sommaire

Titres	Pages
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	01
Chapitre 01 : Revue bibliographique sur la culture du blé et ses exigences en éléments fertilisants	03
1-1- Présentation de la culture	03
1-1-1- Caractères morphologiques	03
1-1-2- Position systématique	04
1-1-3- Biologie et physiologie du blé	05
1-2- Importance de la culture du blé dans le monde	05
1-3- Évolution de la culture céréalière au niveau national	06
1-3-1- Superficies cultivées en céréales	06
1-3-2- Production et rendements en blés	07
1-3-3- Contraintes de la production nationale du blé	08
1-4- Fertilisation des cultures et exigences du blé en éléments fertilisants	09
1-4-2- Importance de la fertilisation pour les cultures	09
1-4-3- Les lois d'action des éléments fertilisants	09
1-4-4- Besoins en éléments nutritifs des végétaux	10
1-4-4-1- Les éléments majeurs ou macroéléments	11
1-4-4-2- Les éléments mineurs ou oligoéléments	11
1-4-5- Rôle des éléments fertilisants dans la plante	13
Chapitre 02 : Matériel et méthodes	21
2-1- Objectif de l'étude	21
2-2- Caractéristiques du matériel végétal	21
2-3- Fertilisant utilisé le « SIZAM »	21
2-3-1 - Composition du « SIZAM »	22
2-3-2 - Caractéristiques du « SIZAM »	22
2-4- Caractéristiques du site d'essai	22
2-4-1- Localisation	22
2-4-2- Caractéristiques pédologiques	22
2-4-3- - Caractéristiques climatiques	24
2-4-3-1. Pluviométrie	24
2-4-3-2. Température	24
2-4-3-3. Humidité relative	25
2-5- Installation de l'essai	25
2-5-1- Mise en place de l'essai	25
2-5-2- Conduite de l'essai	26
2-5-3- Apport du traitement fertilisant	27

2-6-Paramètres estimés	27
2-6-1- Paramètres morphologiques	27
2-6-1-1- Hauteur des plantes	27
2-6-1-2- Longueur des racines	27
2-6-1-3- La surface foliaire	27
2-6-2- Paramètres physiologiques	28
2-6-2-1- Paramètres hydriques	28
2-6-2-2- Paramètres énergétiques	28
2-6-3- Paramètres agronomiques	29
2-6-3-1- Nombre de plants /m ²	29
2-6-3-2- Nombre de talles /plant	29
2-6-3-3- Nombre d'épis/plant	29
2-6-3-4- Nombre d'épis/m ²	30
2-6-3-5- Nombre de graines/épi	30
2-6-3-6- Poids de 1000 grains	30
2-6-3-7- Rendement / ha :	30
2-7- Traitement statistique des résultats	31
Chapitre 03 : Résultats et discussions	32
3-1- Caractéristiques morphologiques	32
3-1-1 Hauteur des plants	32
3-1-2 Longueur des racines	33
3-1-3 Nombre de talles/plant	34
3-1-4 Surface foliaire	35
3-2- Caractéristiques physiologiques	36
3-2-1- Poids frais de la partie souterraine	36
3-2-2- Poids sec de la partie souterraine	37
3-2-3- Poids frais de la partie aérienne	39
3-2-4- Poids sec de la partie aérienne	41
3-2-5- Teneur relative en eau (R.W.C)	42
3-2-6- Teneur des feuilles en chlorophylles	43
3-3- Caractéristiques agronomiques	44
3-3-1 Nombre de plants/m ²	44
3-3-2- Nombre d'épis par plant	45
3-3-4- Nombre d'épis/m ²	46
3-3-5- Nombre de grains par épi	47
3-3-6- Le poids de mille grains (PMG)	48
3-3-7- Rendement /ha	48
Conclusion	51
Résumés	
Références bibliographiques	

Liste des abréviations

C°	: Degré Celsius
cm	: Centimètre
Chloro.	Chlorophylle
ETo	: Évapotranspiration de référence
FAO	: Food and Agriculture Organisation
Fig.	: Figure
g	: Gramme
ha	: Hectare
H°	: Humidité
ITGC	: Institut Technique des Grandes Cultures
mm	: Millimètre
µg	: Milligramme
pH	: Potentiel hydrogène
qx	: Quintaux
R.W.C	: Relative water content
Tab.	: Tableau
T°	: Température

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Bilan céréales, Algérie, 2009	08
02	Composition élémentaire moyenne des plantes vertes	11
03	Les éléments essentiels des plantes supérieures ; estimation des concentrations optimales permettant une croissance normale	12
04	Caractéristiques de la variété CIRTA	21
05	Caractéristiques pédologiques du site de l'essai	23
06	Moyennes mensuelles des précipitations pour la région de Guelma pendant la campagne 2016-2017	24
07	Températures moyennes mensuelles de la région de Guelma pendant la campagne 2016-2017	25
08	Moyennes mensuelles enregistrées en humidité relative dans la région de Guelma pendant la campagne 2016-2017	25
09	Dates repères des différents stades phénologiques de la culture.	27
10	Résultats de l'analyse de la variance pour la hauteur des plants	33
11	Résultats de l'analyse de la variance pour la longueur des racines	34
12	Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de Talles/plant	35
13	Résultats de l'analyse de la variance pour la surface foliaire	36
14	Résultats de l'analyse de la variance pour le poids frais de la partie souterraine	37
15	Résultats de l'analyse de la variance pour le poids sec de la partie souterraine	38
16	Teneur en matière fraîche, comparée à la teneur en matière sèche pour la partie racinaire	39
17	Résultats de l'analyse de la variance pour le poids frais de la partie aérienne	40
18	Résultats de l'analyse de la variance pour le poids sec de la partie aérienne	41
19	Teneur en matière fraîche, comparée à la teneur en matière sèche pour la partie aérienne	41
20	Résultats de l'analyse de la variance pour la teneur relative en eau (R.W.C)	42
21	Résultats de l'analyse de la variance pour la teneur en chlorophylle	43
22	Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de plant/m²	44
23	Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre d'épi/plant	45
24	Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre d'épi/m²	46
25	Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de graines/épi	47
26	Résultats de l'analyse de la variance pour PMG	48
27	Résultats de l'analyse de la variance pour rendement Qx/ha	49
28	Tableau récapitulatif des résultats	

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Composition d'un épillet de blé	03
02	Composition d'une fleur de blé	04
03	Composition d'un grain de blé	04
04	Les stades repères du blé	05
05	Production du blé dans le monde en 2014	06
06	Photo satellite de la station de l'ITGC Guelma	23
07	Schéma du dispositif expérimental de l'essai	26
08	Comparaison de la hauteur des plants pendant les stades Tallage et Montaison pour les différents traitements	32
09	Longueur des racines pour les différents traitements	33
10	Nombre de talles/plant pour les différents traitements	34
11	Comparaison de la surface foliaire pendant les stades Tallage et Montaison pour les différents traitements	35
12	Poids frais de la partie souterraine pour les différents traitements	37
13	Poids sec de la partie souterraine pour les différents traitements	38
14	Poids frais de la partie aérienne pour les différents traitements	39
15	Poids sec de la partie aérienne pour les différents traitements	41
16	Comparaison de la R.W.C pendant les stades Tallage et Épiaison pour les différents traitements	42
17	Comparaison du dosage de la chlorophylle pendant les stades Tallage et Épiaison pour les différents traitements	43
18	Nombre de plants/m² pour les différents traitements	44
19	Nombre d'épis par plant pour les différents traitements	45
20	Nombre d'épis/m² pour les différents traitements	46
21	Nombre de graines par épi pour les différents traitements	47
22	Le poids de mille grains « PMG » pour les différents traitements	48
23	Rendement en Qx/ha pour les différents traitements	49
24	Plants de blé attaqués par l'oïdium	50
25	Attaque d'un plant par les larves de la mouche de Hesse	50

Introduction

Introduction

Si l'alimentation humaine et animale reste le débouché principal de la culture des céréales, on note aussi un développement de l'utilisation industrielle de certaines espèces et surtout le blé, où l'amidon issu de ses grains sert de matière première pour la fabrication de différents composés non-alimentaires tel que biocarburants, papeterie, ainsi que d'autres industries.

La céréaliculture revête une grande importance dans l'aspect socioéconomique de l'Algérie, où on trouve que les céréales et surtout le blé dur qui reste la base de l'alimentation des algériens, voire celle des populations maghrébines comme le rapportent Malki et Hamadache (2002), rencontre des contraintes de multiples natures, ce qui a suscité l'intérêt de plusieurs chercheurs à trouver les causes du déclin de la production et du même coup les rendements.

Rastoin et Benabderrazik (2014) déclarent que la production de céréales en Algérie est marquée par une forte irrégularité, elle-même conditionnée par les aléas climatiques, de ce fait l'Algérie est un pays tributaire dans sa consommation en céréales de l'importation avec une facture de plus en plus galopante ; les conditions climatiques défavorables ne sont pas la seule cause pour laquelle ce déclin de production et de rendement est enregistré, mais aussi, la non maîtrise de l'itinéraire technique de la culture qui regroupe un bon nombre d'interventions dont la fertilisation.

Le recours à cette technique très importante en Algérie reste parmi les plus faibles au monde, avec seulement un quart des exploitations céréalères qui applique des engrais et/ou du fumier selon un rapport de la FAO paru en 2005 sur l'utilisation des engrais en Algérie.

Les fertilisants utilisés en agriculture sont de nature très diversifiée, et selon leur composition, et l'objectif pour lequel ils sont apportés à la culture, les doses et les stades d'application diffèrent d'un fertilisant à un autre, et contribuent fortement à la nutrition minérale de la culture et l'amélioration quantitative et qualitative des rendements.

Cependant, les engrais les plus utilisés par les agriculteurs sont les engrais minéraux, et il a été démontré que, l'utilisation non raisonnée de ces produits a des effets néfastes sur l'homme et l'environnement, car ils ont été déclarés parmi les causes de graves maladies, notamment le cancer, la leucémie, la maladie de Parkinson,..., ainsi que le déséquilibre des écosystèmes terrestres et aquatiques.

A l'opposé des engrais minéraux, les fertilisants dits « biologiques », à base de composés naturels, qui présentent beaucoup d'avantages pour l'agriculture et sans effets non intentionnels, constituent une nouvelle génération des produits fertilisants.

Cette étude qui entre dans le cadre de la collaboration entre l'université 8 mai 1945 de Guelma et l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C.), a pour objectif, de tester un produit fertilisant « biologique », nouvellement introduit en Algérie, riche en oligoéléments, et de déterminer ses effets sur le développement et le rendement de la culture du blé dur, en vue de son homologation et sa commercialisation.

Chapitre 1

*Revue bibliographique sur la
culture du blé et ses exigences
en éléments fertilisants*

Chapitre 01 : Revue bibliographique sur la culture du blé et ses exigences en éléments fertilisants

1-1- Présentation de la culture

1-1-1- Caractères morphologiques

Comme toutes les autres céréales, le blé est une monocotylédone appartenant à la famille des *Poaceae* ou *Graminées*. La plante se caractérise par des critères morphologiques particuliers : présence de chaume, d'épillets, de scutellum (cotylédon),... (Bonjean et Picard, 1990). Selon Hamadache (2001), elle comprend différentes parties :

Un appareil végétatif herbacé qui réunit :

- Un système racinaire fasciculé (assez développé).
- Une tige creuse et des feuilles engainantes.
- ✓ Une inflorescence composée d'épillets : c'est une plante autogame.
- ✓ Un fruit sec (à la fois graine et fruit) : le caryopse.

L'épi de blé est formé de deux rangées d'épillets situées de part et d'autre d'un axe. Un épillet regroupe trois fleurs à l'intérieur de deux glumes, chaque fleur est entourée de deux glumelles (Fig. 01).

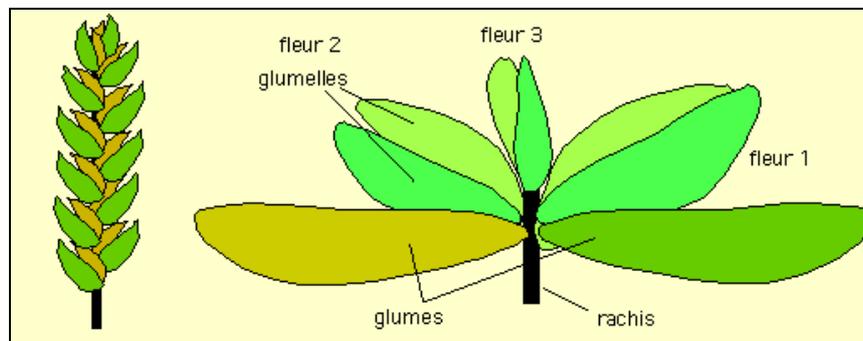


Figure 01 : Composition d'un épillet de blé [1]

Une fleur entourée de ses deux glumelles contient des pièces stériles, les glumellules, trois étamines et un ovaire surmonté de deux stigmates plumeux. L'ovaire, après fécondation de l'ovule, donnera le grain de blé (Fig. 02).

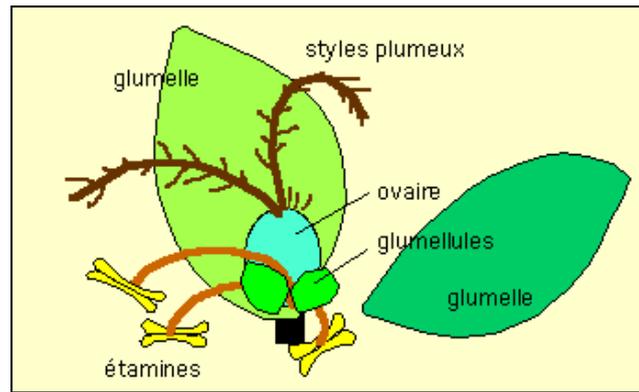


Figure 02 : Composition d'une fleur de blé [1]

Le grain de blé (ou caryopse) est entouré de deux enveloppes jointives, le péricarpe (paroi de l'ovaire) et le tégument de la graine (paroi de l'ovule). Il contient un embryon et un tissu nourricier, l'albumen (Fig. 03).

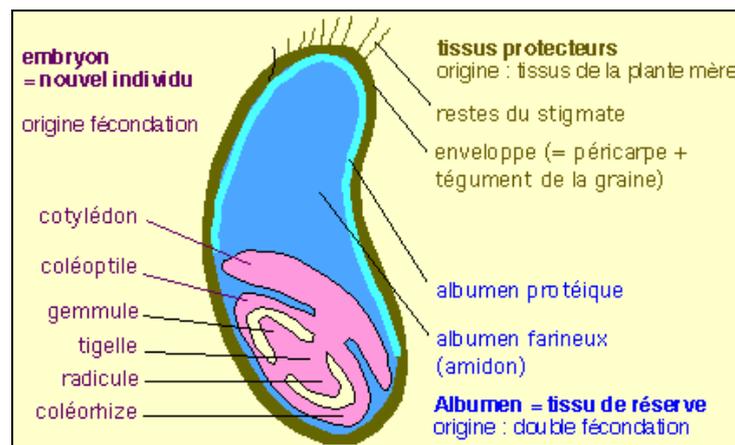


Figure 03 : Composition d'un grain de blé [1]

1-1-2- Position systématique

Le blé dur obéit à la classification suivante (Crête ,1965 ;Feillet, 2000 in Oudjani, 2009):

- Embranchement :** Angiospermes
- Sous embranchement :** Spermaphytes
- Classe :** Monocotylédones
- Ordre :** Glumiflorales
- Super ordre :** Comméliniflorales
- Famille :** Gramineae
- Tribu :** Triticeae
- Sous tribu :** Triticinae
- Genre :** *Triticum*
- Espèce :** *Triticum durum* Desf.

1-1-3- Biologie et physiologie du blé

Boukensous (2014), rapporte que le cycle évolutif du blé se subdivise en trois grandes périodes (Fig. 04) :

- Période végétative : du semis au stade tallage.
- Période reproductive : du stade tallage herbacé à la floraison.
- Période de maturation : de la floraison à la récolte.

