

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 et la protection de végétaux

Département: Ecologie et Génie de l'Environnement

Thème :

Etude d'optimisation de la fertilisation minérale sur la croissance et le rendement du blé dur (*Triticum durum Desf*) dans la région de Guelma.

Présenté par :

Mlle :

- BENAMARA Hadjira
- DJOTNI Sarra

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Guetaf Mohamed

Université de Guelma

Examineur : Mr. Baali Salim

Université de Guelma

Encadreur : Mr. Zitouni Ali

Université de Guelma

Juin 2018

Introduction

Le blé est l'aliment de base dans plusieurs régions du monde, et particulier dans région du Maghreb, notamment le blé dur, alors que dans le reste du monde ce sont les variétés de blé tendre les plus cultivées, particulièrement en Europe et Amérique, alors que le riz est la denrée alimentaire de base dans 39 pays [1], dans la plus sont des pays asiatiques, le blé est riche en fibres, vitamines et sources de protéines.

Afin de répondre au besoin national, l'Algérie recourt toujours à l'importation, notre pays figure parmi les Cinq [1] premiers importateurs de blé dans le monde (2007-16) à côté du Brésil, Égypte, Indonésie, Union européenne [1], selon l'Observatoire National des filières Agricoles et Agroalimentaires en 2016 l'Algérie a importé plus 1,8 million de tonnes de blé dur et 6.4 millions de tonnes de blé tendre [2], alors que la production nationale était 3.3 mt en 2016 et 4 mt en 2015. Pourtant la superficie réservée à la culture des céréales ne cesse d'augmenter, selon le MAPRP la superficie globale emblavée en céréales durant la campagne 2017/2018 est évaluée à 3.444.122 hectares, avec une production de 34,8 millions de quintaux dont 57% du blé, qui sera encore augmenté 5% durant la campagne 2019 [3].

Pour augmenter la production nationale en matière de céréales L'Algérie a eu recours à plusieurs méthodes, l'augmentation des surfaces cultivées, l'amélioration des pratiques agricoles, notamment la culture en pluviale et recourir à l'irrigation d'appoint, l'utilisation des engrais et des produits phytosanitaires adéquats ... pour améliorer le rendement. Cependant l'utilisation excessive des produits phytosanitaires et l'abus de l'utilisation des engrais minéraux peuvent entraîner à des effets négatifs sur le sol et le produit lui-même et peut avoir des conséquences catastrophiques pour l'environnement, selon Derradji, 2007, les deux tiers de la pollution par les nitrates sont causés par les cultures et l'élevage intensif. Les agriculteurs utilisent de plus en plus d'engrais, l'optimisation de l'utilisation de ces produits reste le moyen le plus efficace pour améliorer le rendement tout en réduisant le coût de la production sans faire nuire ni le sol ni l'environnement ni le produit lui-même.

En effet l'application de la bonne source d'éléments nutritifs, c.à.d. la formule d'engrais, à la bonne dose, au bon moment et au bon endroit, tous ces facteurs conduisent à l'obtention d'un rendement élevé.

Ces dernières années plusieurs institutions ont développé des logiciels pour aider l'agriculteur à choisir la combinaison adéquate en engrais minérale en fonction de la culture, le fumier utilisé, l'analyse du sol et le rendement estimé. Notre travail consiste à optimiser la

fertilisation minérale en NPK de la culture du blé dur dans des conditions pluviales dans la région de Guelma, en appuyant sur les données d'un logiciel « Nutrient Expert » développé par « IPNI » ; International Plant Nutrition Institute, dans le cadre d'une coopération entre le groupe IPNI Nord-africain au Maroc et l'ITGC, on a essayé de tester des combinaisons de fertilisation minérale (NPK) en supprimant à chaque fois un élément, avec la combinaison utilisée couramment par les agriculteurs au niveau de notre région, et de les comparer avec une combinaison de fertilisation minérale proposée par le logiciel « Nutrient Expert » dans le but de connaître la combinaison d'engrais NPK appropriée de la culture du blé.

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

1-1-Historique, origine et classification

Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme au proche Orient, il y a environ 10.000 à 15.000 ans avant J.C (Hervé, 1979) .Des restes de blés, diploïde et tétraploïde, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche Orient d'après Harlan (1975) et on croit que le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran selon Feldmen (2001).

La culture du blé s'est diffusée vers le Nord-Ouest par les plaines côtières du bassin méditerranéen et au travers des Balkans (URSS) puis en suivant la vallée du Danube (Allemagne) pour arriver à la vallée du Rhin (France) entre 5000 et 6000 avant J.C.

Les restes archéologiques montrent que le blé atteint l'Ouest de l'Europe 5000 avant J.C environ. Dans le même temps, il diffuse vers l'Asie et l'Afrique.

Son introduction en Amérique, et plus encore en Australie, n'est que très récente. L'évolution du blé s'est donc produite dans de nombreux écosystèmes, de manière relativement indépendante jusqu'au XIX siècle (Bonjean, 2001).

1-2- Description générale

Le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) est une Monocotylédone de la famille des Graminées, de la tribu des Triticées et du genre *Triticum*. En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, cette espèce est la deuxième plus importante du genre *Triticum* après le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs (Bozzini, 1988). Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenœuds. Certaines variétés possèdent toutefois des tiges pleines (Clarke *et al.*, 2002). Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux nœuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale, mais tous ne grènent pas nécessairement (Bozzini, 1988). Comme pour d'autres graminées, les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se

trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal.

1-3- Les caractères morphologiques :

1-3-1- Appareil racinaire :

La racine du blé est fibreuse. A la germination la radicule ou racine primaire, et un entre-nœud-sub-coronal émergent du grain : cet entre-nœud évolue vers la formation d'un collet près de la surface du sol. Le système racinaire secondaire peut être assez développé, s'enfonçant à des profondeurs atteignant jusqu'à deux mètres. Il apporte les éléments nutritifs à la plante (Soltner, 1988).

1-3-2- Appareil aérien

1-3-2-1- La tige

La tige ou talle de la plante est cylindrique, comprend cinq ou six inter-nœuds, qui sont séparés par des structures denses appelées nœuds d'où naissent les feuilles. La tige est creuse ou pleine de moelle (Soltner, 1988).

1-3-2-2- La feuille

Les feuilles sont à nervures parallèles. Le limbe possède souvent à la base deux prolongements aigus embrassant plus ou moins complètement la tige : Les oreillettes ou stipules à la soudure du limbe et de la graine peut se trouver une petite membrane non vasculaire entourant en partie le chaume (BELAID, 1986). La feuille terminale a un rôle primordial dans la reproduction (Soltner, 1988).

1-3-2-3- Appareil reproducteur

Les fleurs sont regroupées en une inflorescence composée d'unités morphologiques de base : les épillets. Chaque épillet compte deux glumes (bractées) renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole (Soltner, 1988).

1-3-2-4 Le grain

Le grain de blé (caryopse) montre une face dorsale (arrière) et une face ventrale (avant), un sommet et une base. La face dorsale est creusée d'un profond sillon qui s'allonge du sommet à la base. Le caryopse est surmonté d'une brosse, l'embryon est situé au bas de la surface dorsale. Le grain comporte trois parties : l'enveloppe du grain (péricarpe), l'enveloppe du fruit (assise protéique), l'albumen, et le germe ou embryon (Soltner, 1988).

1-4-Position systématique

Comme les autres céréales, le blé est une monocotylédone appartenant à l'ordre des *Poales* et à la famille des *Poaceae* ou *Graminées* (CLEMENT-GRANDCOURT et PRAT, 1970, BONJEAN et PICARD, 1990).

Le blé est caractérisé par des critères morphologiques particuliers (chaume – épillet – présence de scutellum, etc.). (BONJEAU et PICARD, 1990).

En Algérie, deux espèces sont essentiellement cultivées.

Le blé dur *Triticum turgidum* var. *durum* possédant $4n=28$ chromosomes, dont l'aire

D'extension est surtout constituée de zones arides et semi-arides, Le blé tendre '

Triticum aestivum var *aestivum* possédant $2n = 42$ chromosomes dont l'adaptation

Aérotechnique est très large (BONJEAN et PICARD, 1990).

1-5- Classification botanique

Le blé dur obéit à la classification suivante (Chadefaud et Emberger, 1960) :

Embranchement	Angiospermes
Sous embranchement	Spermaphytes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Glumiflorales
Super ordre	Comméliniflorales
Famille	Gramineae

Tribu	Triticeae
Sous tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	<i>Triticum durum</i> Desf

5/Cycle de développement

On distingue trois périodes importantes dans le cycle végétatif du blé : une période végétative, une période de reproduction et une période de maturation.

1-5-1-Période végétative

Elle s'étend du semis au début de la montaison, elle est subdivisée en plusieurs phases :

1-5-1-1- Phase germination - levée

La germination commence quand le grain a absorbé environ 25 % de son poids d'eau. Les téguments se déchirent, la racine principale, couverte d'une enveloppe appelée Coleorhize, apparaît, suivie par la sortie de la première feuille, couverte d'une enveloppe appelée Coléoptile. À la surface du sol, puis apparaissent d'autres racines et feuilles. La durée de cette phase varie avec la température de 8 à 15 jours. (CLEMENTGRANDCOURT et PRAT., 1970).

1-5-1-2 Phase levée tallage

On peut distinguer pendant cette phase à travers le coléoptile, un filament ou rhizome, termine par un renflement qui va se gonfler de plus en plus pour former le plateau de tallage qui se forme presque au niveau de la surface du sol. Le plateau de tallage s'épaissit et des racines secondaires se développent très vite. Des nouvelles feuilles apparaissent et à chacune correspond l'apparition d'une talle. La place des épillets fait t par un simple étranglement sur la partie supérieure du végétal. (CLEMENT-GRANDCOURT et PRAT, 1970).

1-5-1-3 Phase tallage-montaison

La différenciation des épillets se poursuit par étranglements successifs du cône formateur de l'épi. Les talles herbacées se forment activement (CLEMENTGRANDCOURT et PRAT., 1970).

1-5-2-Période de reproduction:

1-5-2-1: Epiaison

L'épiaison débute quand la gaine éclatée laisse apparaître l'épi qui va se dégager peu à peu de celle-ci. A ce stade, on parle de gonflement.

A ce stade, le nombre total d'épi est défini, de même que le nombre total de fleur par épi.

5-2-2: Floraison :

La floraison est marquée par la sortie des étamines hors des épillets et se termine dès que toutes les étamines sont extériorisées (MARTIN, et al 1984).

Les anthères apparaissent jaunes et après exposition au soleil, elles

Deviennent blanches. Environ 15 jours après de la floraison, le blé commence à changer de couleur : il perd sa couleur verte pour tourner plus jaune/doré/bronze.

1-5-3 : Période de maturité

Le cycle végétatif s'achève par la maturation qui dure en moyenne 45 jours. Les grains vont progressivement se remplir et passer par différents stades tels que :

1-5-3-1: Maturité laiteuse

Ce stade est caractérisé par la migration des substances de réserve vers le grain et la formation des enveloppes. Le grain est de couleur vert clair, d'un contenu laiteux et atteint sa dimension définitive.

1-5-3-2 : Maturités pâteuses

Durant cette phase les réserves migrent depuis les parties vertes jusqu'aux grains. La teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Quand le blé est mûr le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves. C'est pendant ce second stade de la formation du grain que se situe le palier hydrique, phase de grande sensibilité à l'échaudage des grains durant laquelle la quantité d'eau contenue dans le grain est constante.

