

INTRODUCTION
GENERALE

La culture de blé constitue la première ressource en alimentation humaine dans le monde, par sa richesse en hydrates de carbone (78.1%), en protéines (14.7%), en lipides (2.1%), minéraux (2.1%) et vitamines en quantité considérables (Alam et al. 2007). D'après HARDOUIN et al. (2002), certaines variétés de blé dur sont riches en caroténoïdes, ces nutriments sont aujourd'hui connus comme étant dotés de propriétés bénéfiques pour la santé humaine.

Les surfaces consacrées au blé dans le monde dépassent celles de toutes les autres cultures (BONJEAN et PICARD, 1990) et sont concentrées en Amérique du nord et dans le bassin méditerranéen.

En Algérie, les céréales occupent une superficie qui se situe entre 3 et 3,3 millions d'hectares, 41 % de cette superficie est réservée au blé dur (MADR, 2008). Cette spéculation est le modèle de consommation dominant, s'explique par les traditions alimentaires et les habitudes de consommation (CHEHAT, 2006), en particulier la semoule qui est destinée à la fabrication de pâtes et de couscous (KHALDOUN et al., 2006).

La culture de blé dur (*Triticum durum Desf*) pratiquée en Algérie utilise des génotypes locaux, caractérisés par un faible potentiel de production et des génotypes introduits nouvellement, sélectionnés et caractérisés par un haut potentiel de production ce qui a rétréci la diversité des blés durs dans le pays. Cependant, ce matériel introduit a fait régresser les variétés locales et disparaît plus rapidement à cause notamment de son inadaptation et de sa sensibilité aux conditions du milieu particulièrement la sécheresse (ITGC, 1999).

La production nationale de blé se caractérise par une variabilité interannuelle due principalement aux conditions climatiques (ITGC, 1999). En effet, la sécheresse due à l'irrégularité des précipitations est le stress le plus répandu, il est très souvent combiné avec d'autres stress (températures hivernales basses et fortes chaleurs). La fertilisation azotée, elle-même joue un rôle essentiel dans la culture de blé, et reste le facteur limitant de l'augmentation de la production, à condition que les autres facteurs soient à leur optimum (condition climatique, technique culturales ..).

De nombreux auteurs ont déjà montrés l'importance de la nutrition azotée chez les céréales. Selon SOLTNER (2003) ; N'DAYENGAMIYE et POULIN (2011) ; HIREL et al. (2007), l'azote est un élément essentiel pour le développement des cultures et des rendements. Toutefois, depuis la révolution verte, il y a plus de 50 ans, les agriculteurs ont

tendance à optimiser la fertilisation azotée afin de maximiser le rendement des cultures, une quantité suffisante d'azote doit être disponible aux cultures pour obtenir une bonne récolte (HIREL et al ., 2007).

Parcontre, un excès favorise les problèmes de verse, les retards de maturité, la dégradation de la qualité des récoltes et la pollution de l'eau souterraine par les nitrates et l'augmentation des coûts de production (N'DAYEGAMIYE et POULIN, 2011).

La fertilisation azotée doit être raisonnée et fractionnée selon les besoins et le stade de croissance de la culture. Selon BAHLOUL (1989) et GATE(1995), le fractionnement plusieurs apports augmente les chances d'une meilleure utilisation de l'engrais et diminue les pertes.

Dans ce contexte, notre travail consiste à étudier l'effet des différentes doses d'azote sur la performance de production de quelques variétés de blé dur en zone semi –aride et évaluer l'effet de la fertilisation azoté sur l'amélioration du rendement et ses composantes.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1

La culture de blé

I.1. Le blé dur : Historique, Origine et génétique du blé dur

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 Jésus-Christ (FELDLMAN et SEARS, 1981 ; MOUELLEF, 2010). Des restes de blés, diploïde et tétraploïde, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche orient (HARLAN, 1975) et on croit que le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, Iraq et de l'Iran (FELDMEN, 2001).

Selon MECKE (1968), Les blés tétraploïdes, résultent d'un croisement rare mais naturel entre deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* dont le nombre chromosomique est désigné par A ($2n=14$, AA) et une graminée sauvage du nom de *Aegilops speltoides* dont le nombre chromosomique est désigné par B ($2n=14$, BB) de sorte que *Triticum durum* ait une garniture chromosomique désigné par AABB (Figure 01). Le blé dur appelé ainsi en raison de la dureté de son grain, possède, à l'inverse des espèces ancestrales originaires de Syrie et de Palestine, $2n=4x=28$ chromosome.