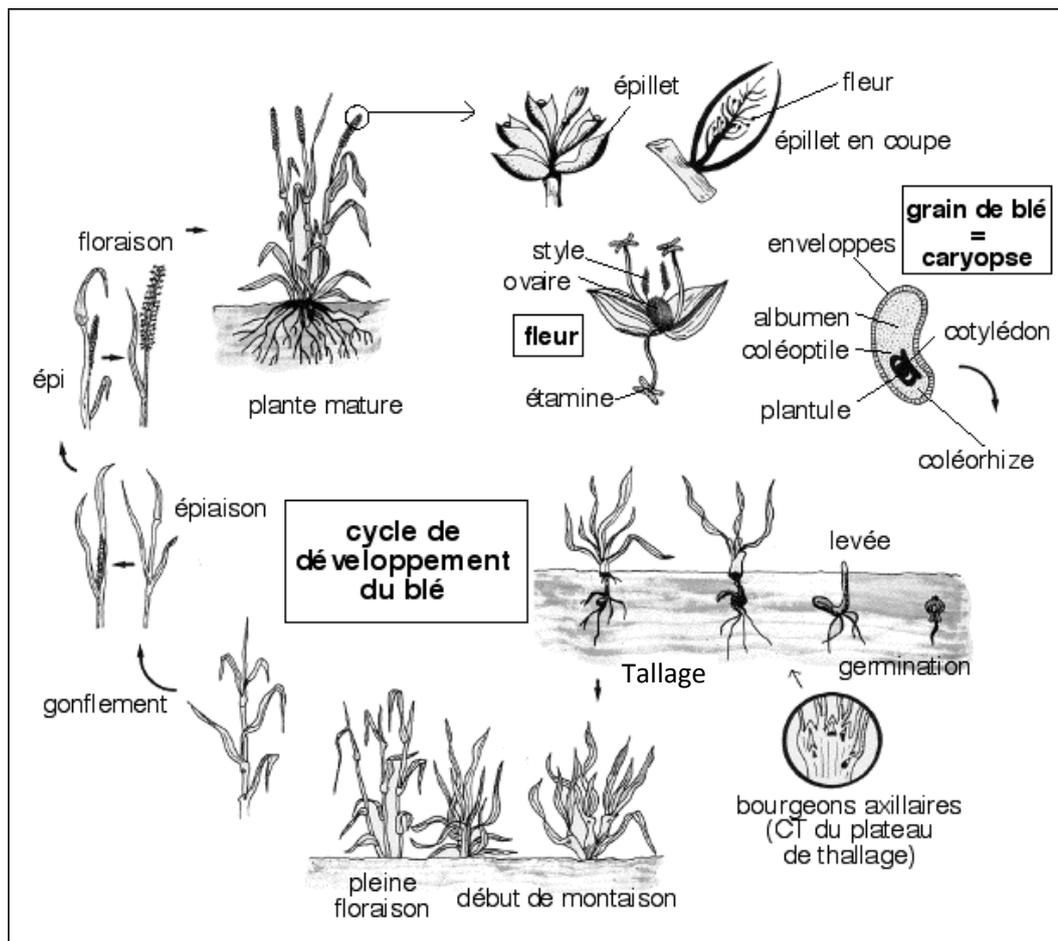


Figure 04 : Les différents stades de développement du blé [3]

1-2- Importance de la culture du blé dans le monde

Le secteur des céréales est d'une importance cruciale pour les disponibilités alimentaires mondiales. La consommation de céréales par tête et par an est estimée à 171 kg dans le monde et elle atteint 209 Kg/ tête/ an au Proche-Orient et en Afrique. Parmi les céréales cultivées, le blé

constitue la principale culture dans le monde et elle représente entre 1997 et 1999, environ 31% de la consommation globale en céréales (Choueiri, 2003).

Selon la FAO (2016), en 2014, la Chine occupe la première place en production de blé dans le monde avec une production de 126.212.750 tonnes (Fig. 05), suivie de l'Inde (94.483.000 tonnes). En Méditerranée, la France est le premier producteur de blé (38.966.600 tonnes); elle occupe la 5^{ème} position à l'échelle mondiale. Les prévisions de la FAO, pour la production mondiale de blé prévue pour 2016-2017, sont d'environ 742 millions de tonnes, et sa consommation est estimée à 730,5 millions de tonnes.

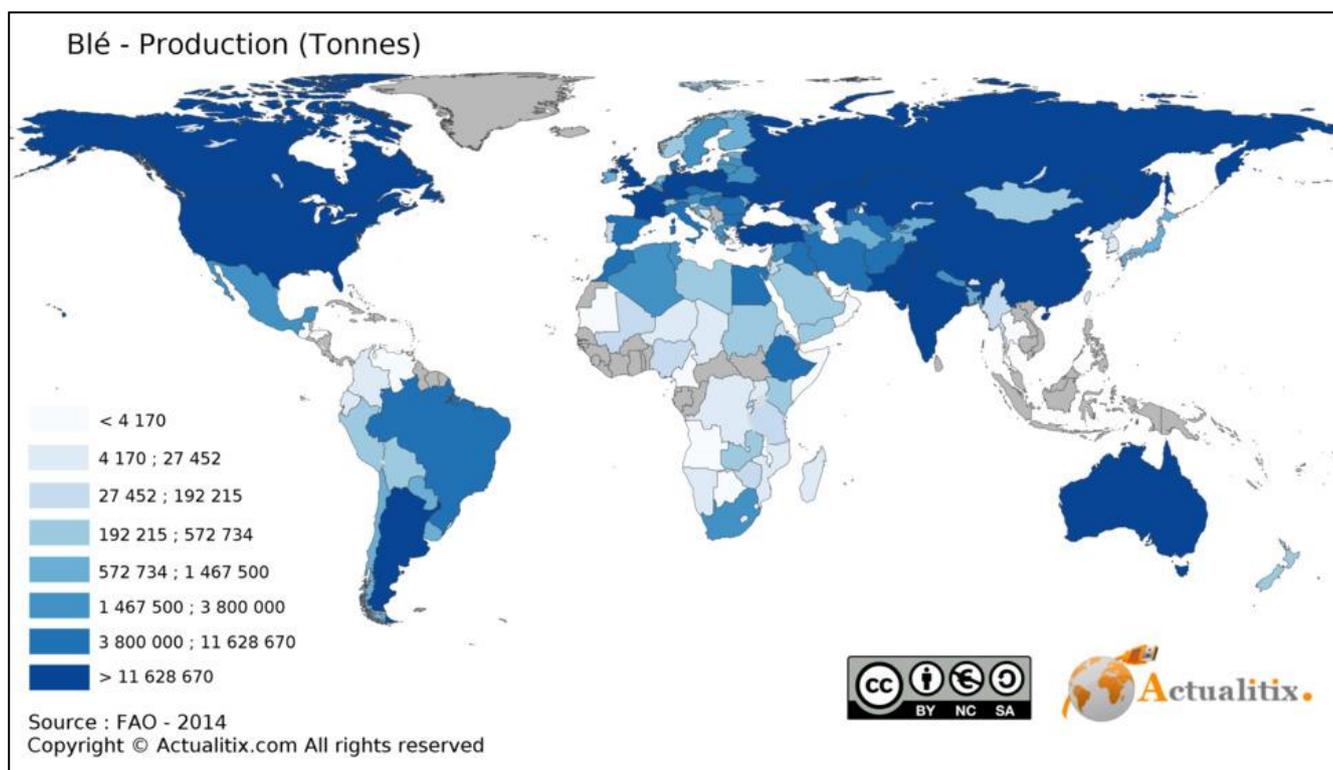


Figure 05 : Production du blé dans le monde en 2014

(FAO, 2016).

1-3- Évolution de la culture céréalière au niveau national

En Algérie, deux espèces sont essentiellement cultivées : le blé dur *Triticum turgidum* var. *durum*, dont l'aire d'extension est surtout constituée de zones arides et semi-arides, et le blé tendre *Triticum aestivum* var. *aestivum* dont l'adaptation agrotechnique est très large (Fritas, 2012).

1-3-1- Superficies cultivées en céréales

Kellou (2008), rapporte que la céréaliculture, d'une manière générale, est pratiquée dans la moitié des exploitations agricoles ; et, en fonction des quantités de pluie reçues au cours de l'année et des quantités de céréales produites, trois zones céréalières peuvent être distinguées :

➤ **Une zone à hautes potentialités (Z1) :** on y trouve une pluviométrie moyenne supérieure à 500 mm/an, avec des rendements moyens de 20 qx/ha. Cette zone couvre une superficie agricole utile (SAU) de 400.000 ha dont moins de 20% sont consacrés aux céréales.

➤ **Une zone à moyennes potentialités (Z2) :** caractérisée par une pluviométrie comprise entre 400 et 500 mm/an, les rendements peuvent varier de 5 à 15 qx/ha. Cette zone englobe une SAU de 1.600.000 ha dont moins de la moitié est réservée aux céréales.

➤ **Une zone à basses potentialités (Z3) :** caractérisée par un climat semi-aride et située dans les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest, et dans le sud du massif des Aurès. La moyenne des précipitations est inférieure à 350 mm/an. Ici, les rendements en grains sont le plus souvent inférieurs à 8 qx/ha. La SAU de cette zone atteint 4,5 millions d'ha dont près de la moitié est emblavée chaque année de céréales.

Selon le même auteur, parmi les céréales cultivées, le blé occupe une place très importante dans la structure spatiale de l'activité agricole. Il occupe environ 60% des superficies céréalières emblavées, qui représentent environ 45% de la SAU. Actuellement, la superficie moyenne du blé se situe à environ 1664345 ha. Ces espaces cultivés sont marqués par une forte diversification agro-pédo-climatique, car les variations de la pluviométrie contribuent jusqu'à 50% à la différence des rendements d'une année à l'autre, les superficies récoltées ne représentent que 1/3 des superficies emblavées.

1-3-2- Production et rendements en blés

Kellou (2008), révèle que, le rendement en blé , en Algérie est faible et très aléatoire. Comparativement à la moyenne mondiale, qui est de 29 qx/ha pour 2004, les blés algériens ne sont que pour les meilleures années 50% de la moyenne mondiale (en moyenne 10,50 qx/ha), ils sont parmi les plus faibles dans le monde. Pour une moyenne de 10 ans (2001-2010), le rendement moyen en blés a atteint 13,5 qx/ha (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

Selon la FAO (2016), le classement des pays producteurs du blé, a montré que, pour les pays du Maghreb, le Maroc, occupe la 27^{ème} position (5.115.890 tonnes) ; l'Algérie la 35^{ème}

position, avec une production de 2.436.197 tonnes, et la Tunisie, la 44^{ème} position (1.513.000 tonnes).

Djermoun (2009) rapporte qu'en Algérie, les produits céréaliers représentent plus de 40% de la valeur des importations des produits alimentaires. Ils occupent le premier rang (39,22 %), devant les produits laitiers (20,6%), le sucre et sucreries (10%) et les huiles et corps gras (10%). De 1995 à 2005, le marché Algérien a absorbé, en moyenne annuelle, 4.244.903 tonnes de blés dont 70,44 % de blé dur, soit 2.990.265 tonnes représentant une valeur de 858 millions de dollars, dont 60,36% de blé dur, soit 578 millions.

L'Algérie est donc confrontée à un problème de dépendance extérieure qui s'accompagne de lourdes factures. En 2011, le coût des importations des céréales en Algérie a dépassé 4,2 milliards de dollars, dont 68% pour le blé (Rastoin et Benabderrazik, 2014). Le tableau 01 affiche quelques données sur la situation des céréales en Algérie, selon la FAO.

Tableau 01 : Bilan céréales, Algérie, 2009
(adapté de FAOSTAT (2013) in Rastoin et Benabderrazik, 2014)

	Milliers de tonnes				Disponibilité alimentaire Kg./Personne/An
	Production	Importation	Disponibilité intérieure	Alimentation	
Céréales (Totales)	5 253	7 986	11 852	8 044	230
Blé	2 953	5757	8 173	6 988	200

1-3-3- Contraintes de la production nationale du blé

Selon Rachedi, (2003), la faiblesse des rendements céréaliers en Algérie peut être attribuée à plusieurs facteurs :

***Contraintes du milieu** : notamment l'adversité climatique fréquente (pluviométrie irrégulière, gelées, grêle, sirocco, ...).

* **Contraintes de structure** : avec 60% des superficies situées sur des terres peu productives et le morcellement d'une partie des terres (moins de 10 ha), les efforts d'intensification et de mécanisation deviennent très difficiles.

* **Contraintes techniques** : travail du sol sommaire, faible utilisation de la semence de qualité, faible taux d'utilisation des engrais et mauvaise application des techniques culturales.

* **Contraintes socio-économiques** : faible revenu de la céréaliculture comparativement aux autres groupes de cultures, céréaliculture utilisée comme support à l'élevage dans un système extensif.

1-4- Fertilisation des cultures et exigences du blé en éléments fertilisants

1-4-1-Définition de la fertilisation

La « fertilisation » peut être définie comme l'ensemble des techniques agricoles permettant la mise en œuvre des matières fertilisantes. Ces opérations ont pour but de conserver ou d'améliorer la productivité d'une terre (Schvartzet *al.*,2005). De façon plus restrictive, la fertilisation signifie l'ensemble des techniques agricoles permettant la mise en œuvre des matières fertilisantes. Ces opérations ont pour but de conserver ou améliorer la productivité d'une terre (ENSAT, 2014), elle consiste à l'amélioration d'une terre par apport d'engrais ou d'amendement (El hassani, 1994 ; Mozoyer, 2002).

1-4-2- Importance de la fertilisation pour les cultures

La fertilisation a pour objectif la maîtrise de l'alimentation de la plante cultivée par la fourniture des éléments nutritifs en quantité, en qualité et au moment où elle en a besoin, elle consiste donc à apporter des éléments minéraux sous forme d'engrais afin de satisfaire les besoins de la culture (Prévoist, 2006).

La fertilisation est indispensable pour améliorer les rendements, et doit être correctement évaluée pour se situer à l'optimum économique (FAO, 2005), par les mécanismes de la nutrition végétale, qui est l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, reproduction etc...(Zaid, 2006).

Selon El hassani (1994), la fertilisation a pour buts :

- De créer, améliorer ou maintenir les caractéristiques biologiques et physico-chimiques du sol aptes à optimiser l'absorption par les plantes des éléments nécessaires à leur croissance et au rendement ;
- D'assurer la complémentation des fournitures en provenance du sol.

1-4-3- Les lois d'action des éléments fertilisants

Selon Prévost (2006) la pratique de la fertilisation doit être raisonnée à partir de certaines lois qui décrivent notamment les effets de l'apport d'éléments fertilisants aux cultures, à savoir :

➤ **Loi de restitution** : il est nécessaire de restituer au sol ce qui a été prélevé lors de la culture précédente; les pertes du sol en éléments minéraux sont toujours plus élevées que les exportations normales de la culture à cause de perte :

- ✓ Par lessivage de certains éléments ;
- ✓ Par blocage possible de certains minéraux (phosphore en sol calcaire, rétrogradation du potassium) ;
- ✓ Par consommation de luxe des plantes, en particulier d'azote ou de potassium ; l'excès d'azote ou de potassium dans le sol provoque chez certaines cultures une surconsommation en ces éléments, le plus souvent néfaste (sensibilité accrue au parasitisme).

➤ **Loi du minimum** : l'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments et par suite diminue le rendement de la culture (loi de Liebig). Tous les éléments nutritifs doivent être présents selon un certain équilibre variable avec la culture. Les éléments majeurs (N,P,K et Ca) doivent être nécessairement présents en plus grande quantité mais n'importe quel oligoélément peut jouer le rôle de facteur limitant s'il y a carence en cet élément.

➤ **Loi des rendements moins que proportionnels** : quant on apporte au sol des doses croissantes d'un élément fertilisant, les augmentations de rendement obtenues sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les quantités apportées s'élèvent. Ainsi, il existe une dose optimale d'éléments à apporter, la dose maximale n'étant pas la plus économique (Prévost, 2006).

1-4-4- Besoins en éléments nutritifs des végétaux

Selon Hopkins (2003), les besoins nutritifs des plantes sont traditionnellement abordés sous deux aspects : la nutrition organique et la nutrition minérale, où l'eau et les sels minéraux sont prélevés dans le sol par les poils absorbants des racines. Les besoins de la plante évoluent au cours de son développement. Aux stades où ils sont nécessaires, les éléments minéraux doivent pouvoir être prélevés par la plante dans le sol. Ils doivent être disponibles en quantités suffisantes et sous une forme assimilable. Si les éléments ne sont pas disponibles au moment

nécessaire, la croissance de la plante sera limitée et le rendement final plus faible (FAO, 2005). Le tableau 02 montre l'intérêt des éléments minéraux pour les plantes.