1-5-3-3: Maturité complète

Après le stade pâteux, le grain mûrit, se déshydrate. Il prend une couleur jaune durcit et devient brillant. Ce stade est sensible aux conditions climatiques et aux conditions de récolte.

À maturité complète, le grain a la couleur typique de la variété et la plante est sèche.

À sur-maturité, le grain est mat et tombe tout seul de l'épi.

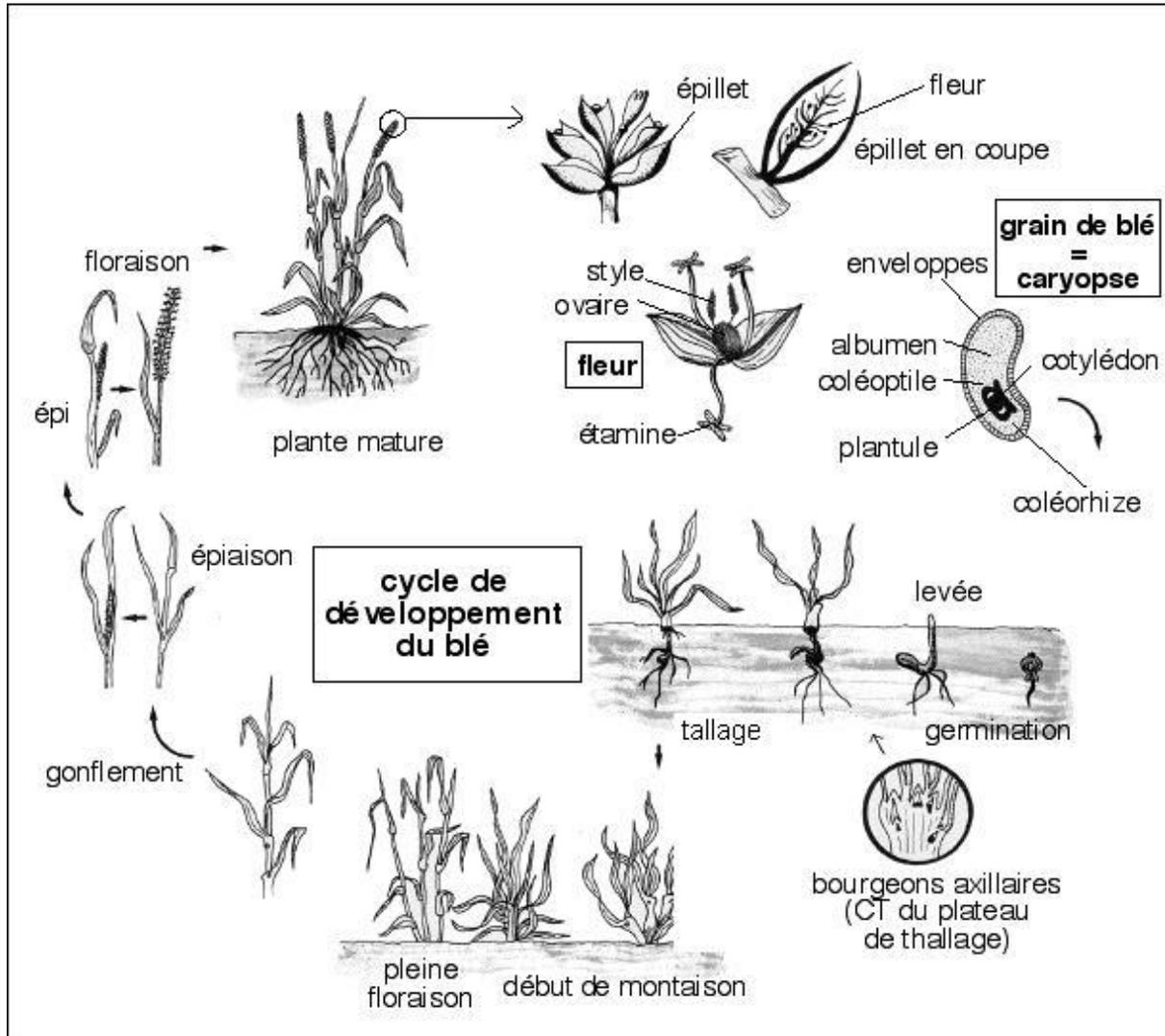


Figure 01 : Les différents stades de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000)

1-6/Les exigences du blé

1-6-1-Exigences pédoclimatique

1-6-1-1- Température

A chaque phase du cycle végétatif du blé, la température reste un facteur qui conditionne la physiologie du blé ; à une température de zéro 0°C la germination est bloquée et la phase de croissance nécessite 15 à 25°C. L'aptitude à la montaison est aussi déterminée par les températures et la durée du jour. (ZANE, 1993).

Les exigences globale en température sont assez importantes et varient entre 1800 et 2400°C selon les variétés. De même la température agit sur la vitesse de croissance, elle ne modifie pas les potentialités génétiques de croissance ; c'est la somme de température qui agit dans l'expression de ces potentialités. Chaque stade de développement du blé nécessite des températures particulières. (BALAID, 1986).

1-6-1-2-Eau

L'eau est un facteur limitant de la croissance du blé. Ce dernier exige l'humidité permanente durant tout le cycle de développement. Les besoins en eau à environ 800mm (SOLTNER, 1988).

1-6-1-3- La lumière

La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement photosynthèse Et le comportement du blé. Un bon tallage est garanti, si le blé est placé les conditions optimales d'éclairement (SOLTNER ,1988).

1-6-1-4- Sol

Le blé dur apprécie les sols limoneux, argileux calcaires ou les sols argileux siliceux profonds, il a besoin d'un sol sain, se ressuyant bien en hiver et à bon pouvoir absorbant. En terre peu profond, il y a risque de sécheresse en période critique (phase de palier hydrique).

Du point de vu caractéristique chimique, les blés dur sont sensible au à la salinité ; un PH de 6,5 à 7,5 semble indiqué puisqu'il favorise l'assimilation ce qui entrave la croissance et en particulier celle des racines (MAACHI, 2005).

1-6-2-Les exigences agronomiques de la culture du blé (d'après SOLTNER, 1988)

Les éléments qui devraient être pris en considération dans l'établissement d'une bonne pratique agricole sont les suivants :

1-6-2-1- Rotation des cultures

Il est nécessaire de pouvoir une rotation des cultures tout au moins sur une partie des zones de productions prévue. La rotation présente en effet divers avantages qui peuvent être résumés comme suit :

- Réduction des attaques parasitaires et du risque de fusariose
- Meilleur contrôle des infestations
- Amélioration de la structure et de la fertilité du sol
- Meilleure protection de l'environnement
- Définition des critères permettant d'effectuer le choix variétal optimal de la région.

1-6-2-2- Préparation du sol

Le blé nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 12 à 15 pour les terres battantes (limoneuses en générale) ou 20 à 25cm pour les autres terres.

1-6-2-3-Semis

La date de semis est un facteur limitant vis-à-vis du rendement, c'est pourquoi la date propre à chaque région doit être respectée sérieusement pour éviter les méfaits climatiques. Il peut commencer décembre à la fin d'octobre avec un écartement entre les lignes de 15 à 25 cm et une profondeur de semis de 20 à 3 cm. La dose de semis est variée entre 200 à 225Kg/ha en fonction des paramètres climatiques, la grosseur des grains, la faculté germinative et la fertilité du sol.

1-6-2-4- Protection phytosanitaire

Une bonne pratique nécessite entre autres, l'utilisation du produit homologué, le respect de la prescription et conditions optimales de ces produits et l'utilisation d'un matériel adéquat.

Le traitement de la semence est essentiel. Cette pratique favorise l'état sanitaire la tolérance par exemple au Fusariose.

1-6-2-5-Fertilisation

En particulière, dans les zones arides, l'amélioration de la fertilité et sol peut être intégrée à travers des pratiques adéquates de la rotation des cultures.

1-6-2-6-Entretien

Les mauvaises herbes concurrencent les céréales pour l'alimentation hydrique et minérale et affectent le rendement. Il existe deux moyens de lutte :

-Lutte mécanique : Dès le mois de septembre, effectuer une irrigation des parcelles pour favoriser la germination des grains de mauvaises herbes et du précédent cultural. Après leur levée, procéder à leur levée, procéder à leur enfouissement.

-Lutte chimique : Se fait à l'aide des désherbants polyvalents.

1-2Importance du blé en Algérie

Sur une superficie de 4,5 millions d'hectares consacrés aux cultures herbacées au cours de la campagne agricole 1997/1998, les céréales ont occupé un peu plus des 4/5 soit une superficie de l'ordre de 3,7 millions d'hectares emblavée, produisant ainsi un peu plus de 33 millions de quintaux L'analyse par espèce montre la prédominance du blé dur de près de 46 %, suivi de l'orge (28 %) et de blé tendre (23 %) (ANONYME, 2008). Le blé occupait au cours de cette campagne agricole 57 % des terres cultivées avec une superficie totale de 2,5 millions d'hectares. Cette culture est concentrée essentiellement dans la région des Hauts Plateaux dont on peut citer Oum Et. Bouaghi, Tiaret, Sétif. Souk Ahras, Tébessa, Sidi Bel Abbes et Saida (Tableau 02) (ANONYME, 2008). La situation concernant la production nationale de blé montre une stagnation sur 34 ans à partir de 1961 à 1995, pour doubler en 1996 (Tableau 01) Cette production ne représente que 0,48 % de la production mondiale (ANONYME, 1998a). Cette situation est due à plusieurs contraintes dont (BELAID, 1990) cite :

-Le travail du sol mal réalisé

-Les engrais peu utilisés

-Les variétés pas toujours adaptées aux conditions climatiques régionales.

1-3-Les principales maladies du blé dur

Le tableau 1 présente les maladies cryptogamiques du blé, plus particulièrement les principales maladies foliaires, à savoir les septorioses, les rouilles et la maladie taches jaunes ou helminthosporiose. Pour chacune de ces maladies, nous décrivons ses symptômes spécifiques et les options de lutte (Ezzahiri, 2001).

Tableau 01 : Maladies de blé dur (Ezzahiri, 2001 ; Amrani, 2013).

Maladies	Dégâts et symptômes	Méthode de lutte
Rouilles brune : <i>Puccinia tritici</i>	Pustules de petite taille, circulaires ou ovales, oranges ou brunâtres. Elles apparaissent de préférence sur la face supérieure des feuilles.	Traiter à l'aide d'amistar 25 SC, Opus, Flamenco SC, Caramba, Arpege 125, Arpege EPI, Allego.
Rouille jaune : <i>Puccinia striiformis</i>	Des pustules jaunâtres, alignées le long des nervures des feuilles, sous forme de stries. Les pustules se développent aussi sur la face inférieure des feuilles et sur les épis	-Traiter à l'aide Allegro, Punch C, Cramba -Utiliser les variétés résistantes, et diminuer le blé dans la rotation
Carie	-Les symptômes apparaissent au stade de remplissage du grain, le contenu de celui-ci est transformé en une masse poudreuse noire ; les glumes et les glumelles sont épargnées.	Traitement de semence : Carboxune+thironne(CA), Carboxine+Oxyqulnolé are de cuivre (CN, CA), Oxyquinoléane de cuivre (CA), Tébuconazole (CA).
Charbon	-Les plantes atteintes	

	manifestent des stries longitudinales le long des feuilles tordues. Des masses sporifères noirâtres apparaissent au niveau des stries entre les veines de la feuille.	
Septoriose	Des taches allongées de taille variable sur les feuilles, ce tache sont chlorotiques et deviennent nécrotique par la suite.	Pratique culturales, traitement de semences Résistance variétale, fongicides.
Oïdium	Duvet blanchâtre ou gris pale sur les limbes des feuilles, puis des taches sur les graines des feuilles et les glumes des épis	Utilisation de variétés tolérantes à la maladie, les rotations culturales, le traitement de la semence, fongicides.
Helminthosporioses	La maladie apparait sous forme de taches chlorotiques au niveau du limbe des feuilles et des nécroses sont aussi observées sous forme de losanges bordés par des zones chlorotiques. On peut aussi observer au centre des lésions un petit point de couleur brun-foncé.	Pratiques culturales, résistance variétale fongicides.