Tableau 02 : Composition élémentaire moyenne des plantes vertes (Deblay, 2006)

Elément	Teneur moyenne (% M.S.)
Oxygène (O)	42 à 44
Carbone (C)	40 à 45
Hydrogène (H)	6 à 7
Azote (N)	1 à 3
Phosphore (P)	0,05 à 1
Potassium (K)	0,1 à 3
Calcium (Ca)	0,5 à 3,5
Magnésium (Mg)	0,03 à 0,08
Soufre (S)	0,1 à 0,5
Fer (Fe)	0,004 à 1,3
Sodium (Na)	0,02 à 1,5
Silicium (Si)	0,2 à 3
autres éléments (Cl, Mn, Cu, Zn, Al, Mo....)	traces

Hopkins (2003), subdivise les éléments essentiels pour les plantes en deux catégories (Tab. 03), et il signale que, la distinction entre les deux catégories ne doit pas être interprétée comme étant le signe de rôle plus ou moins important, joué dans les besoins nutritifs de la plante :

- Les macroéléments (teneur > 10 mmole/kg de M.S.).
- Les micro-éléments ou oligoéléments (teneur < 30 mmole /kg de M.S.).

1-4-4-1- Les éléments majeurs ou macroéléments

Selon Zaid (2006), on en dénombre neuf (09), ce sont les éléments essentiels dont la plante a besoin en quantité relativement importante (Tab. 03), il s'agit du carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Les trois premiers (C, H et O) sont puisés dans l'air et dans l'eau. Le dernier (N) dans le sol (forme minérale) et dans l'air (cas des organismes fixateurs). Ces quatre éléments qui constituent la matière organique représentent plus de 90 % en moyenne de la matière sèche végétale. A ces éléments s'ajoutent le soufre, le phosphore, le calcium, le potassium et le magnésium.

1-4-4-2- Les éléments mineurs ou oligoéléments

Les oligo-éléments existent en quantités relativement faibles dans les végétaux, qui en ont un besoin limité. Par exemple, une récolte de dix tonnes de céréales (5 tonnes de grains plus 5 tonnes de paille) peut contenir quelques 100 kg du macroélément azote (N), par contre, sa teneur en oligo-élément zinc (Zn) excède rarement 250 g, soit 400 fois moins. Bien que la teneur des végétaux en oligo-éléments soit minime, ceux-ci doivent tous s'y trouver en quantités suffisantes pour que la croissance et les rendements soient optimaux (Katyal et Randhawa, 1986). Ils sont au nombre de huit: le chlore, le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre, le nickel et le molybdène (Tab. 03).

Schvartzet *al.* (2005) rapportent qu'une des caractéristiques les plus remarquables des oligo-éléments est le fait que, à l'exception du chlore, ils doivent être fournis à la plante à des doses très faibles, sous peine de troubles graves : risques de toxicité ou de carence induite par l'excès d'un autre élément. Pontailier (1964) estime que l'absence d'un seul élément de ces éléments suffit à provoquer la mort de la plante, après que celle-ci ait présenté des symptômes caractéristiques de carence.

Tableau 03 : Les éléments essentiels des plantes supérieures ; estimation des concentrations optimales permettant une croissance normale (Hopkins, 2003).

Élément	Forme disponible	Concentration dans la matière sèche (mmole/kg)
<i>Macroéléments</i>		
Hydrogène (H)	H ₂ O	60000
Carbone (C)	CO ₂	40000
Oxygène (O)	O ₂ , CO ₂	30000
Azote (N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1000
Potassium (K)	K ⁺	250
Calcium (Ca)	Ca ²⁺	125
Magnésium (Mg)	Mg ²⁺	80
Phosphore (P)	HPO ₄ ⁻ , H ₂ PO ₄ ²⁻	60
Soufre (S)	SO ₄ ²⁻	30
<i>Microéléments</i>		
Chlore (Cl)	Cl ⁻	3,0
Bore (B)	BO ₃ ³⁻	2,0
Fer (Fe)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	2,0
Manganèse (Mn)	Mn ²⁺	1,0
Zinc (Zn)	Zn ²⁺	0,3
Cuivre (Cu)	Cu ²⁺	0,1
Nickel (Ni)	Ni ²⁺	0,005
Molybdène (Mo)	MO ₄ ²⁻	0,001

1-4-5- Rôle des éléments fertilisants dans la plante

Les éléments fertilisants peuvent avoir un rôle «plastique» quand ils rentrent directement dans la structure des composés organiques : c'est le cas de l'azote, du phosphore et du soufre. Ils peuvent rester essentiellement sous la forme minérale d'ion tel qu'ils ont été absorbés par les racines comme c'est le cas du potassium [2].

El Allaoui (2007) révèle que la diversité et l'importance des rôles de ces éléments minéraux pour les plantes, rendent nécessaire d'assurer la disponibilité de ces éléments en quantités suffisantes pour une production optimale des cultures.

- L'azote (N)

L'azote joue un rôle déterminant à la fois sur le rendement et sur la qualité des productions. Les plantes s'alimentent dans le sol en azote minéral et le transforment en protéines, composants essentiels de la vie pour l'homme et les animaux [2]. L'azote est le principal constituant des molécules essentielles à la construction des cellules végétales. Les acides nucléiques (ARN, ADN), les acides aminés, les nucléotides, les coenzymes et la chlorophylle ont besoin d'azote pour se former [3].

Selon Katyal et Randhawa (1986) et Schwartz (2005), lorsque l'alimentation azotée est perturbée, les différents organes des plantes sont plus petits, et les rendements diminués. La carence azotée conduit à une plus faible densité des peuplements (tallage), à une fructification précoce et à une teneur réduite en protéines.

- Le phosphore

Le phosphore est présent dans de nombreuses molécules indispensables à la vie. On le retrouve dans les acides nucléiques, les chloroplastes et les protéines du noyau. Il est présent dans les molécules énergétiques que sont l'ATP (adénosine triphosphate) et l'ADP (adénosine diphosphate). Le phosphore a donc un rôle énergétique, plastique et génétique au niveau des cellules végétales. En association avec l'azote, il contribue à la croissance des végétaux, et joue un rôle essentiel dans la qualité des produits végétaux, dans le développement racinaire, la précocité et la rigidité des tissus [3].

Contrairement à l'azote qui prolonge la phase végétative, le phosphore est un facteur de précocité ; en effet, la formation des grains commence plus tôt en cas d'excès de phosphore (Rakotondradona, n.d.).

Les plantes carencées en P ont une croissance ralentie; le développement des racines et la densité des populations (le tallage) sont réduits; la floraison et la maturation sont retardées. Une carence en P provoque une diminution de la production de protéines et de vitamines. La conservation des légumes ainsi que la résistance au gel est moins bonne (kali AG potasse).

- Le potassium

Le potassium est un élément constamment trouvé dans les cendres des végétaux. Il est consommé en quantité importante par les plantes, pourtant il n'entre pas dans la constitution des matières organiques comme les glucides, les protéides et les lipides. Il intervient surtout comme un régulateur de fonctions et se trouve en forte proportion dans les jeunes organes. Il est doué d'une grande mobilité de neutraliser les acides organiques. (Rakotondradona, *nd.*).

Cet élément nutritif intervient dans l'ouverture des stomates. Il permet la circulation des sels minéraux dans les tissus végétaux par le phénomène de l'osmose, et de ce fait, il contribue à l'équilibre ionique au niveau des cellules. Il sert également d'activateur à un certain nombre d'enzymes [3].

Les rôles du potassium dans le métabolisme des plantes sont multiples (kali AG potasse) :

- Il maintient le port de la plante par son effet majeur sur la turgescence des cellules et la constitution de parois cellulaires résistantes ;
- Il agit sur la photosynthèse en activant plus de 80 systèmes enzymatiques ;
- Il favorise la circulation de la sève ascendante dans le xylème et descendante dans le phloème. Il permet le transfert des assimilats (sucres, acides aminés) vers les racines et les organes de réserve (grains, fruits, tubercules).
- Il contrôle l'ouverture et la fermeture des stomates et régule le cycle de l'eau dans la plante ;
- Il intervient sur la composition et la qualité de nombreuses productions (équilibre sucre/acidité, teneur en vitamine C, composés aromatiques, qualité des fibres...).

Les plantes carencées en potassium ont une production de matière sèche restreinte (hydrates de carbone, protéines); pour les fruits et les légumes, le goût est moins agréable. La résistance à la verse, au gel et à la sécheresse trouve réduite. La transpiration et la respiration sont plus importantes. Les fruits et légumes se conservent moins bien. (kali AG potasse).

- Le calcium

Le calcium est un constituant important des membranes cellulaires, en cimentant les parois cellulaires, les unes aux autres, le calcium assure leur cohésion [3], le calcium est un élément nutritif indispensable aux végétaux, généralement abondant dans le sol, il est prélevé sous forme de cation Ca^{++} par les racines. Ses fonctions principales sont de :

- Participer à la constitution des parois cellulaires des plantes en les rigidifiant ;
- Activer différentes enzymes dont, la nitrate réductase assurant la réduction du nitrate en ammonium dans les feuilles ;
- Favoriser la croissance des jeunes racines en synergie avec les autres éléments [2].

Il joue également un rôle dans la division cellulaire (mitose) et dans le maintien de la structure des chromosomes. Enfin, il est un activateur important d'enzymes et un neutralisant des acides organiques (FAO, 2005).

La croissance des différentes parties d'un végétal carencé en calcium est ralentie. En plein champ, la carence calcique est rare; il est plus fréquent de constater des dommages dus à l'acidité des sols pauvres en chaux (kali AG potasse) ; l'absence du calcium entraîne un métabolisme anormale au niveau des racines, elles sont incapables d'absorber les nitrates (Rakotondradona, *nd.*).

- Le magnésium

Le magnésium est un élément constitutif de la chlorophylle de l'ordre de 2,7 % (Rakotondradona, *nd.*), il joue donc un rôle important dans la photosynthèse. Il favorise la mobilité des sucres et du phosphore dans la plante et est aussi un activateur important d'enzymes (FAO, 2005).

Le magnésium a de très nombreuses autres fonctions dans la plante ; il agit également au niveau:

- De l'activation de nombreuses enzymes,
- De la synthèse des protéines et des sucres et leur chargement dans le phloème,
- Du métabolisme du phosphore,
- De la pression osmotique intracellulaire avec le potassium et la rigidité des parois cellulaires avec le calcium qui maintiennent le port de la plante [2].

Chez les plantes carencées en magnésium, la production d'hydrates de carbone est réduite et les amides, qui servent à la protéosynthèse, s'accumulent dans les feuilles. On met en évidence de plus en plus fréquemment des carences magnésiennes, car des quantités non négligeables de magnésium sont exportées par les végétaux et lessivées (kali AG potasse).

- Le soufre

Le soufre est nécessaire à la croissance des plantes. Il est un constituant des acides aminés soufrés et joue un rôle essentiel dans le métabolisme des vitamines. Il est responsable de l'odeur et de la saveur de certaines plantes comme les Liliacées (oignon, ail, poireau) et les Brassicacées (chou, colza, moutarde) (FAO, 2005).

Le soufre est un élément constitutif des acides aminés que sont la cystine, la cystéine et la méthionine. Chez les légumineuses, le soufre intervient dans la formation des nodules nécessaires à la fixation de l'azote atmosphérique. Il permet aux plantes de résister aux pathologies, et intervient dans la croissance des végétaux et dans la formation des fruits. En plus, c'est un élément de transfert d'énergie (Rakotondradona, *nd.*).

En cas de carence en soufre, la synthèse des protéines est perturbée; il y a excès d'hydrates de carbone dans les tissus végétaux. Les parois cellulaires s'épaississent (kali AG potasse), la déficience en soufre induit un symptôme de jaunissement des feuilles comme pour l'azote puisqu'il se forme moins de chlorophylle, il est à noter aussi qu'elle peut affecter la teneur et la composition en protéines des céréales ou d'autres récoltes [2].

- Le fer

Selon Hopkins (2003), le fer participe activement durant la respiration et la photosynthèse au niveau des chaînes d'électrons.

Le fer est indispensable pour la production de la chlorophylle. Il est l'élément indispensable à la production des cytochromes (pigments) et de la nitrogénase (enzyme).

Il est rare que les sols soient déficients en fer. Mais cet élément peut être non disponible pour les plantes si le pH n'est pas compris entre 5 et 6,5. Une carence en fer se traduit par une chlorose ou un brunissement du pétiole des feuilles, alors que les nervures demeurent vertes [3].

Katyal et Randhawa (1986) rapportent que le symptôme de carence en Fer le plus courant est la chlorose des jeunes feuilles. Habituellement, la chlorose ou le jaunissement des régions inter-nerviennes commencent par une coloration pâle des feuilles, les nervures restant vertes.

Toutefois, toute la feuille devient chlorotique à mesure que la carence s'accroît. Elle prend enfin une coloration blanchâtre et peut présenter des taches nécrotiques. La chlorose par manque de fer entraîne des retards de croissance et, dans les cas les plus graves, la mort des végétaux.

- Le zinc

De nombreuses enzymes végétales incluent dans leur composition des atomes de zinc. Le zinc est également l'activateur de nombreuses enzymes. Cet oligoélément intervient dans la synthèse de la chlorophylle.

Il intervient dans le métabolisme glucidique et dans le métabolisme protéique. Son rôle est généralement connu dans la synthèse du tryptophane et de l'acide indole-acétique (AIA). La baisse des teneurs en AIA dans une plante carencée en zinc explique les symptômes d'arrêt de croissance et de faible élongation des feuilles (Saur, 1990), la carence en zinc se manifeste aussi généralement par une chlorose et un retard de croissance [3].

Le zinc participe à la production de l'auxine. Les pousses et les bourgeons des végétaux carencés en zinc ont une très faible teneur en auxine, ce qui provoque le nanisme et des retards de croissance. On obtient donc des végétaux rabougris à la croissance retardée. On considère qu'une carence en zinc réduit la synthèse de l'acide ribonucléique (ARN), qui inhibe à son tour la synthèse protéique. Les végétaux carencés en zinc ont donc une faible teneur en protéine (Katyal et Randhawa, 1986), ainsi ils déclarent que les symptômes communs à de nombreuses cultures sont les suivants :

- Apparition de taches vert pâle, jaunes ou décolorées entre les nervures de la feuille, en particulier sur les feuilles inférieures les plus âgées;
- Naissance, au sommet de la pousse, de feuilles anormalement petites et souvent mal ornées, ce qui donne au végétal un aspect touffu en rosette;
- Nanisme ou au raccourcissement des entre-nœuds de la tige;
- Mort du tissu atteint, suivie par la mort du végétal; peuplement irrégulier;
- Retard de la maturité;
- Malformation des fruits souvent accompagnée d'un rendement faible ou nul.

- Le bore

Cet oligoélément intervient dans le transport des hydrates de carbone produits lors de la photosynthèse. Il joue également un rôle dans la régulation des processus

métaboliques. L'utilisation de calcium, de même que la synthèse des acides nucléiques, requière la présence de bore. Le bore assure l'intégrité de la membrane plasmique [3].

Selon Katyal et Randhawa (1986), le bore est nécessaire au bon développement et à la différenciation des tissus. Étant donné qu'il est relativement immobile dans les végétaux, les premières victimes de la carence en B sont les parties jeunes. Le bore rend les cellules végétales plus stables et joue un rôle dans la phase reproductive des plantes; la carence en B provoque souvent la stérilité et la malformation des organes reproducteurs.

Les mêmes auteurs rapportent que le bore facilite le transport des hydrates de carbone à travers les membranes cellulaires. S'il vient à faire défaut, les produits d'assimilation s'accumulent dans les feuilles et les jeunes points végétatifs manquent de sucre. Ainsi, la production maximale d'amidon et de sucre est limitée si les cultures sont déficitaires en B.

Il en ressort que le bore est impliqué dans quatre processus physiologiques importants :

- le métabolisme glucidique et le transport transmembranaire des sucres ;
- la formation des parois cellulaires (pectines) ;
- l'activité méristématique ;
- la synthèse des acides nucléiques et des phytohormones (Saur, 1990).