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

1-4-1-Définition de la fertilisation

La fertilisation est l'application des fertilisants pour améliorer les propriétés spécifique du sol et augmenter sa fertilité Orgiazzi, A., et *al.*, 2016, c'est l'amélioration d'une terre par apport d'engrais ou d'amendements. La fertilisation améliore l'aptitude d'un milieu à satisfaire les besoins des cultures pour assurer une production de qualité, tout en garantissant la sécurité alimentaire. L'apport d'engrais permet de compenser les prélèvements d'éléments minéraux par les plantes; il peut aussi permettre de renforcer les quantités d'éléments minéraux dans les sols qui en contiennent insuffisamment. Cependant, les pratiques de fertilisation ne sont pas les seules à améliorer la fertilité des milieux, elles doivent s'inscrire dans des systèmes où la succession des cultures et l'ensemble des techniques culturales contribuent au fonctionnement durable de l'agriculture. Marcel M., et *al.*, 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 (Prévost, 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-Lois de la fertilisation

Les principes de la fertilisation découlent de trois lois fondamentales [4]

1-4-3-1-Loi de restitution, ou des avances

A la notion* restitution*, il est préférable de substituer celle d'avance, en recherchant une alimentation optimale des cultures. Cette loi fondamentale intéresse, dans le cadre de la rotation des cultures, l'aspect statique du maintien de la fertilité. Les exportations des éléments minéraux par les récoltes doivent être compensées par des restitutions pour éviter l'épuisement du sol.

1-4-3-2-Lois des accroissements moins que proportionnels (Loi de Mitscherlich) :

Quand 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'élément à apporter, la dose maximale n'étant pas la plus économique.

1-4-3-3-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 (Prévost, 2006).

1-4-4-Les-fertilisants :

Les fertilisants se dit d'un produit capable d'améliorer la productivité d'un sol, c'est-à-dire tout matériel ajouté à un sol pour fournir des nutriments aux plantes **Orgiazzi, A., et al., 2016**, ça peut être des éléments minéraux ou autres matières fertilisantes .

1-4-4-1-Matières fertilisantes

Les matières fertilisantes représentent l'ensemble des produits d'origine naturelle, agricole ou industrielle apportés au sol pour maintenir ou améliorer sa fertilité. Elles ont des modes d'action divers en intervenant sur la nutrition des végétaux (engrais) ou en agissant sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (amendements). **Marcel M., et al., 2002**.

Les matières fertilisantes mixtes, du fait de leur composition, contribuent à la nutrition des plantes et à l'amélioration des propriétés du sol. Ce sont, par exemple, la craie phosphatée, les amendements sidérurgiques phosphatés et les mélanges d'amendements et d'engrais.

1-4-4-2-Amendments organiques:

Les amendements organiques visent à compenser la fraction de la matière organique du sol qui se minéralise chaque année. Ils enrichissent le sol en matière organique, en améliorant la structure et apportent jouent également un rôle très important sur l'activité biologique du sol (notamment sur les microorganismes).

Les principaux amendements organiques sont les effluents d'élevage et les résidus de récolte provenant de l'exploitation agricole. D'autres, comme les déchets urbains ou certains sous-produits industriels, sont d'origine externe.

1-4-4-3-Biochar:

Le biochar est un néologisme anglais, composé du préfixe bio- et du mot *charcoal* qui signifie charbon de bois. C'est un produit secondaire solide issu de la pyrolyse de biomasse (matière organique telle que les résidus des végétaux et les déchets des animaux) dans la production de biocarburants Orgiazzi, A., et al., 2016.

La pyrolyse est une décomposition thermique dans un milieu pauvre en oxygène. Elle conduit à la production :

- d'un mélange gazeux appelé *syngas* qui est un gaz combustible
- d'huile appelé *bio-oil*
- de biochar

1-4-5-1-Les éléments fertilisants

Un élément fertilisant est un corps chimique simple, indispensable à la nutrition minérale des végétaux. On distingue les éléments fertilisants majeurs, dont les prélèvements représentent quelques dizaines de kilogrammes, voire quelques centaines par hectare (azote, phosphore, potassium), les éléments fertilisants secondaires, pour lesquels les prélèvements se chiffrent en kilogrammes par hectare (soufre, calcium, magnésium), et les oligoéléments, dont les prélèvements se mesurent en grammes par hectare (fer, manganèse, cuivre, zinc, bore, molybdène pour les principaux). Marcel M., et al., 2002

1-4-5-2-Principaux éléments fertilisants

✓ L'azote (N)

L'azote est présent dans la nature sous deux états :

- à l'état libre, où il constitue 80 % de l'air que nous respirons,
- à l'état combiné, sous forme minérale (ammoniacque, nitrate) ou organique.

Les réserves azotées du sol se trouvent à l'état organique sous forme d'humus qui contient environ 5% d'azote. Chaque année, sous climat tempéré ; 1 à 2% des réserves d'azote organique passent à l'état minéral disponible pour la plante : c'est la minéralisation, qui intervient quand la température du sol est suffisamment élevée à partir du mois de mars. Les plantes absorbent exclusivement l'azote minéral du sol. Seules les cultures légumineuses ont la faculté de fixer l'azote gazeux par leurs nodosités (fixation symbiotique). L'azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale. Il est l'un des principaux constituants de la chlorophylle et des protéines. L'homme et les animaux ne peuvent absorber directement ni l'azote de l'air, ni l'azote minéral. Ce sont les végétaux qui leur fournissent sous forme organique l'azote dont ils ont besoin. La plus grande partie de l'azote, ingérée par la vache retourne au sol par ses déjections. La volatilisation de l'ammoniac dans l'air représente une perte d'azote allant de 10 à 90% de l'azote minéral contenu dans les effluents d'élevage (fumiers, lisiers). La dénitrification constitue une autre source de perte d'azote dans l'atmosphère.



Figure 02 : L'azote dans la nature

✓ **Le phosphore (conventionnellement exprimé en P_2O_5) :**

Le phosphore joue un rôle essentiel dans de nombreuses molécules de la matière vivante. On le trouve à l'état de sels minéraux (les phosphates) dans les tissus végétaux et animaux ou associé à des combinaisons organiques multiples, tels les acides nucléiques, les protéines du

noyau, les chloroplastes. Le phosphore est un élément génétique, énergétique et plastique de la matière

✓ **Le potassium (K_2O)**

Le potassium est indispensable à la vie : il est présent dans chaque cellule et participe directement à leur formation et à leur croissance. Il est nécessaire dans la synthèse des protéines et l'utilisation des glucides et contribue à l'exercice de la fonction musculaire chez les animaux [1].

1-4-6-Rôle des éléments fertilisants dans la plante :

1-4-6-1-Rôle de l'azote

L'azote entre, avec d'autres éléments (carbone, oxygène, hydrogène...), dans la composition des acides aminés formant les protéines. L'azote est un élément essentiel pour la constitution des cellules et la photosynthèse (chlorophylle). C'est le principal facteur de croissance des plantes et un facteur de qualité qui influe sur le taux de protéines des végétaux.



Carence en N sur colza

Blé avec et sans carence

Carence en N sur maïs

(VEGEDIAG Expert)

(VEGEDIAG Expert)

(VEGEDIAG Expert)

Figure 03: Carence de l'azote dans différentes cultures

1-4-6-2-Le rôle du phosphore dans les plantes :

Le phosphore joue un rôle physiologique à plusieurs niveaux. Il favorise la croissance de la plante, son action étant conjuguée à celle de l'azote, le développement des racines, la précocité, et la qualité des produits, la rigidité des tissus, la reproduction, la qualité des produits végétaux. Une alimentation convenable en phosphore permet un développement harmonieux des plantes.

1-4-6-3-Le rôle du potassium dans les plantes :

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

1-4-7-Les engrais

Les engrais appartiennent à la famille des fertilisants : matière qui apporte les substances nutritives aux plantes pour leur permettre une croissance optimale.

1-4-7-1-Catégories d'engrais

- ❖ Les engrais simples : engrais n'ayant qu'un seul élément fertilisant majeur (N, P, K) avec une teneur déclarable.
- ❖ Les engrais composés : ils contiennent au minimum deux éléments fertilisants majeurs avec des teneurs déclarables et ont été obtenus par réaction chimique, par mélange ou par combinaison des deux.
- ❖ Les engrais complexes : ce sont des engrais composés obtenus par réaction chimique et dont chaque granulé contient tous les éléments fertilisants de la composition déclarée.
- ❖ Les engrais de mélange : ils sont obtenus par obtenus par mélange à sec de différents engrais, sans réaction chimique (Kordek, 2005).

1-Objectif de l'étude

Cette étude entre dans un projet national géré par l'institut technique des grandes cultures (I. T. G. C. de Guelma). Son objectif est le raisonnement de la fertilisation phospho-azotée-potassique <<NPK>> de la culture de blé dans des différentes zones agropédoclimatiques au niveau du Nord de l'Algérie.

2-Caractéristiques du matériel végétal

L'essai a porté sur une seule variété de blé dur : VITRON, fourni par l'institut technique des Grandes cultures (ITGC) de Guelma, la semence utilisée pour l'essai est une récolte de la campagne 2016-2017. Le tableau n°4 expose les principales caractéristiques de la variété de blé expérimentée.

Tableaux n° 02 : Caractéristiques de la variété VITRO (fiche technique fournie par l'I.T.G.C.)

Origine	Espagne
Hauteur de la plante à maturité	90-100cm
Couleur de l'épi	Blanc
Compacité de l'épi	Compact
Cycle végétatif	Semi-précoce
Tallage	Moyen
Résistance à la sécheresse	Sensible
Résistance aux maladies	-Rouille (jaune, brune, noire) : moyennement tolérante. -Piétin verse : résistante. -piétin échaudage : peu sensible. -Oïdium : résistante -Septoriose : peu sensible -Fusariose : modérément

3-Engrais utilisés :

Dans notre étude on a utilisé des combinaisons d'une fertilisation en NPK comme engrais de fond, appliquées pendant la semis, à l'exception de l'Azote qui a été ajouté sur deux tranches.

La forme du phosphore utilisée est le T.S.P à 46 % (P_2O_5) sous forme granulée, assimilable à 45%, qu'on utilise comme engrais de fond, avant les semis selon les besoins en phosphore, pour la céréaliculture (2 quintaux pour un hectare) et les légumes secs (2 quintaux pour un hectare). Il est conditionné et vendu dans des sacs de 50Kg.

La forme de l'Azote utilisée est l'Urée à 46% sous forme ammoniacale, l'Urée est l'engrais sec le plus riche en azote et il est complètement soluble à l'eau, il agit moins rapidement que les nitrates, et son effet dur plus longtemps, l'hydrolyse de l'Urée dépend de la température du sol. Elle ne nécessite que de trois à cinq jours en sol froid, tandis que quelques heures suffisent en réchauffé. Son application est recommandée avant une pluie, et il doit être

enfoui afin d'éviter, d'éventuelles pertes par lessivage. Les caractéristiques de l'Urée utilisée selon le fournisseur ;

- Formule chimique $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- Forme.....granulée
- Couleur.....blanche
- Azote46%
- Humidité.....0,5% max
- Granulométrie.....1-4 mm 90%
- Conditionnement.....sac en polypropylene de 50Kg
- Domaines d'application.....polyvalents

Recommandation d'utilisation: cet engrais est appliqué suivant deux apports à différentes doses, afin d'éviter les pertes par le lessivage.

- 1^{er} apport au stade au semis
- 2^{ème} apport au stade épis à 1cm

Cette forme d'engrais étant choisie, selon sa nature épandue, et son incorporation rapide dans sol. L'application peut être faite manuellement ou mécaniquement (épandeur, semoir,.....)

La forme de la potasse utilisée est ; le Sulfate de potassium 40 % ; $\text{K}_2(\text{SO}_4)$ S=45 K=52 Le chlorure de potassium 60 % ; KCl est un engrais granulé fortement concentré qui permet d'assurer la couverture des besoins des cultures exigeantes en Potasse. Les quantités sont à déterminer en fonction des besoins de la culture et des propriétés du sol, son utilisation est possible dans tous les sols et pour toutes les cultures tolérantes au chlore, la présentation du granulé est de type compacté à masse volumique $1.04(\text{t}/\text{m}^3)$ et leur diamètre 1-5mm (90% entre 2-5 mm).

4-Caractéristiques du site d'essai :

2-1-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-Est de la ville de Guelma à une altitude de 256 m, elle fait partie de l'atlas tellien, les coordonnées géographiques correspondent à : Latitude NORD : $36^\circ 28'$ Longitude : $7^\circ 26'$

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.



Figure n°4 : Photo satellite siège de l'I. T. G. C de Guelma



Figure n°5 : Photo satellite montrant la parcelle d'essai

2-2- Caractéristiques pédoclimatiques du site d'essai

2-2-1- Caractéristiques pédologiques du site d'essai

Pour mieux connaître les particularités du sol de notre site d'essais, on a opté d'analyser les caractéristiques suivantes à savoir :

- Taux de matière organique ; par la méthode de la perte au feu (Baise, 2000).

-Analyse granulométrique du sol ; la méthode de la pipette de Robinson (PETARD, 1993), (Pansu et Gautheyrou, 2006), (Baize ,2000).

- la salinité et le pH du sol ; dans la solution du sol (Pansu et Gautheyrou, 2006).

- la porosité du sol, mesurée sur la base de la densité réelle et la densité apparente, selon la méthode des cylindres de Berger. (Duchaufour, 1994).

Le dosage des éléments minéraux dans le sol, notamment (N, P et K) est un indice très important dans notre expérimentation, vu le manque du matériel dans les laboratoires de notre faculté on n'a pas pu le réaliser.

Les analyses ont été effectuées au niveau des laboratoires de la faculté SNVSTU de l'université du 8 mai 1945 de Guelma, sur des échantillons composés, prise des trois coins en diagonale de la parcelle, et à une profondeur de 30 cm environ. Après séchage au laboratoire pendant quelques jours et tamisage sur une passoire de 2mm.

4-2-1- Caractéristiques climatiques :

On a utilisé les données climatologiques fournies par le site [5] figure ??? en annexe, pour présenter les principales caractéristiques climatologiques du site d'essais, qui peuvent être limitatives pour les résultats de nos expérimentations, notamment la pluviométrie, les températures minimales et maximales et l'humidité relative.

5- Installation de l'essai

5-1-Mise en place de l'essai

L'essai a été mené pendant la campagne 2017/2018, et a été installé sur une superficie de un demi-hectare environ (6417m²) Il a été mis en place le 12/12/2017 selon un dispositif en blocs aléatoires, comportant trois blocs, la longueur de chaque bloc est 69 m avec une largeur de 31m, comportant sept parcelles élémentaires avec une surface de 279 m² pour chaque parcelle, suivant les sept combinaisons de fertilisation à savoir : (T0= témoins sans fertilisation (N₀P₀K₀), T1= (N_{87.5}P_{37.5}K₄₅), T2= (N₀P_{37.5}K₄₅), T3= (N_{87.5}P₀K₄₅), T4= (N_{87.5}P_{37.5}K₀), T5= fertilisation habituellement pratiquée par les agriculteurs dans notre région (N₉₂P₉₂K₀) et T6= fertilisation recommandée par le logiciel « Nutrient Expert (NE) »(K₉₅P₅₅K₄₁), les parcelles élémentaires sont séparées par une distance de 1m. la semi a été réalisée en ligne par un semoir à raison de 05 lignes par parcelle fig n°04

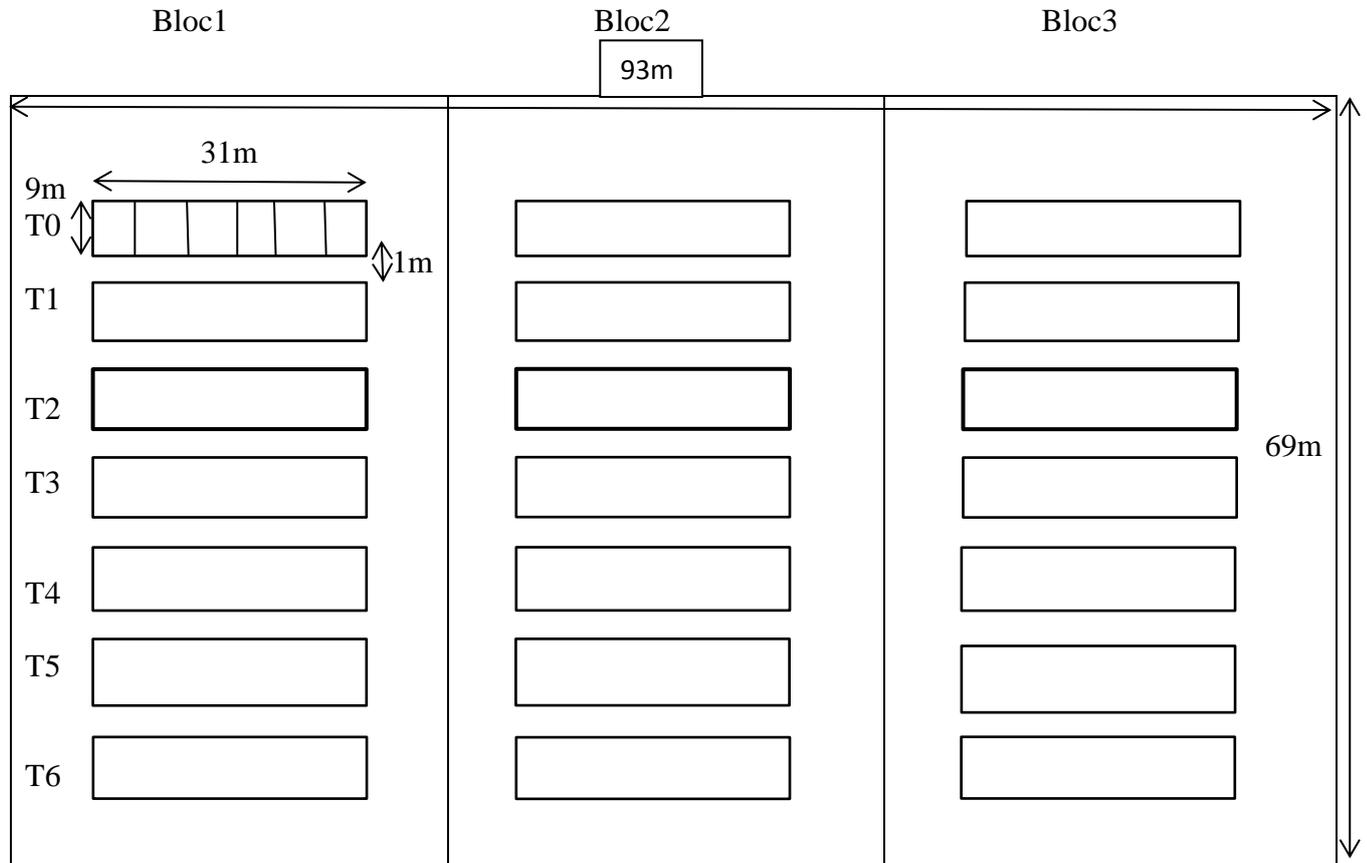


Figure 04 : Disposition expérimental de l'essai

5-2-Optimisation de la fertilisation

Les exploitants ont intérêt à calculer les doses de matière organique et d'engrais minéral, à apporter en complément, pour réaliser (le plus souvent) une économie d'engrais et réduire les risques de pollution de l'environnement (sol et eau). Ces doses varient en fonction de la culture, du type de sol sur laquelle celle-ci est implantée, ainsi de la matière organique utilisée pour la fertilisation et de la formulation de l'engrais minéral.

Afin d'aider les techniciens agricoles et les agriculteurs à calculer facilement et rapidement les doses de matière organique et le complément minéral à apporter à une culture, plusieursorganismes ont développé des logiciels de calculs pour optimiser la fertilisation minérale, à titre d'exemples :

- **Ferti-Run** : conçu par le CIRAD ; L'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes [6].

- **Calcul Offline** : conçu par L'UNIFA, Union des industries de la fertilisation, est l'organisation professionnelle française
- **CulturesPac** : conçu par biosoft [7].
- **Nutriplan™** : conçu par le groupe tunisien Nutriplant [8].

Pour notre étude l'ITGC a choisi le logiciel « **Nutrient Expert®** » : conçu par International Plant Nutrition Institute (**IPNI**) est un outil d'aide à la décision, facile à utiliser, interactif et informatisé qui peut rapidement fournir des recommandations nutritionnelles pour un champ d'agriculteur individuel en présence ou en l'absence de données d'analyse de sol [9].

5-3-Les stades phénologiques

Des visites hebdomadaires ont été effectuées au cours de la saison, pour noter les dates précises des différents stades phénologiques. Les dates repères des différents stades phénologiques de la culture sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 03 : Dates des différents stades phénologiques de la culture.

Stade phénologiques	Date
Semis	12/12/2017
Levée	09/01/2018
Tallage	05/02/2018
Montaison	15/03/2018
Epiaison	14/04/2018
Floraison	26/04/2018
Formation du grain	05/05/2018
Maturité physiologique	12/06/2018
Maturité agronomique	Estimée vers le début du mois de juillet

6-Paramètres étudiés

6-1-Paramètres morphologiques

6-1-1-Hauteur des plantes

La hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'une règle gradée au stade épiaison (vers le 14/04/2018), de la base à ras du sol jusqu'aux barbes de l'épi, d'un échantillon de trois plantes au hasard pour chaque bloc de toutes les parcelles élémentaires.