- Le cuivre

Le cuivre est l'activateur et le constituant des enzymes liées aux réactions d'oxydoréductions dans les cellules végétales [3]. Il est le constituant des polyphénoloxydases, nécessaires à la synthèse de la chlorophylle, il intervient dans la photosynthèse (on le trouve dans la plastocyanine) et dans les protéines cuivriques [4].

Les fonctions biochimiques du cuivre dans la physiologie des végétaux ont fait l'objet de nombreuses études et peuvent se résumer ainsi (Saur, 1990) :

- le cuivre est principalement complexé avec des composés organiques de poids moléculaire faible et avec des protéines;
- le cuivre intervient dans la composition de certaines enzymes;
- le cuivre joue un rôle fondamental dans certains processus physiologiques tels que la photosynthèse, la respiration, le transfert des sucres, la réduction et la fixation de l'azote, le métabolisme protéique et le métabolisme des parois cellulaires;
- le cuivre conditionne la perméabilité à l'eau des vaisseaux du xylème et donc, le contrôle des transferts hydriques dans la plante;

- le cuivre régule l'anabolisme de l'ADN et de l'ARN, une carence en cuivre affecte considérablement la reproduction des plantes;

- le cuivre intervient dans le mécanisme de résistance aux maladies (Saur, 1990).

- Le Nickel

Ce minéral est le constituant essentiel d'enzymes jouant un rôle clé dans l'organisme. Au nombre de ces enzymes, on retrouve les enzymes impliquées dans l'absorption de l'azote. Les plantes souffrant d'une carence en azote présentent des nécroses sur les pointes de leurs feuilles [1]. Selon Heller (1998), le Nickel est un constituant de l'uréase, on le rencontre, notamment chez les légumineuses, où il intervient dans le métabolisme des produits de fixation de l'azote atmosphérique (acide allantoïque, urée).

- Le molybdène

On connaît bien le rôle de Mo dans l'assimilation normale de l'azote par les plantes, étant donné qu'il est une composante essentielle de la nitrate-réductase et de la nitrogénase qui règle la réduction du nitrate minéral et favorise la fixation de N_2 de l'atmosphère en NH_3 dans les végétaux. Le molybdène est donc indispensable à la fixation de l'azote par les légumineuses, il est nécessaire à la synthèse de l'acide ascorbique et rend le fer physiologiquement assimilable par la plante. On le considère comme un antidote contre l'excès de Cu, B, Ni, Ca, Mn et Zn dans les végétaux (Katyal et Randhawa, 1986).

Cet élément intervient dans la métabolisation de l'azote et la réduction des nitrates. Les plants n'ont besoin que de quantités infimes de molybdènes (moins de 50 grammes par hectare). Il est associé aussi au métabolisme du fer et du phosphore. Enfin chez les bactéries du genre *Rhizobium*, il active la nitrogénase, une autre enzyme qui permet la fixation de l'azote de l'air N_2 en ammonium NH_4^+ [3].

C'est également un élément constitutif d'une des composantes de la nitrogénase impliquée dans la réduction de l'azote atmosphérique (Heller, 1998). L'Assimilabilité de cet élément augmente par élévation du pH, c'est-à-dire par chaulage (Demelon, 1968).

Les carences en molybdènes ne s'observent généralement que sur des sols très acides. La chute des vieilles feuilles associée à un retard de croissance est un symptôme de carence en molybdène [3].

- Le chlore

Le chlore est nécessaire à l'osmose et à l'équilibre ionique au niveau des cellules végétales. Il joue également un rôle dans les processus photosynthétiques [3]. Le chlore favorise l'hydratation des tissus et son absorption s'accompagne d'une diminution de la teneur en matière sèche dans les organes récoltés [2].

Des taches nécrotiques blanches sur les bordures des feuilles peuvent témoigner d'une carence en chlore [3], ainsi que les seuils de toxicité au chlore sont très variables : les plantes chlorophobes telles que les petits fruits, les agrumes et certains légumes sont sensibles à un excès de chlore au contraire des plantes chlorophiles (betterave, chou, carotte,...) ; beaucoup d'autres espèces comme les céréales sont indifférentes au chlore [2].

- Le manganèse

Le manganèse est indispensable au développement normal des végétaux, il intervient dans certaines réactions enzymatiques et notamment dans la photosynthèse ; on le rencontre en quantités très variables avec un maximum dans les feuilles des végétaux poussant dans les terres rouges (exemple : Thé). Les quantités exportées ne dépassent jamais quelques centaines de grammes par hectare (Demelon, 1968).

Le manganèse est un activateur d'enzymes qui participent à la formation de la chlorophylle, à la photosynthèse, à l'élaboration des protéines et de la vitamine C. La carence en manganèse se manifeste par une croissance diminuée et un ralentissement de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines (kali AG potasse).

Dans le cas du blé, la chlorose qui se manifeste, débute par des taches grises vers le milieu de la longueur de la feuille ; celle-ci se plie et prend un aspect cassé, l'extrémité et la base restant vertes (Demelon, 1968).

Il peut remplacer le magnésium dans de nombreuses réactions enzymatiques et il intervient généralement comme constituant dans des métallo-protéines, comme site actif de liaison ou dans les systèmes d'oxydo-réduction. On retrouve le manganèse dans les étapes importantes du métabolisme des protéines et des glucides, son rôle dans le métabolisme lipidique n'étant pas clairement établi. Il intervient dans la réduction des nitrates au niveau de l'hydroxylaminoréductase. Il a également un rôle déterminant dans le transport photosynthétique d'électrons au niveau de l'oxygène accepteur final; en cas de carence manganique, c'est le système photosynthétique qui est altéré le premier (Saur, 1990).

Chapitre 2

Matériel et Méthodes

Chapitre 02 : Matériel et méthodes

2-1- Objectif de l'étude

Cette étude entre dans le cadre de la collaboration entre l'université 8 mai 1945 de Guelma et l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C. de Guelma). Elle vise à tester les effets d'un fertilisant « SIZAM », nouvellement introduit en Algérie, sur la croissance, et la productivité du blé dur (*Triticum durum* Desf.), en comparaison avec un témoin non traité, et ce, pour mettre en évidence l'impact de la fertilisation par apport d'oligo-éléments sur le comportement de la culture dans les conditions agro-pédologiques de la région.

2-2- Caractéristiques du matériel végétal :

L'essai a porté sur une seule variété de blé dur : CIRTA, obtenue à la ferme expérimentale d'EL-Khroub de Constantine, par le croisement de la variété Hedba 3 × GDOVZ 619, dont les caractéristiques morphologiques et culturales sont présentées dans le tableau 04. La semence utilisée pour l'essai est une récolte de la campagne précédente (2015/2016).

Tableau 04 : Caractéristiques de la variété CIRTA (Boufnar-Zaghouane, Zaghouane, 2006)

	Caractéristiques
Origine	Ferme expérimentale d'EL-Khroub de Constantine
Hauteur de la plante à maturité	Moyenne
Couleur de l'épi	Blanche
Compacité de l'épi	Moyenne
Cycle végétatif	Semi-précoce
Tallage	Fort
Résistance à la sécheresse	Tolérante
Résistance aux maladies	Modérément résistante à l'oïdium

2-3- Fertilisant utilisé le « SIZAM »

2-3-1 - Origine du produit

Le SIZAM est une nouvelle formule d'un fertilisant biologique, issue de la SARL SPADCHINA originaire d'Ukraine, importé par la SARL Agro Fortune et recommandé pour la fertilisation des cultures entre autres les céréales, et mis sous essai au niveau des instituts techniques des grandes cultures, pour objectif d'homologation.

2-3-2 - Composition du « SIZAM »

Comme il est porter sur la fiche technique du produit le « SIZAM » est composé essentiellement d'oligoéléments nécessaires à la vie des plantes, dont : le Manganèse (Mn), le Zinc (Zn), le Fer (Fe), le Bore (B), le Cuivre (Cu) , ces éléments sont sous forme de sulfates, le Cobalt (Co) est sous la forme d'acide, ainsi que le saccharose.

2-3-3 - Caractéristiques du « SIZAM »

Le « SIZAM » est un micro fertilisant qui est emballé dans des sachets de 25 g sous forme de granules solubles dans l'eau, l'ensemble des grains interdépendants constituent la formule du « SIZAM », ils sont alors indissociables c'est-à-dire que la perte d'un seul grain au moment de la préparation de la bouillie causera la perte de l'efficacité du produit.

2-4 - Caractéristiques du site d'essai

2-4-1 - Localisation

L'essai a été réalisé à la station expérimentale de l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C de Guelma) située au Sud-Ouest de la ville à une altitude de 256 m, elle fait partie de l'atlas tellien avec des coordonnées géographiques correspondant à :

- Latitude NORD : 36° 28"
- Longitude : 7° 26"

L'institut s'étale sur 38 ha, dont 34 ha pour la multiplication de semences et 04 ha pour les essais d'expérimentation, le programme de la station englobe essentiellement les céréales, les légumes secs ainsi que les cultures fourragères.

2-4-2 - Caractéristiques pédologiques :

Dekkiche et Seba (2011) signalent que les sols de l'I.T.G.C. de Guelma sont des sols à texture argileuse, légèrement riches en calcaire et très pauvres en matière organique. Ils présentent des taux faibles à très faibles en azote et en phosphore assimilable.



Figure 6 : Photo satellite de la station de l'ITGC Guelma [6]

Des échantillons de sol, ramenés au laboratoire, séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm, ont fait l'objet d'une série de tests :

- La texture du sol : déterminée selon la technique de Dermeche *et al.* (1982).
- Taux de matière organique : selon la technique de WALKLEY-BLACK décrite par Gharoucha (1995)
- Teneur en carbonates : selon la technique de pesées décrite par El Kourdi et Dib (1977).
- pH du sol : à l'aide du pH-mètre dans une suspension sol/eau (1/5).

Les résultats sont portés sur le tableau 05.

Tableau 05 : Caractéristiques pédologiques du site de l'essai.

Caractéristiques du sol	valeurs
Texture du sol	Argileuse
Taux de matière organique	1,09 %
Teneur en carbonates	11,70 %
pH	7,70

2-4-3 - Caractéristiques climatiques

Le climat de la zone d'essai (Guelma) est de type méditerranéen continental, cette wilaya est située dans l'étage bioclimatique subhumide, caractérisé par deux longues saisons, un été sec et chaud et un hiver froid et pluvieux (Boukensous, 2014).

2-4-3-1 - Pluviométrie

En Algérie la production céréalière est étroitement liée aux quantités de pluies et à leur répartition dans le temps. Dès la germination l'eau se comporte en tant qu'un facteur limitant de la croissance, les besoins en eau durant le cycle de développement sont en fonction du stade végétatif et des conditions climatiques.

Dans la région de Guelma, la répartition pluviométrique est irrégulière, concentrée pendant les saisons hiver, printemps et automne et faible en été.

Durant la campagne en cours 2016-2017 les données climatiques enregistrées par la station météorologique de Belkheir (6 km du chef lieu de la wilaya), ont montré que le mois de janvier était le mois le plus pluvieux avec un cumul de 117,7 mm, alors que le mois de mars était le mois le plus sec avec une pluviométrie de 0,8 mm. Le cumul moyen de pluviométrie enregistré en 2016-2017 est de 464,7 mm.

Les moyennes mensuelles des précipitations enregistrées dans la région de Guelma au cours de la campagne 2016-2017 sont portées sur le tableau 06.

Tableau 06 : Moyennes mensuelles des précipitations pour la région de Guelma pendant la campagne 2016-2017 (Données de la station météorologique de Belkheir).

Mois	2016	2017				Total
	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	
Précipitations (mm)	27,7	117,7	48,3	0,8	23,2	217,7
Moyennes mensuelles (mm)	0,89	3,80	1,73	0,026	0,77	7,216

2-4-3-2 - Température

Pour la campagne 2016-2017 le mois le plus froid était le mois de janvier avec une température moyenne de 08,6 °C, et le mois le plus chaud était le mois d'Avril avec une température moyenne de 23,8°C (Tab. 07).

Tableau 07 : Températures moyennes mensuelles de la région de Guelma pendant la campagne 2016-2017 (Données de la station météorologique de Belkheir).

Mois	2016	2017			
	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Moyennes des températures maximales (°C)	18,4	14,3	19,3	22,0	23,8
Moyennes des températures minimales(°C)	07,5	03,89	05,3	05,8	07,6
Températures moyennes (M + m /2) (%)	12,4	08,6	11,9	13,5	15,3

2-4-3-3 - Humidité relative

Le tableau 08 montre que, pour la campagne 2016/2017, le taux d'humidité relative le plus élevé a été enregistré pendant le mois de décembre (81,60 %), et le taux le plus faible a été enregistré pendant le mois d'Avril (69 %).

Tableau 08 : Moyennes mensuelles enregistrées en humidité relative dans la région de Guelma pendant la campagne 2016-2017 (Données de la station météorologique de Belkheir).

Mois	2016	2017			
	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Moyennes d'humidité relative (%)	81,60	80,80	76,40	71,90	69,0

2-5 - Installation de l'essai

2-5-1 - Mise en place de l'essai

L'essai a été mené pendant la campagne 2016/2017, et a été installé sur une superficie de un hectare (01 ha). Il a été mis en place le 14/12/2016 selon un dispositif « en blocs Fisher » comportant deux blocs, un bloc traité et un bloc témoin (Fig. 06), ayant chacun une superficie de 5000 m². La distance entre les blocs étant de 5 m, et la distance entre les lignes à l'intérieur de chaque bloc est de 0,20 m (Fig. 06).

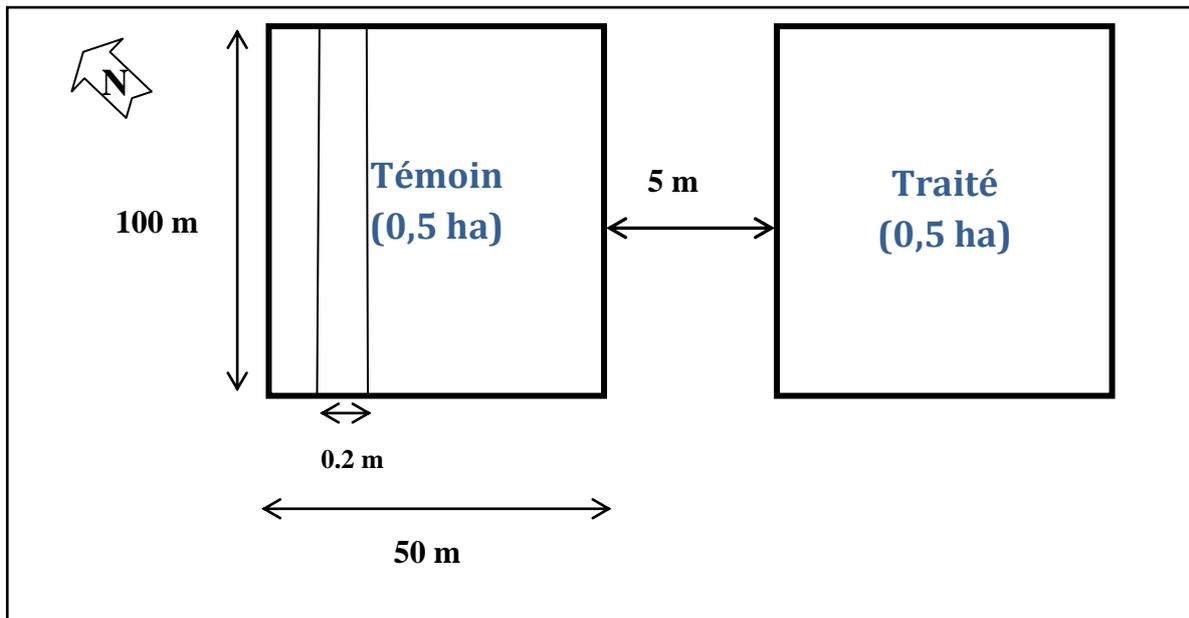


Figure 06 : Schéma du dispositif expérimental de l'essai

Le semis a été effectué à la dose de 150 Kg/ha avec un semoir en lignes ; un apport d'engrais de fond MAP 52% (Monoammonium phosphate 52%) a été réalisé à la dose de 150Kg/ha à l'aide d'un épandeur centrifuge, après un labour effectué en mois de novembre. La semence utilisée a été préalablement traitée avec le CELEST Extra (fongicide utilisé pour le traitement de semences des céréales à pailles contre les maladies cryptogamiques 25 g/l de Fludioxonil et 25 g/l de Difenoconazole), à la dose de 200 ml/quintal et le CRUISER (insecticide utilisé pour le traitement de semence des céréales : Thiaméthoxam), à la dose de 200 ml/ql. Le précédent cultural étant le pois chiche.