6-1-2-Longueur des racines

Pour optimiser son enracinement le blé dispose d'un double système, les racines séminales (associées à la graine) et les racines adventives associées au collet. En outre, ultérieurement au stade tallage de nouvelles racines s'ajouteront pour accroître en forme de « touffe », après arrachage des échantillons et lavage délicatement, 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 touffe.

6-1-3-La surface foliaire

La surface foliaire a été déterminée par la méthode traditionnelle, cette méthode consiste à reproduire la surface foliaire sur papier, ainsi la surface de la feuille qui est estimée à partir du poids de la feuille en papier par rapport au poids de 3cm² du même papier Pilet et Meylan, 1958, (Paul, Planchton et Ecochard, 1979.) cité par *Bourouhou et al.(2017) et Bentahar, Djekoun et Ykhlef (2015).*

6-2-Paramètres agronomiques

6-2-1-Nombre de plantes/m² :

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

6-2-2-Nombre de talles /plant

Le nombre de talles par mètre carré a été évalué au stade plein tallage par le comptage de toutes les talles de chaque plante se trouvant dans un cadran d'un mètre carré de toutes les parcelles.

6-2-3-Nombre d'épis/plante :

Le nombre d'épis par plante a été déterminé au stade épiaison, par le comptage des épis portés par chaque plant de 5 plantes par mètre carré choisis au hasard pour toutes les parcelles.

6-2-4Nombre d'épis/m² :

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

6-2-5-Nombre de graines/épi

Le nombre de grains 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 (traitées, témoins) le comptage des grains se fait manuellement après le battage des épis soigneusement à la main.

6-2-6- Nombre de 1000 grains

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

6-2-7-Rendement en quintaux par hectare

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

Matériel végétal utilisé espèce et variété	Date et densité de semis	Date de réalisation des opérations culturales effectuées de matériel utilisé				Nom et la date de traitement			Incidences climatiques sur l'installation
		Labour	Croisage + recroisage	Engrais de fond	Engrais de couverture	Herbicide	Fongicide	Insecticide	

7-Les différentes pratiques agricoles :

Tableau n°04: Travaux culturaux effectués

Blé dur : Virton	12/12/2017	Septembre	Octobre	Avec le semis NPK le 12/12/2017	Avec azote	Le 24/01/2018	Le 24/04/2018	Le 24/04/2018	Présente
					1 ^{ere} apport d'engrais au semis				
					D'engrais au stade épis 02/12/2018				

1- Résultats

1-1- Les caractéristiques pédoclimatiques.

1-1-1- Les caractéristiques climatiques

1-1-1-1- Pluviométrie :

La campagne agricole 2017/2018 a été marquée par une pluviométrie élevée, la courbe représentée dans la figure ci-dessous (5) peut être subdivisée en quatre périodes, la première allant de la 1^{ère} semaine du mois d'octobre jusqu'à la 2^{ème} semaine du mois de novembre ou la pluviométrie a été saisonnière caractérisée par une faible précipitation, la 2^{ème} période allant de la 2^{ème} semaine du mois de novembre jusqu'à la fin du mois de décembre marquée par une pluviométrie élevée qui caractérise la saison hivernale de la région, puis en constate une courte période allant de la fin du mois de décembre jusqu'au mi-janvier caractérisée par une faible précipitation, la 4^{ème} période coïncide la saison printanière, allant de la fin du mois de janvier jusqu'à la fin de la campagne agricole caractérisée par une précipitation très élevée dépassant la moyenne saisonnière de la région.

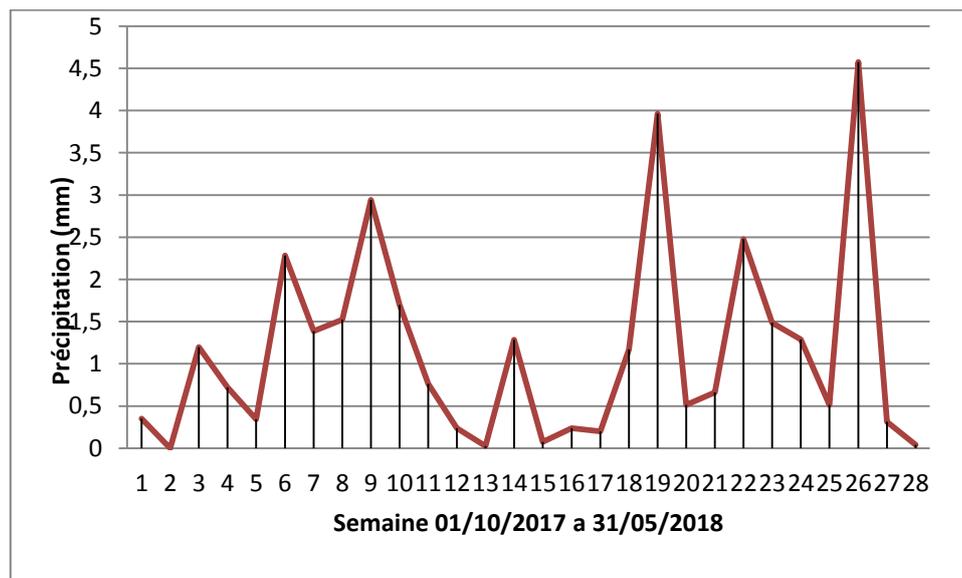


Figure n°05 : La pluviométrie de la campagne agricole 2017/2018

1-1-1-2- Température minimal

Selon Galiana, Le-roux et Monchâtre (2017) chez le blé, les températures aux dessous de ($T^{\circ}-20$) sont qualifiées de températures critiques basses qui provoquent la mort de la plante, alors que la température égale à zéro est qualifiée de zéro de végétation, entre ces deux seuils de températures la culture du blé sera en vie ralentie, cependant la croissance active de la culture du blé correspond aux températures entre zéro de végétation et 37° environ.

La courbe dans la figure (6) montre les variations de la température minimale pendant la campagne agricole 2017/2018, on constate que la température minimale n'a pas descendu au

seuil de 3° durant la saison, ce qui signifie que la température minimale était favorable à la croissance et au développement de la culture du blé.

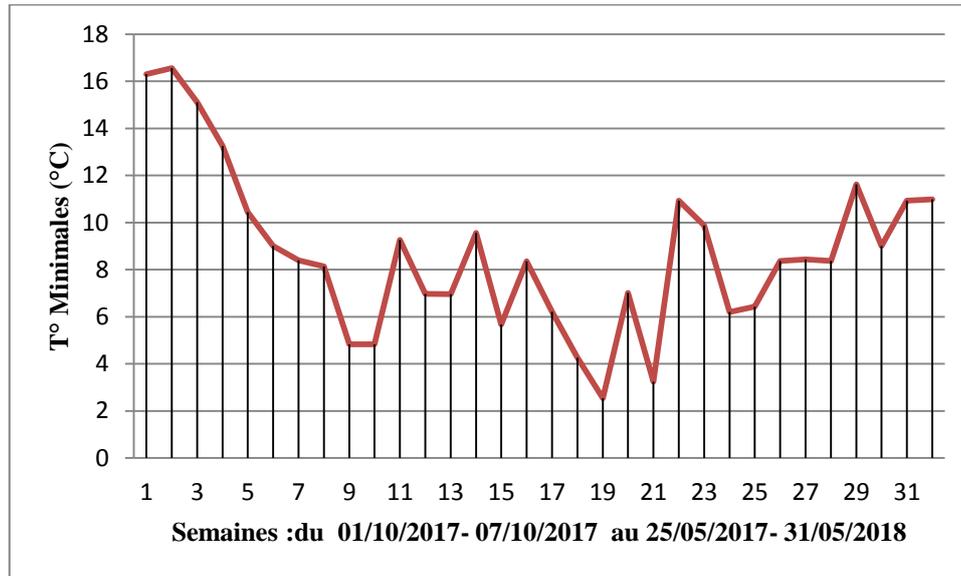


Figure n°06 : La température minimal.

1-1-1-3-Température maximal :

Selon Galiana, Le-roux et Monchâtre (2017) chez le blé les températures supérieures à 37° sont défavorables à la croissance du blé, et au-delà de 45° son qualifiées de température critiques hautes, qui provoque la mort de la plante, entre ces deux seuils, la culture du blé sera en vie ralentie.

La courbe représentée dans la figure(7) montre que la moyenne hebdomadaire des températures maximales durant la saison d'études n'a pas dépassé 31 °C.

La région de Guelma est caractérisée par des journées à hautes températures pendant la fin du mois de juin, exceptionnellement cette année on a constaté que les températures maximales n'ont pas atteint les 40 °C, ce qui nous permet de les qualifier d'être favorables à la culture du blé.

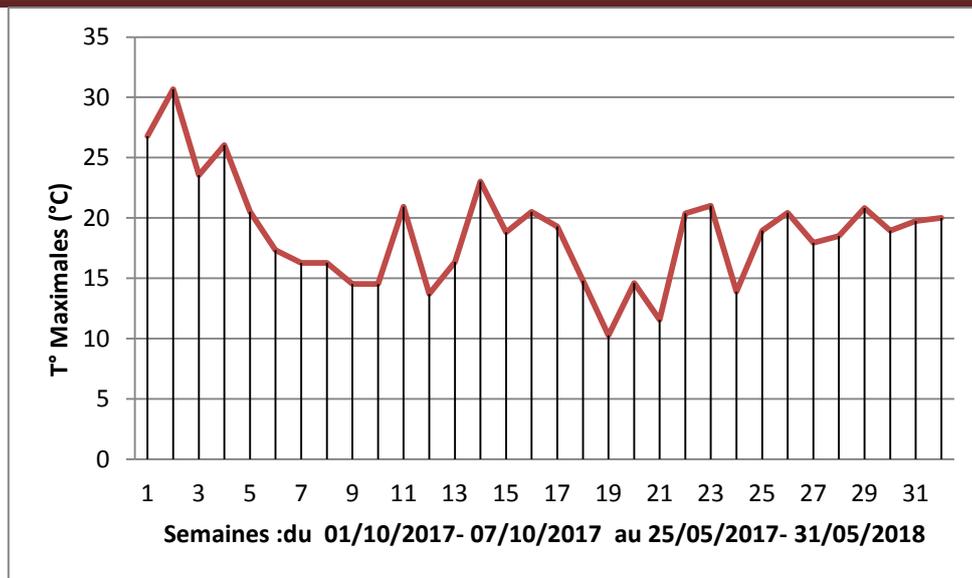


Figure n°07 : Température maximal.

1-1-1-4-Humidité relative :

La campagne agricole 2017/2018 considérait humides, vues les précipitations considérables, qu'a reçues la région cette année, cette pluviométrie importantes et en corrélation étroite avec l'humidité relative (%), la figure ci-dessous (8) nous montre que l'humidité relative dans la région de Guelma pendant la saison agricole a été autour de 70%, cette humidité relativement haute a provoqué le développement de certaines maladies cryptogamiques notamment l'oïdium pourtant la culture a été traitées par des fongicides d'une manière préventive. Cette maladie n'a en aucun cas affecté la culture du fait que l'incidence n'a pas dépassé les 10%.

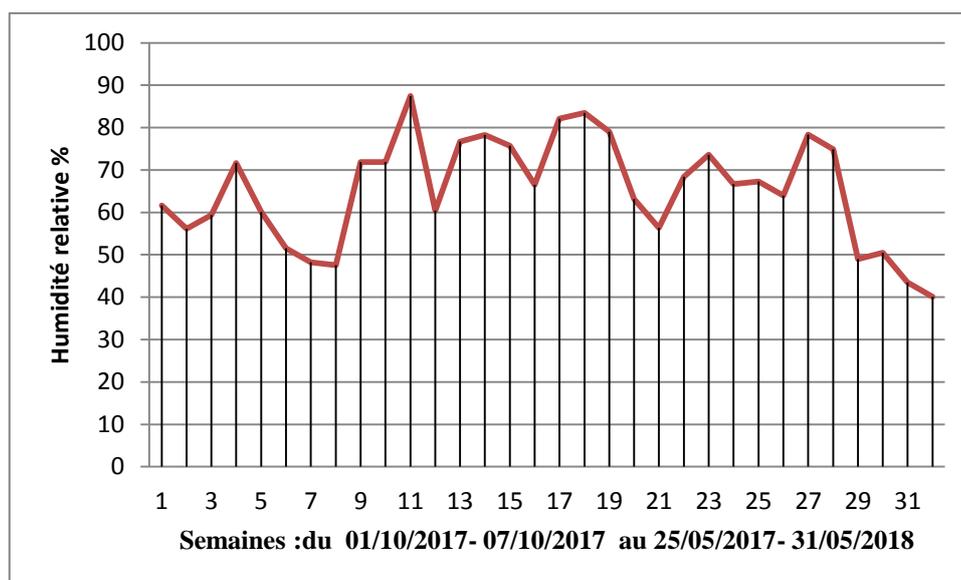


Figure n°08 : Humidité relative.

1-1-2-caractéristiques pédologiques

Tableau 02 : Caractéristiques pédologiques du site de l'essai

Caractéristiques du sol	Valeur	Qualité
Taux de matière organique	1,05%	Modéré (selon la norme Laboratoire Agronomique de Normandie)
Analyse granulométrique du sol	Sol argilo-limoneux	(Triangle de texture d'après jamagne 1967) Calvet, 2003
pH du sol	7,54	Neutre (Durand 1983)
la salinité	196 μ s	Non salin (Durand 1983)

1-1- Paramètres morphologiques

1-2-1 Hauteur des plants

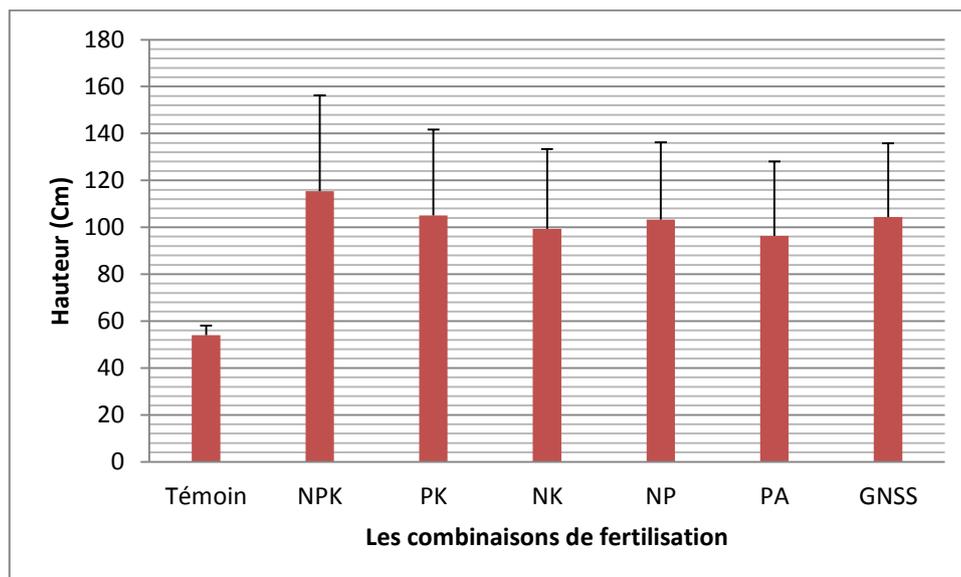


Figure n° 09 : Hauteur des plants pour les différentes fertilisations

Le tableau n°1 de l'analyse de la variance en annexe nous indique une différence significative et la figure n°09 et la comparaison des moyennes avec le test de Dunette nous

montrent que les parcelles traitées par les combinaisons de fertilisation (NPK, GNSS et NK) ont donné des résultats meilleurs concernant la hauteur des plantes par rapport aux parcelles traitées par les combinaisons de fertilisation (PK, NP et P.A.) qui ont donné des résultats analogues aux parcelles témoins cultivées sans fertilisation.

1-2-2- Longueur des racines

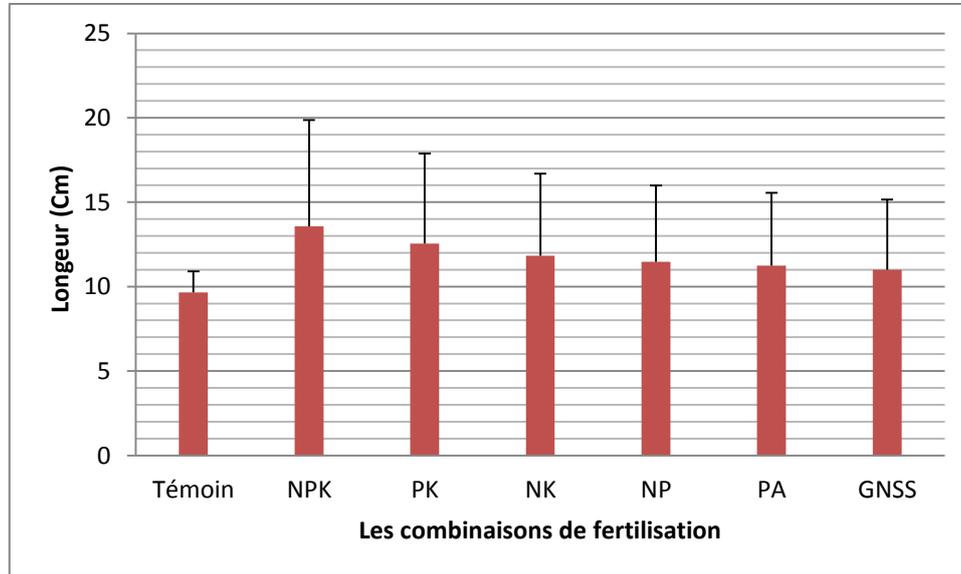


Figure 10 : Longueur des racines pour les différentes combinaisons de fertilisation

Les résultats statistiques nous indiquent des différences non significatives concernant la longueur des racines (tableau 2 en annexe), la figure 10 montre que la longueur des racines varie de $(9.67 \pm 1.53$ au 12.07 ± 2.19 Cm) pour toutes les combinaisons de fertilisation.

1-2-3 Nombre de talles/ plants

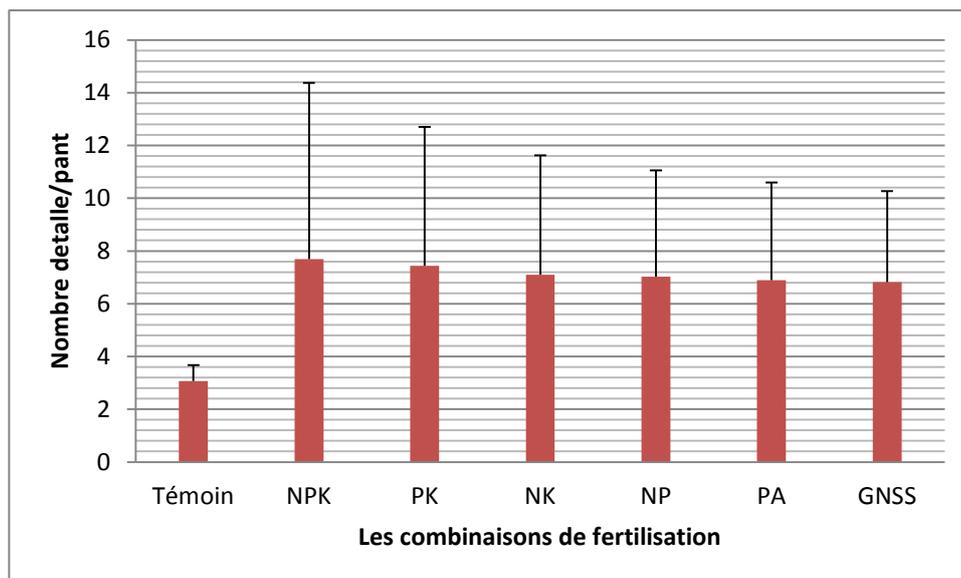


Figure n°11 : Nombre de talles par plant pour les différentes combinaisons de fertilisation

La table de l'analyse de la variance (03 en annexe) a montré des différences significatives concernant le nombre de talles par plante, et la comparaison multiple des moyennes avec le test de Dunette a montré deux groupes ; le premier groupe occupé par les parcelles traitées avec toutes les combinaisons fertilisation qui ont donné des résultats similaires mais toujours supérieurs à celles des parcelles témoins qui ont montré le nombre le plus faible de talles par plant.

1-2-4 Surface foliaire

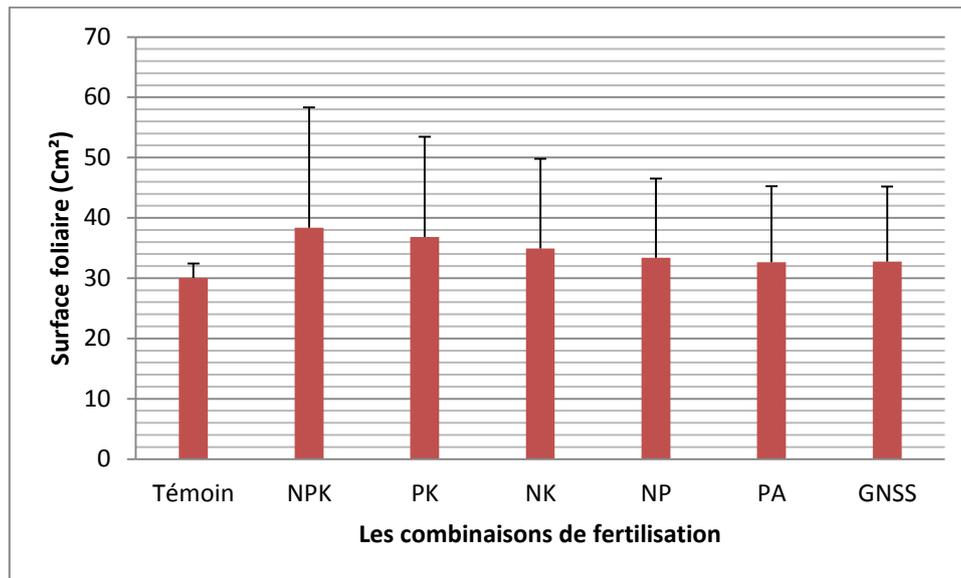


Figure n°12 : Surface foliaire pour les différentes combinaisons de fertilisation.

La table de l'analyse de la variance (04 en annexe) a montré des différences significatives concernant la surface foliaire assimilatrice, et la comparaison multiple des moyennes avec le test de Dunette a montré deux groupes ; les parcelles témoins ont montré le nombre le plus faible de talles par plant alors que les parcelles traitées avec toutes les combinaisons de fertilisation ont donné des résultats similaires mais toujours supérieurs à celles du témoin.