2-5-2 - Conduite de l'essai

Un apport d'engrais de couverture azoté (Urée 46%) est effectué pendant la période végétative (plein tallage) selon la dose recommandée pour la région, en plus d'un traitement herbicide de la parcelle. Les dates repères des différents stades phénologiques de la culture sont indiquées dans le tableau 9

Tableau 09 : Dates repères des différents stades phénologiques de la culture.

Stades phénologiques	Dates
Semis	14/12/2016
Levée	31/12/2016
Tallage	15/02/2017
Montaison	05/03/2017
Épiaison	06/04/2017
Floraison	18/04/2017
Formation du grain	29/04/2017
Maturité	10/06/2017

2-5-3 - Apport du traitement fertilisant

Le fertilisant SIZAM était utilisé avant semis (traitement de semence) le 14/12/2016 à une dose de 25 g pour cinq (05) quintaux de semence de blé, comme stipule le protocole expérimental établi par le fabricant, puis un deuxième traitement en pulvérisation en végétation a eu lieu, le 06/03/2017 à la dose normalisée par le détenteur du produit, 25 g/ ha.

2-6 -Paramètres estimés

2-6-1 - Paramètres morphologiques

2-6-1-1 - Hauteur des plantes

La hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'une règle graduée aux stades tallage et épiaison, de la base à ras du sol jusqu'à la fin de la tige d'un échantillon de trois plantes au hasard pour chaque bloc (traité, témoin).

2-6-1-2 Longueur des racines :

La longueur des racines a été mesurée à l'aide d'une règle graduée au stade tallage, à partir du collet jusqu'à la fin de la racine des mêmes plants pour lesquels on a mesuré la hauteur.

2-6-1-3- La surface foliaire

La surface foliaire est déterminée par la méthode traditionnelle qui consiste à reprendre la feuille de blé sur du papier, la feuille en papier est ensuite pesée, puis on coupe un carré de 2 cm de côté de ce même papier, qui est pesé juste après, et en on déduit la surface assimilatrice (S. F.) de la feuille de blé (Paul *et al.*, 1979) cité par Alloui (1997).

2-6-2 - Paramètres physiologiques

Des échantillons de feuilles ont été pris et ont servi de matériel de base pour différents tests au laboratoire :

2-6-2-1 - Paramètres hydriques

- Turgescence cellulaire des feuilles (Relative Water Content : R.W.C.)

La turgescence cellulaire des feuilles, appelée aussi, teneur relative en eau (T.R.E ou R.W.C) est déterminée par le pourcentage d'eau présente dans les feuilles excisées et mises dans l'eau pendant 24 heures, selon la méthode de Barrs et Weatherly (1962) cité par Allioui (1997). Le calcul se fait grâce à la formule suivante :

$$R.W.C = \frac{F.W - D.W}{T.W - D.W} \times 100$$

Où F.W : Poids frais de la feuille excisée

D.W : Poids sec de la feuille

T.W : Poids de la feuille à la turgescence (poids après 24 heures dans de l'eau)

- Poids frais de la partie aérienne et de la partie souterraine

La partie aérienne a été séparée de la partie racinaire pour chaque plant (qui représente une répétition / trois répétitions, réalisées pour chaque traitement : témoin et traité) au stade tallage, puis les deux parties sont bien nettoyées à fin d'éliminer les particules du sol qui s'y adhèrent, puis les deux parties sont pesées séparément, à l'aide d'une balance de précision.

- Poids sec de la partie aérienne et de la partie souterraine

Les parties aériennes dont le poids frais a été déterminé, ont été enveloppées séparément dans du papier aluminium, puis mises dans l'étuve à 120° C pendant 24h, le poids sec est déterminé en suite à l'aide d'une balance de précision.

2-6-2-2 - Paramètres énergétiques

- Teneur des feuilles en chlorophylles

La méthode utilisée pour l'extraction de la chlorophylle est la méthode traditionnelle établie par Holden (1975) cité par Allioui (1997), qui consiste à une macération du végétal dans de l'acétone.

Le traitement des échantillons se fait comme suit :

- On pèse un gramme de feuilles, le végétal est coupé en petits morceaux et broyé dans un mortier avec 25 ml d'acétone à 80 % et une pincée de carbonate de calcium. Après broyage total, la solution est filtrée et mise dans les boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

- Le dosage se fait par le prélèvement de 3ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre, et la lecture se fait aux deux longueurs d'onde 645 et 663 nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80%.

La formule relative au solvant nous permet de calculer les valeurs de la chlorophylle (Arnon, 1949) cité par Alloui (1997):

$$\begin{array}{rclcl} \text{Chl.a} & = & 12,7 \text{ D.o } 663 & - & 2,69 \text{ D.o } 645 \\ \text{Chl.b} & = & 22,9 \text{ D.o } 645 & - & 4,68 \text{ D.o } 663 \\ \text{Chl.a} + \text{Chl.b} & = & 8,02 \text{ D.o } 663 & + & 20,20 \text{ D.o } 645 \end{array}$$

où D.o : densité optique (valeur donnée par le spectrophotomètre aux longueurs d'ondes 645 nm et 663 nm).

2-6-3 - Paramètres agronomiques

2-6-3-1 - Nombre de plants /m²

Le nombre de plants par mètre carré a été déterminé au stade levée, en utilisant un carré de 1 m de côté, et le jetant au hasard trois fois (03 répétitions) pour chaque parcelle élémentaire pour les différents traitements (traité, témoin).

2-6-3-2 - Nombre de talles /plant

Le nombre de talles par plante a été déterminé au stade plein tallage, à raison de trois plants (répétitions) tirés au hasard par parcelle élémentaire pour les différents traitements (traité, témoin).

2-6-3-3 - Nombre d'épis/plant

Le nombre d'épis par plant a été déterminé au stade épiaison, par le comptage des épis portés par chaque plant choisis au hasard et au nombre de trois répétitions par traitement.

2-6-3-4 - Nombre d'épis/m²

Le nombre d'épis par mètre carré a été déterminé au stade épiaison, en utilisant un cadre de 1 m de côté, et le jetant au hasard trois fois (répétitions) pour chaque parcelle élémentaire pour les différents traitements (traité, témoin).

2-6-3-5 - Nombre de graines/épi

Le nombre de graines par épi a été déterminé au stade plein gonflement (grain pâteux), à raison de trois épi (répétitions) tirés au hasard par parcelle élémentaire pour les différents traitements (traité, témoin) puis battus soigneusement à la main après se fait le comptage des graines.

2-6-3-6 - Poids de 1000 grains

A maturité, des échantillons de mille grains sont pesés en utilisant une balance de précision.

2-6-3-7 - Rendement / ha :

Le rendement moyen par hectare a été estimé selon la formule suivante élaborée par l'institut technique des grandes cultures (I.T.G.C.):

$$\text{Rendement (g/m}^2\text{)} = \text{peuplement épis/m}^2 \times \text{nombre de grains /épi} \times \text{poids du grain (g)}$$

Sachant que :

- Le peuplement épi/ m² a été estimé.
- Le nombre de grains / épi a été estimé.
- Le poids du grain (g) = poids de 1000 grains (PMG) / 1000, a été estimé.

La formule ci-dessus indique le rendement biologique ; cependant il faut prendre en considération les pertes par égrenage et durant la moisson qui peuvent être estimées à 15%.

Exemple pratique de calcul :

- Pour un peuplement de 300 épis/ m².
- Pour un nombre de grains/ épi = 30.
- Pour un poids de mille grains = 40 g (poids d'un grain = 0.04 g).

$$\text{Le rendement en grammes (g) / m}^2 = 300 \times 30 \times 0.04 = 360 \text{ g / m}^2.$$

En prenant en considération les pertes, le rendement en g/ m² doit être comme suit :

$$\text{Rendement escompté} = \text{rendement biologique} \times 0.85 \text{ (100-15 (taux de pertes)/ 100)}.$$

Selon les données précédentes le rendement escompté est comme suit :

$$\text{Rendement escompté (g / m}^2) = 360 \text{ g} \times 0.85 = 306 \text{ g / m}^2.$$

$$\text{Rendement escompté (qx / ha)} = \text{Rendement escompté (g / m}^2) / 10.$$

$$\text{Rendement escompté (qx / ha)} = 306 / 10 = 30.6 \text{ qx / ha}.$$

2-7 Traitement statistique des résultats

Une analyse de la variance en utilisant le logiciel « Minitab 16 » est conduite avec les résultats pour les deux traitements et pour les différents paramètres analysés.

Chapitre 3

Résultats et discussions

Chapitre 03 : Résultats et discussions

3-1- Caractéristiques morphologiques

3-1-1 Hauteur des plants

La figure 08 représente une comparaison de la hauteur des plants pendant deux stades différents à savoir, tallage et montaison, où on observe une légère différence entre les traitements dans le premier stade avec les moyennes respectives du traité et du témoin 22,70 Cm et 19,30 Cm. Ainsi que dans le deuxième stade avec des moyennes de 66,25 Cm pour le traité et de 52,38 Cm du témoin.

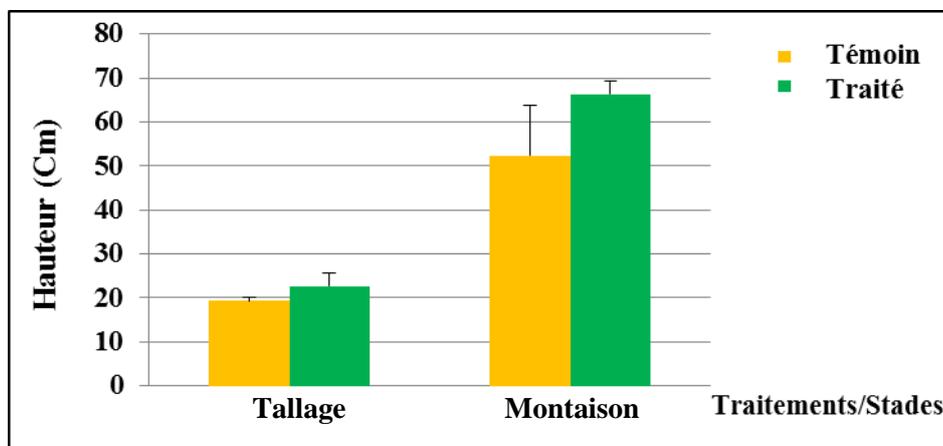


Figure 08 : Hauteur des plants pour les différents traitements

La hauteur des plants est un indicateur d'un bon développement, et les différences enregistrées pendant les deux stades phénologiques du blé, entre les plants traités avec le fertilisant SIZAM, et les plants non traités, illustrent bien l'effet positif du produit sur la croissance et le développement de la culture, à travers les oligoéléments qu'il fournit aux plantes. Selon Abo et Pinta (1982), le bore (élément constitutif du fertilisant SIZAM), a un rôle remarquable sur le développement des apex, et cela est lié au fait qu'il est associé à l'activité méristématique et à la division cellulaire au niveau de ces organes végétaux.

L'analyse de la variance pour la hauteur des plants (Tab. 10) a montré des différences très hautement significatives entre les stades et significative entre les différents traitements.

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de la variance pour la hauteur des plants

Source	DF	SS	MS	F	P
Stades	1	5166,75	5166,75	367,63	0,000 ***
Traitements	1	141,45	141,45	10,06	0,013 *
Interaction	1	36,05	36,05	2,57	0,148
Erreur	8	112,43	14,05		
Total	11	5456,69			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

* : différence significative ($\alpha = 5 \%$)

***: différence très hautement significative ($\alpha = 1 \%$)

3-1-2 Longueur des racines

Pour la longueur des racines, déterminée au stade début tallage, la figure 09, montre que les racines des plantes du bloc témoin, sont nettement longues, que les racines des plantes du bloc traité ; les moyennes enregistrées étaient respectivement, 18,50 Cm, pour les plantes témoins et 10, 20 Cm pour les plantes traitées.

Le traitement statistique des résultats à travers l'analyse de la variance de la longueur des racines (Tab. 11) a affiché des différences très hautement significatives entre les deux traitements (témoin et traité).

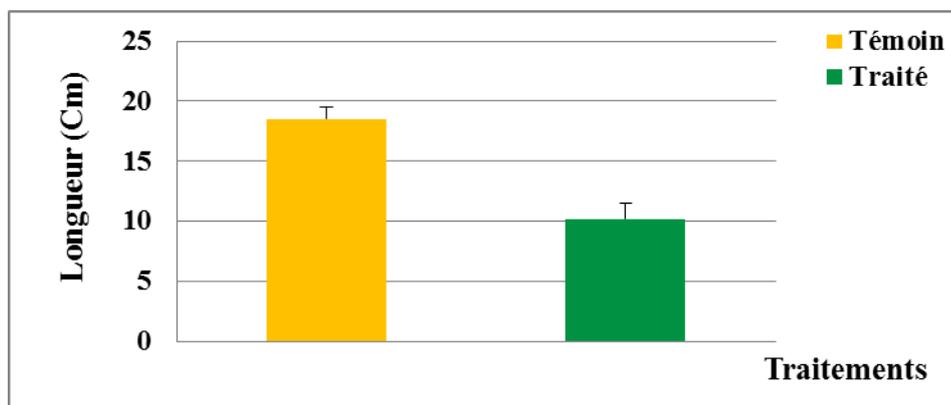


Figure 09 : Longueur des racines pour les différents traitements

Tableau 11 : Résultats de l'analyse de la variance pour la longueur des racines

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	103,33	103,33	75,98	0,001***
Erreur	4	5,44	1,36		
Total	5	108,77			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

***: différence très hautement significative ($\alpha = 1 \%$)

La croissance ralentie des racines des plants traités, comparativement aux plants témoins, peut être probablement attribuée à la mise à la disposition de celles-ci les éléments nutritifs dans la sphère racinaire nécessaires sans qu'elles aillent les chercher plus loin.

3-1-3 Nombre de talles/plant

Les résultats obtenus pour ce paramètre (Fig. 10), montrent que le nombre de talles/plant est nettement supérieur dans la parcelle traitée avec le SIZAM, par rapport au témoin. Les moyennes enregistrées sont respectivement 7 talles /plant dans le bloc traité, contre une moyenne de 3 talles/plant dans le bloc témoin.

L'analyse statistique des résultats (Tab. 12) a révélé des différences très hautement significatives entre les traitements.

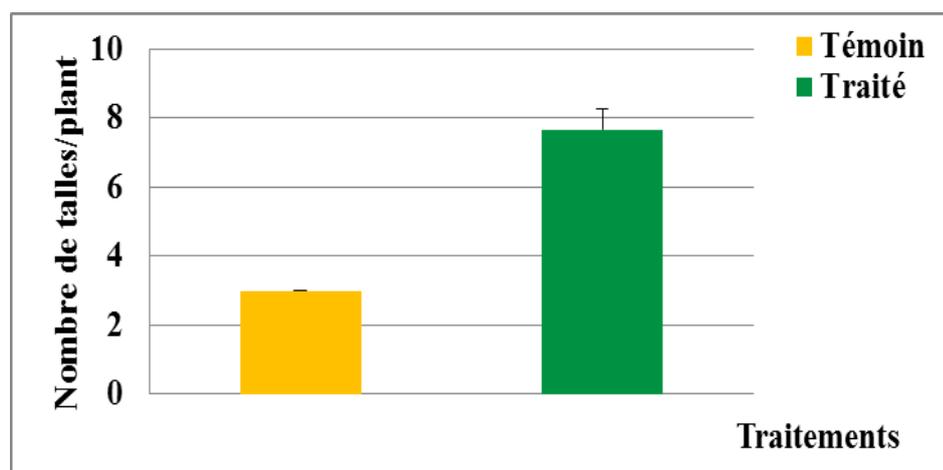
**Figure 10** : Nombre de talles/plant pour les différents traitements

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de talles/plant

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	32,667	32,667	196,00	0,000 ***
Erreur	4	0,667	0,167		
Total	5	33,333			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

***: différences très hautement significatives ($\alpha = 1 \%$)

Le tallage est un stade très important dans le cycle biologique du blé, et dépend de plusieurs facteurs, comme le rapportent Boufenar-Zaghouane et Zaghouane (2006), qui signalent que, l'émission d'une ou de plusieurs talles est fortement dépendante des conditions du milieu et des techniques culturales, notamment la nutrition hydrique et minérale de la culture. L'augmentation du nombre de talles /plants dans le bloc traité peut être attribuée à l'effet du fertilisant appliqué sur la culture.