1-3- Les paramètres agronomiques

1-3-1 Nombre de plants/m²

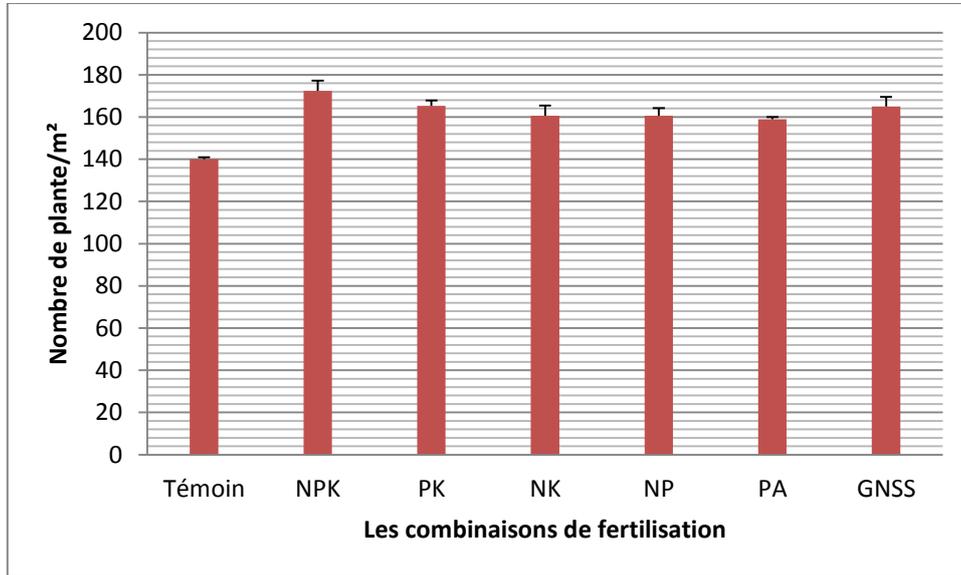


Figure n° 13 : Nombre de plants/m² pour des différentes combinaisons de fertilisation

1-3-2- Nombre d'épis/m²

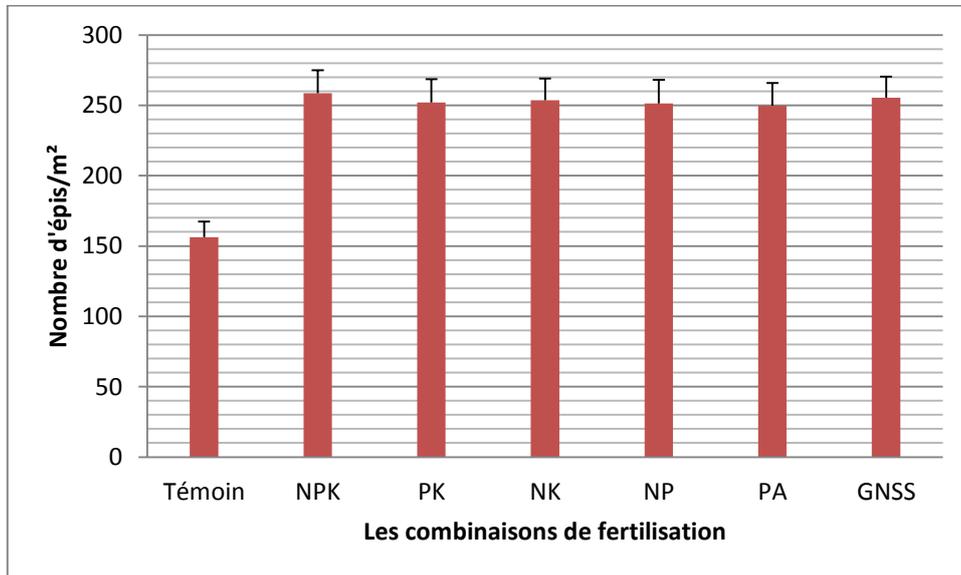


Figure n° 14 : Nombre d'épis/plants pour les différentes combinaisons de fertilisation

1-3-3- Nombre d'épillets/épis

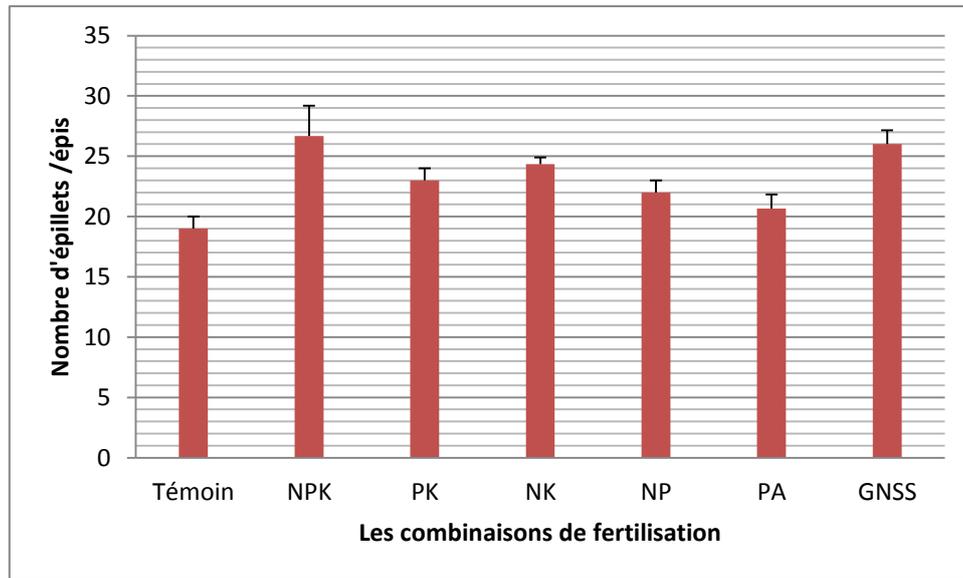


Figure n°15: Nombre d'épillet par épis pour les différentes combinaisons de fertilisation

1-3-4- Nombre de grains /épis

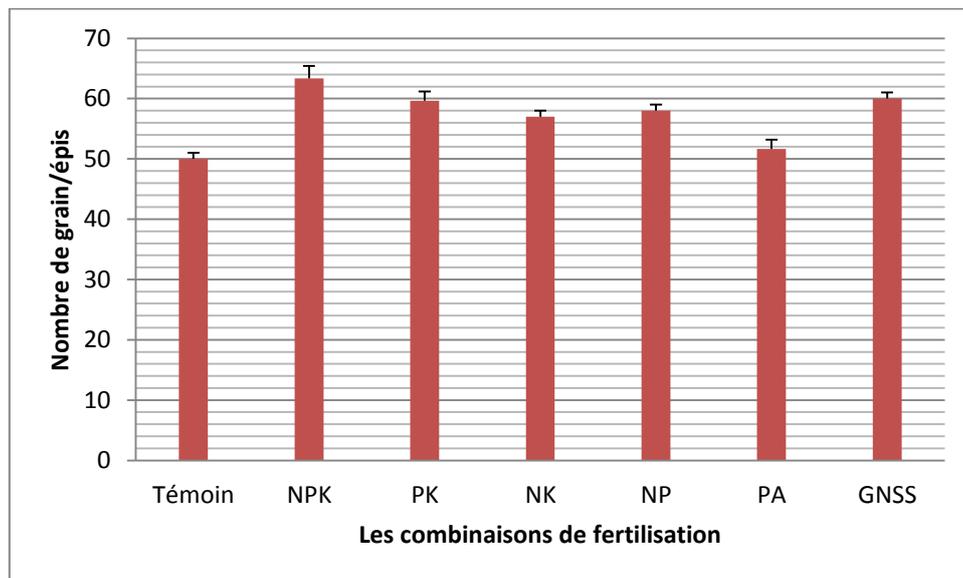


Figure n°16 : Nombre de grains /épis

1-3-5-Poids de 1000 grains

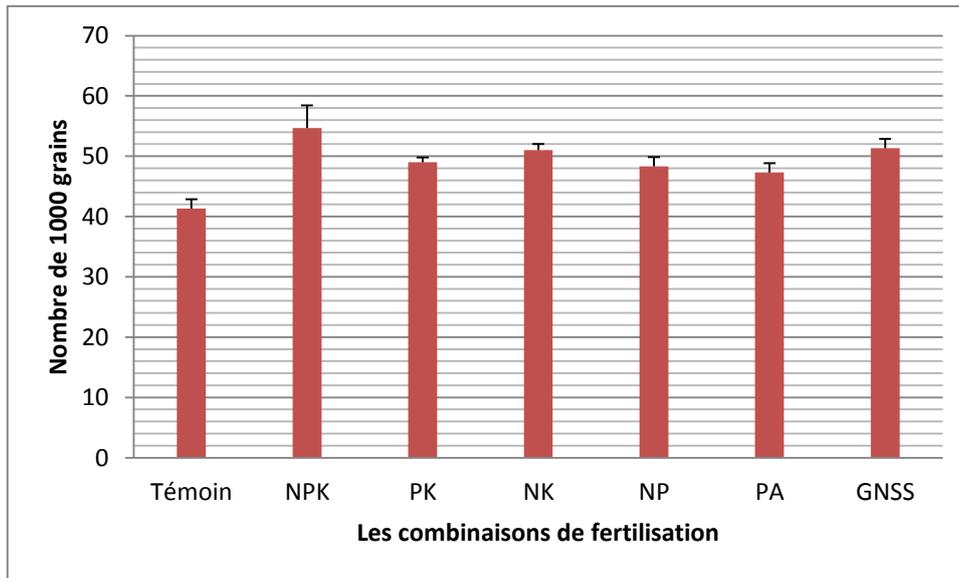


Figure n°17 : Poids de 1000 grain

1-3-6- Rendement estimé

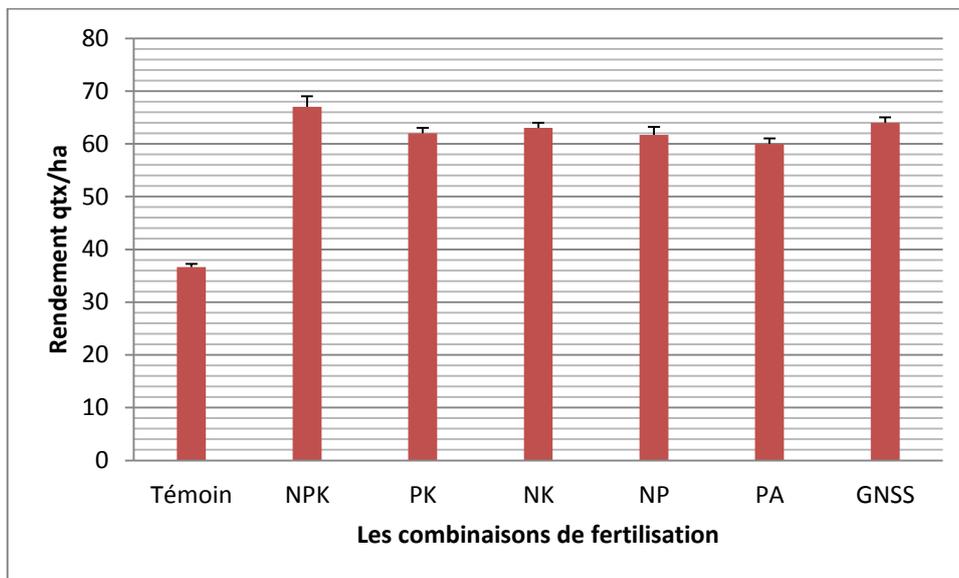


Figure n°18 : Rendement estimé.