3-1-4 Surface foliaire

La figure 11 représente une comparaison des surfaces foliaires des différents traitements pendant deux stades qui sont tallage et montaison, où on observe que, pendant le tallage la différence entre le traité et le témoin était légèrement faible, 16,25 Cm^2 pour 12,57 Cm^2 , mais la différence s'est nettement évoluée pendant le deuxième stade (montaison) avec les moyennes respectives pour la traité et le témoin 33,18 Cm^2 et 19 Cm^2 .

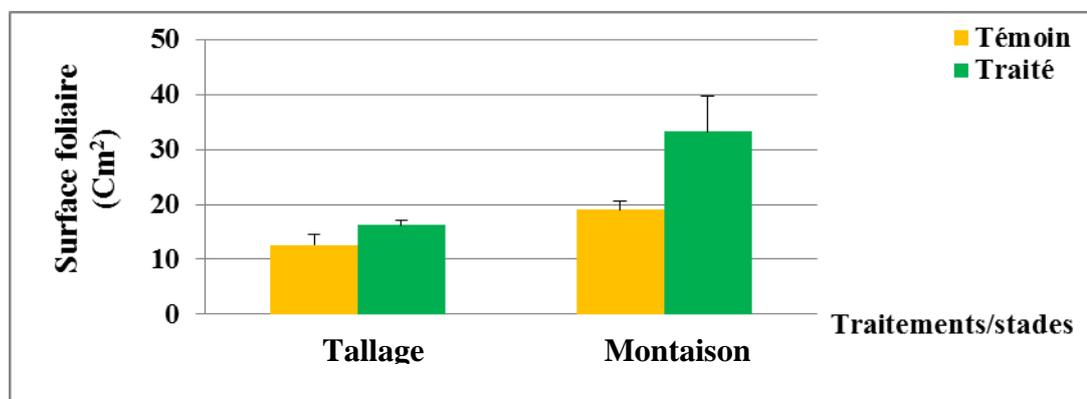


Figure 11 : Surface foliaire pour les différents traitements pendant les stades tallage et montaison

L'analyse de la variance de la surface foliaire (Tab. 13) a montré des différences très hautement significatives entre les stades et hautement significatives entre les différents traitements.

Tableau 13 : Résultats de l'analyse de la variance pour la surface foliaire

Source	DF	SS	MS	F	P
Stades	1	409,618	409,618	33,35	0,000 ***
Traitements	1	239,145	239,145	19,47	0,002 **
Interaction	1	82,635	82,635	6,73	0,032
Erreur	8	98,251	12,281		
Total	11	829,649			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

** : différence hautement significative ($\alpha = 1\%$)

***: différence très hautement significative ($\alpha = 1\%$)

La croissance foliaire est un but recherché en agriculture pour que l'élaboration des réserves nutritives soit maximale. Le zinc, un des éléments constitutifs du fertilisant SIZAM, est l'un des éléments nutritifs qui contribuent à cette croissance ; selon Saur (1990), une plante carencée en Zinc a la croissance arrêtée et une faible élévation des feuilles. Ceci explique le fait que les plantes traitées par le fertilisant SIZAM, ont enregistré une augmentation de la surface foliaire par rapport aux plantes témoins, et ce pour les deux stades phénologiques (tallage et montaison).

3-2- Caractéristiques physiologiques

3-2-1- Poids frais de la partie souterraine

La figure 12 montre que le poids frais de la partie souterraine a été plus élevé chez les plantes du bloc traité, pour lesquelles nous avons noté une moyenne de 0,238 g, en comparaison avec les plantes du bloc témoin (0,182 g) ce qui pourrait être la conséquence de l'utilisation du produit fertilisant.

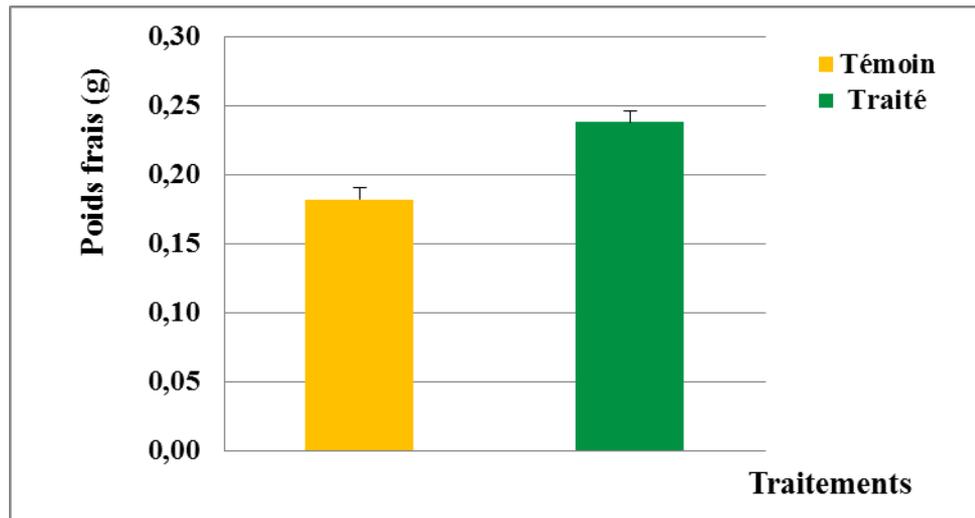


Figure 12 : Poids frais de la partie souterraine pour les différents traitements

L'analyse statistique des résultats pour ce paramètre (Tab. 14) a montré des différences très hautement significatives entre les différents traitements.

Tableau 14 : Résultats de l'analyse de la variance pour le poids frais de la partie souterraine

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	0,0046482	0,0046482	62,67	0,001 ***
Erreur	4	0,0002967	0,0000742		
Total	5	0,0049448			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

***: différences très hautement significatives ($\alpha = 1 \%$)

3-2-2- Poids sec de la partie souterraine

L'examen des résultats du poids sec de la partie souterraine, obtenu après dessiccation dans une étuve à 120 °C pendant 24 heures, a révélé que le poids sec de celles des plantes du bloc témoin était supérieur à celui des plantes traitées.

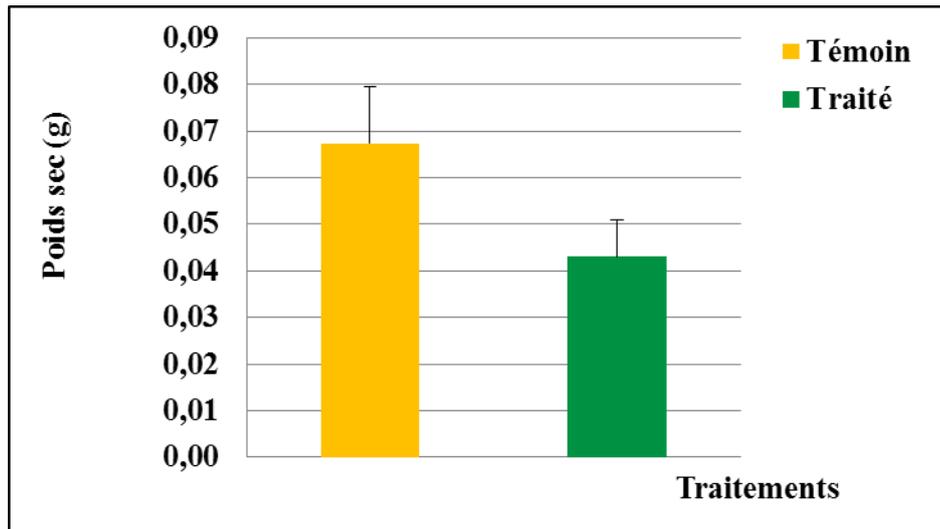


Figure 13 : Poids sec de la partie souterraine pour les différents traitements

L'analyse de la variance du poids sec de la partie souterraine (Tab. 15) a montré des différences significatives entre les différents traitements.

Tableau 15 : Résultats de l'analyse de la variance pour le poids sec de la partie souterraine

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	0,000888	0,000888	8,37	0,044 *
Erreur	4	0,000425	0,000106		
Total	5	0,001313			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

*: différences significatives ($\alpha = 0,05$)

Cependant si on procède à une comparaison du taux de déperdition de l'eau à travers le séchage des échantillons témoins et traités, les résultats affichés dans le tableau 16, montrent que le pourcentage du poids perdu par le séchage, et qui correspond à la quantité d'eau dans les cellules par rapport au poids total de la matière végétale, est plus élevé chez les plantes traitées en comparaison avec les plantes témoins (81.813 % chez les plantes traitées, contre 63.187 % chez les plantes témoins). Ceci laisse supposer que l'augmentation du poids frais, et la diminution du poids sec racinaire, chez les plantes traitées, reflète une capacité

d'absorption de l'eau et des éléments minéraux, plus élevée chez les plantes traitées par rapport aux plantes non traitées. Ce qui permet de supposer que chez les plantes traitées, les racines sont moins long, mais plus vigoureuses que celles des plantes témoins. Le rapport Poids frais / Poids sec de la partie racinaire (Tab. 16) est plus élevé chez les plantes traitées (5.534) par rapport au plantes témoins (2.716).

Tableau 16 : Teneur en matière fraîche, comparée à la teneur en matière sèche pour la partie racinaire

	Poids Frais de la partie souterraine (g)	Poids sec de la partie souterraine (g)	Poids frais / Poids sec	Taux de déperdition d'eau (%)	Taux de matière sèche (%)
Témoin	0.182	0.067	2.716	63.187	36.813
Traité	0.238	0.043	5.534	81.813	18.067

3-2-3- Poids frais de la partie aérienne

Le poids frais de la partie aérienne déterminé au stade tallage (Fig. 14), a enregistré une augmentation chez les plantes traitées en comparaison aux plantes du bloc témoin. Ceci peut être attribué à l'augmentation de la surface foliaire chez les plantes traitées (Fig. 11).

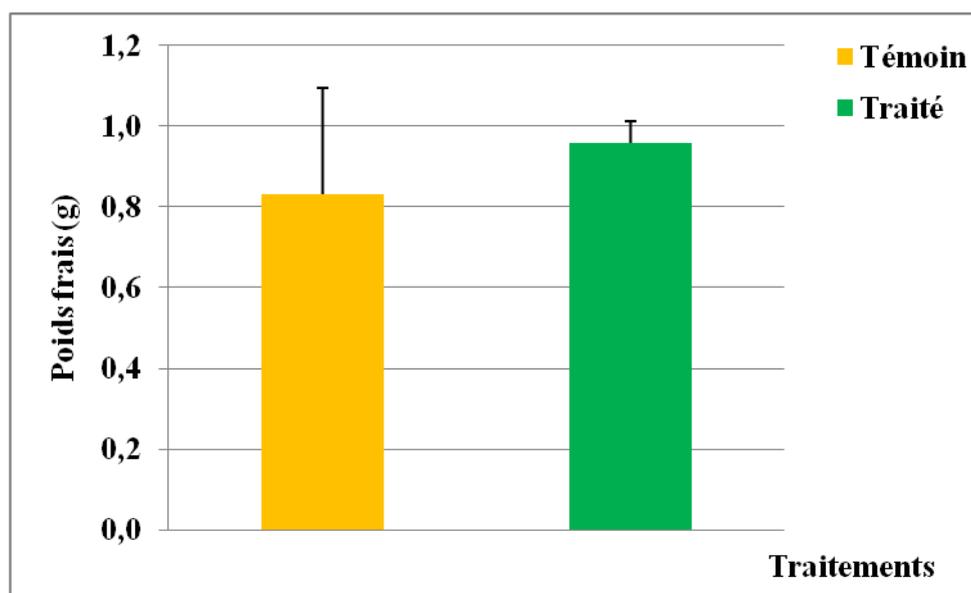


Figure 14 : Poids frais de la partie aérienne pour les différents traitements

L'analyse de la variance pour le poids frais de la partie aérienne (Tab. 17) a affiché des différences non significatives entre les différents traitements.

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la variance pour le poids frais de la partie aérienne

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	0,0243	0,0243	0,68	0,457 NS
Erreur	4	0,1441	0,0360		
Total	5	0,1684			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS : Différence non significative ($\alpha = 0,05$)

3-2-4- Poids sec de la partie aérienne

Le poids sec de la partie aérienne déterminé au stade tallage (Fig. 16) a enregistré une augmentation chez les plantes traitées en comparaison avec les plantes témoins.

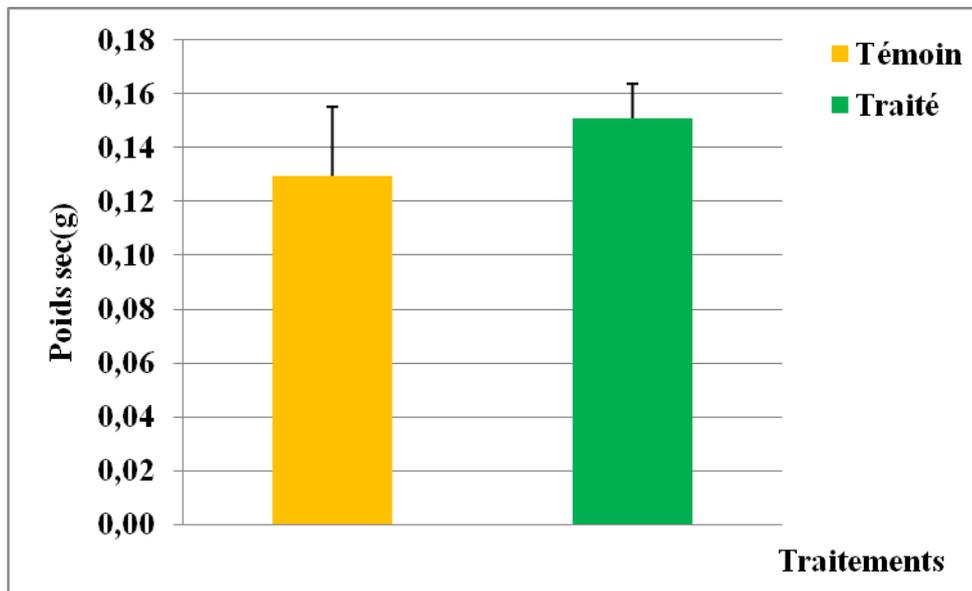


Figure 16 : Poids sec de la partie aérienne pour les différents traitements

Le traitement statistique des résultats (Tab. 18) a affiché des différences non significatives entre les traitements.

Tableau 18 : Résultats de l'analyse de la variance pour le poids sec de la partie aérienne

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	0,000683	0,000683	1,69	0,264 NS
Erreur	4	0,001619	0,000405		
Total	5	0,002301			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS : Différence non significative ($\alpha = 0,05$)

Le tableau 19 montre que les résultats obtenus pour le poids frais et sec de la partie aérienne sont très proches les uns des autres pour les deux traitements. Le taux de matière sèche de la partie aérienne est légèrement élevé (15.762 %), chez les plantes traitées, en comparaison avec les plantes témoins (15.643 %), en conséquence à l'augmentation de la surface foliaire et du poids frais enregistrés chez les plantes traitées par le fertilisant SIZAM.

Tableau 19 : Teneur en matière fraîche, comparée à la teneur en matière sèche pour la partie aérienne

	Poids Frais de la partie aérienne (g)	Poids sec de la partie aérienne (g)	Poids frais / Poids sec	Taux de déperdition d'eau (%)	Taux de matière sèche (%)
Témoin	0.831	0.130	06.392	84.356	15.643
Traité	0.958	0.151	06.344	84.237	15.762

3-2-5- Teneur relative en eau (R.W.C)

La figure 16 montre que la teneur relative en eau (R.W.C), n'a pas enregistré des différences remarquables entre les deux traitements, et ce pour les deux stades phénologiques (tallage, épiaison).