Le calcul statistique (tableaux 05 au 11 en annexe) montre des différences significatives entre les différentes combinaisons de fertilisation pour tous les paramètres agronomiques, alors que la comparaison multiple des moyennes avec le test de Dunette a montré que le groupe témoin a donné les résultats les plus faibles concernant les paramètres ; Nombre de plants/m², Nombre d'épis/m², Nombre de grain /épis, Poids de 1000 grain et le rendement estimé, cependant pour le nombre d'épillets par épi le groupe témoin sans fertilisation a donné des résultats similaires aux combinaisons de fertilisation N_{87.5} P_{37.5} K₀, et la combinaison de fertilisation pratiquée par les agriculteurs N₉₂ P₉₂ K₀.

2- Discussion

Les résultats des paramètres morphologiques nous montrent que les parcelles traitées avec les combinaisons de fertilisation, $N_{87.5} P_{37.5} K_{45}$, la fertilisation recommandée par le logiciel (GNSS) ; $N_{95} P_{55} K_{41}$ et la fertilisation en (NK) ; $N_{87.5} P_0 K_{45}$ révèlent une hausse considérable, pour tous les indices, néanmoins les combinaisons de fertilisations (PK) ; $N_0 P_{37.5} K_{45}$, (NP) ; $N_{87.5} P_{37.5} K_0$ et les parcelles avec la fertilisation pratiquée par les agriculteurs, (PA) ; $N_{92} P_{92} K_0$ ont donné des résultats faibles concernant la hauteur des plantes. Le manque de l'azote dans les parcelles (PK), est le potassium dans les parcelles (NP) et (PA) semble la raison pour laquelle ces parcelles ont donné des résultats insuffisants surtout pour la hauteur des plantes.

Les résultats des paramètres agronomiques semblent être en concordance avec les paramètres morphologiques, on constate que les parcelles qui ont montré de bons résultats avec les paramètres morphologiques ont donné aussi des résultats satisfaisants concernant les paramètres agronomiques, en particulier les parcelles (NPK) ; $N_{87.5} P_{37.5} K_{45}$, (GNSS) ; $N_{95} P_{55} K_{41}$, (NK) ; $N_{87.5} P_0 K_{45}$ et (PK) ; $N_0 P_{37.5} K_{45}$.

Le coefficient de corrélation (tableau 5 en annexe) montre une corrélation significative entre les paramètres morphologiques et le rendement, en particulier avec le nombre de talles et la surface foliaire $r=0.625$ et $r=0.657$ respectivement, ce qui indique que le rendement est en relation étroite avec ces deux paramètres. Le nombre talles augmente le nombre d'épis qui agit positivement sur le rendement, ainsi qu'une surface foliaire assimilatrice importante aboutit à une production primaire élevée agissant sur l'augmentation du rendement.

Pour connaître le ou les paramètres agronomiques qui agissent le plus sur le rendement en a calculé le coefficient de corrélation entre ces derniers et le rendement en quintaux par hectare, les résultats illustrés dans le tableau 6 en annexe montrent ; $r=0.970$, $r=0.948$, $r=0.907$, $r=0.904$ et $r=0.718$ avec les paramètres : nombre de grains par épi, nombre d'épi par plants, poids de mille grains, nombre de plantes par mètre carré et le nombre d'épillets par épi respectivement, ce qui montre que le rendement en quintaux par hectare est influencé surtout par les trois premiers paramètres à savoir : nombre de grains par épi, nombre d'épi par plants, poids de mille grains

Selon les résultats obtenus, on peut dire que la combinaison de fertilisation en NPK proposée par le logiciel « Nutrient Expert » n'a pas donné un résultat important concernant l'optimisation de la fertilisation du blé dur selon nos essais, le complément en azote et en phosphore par rapport aux autres combinaisons, n'a pas été accompagnée par une augmentation du rendement. Un rapport publié sur le site web IPNI sur les résultats des essais conduits au

niveau de la station de Tiaret à la commune de Sidi Hosni pendant la campagne 2015/2016 ces essais ont montré que les parcelles de blé dont les recommandations sont issues du modèle « Nutrient Expert » n'ont en aucun cas pénalisé la culture de blé, le rapport n'a pas mentionné une amélioration du rendement.

Cependant plusieurs articles publiés sur le site web IPNI sur des essais conduits au niveau des groupes régionaux d'IPNI asiatiques et américaines montrent que les recommandations du logiciel sont très bénéfiques en matière d'économie d'engrais [9].

Les conditions météorologiques exceptionnelles de la campagne 2017/2018 en particulier pendant le printemps, marquées par une pluviométrie très élevée, peuvent orienter les résultats des essais sensés d'être conduits en pluviale. Notant que la moyenne des précipitations de huit ans des mois de mars avril et mai sont (75.2 mm, 41.5 mm et 33.2mm) respectivement [10] alors qu'on a enregistré pendant la campagne 2017/2018 une pluviométrie très élevée (63 mm, 42 mm et 29mm) des mêmes mois respectivement.

Le logiciel « Nutrient Expert » n'est qu'un outil de recommandation, d'ailleurs les avertissements des concepteurs du logiciel signalent qu'ils ne garantissent pas l'exactitude d'une analyse énumérée sur les engrais commerciaux, le logiciel prévoit que l'analyse N, P₂O₅ et K₂O énumérée sur un sac d'engrais organique soit inorganique reflète avec précision la teneur en éléments nutritifs dans l'engrais, en plus des éléments nutritifs, de nombreux facteurs (climat, culture, gestion de l'eau) affectent le rendement du blé, par conséquent le logiciel ne garantit pas que le rendement prévenu du blé ciblé soit réalisé.

D'autre part, les données introduites au logiciel par l'utilisateur peuvent être défectueuses, telles que le type et le taux de la matière organique utilisée, le précédent cultural et certaines procédures culturales (l'application des pesticides...) tous ceux-là peuvent conduire à des résultats inattendus.

Le logiciel d'optimisation de la fertilisation « Nutrient Expert » développé par l'IPNI en 2009, et largement utilisé dans le monde, c'est un outil d'aide à la décision, interactif et informatisé qui peut rapidement fournir des recommandations nutritionnelles pour un champ d'agriculteur individuel en présence ou en l'absence de données d'analyse de sol, il a donné des résultats remarquables avec plusieurs cultures notamment le maïs et le blé, Mirasol et *al.*, 2012, HE et JIN 2012, Chuan et *al.*, 2013, Xinpeng et *al.*, 2013, Limin et *al.*, 2013, Hou 2013, Xinpeng et *al.*, 2014, Sapkota et *al.*, 2014, Wang 2014, Su, 2014. Des essais sont initiés depuis 2015 au Maroc, en Tunisie, El Gharous, 2016, en Algérie des essais sont initiés pour la campagne

2015/2016 au niveau de la station régionale de l'ITGC de Tiaret, et reconduits l'année en cours au niveau des stations de Tiaret, Constantine, Setif et Guelma.

Conclusion

Le logiciel d'optimisation de la fertilisation « Nutrient Expert » développé par l'IPNI en 2009, et largement utilisé dans le monde, c'est un outil d'aide à la décision, interactif et informatisé qui peut rapidement fournir des recommandations nutritionnelles pour un champ d'agriculteur individuel en présence ou en l'absence de données d'analyse de sol [9], il a donné des résultats remarquables avec plusieurs cultures notamment le maïs et le blé en Algérie des essais sont initiés pour la campagne 2016/2017 au niveau de la station régionale de l'ITGC de Tiaret, et reconduits cette année au niveau des stations de Tiaret, Constantine, Sétif et Guelma.

Les résultats relatifs à la recommandation de la fertilisation minérale en NPK du logiciel n'ont pas donné des résultats significativement meilleurs de celles pratiquées par les agriculteurs notamment pour le rendement en grains, cependant ils n'ont en aucun cas pénalisé la culture de blé.

Le protocole expérimental est conçu pour essai en pluvial, et vu les conditions exceptionnelles de pluviométrie enregistrée cette année, qui ont sans doute favorisé l'augmentation du rendement dans les conditions de déficiences en éléments nutritifs, nous considérons ces résultats encourageantes, et on pense que les essais sur ce logiciel méritent d'être reconduits, plusieurs années et en particulier au niveau des régions semi arides.

L'application du le logiciel « Nutrient Expert » est destiné surtout aux grandes cultures, à ce sujet on recommande l'intégration d'autres cultures telles que le maïs et les légumineuses.

Résumé

Des essais ont été réalisées au niveau de la station de l'ITGC de Guelma en vue d'optimiser la fertilisation minérale en NPK dans le but d'améliorer la nutrition minérale pour la culture du blé dur, en utilisant un logiciel « Nutrient Expert » développé par l'IPNI largement utilisé sur les céréales. Les résultats préliminaires obtenus indiquent des différences non significatives entre les parcelles traitées avec les combinaisons de fertilisation pratiquées par les agriculteurs de notre région et celle proposée par le logiciel en particulier pour les paramètres agronomiques, on pense que les conditions climatiques notamment la précipitation relativement importante enregistrée pendant la campagne en cours, et les données relatives aux conditions de la culture introduites aux logiciels qui peuvent être [défectueuses](#), sont mis en cause.

Mots clés : fertilisation, céréales, blé dur, nutrition minérale. « Nutrient Expert »

المخلص

أجريت تجارب على مستوى المحطة الجهوية للمعهد الوطني للمحاصيل الكبرى بقالة لغرض معرفة الكمية المثلى من السماد المعدني NPK، بهدف تحسين التغذية المعدنية لمحصول القمح الصلب، باستعمال برنامج « Nutrient Expert » تم تطويره من قبل IPNI الذي يستعمل بشكل واسع على محاصيل الحبوب. النتائج المبدئية المتحصل عليها تشير الى فروقات غير معنوية بين النباتات المعالجة بالكمية المعتاد استعمالها من طرف الفلاحين في المنطقة وتلك المقترحة من قبل البرنامج، خاصة ما يتعلق بالمعايير الزراعية. نعتقد انه يرجع السبب في ذلك الى الظروف المناخية وخاصة التساقط العالي نسبيا المسجل خلال الموسم الزراعي و المعطيات الغير دقيقة والمتعلقة بالظروف الزراعية التي تم ادراجها للبرنامج .

الكلمات المفتاحية: سماد، حبوب، القمح الصلب، التغذية المعدنية، برنامج « Nutrient Expert »

Summary

The trials were carried out at the ITGC station in Guelma to optimize mineral fertilization in NPK with the aim of improving mineral nutrition for durum wheat cultivation, using "Nutrient Expert"; a software developed by IPNI widely used on cereals. The preliminary results obtained indicate insignificant differences between the plots treated with the fertilization combinations practiced by the farmers of our region and that proposed by the software especially for the agronomic parameters, it is thought that the climatic conditions in particular the relatively important precipitation recorded during the current campaign, and the data relating to the conditions of the culture introduced to the software which can be defective, are put in question

Key words: fertilization, cereals, durum wheat, mineral nutrition. "Nutrient Expert"