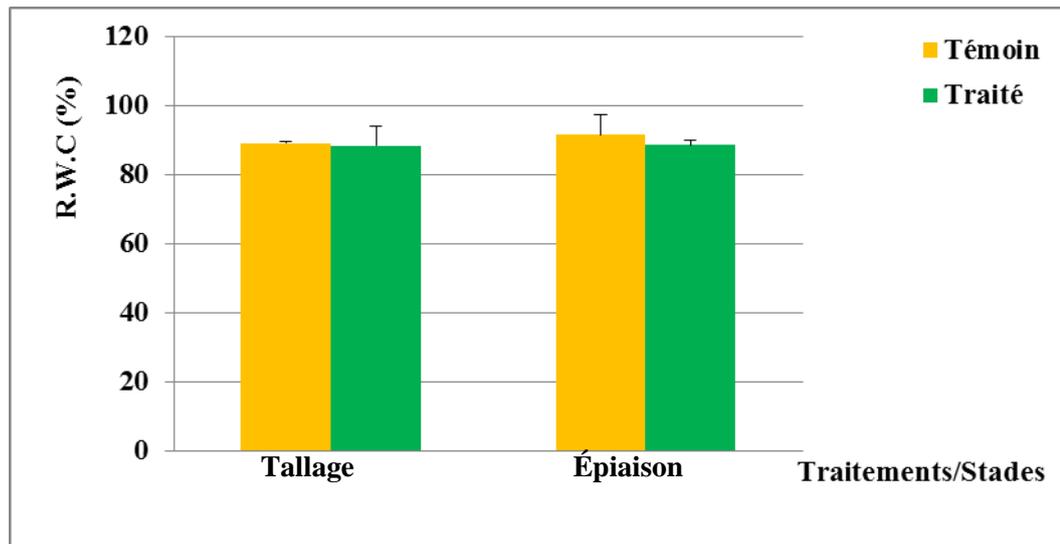


Figure 16 : Teneur relative en eau (RWC) pendant les stades Tallage et Épiaison pour les différents traitements

L'analyse de la variance (Tab. 21) a montré des différences non significatives entre les stades et les traitements.

Tableau 21 : Résultats de l'analyse de la variance pour la teneur relative en eau (R.W.C)

Source	DF	SS	MS	F	P
Stades	1	4,908	4,9075	0,29	0,604 NS
Traitements	1	10,264	10,2638	0,61	0,458 NS
Interaction	1	4,175	4,1748	0,25	0,632
Erreur	8	134,861	16,8577		
Total	11	154,207			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS: différence non significative ($\alpha = 0,05$)

3-2-6- Teneur des feuilles en chlorophylles

Les résultats relatifs à ce paramètre (Fig. 17) montrent que, pour le stade tallage une légère diminution de la teneur en chlorophylles a été notée chez les plantes traitées comparativement aux témoins, alors que pour le stade épiaison, la teneur en chlorophylles est plus ou moins élevée chez les plantes traitées par le fertilisant, par rapport aux plantes non traitées. Cette augmentation enregistrée au stade épiaison, peut être attribuée à l'effet de la deuxième application du fertilisant, qui a favorisé fortement l'augmentation de la surface foliaire au stade montaison de la culture.

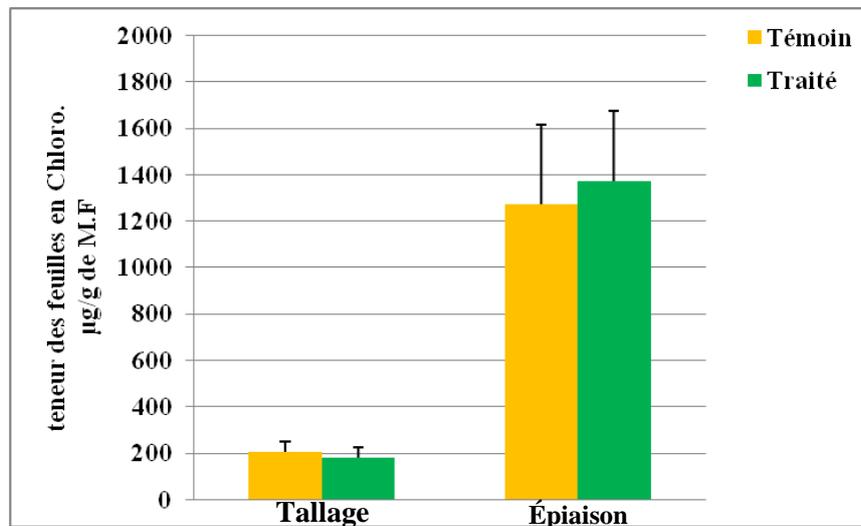


Figure 17 : Teneur des feuilles en chlorophylles pendant les stades tallage et épiaison pour les différents traitements

L'analyse de la variance (Tab. 22) a montré des différences très hautement significatives entre les stades et non significatives entre les traitements.

Tableau 22 : Résultats de l'analyse de la variance pour la teneur en chlorophylles

Source	DF	SS	MS	F	P
Stades	1	3840594	3840594	72,30	0,000 ***
Traitements	1	4333	4333	0,08	0,782 NS
Interaction	1	11816	11816	0,22	0,650
Erreur	8	424975	53122		
Total	11	4281718			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS: différence non significative ($\alpha = 0,05$)

***: différence très hautement significative ($\alpha = 1 \%$)

3-3- Caractéristiques agronomiques

3-3-1 Nombre de plants/m²

L'examen des résultats relatifs au nombre de plants par m² (Fig. 18); à travers la moyenne ; révèle que le bloc traité avec le SIZAM a enregistré une valeur plus élevée (419 plants/m²), par rapport à celle du témoin (358 plants/m²).

L'analyse de la variance de ce paramètre a montré des différences significatives entre le témoin et le traité (Tab. 18).

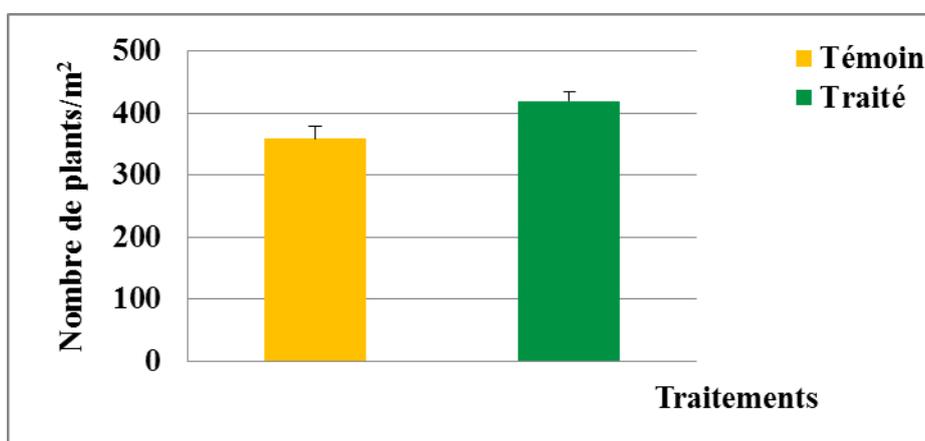


Figure 19 : Nombre de plants /m² pour les différents traitements

Tableau 22 : Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de plant/m²

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	5460	5460	16,94	0,015 *
Erreur	4	1289	322		
Total	5	6750			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

* : différences significatives ($\alpha = 0,05$)

Cette augmentation observée dans le taux de levée dans le bloc traité, est probablement la conséquence de l'utilisation du SIZAM qui contient dans sa composition, des oligo-éléments dont l'absorption améliore et augmente le taux d'émergence des plants.

3-3-2- Nombre d'épis par plant

Les résultats obtenus pour ce paramètre (Fig. 19), montrent que le nombre d'épis par plant est supérieur dans la parcelle traitée (moyenne de 4,5 épis/plant) que dans le témoin (moyenne 2,25 épis/plant). Cependant, l'analyse de la variance a affiché des différences non significative entre les différents traitements, pour ce paramètre (Tab. 24).

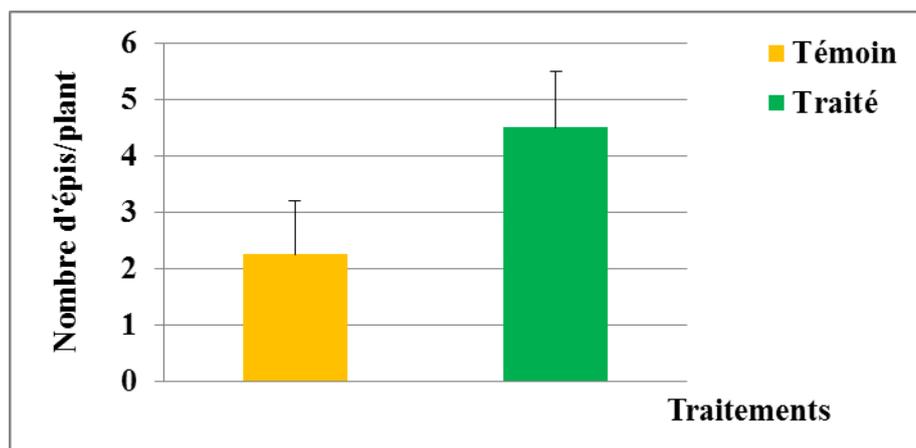


Figure 19 : Nombre d'épis/plant pour les différents traitements

Tableau 24 : Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre d'épis/plant

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	6,000	6,000	7,20	0,055 NS
Erreur	4	3,333	0,833		
Total	5	9,333			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS: différence non significative ($\alpha = 0,05$)

Le nombre d'épis/plant, est lié aux talles fertiles (talle-épi) qui est le résultat d'un stade tallage bien pourvu. Soltner (1987) révèle que le stade tallage-épi conditionne le rendement. Il dépend de la nutrition de la plante à cette période. Ce qui laisse supposer que l'apport du fertilisant dans le bloc traité a entraîné une augmentation du nombre de talles, conduisant à une augmentation du nombre d'épis.

3-3-4- Nombre d'épis/m²

Ce paramètre a enregistré un nombre plus élevé d'épis/m² (265 épis) dans la parcelle traitée (Fig. 20), que dans la parcelle non traitée (139,67 épis/m²).

L'analyse de la variance du nombre d'épis/m² (Tab. 24) a affiché des différences significatives entre les traitements.

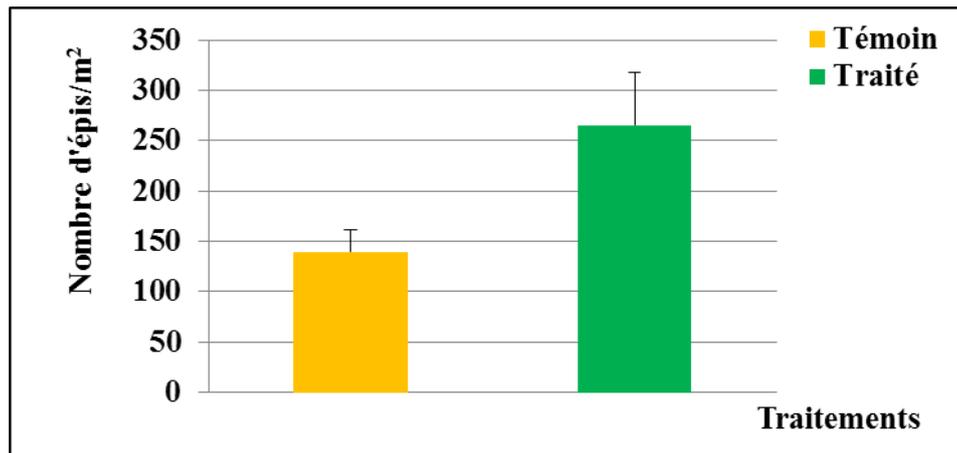


Figure 20 : Nombre d'épis/m² pour les différents traitements

Tableau 24 : Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre d'épi/m²

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	23688	23688	14,86	0,018*
Erreur	4	6377	1594		
Total	5	30065			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

*: différence significative ($\alpha = 0,05$)

Le nombre d'épis par mètre carrés est l'un des paramètres dont le rendement dépend, la différence enregistrée entre les deux traitements est probablement due à l'augmentation du nombre de talles/ plant suite à l'application du fertilisant SIZAM dans la parcelle traitée.

3-3-5- Nombre de grains par épi

La figure 21 montre que le nombre de grains par épi dans la parcelle traitée est supérieur à celui de la parcelle non traitée, avec les moyennes respectives de 22,33 grains/épis, pour le traité, et 15,67 grains/épis, pour le témoin.

L'analyse de la variance (Tab. 25) a affiché des différences non significative entre les traitements.

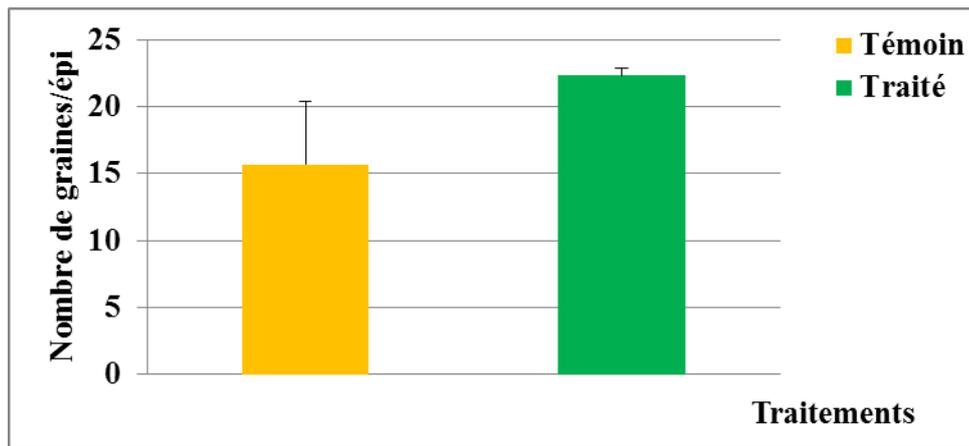


Figure 21 : Nombre de grains par épi pour les différents traitements

Tableau 25 : Résultats de l'analyse de la variance pour le nombre de nombre de grains/épi

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	66,7	66,7	5,88	0,072 NS
Erreur	4	45,3	11,3		
Total	5	112,0			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS: différence non significative ($\alpha = 0,05$)

La fertilité des épis ainsi que la réussite de la fécondation est fonction des conditions favorables du milieu et aussi de l'alimentation en cuivre élément essentiel à cette phase très importante dans le cycle du blé (UNIFA, 2008). El Alaoui (2007) révèle que, dans les cas les moins sévères, l'inflorescence peut avoir lieu mais le développement des épis est affecté. Ce qui explique l'augmentation du nombre de grains dans les épis de la parcelle traitée par rapport à ceux de la parcelle non traitée.

3-3-6- Le poids de mille grains (PMG)

Les résultats obtenus pour ce paramètre (Fig. 22), montrent une légère augmentation du PMG du témoin (42,88 g) par rapport à celui du traité (41,71 g). Cependant cette différence est statistiquement non significative (Tab. 26).

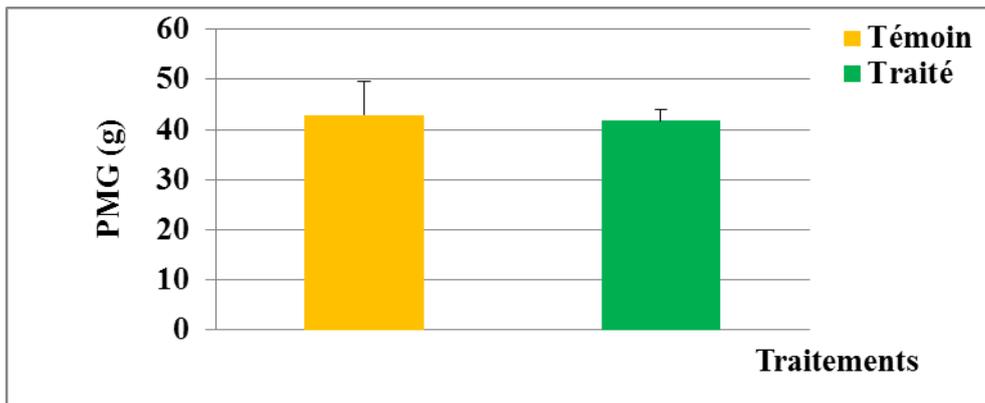


Figure 22 : Le Poids de mille grains (PMG) pour les différents traitements

Tableau 26 : Résultats de l'analyse de la variance pour le PMG

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	2,1	2,1	0,08	0,793 NS
Erreur	4	103,9	26,0		
Total	5	106,0			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

NS: différence non significative ($\alpha = 0,05$)

3-3-7- Rendement /ha

La figure 23 affiche que le rendement estimé en quintaux à l'hectare, est nettement supérieur dans la parcelle traitée par le SIZAM par rapport à celui du témoin, où nous avons enregistré une moyenne de 21,06 qx/ha pour la parcelle traité et 8,08 qx/ha pour le témoin.

Le rendement est la résultante de plusieurs paramètres et surtout la fertilisation ; l'augmentation enregistré dans la majorité des composantes du rendement (nombre de plants /m², nombre de talles/plant, nombre d'épis/m² nombre d'épis/plant et nombre de grains/épi),

dans la parcelle traitée, s'est répercutée positivement sur le rendement, de la culture, suite à l'application du fertilisant SIZAM.

L'analyse de la variance (Tab. 27) a affiché des différences significatives entre les différents traitements.

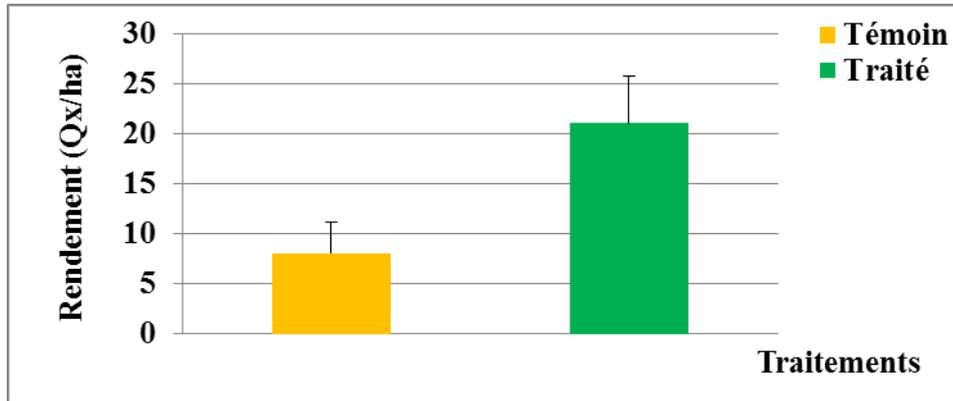


Figure 24 : Rendement /ha pour les différents traitements

Tableau 27 : Résultats de l'analyse de la variance pour rendement qx/ha

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitements	1	252,7	252,7	16,07	0,016 *
Erreur	4	62,9	15,7		
Total	5	315,6			

DF: degrés de liberté

SS: sommes des carrés des écarts

MS: moyenne des carrés

F: valeur observée de F de Fisher

P: probabilité de mettre en évidence des différences significatives

*: différence très hautement significative ($\alpha = 0,05$)

Il est à signaler que le rendement enregistré pour cet essai n'est pas représentatif, du fait que des attaques sévères d'oïdium et d'insectes notamment la mouche de Hesse ont été notées au niveau des parcelles de l'essai aussi bien pour le traité que pour le témoin (Figs. 25 et 26).



Figure 24 : Plants de blé attequés par l'oidium



Figure 25 : Attaque d'un plant par les larves de la mouche de Hesse

Conclusion

Conclusion

Dans un esprit de diversification des origines des intrants agricoles entre autre les fertilisants et de prospection de nouvelles techniques culturales devenues très pratiquées dans le monde, les pouvoirs publiques penchent à faire introduire des produits qui ont fait leur preuves à l'échelle mondiale pour en tirer profits, faire valoir les productions agricoles, arriver à couvrir les besoins de la population et en finalité assurer la sécurité alimentaire.

Le travail que nous avons entrepris, nous a permis de suivre sur champs l'effet d'un nouveau fertilisant le SIZAM qui est nouvellement introduit en Algérie, sur la croissance et le développement ainsi que le rendement du blé dur *Triticum durum*. Desf.

Les paramètres choisis dans cette étude étaient : morphologiques, physiologiques et agronomiques. À la fin de notre étude nous avons enregistré les résultats et les avons regroupés dans un tableau récapitulatif (Tab.29), ces données ont permis de relever les constatations suivantes :

- ✓ *Pour les paramètres morphologiques* : Dans le bloc traité nous avons enregistré des valeurs supérieures qu'au bloc non traité pour la hauteur des plants, le nombre de talles par plant ainsi qu'à la surface foliaire, et des valeurs faibles pour la longueur des racines.
- ✓ *Pour les paramètres physiologiques* : Les données analysées ont enregistré des valeurs supérieures dans le poids frais de la partie souterraine et aérienne, aussi dans le poids sec de la partie aérienne du bloc traité par rapport au bloc témoin (non traité), mais aussi des valeurs faibles enregistrées dans le bloc traité par rapport au bloc non traité, pour le poids sec de la partie souterraine et de la R.W.C.
- ✓ *Pour les paramètres agronomiques* : Les valeurs enregistrées sont toutes supérieures dans le bloc traité qu'à dans le bloc non traité, à savoir le nombre de plant par m², les nombre d'épis par plant, le nombre d'épis par m², le nombre de graines par épi ainsi que le rendement par hectare, et il y a uniquement le P.M.G qui était faible et inférieur dans le bloc traité que dans le bloc non traité.

Tableau 29 : Tableau récapitulatif des résultats

Paramètres \ Traitements	Résultats du bloc traité avec le SIZAM en comparaison avec le témoin
Morphologiques	
Hauteur des plants	+
Longueur des racines	-
Nombre de talles/plant	+
Surface foliaire	+
Physiologiques	
Poids frais de la partie souterraine	+
Poids sec de la partie souterraine	-
Poids frais de la partie aérienne	+
Poids sec de la partie aérienne	+
Teneur relative en eau (R.W.C)	-
Teneur des feuilles en chlorophylle	+
Agronomiques	
Nombre de plants/m ²	+
Nombre d'épis/plant	+
Nombre d'épis/m ²	+
Nombre de graines/épi	+
Poids de mille grains (PMG)	-
Rendement/ha	+

En guise de conclusion nous pouvons dire que notre étude a débouché aux résultats finaux stipulant que les oligo-éléments sont très importants dans l'élaboration du rendement du blé dur ce qui concorde avec la littérature en relation avec le sujet de la nutrition des plantes, d'ici nous pouvons afficher notre souhait que la recherche dans ce domaine aura une place dans les travaux à venir, pour élucider et confirmer les biens faits des oligo-éléments.

Les résultats de cette étude nous conduisent à insister sur ce genre de démarche pour l'introduction et les tests des produits à valeur ajoutée et pourront amener un plus à notre agriculture qui ne cesse de régresser, au profit des importations effrénées.

Des études complémentaires doivent être envisagées pour approfondir les recherches sur ce produit en diversifiant la dose, le nombre ainsi que le stade d'application en vue d'optimiser les conditions d'utilisation du produit et d'étaler la recherche sur d'autres fertilisants.

Résumé

Dans le cadre de la démarche entreprise par l'état pour diminuer la facture d'importations des denrées alimentaires, et parmi les axes principaux pour l'accomplissement de ce défi il y a la fertilisation de laquelle dépend la production agricole, et ce par l'introduction des fertilisants de différentes origines et de différentes natures pour les faire tester par les établissements spécialisés en la matière, et leur utilisation.

Notre travail avait pour objectif le suivi sur terrain des effets d'un fertilisant sur la culture des céréales et en particulier le blé dur, mis sous test au niveau de la station expérimentale de l'I.T.G.C de Guelma.

Plusieurs paramètres liés à la nutrition minérale des plantes à savoir, les paramètres morphologiques, physiologiques et agronomiques, ont été évalués, dans le bloc traité en les comparants avec ceux dans le bloc témoin.

Les résultats obtenus, montrent que pour la majorité des paramètres évalués, les différences entre le traité et le témoin sont hautement significatives.

Mots clés : fertilisation, céréales, blé dur, nutrition minérale.

Summary

As part of the process undertaken by the State to reduce the import bill of food, and among the major axes for the accomplishment of this challenge there is fertilization of which depends on agriculture and production ; by the introduction of fertilizers of different origins and different natures, to be tested by specialized institutions, and for use.

Objective of our work was to study the effects of a fertilizer on cereal's crops, especially durum wheat, and it has been conducted at the experimental station I.T.G.C of Guelma.

Many parameters related to mineral nutrition of plants were estimated: morphological, physiological and agronomic parameters, in treated plots compared to control plots.

The results obtained after treatment; show that for the most of the evaluated parameters, differences between the treated and control are highly significant.

Key words: fertilization, cereals, durum wheat, mineral nutrition.

المخلص

في إطار المسعى الذي تتبناه الدولة من أجل تخفيض فاتورة استيراد المواد الغذائية، فإن من بين المحاور الرئيسية لتجاوز هذا التحدي نجد التسميد، الذي يتعلق به الإنتاج الفلاحي، وذلك من خلال إدخال أسمدة جديدة ذات مصادر مختلفة، بهدف تجريبها من طرف المؤسسات المتخصصة في الميدان، ثم تداولها. ارتكزت دراستنا على المتابعة الميدانية لمفعول السماد "سيزام" على محاصيل الحبوب و بالأخص القمح الصلب، وتمت على مستوى المحطة التجريبية للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى بقالمة. تم تقدير العديد من المقاييس المتعلقة بالتغذية المعدنية للنبات، و هي على التوالي، الخواص الشكلية، الفيزيولوجية والفلاحية، و هذا عند النباتات التي خضعت للمعالجة بالسماد، بالمقارنة مع الشاهد (دون معالجة). بينت النتائج المتحصل عليها وجود فروقات جد معنوية بين الشاهد و المعالج، بالنسبة لأغلب المقاييس المدروسة.

الكلمات المفتاحية: التسميد، الإنتاج الفلاحي، التغذية المعدنية، الحبوب، القمح الصلب.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- **Abo, F., Pinta, M., 1982.** Influence des oligo-éléments sur la production de matière sèche l'aspect morphologique et le développement du blé (*Triticum aestivum* L.), Académie d'agriculture de France : 05.
- **Allioui N., 1997.** Étude de quelques altérations physiologiques et biochimiques causées par la rouille brune du blé « *Puccinia recondita* f. sp. tritici) chez le blé dur « *Triticum durum* Desf », thèse de magister en biologie végétale, option écotoxicologie végétale, université Badji Mokhtar Annaba :150 p.
- **Bonjean, A. et Picard, E., 1990.** Les céréales à paille : origine, histoire, économie, sélection. Softword – Groupe ITM, Paris : 208p.
- **Boufenar-Zaghouane F., Zaghouane O., 2006.** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine), 1^{ère} édition, I.T.G.C, Alger : 153p.
- **Boukensous W., 2014.** Etude de l'efficacité de quelques fongicides sur le contrôle des maladies foliaires du blé et l'impact du traitement sur le développement et le rendement de la culture, Mémoire de master en sciences agronomiques, option phytopathologie et phytopharmacie, Université 8 mai 1945 : 40 p.
- **Choueiri, E., 2003.** La céréaliculture. FAO : Projet "Assistance au Recensement Agricole": 69 p.
- **Crété, P., 1965.** Précis de botanique Tome II : systématique des angiospermes. Édition Masson C^{ie} : 238-246
- **Deblay, S., 2006.** Fertilisation et amendements, édition Cible, 2^{ème} édition : 9.
- **Dekkiche, N., Seba S., 2011.** Cartographie et caractérisation morpho-pédologique des fermes de démonstration et de production de semence de l'I.T.G.C par l'utilisation du sig. *Institut technique des grandes cultures* : 22.
- **Demelon, A., 1968.** Croissance des végétaux cultivés, tome 02, Dunod, Paris : 590.
- **Dermeche, M. K., El Kirouani, M. R. et El Balkhi, M., 1982.** Bases de la pédologie, direction des livres et des publications universitaires, Damas (Version en arabe) : 31-32

- **EL Allaoui, A.C., 2007.** Fertilisation minérale des cultures, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, N°156 : 1.
- **EL Hassani. T.A, 1994.** Agronomie moderne, HAITER : 271.
- **El Kourdi, F. et Dib, B., 1977.** Bases de la chimie des sols et de leur fertilité, département scientifique, Damas (Version arabe) : 48-61.
- **FAO, 2005.** Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols, version provisoire.
- **FAO, 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie, Rome.
- **Gharoucha H., 1995.** Technique pratiques dans l'analyse du sol, édition O.P.U, Alger : 104 p.
- **Gondé H., Carré G., Jussiaux P., Gondé R., 1957.** Cours d'agriculture moderne, 8ème éd., la maison rustique, Paris : 626p.
- **Hamadache, A., 2001.** Stades et variétés de blé. Édition I.T.G.C. : 22p.
- **Heller R., Esnault R., Lance C., 1998.** physiologie végétale, 1. nutrition, 6^{ème} éd., Dunod, Paris : 119.
- **Hopkins W.G., 2003.** Physiologie végétale, édition de boeck, Espagne : 265p
- **KALI AG Potasse, ND.** Les symptômes de carence en éléments nutritifs. www.potasse.ch
- **Katyal J.C., Randhawa N.S, 1986.** Les oligo-éléments, bulletin FAO engrais et nutrition végétale N°7, Rome : 88 p.
- **Lehner A., 2014.** La nutrition hydrique et minérale chez les plantes partie 1/2 L2 SVT/EBO L2 B2MCP, Laboratoire de Glycobiologie et Matrice Extracellulaire Végétale, université de Rouen : 118 p.
- **Lakab R., 2012.** Effet de la fertilisation azotée sur la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) variété « Bousselam » et sur la décomposition de la matière organique en semis direct dans la région semi-aride de Sétif, thèse de magister, option production végétale de conservation, Département des sciences agronomiques, université de Sétif, Algérie : 100 p.

- **Malki M. et Hamadache A., 2002.** Pratique céréalière et savoir traditionnel en Algérie : analyse du proverbe populaire relatif à la pratique céréalière à la lumière des sciences agronomiques modernes, 1^{ère} édition, I.T.G.C, Alger : 65 p.
- **Mozoyer M., 2002.** Larousse agricole, p288, 767p.
- **Pointailler S., 1964.** Les engrais et la fumure, 1^{ère} éd., presse universitaire de France, Paris : 122 p.
- **Prévost P., 2006.** Les bases de l'agriculture, 3^{ème} éd. Tec & doc Lavoisier, Paris : 200-207.
- **Rachedi M.F, 2003.** Les céréales en Algérie Problématique et option de réforme, céréaliculture revue technique et scientifique de l'institut technique des grandes cultures, N° 38 : 6.
- **Rastoin J- L. et Benabderrazik H., 2014.** Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb Pour un co-développement de filières territorialisées, chapitre 01 Algérie : 30 p
- **Saur E., 1990.** Mise au point bibliographique, au sujet de la nutrition oligo-minérale des plantes supérieures. Carences et toxicités chez les conifères.
url : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00882714>
- **Schwartz C., Muller J-C., Decroux J., 2005.** Guide de la fertilisation raisonnée, édition France Agricole, Paris : 414 p.
- **Soltner D, 1979.** Les grandes productions végétales, 10^{ème} édition, Collection sciences et techniques agricoles, Angers : 427 p.
- **Zaid E. , 2006.** Complément de cours de physiologie végétale. [en ligne], disponible sur URL : <http://www.fsr.ac.ma/cours/biologie/zaid/cours.pdf> (Consulté le 02/01/2017)

Liste des sites et pages web.

[1] : <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/blepain/1ble/11plant/plante.htm> (10/05/2017).

[2] <http://fertilisation-edu.fr/nutrition-des-plantes/le-role-des-elements-nutritifs.html>
(5/01/2017).

[3] [#https://agroneo.com/sciences/nutrition/nutrition-minerale-des-plantes #](https://agroneo.com/sciences/nutrition/nutrition-minerale-des-plantes)

I les macronutriments ou macroelements (consulté le 02/01/2017).

[4] https://www.google.fr/?gws_rd=ssl#q=nutrition+min%C3%A9rale+des+plantes
(02/01/2017).

[5] <http://pst.chez-alice.fr/svtiufm/ble.htm> (10/05/2017)