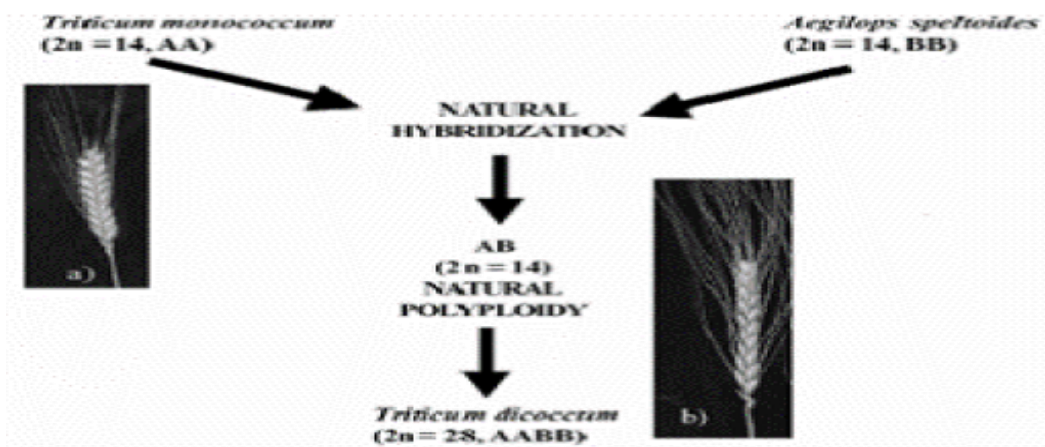


Figure 01. Evolution de blé tétraploïdes cultivée (SRAMKOVA et al., 2009)

Selon LAUMONT (1961), la répartition des blés est comme suit :

- Groupes des Diploïdes : le centre d'origine est le foyer SYRIEN et PALISTINIEN.
- Groupes des Tétraploïdes : ayant comme centre d'origine l'ABYSSINIE.
- Groupes des Hexaploïdes : dont le centre d'origine est le foyer AFGHANO-INDIEN.

A partir de cette zone d'origine, l'espèce s'est différenciée dans trois centres : le bassin occidental, la méditerranée, le sud de la Russie et le proche orient.

La culture du blé a commencé à s'étendre au-delà du Croissant fertile au cours du Néolithique, 5000 ans avant J. C., elle avait atteint l'Ethiopie, l'Inde, la Grande-Bretagne, l'Irlande et l'Espagne. Un millénaire plus tard, le blé atteignit la Chine (SRAMKOVA *et al.*, 2009).

I.1.1. Classification botanique

Le blé dur peut être classé comme suit (PRATS, 1960 ; CRETE, 1965 ; FEILLET, 2000) :

- **L'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*

I.2. Importance de la culture du blé dur dans le monde et en Algérie

Le blé dur représente environ 8 à 10% des superficies cultivées dans le monde dont 70% sont localisées dans le bassin méditerranéen, la Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne et les pays d'Afrique du nord (MONNEVEUX, 2002).

Le blé dur occupe une place centrale dans l'économie algérienne il couvre 1.3 million d'hectares sur le 3,6 million d'hectares consacrés à la céréaliculture durant la période 2000-2010 (Madr, 2011). Le rendement est faible et irrégulier, il est de l'ordre de 8q/ha (Tableau 01). La production couvre près de 41% des besoins (MAZOUZ, 2006). La culture de blé dur est localisée dans les hautes plaines de l'Ouest et les hauts plateaux de l'Est (tableau 02).

Tableau 01 .Superficies emblavées et rendements de blé en Algérie (2005/2009)

Année	2005	2006	2007	2008	2009
Surface (ha)	1623744	1783825	2000000	1006570	1848580
Rendement (q/ha)	15.065	15.068	13	11.037	15.975

Source: FAO (2011)

Tableau02. La production de blé dur (2008) dans les principales willayas productrices de blé.

Willaya	Blé dur (tonnes)
Oum El Bouaghi	116.705
Tiaret	113.338
SoukAhras	122
Sétif	100.786
Tébessa	81860
Sidi bel Abbes	42.98
Batna	37

Source : ANONYME (2008)

L'Algérie est classée troisième importateur mondial des céréales après le Brésil et l'Egypte. A titre indicatif, la quantité de blé importé pour la saison 2005-2006 a atteint 5,5 millions de tonnes (KELLOU, 2008). Alors que la production pour la même saison a été de 17,7 millions de quintaux, cette production a chuté jusqu'à 8,1 millions de quintaux en 2008 (MADR, 2009).

Actuellement, le pays se classe au premier rang mondial pour la consommation de blé avec une moyenne dépassant largement les 200 kg/hab/an, comparativement à l'Egypte dont la moyenne est de 131 kg/hab/an et à la France dont la moyenne est de 98 kg/hab/an (HERVIEU et al .,2006).

I.3. Description générale de la plante :

Le blé est une plante herbacée annuelle, à système de reproduction autogame et cléistogame: elle se reproduit par autofécondation et sans ouverture de la fleur (NAVILLE, 2005). Son appareil végétatif comprend :

- a) **système racinaire** formé de racines séminales produites par la plantule durant la levée et des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante constituant ainsi le système racinaire permanent (ACIA, 2006; HAMADACHE, 2001).
- a) **système aérien** est formé de la tige ou talles partant du plateau de tallage. La tige ou chaume est constituée d'entre-nœuds séparés par des nœuds ou zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et servent comme point d'attache des feuilles. Les feuilles sont alternées, comportant chacune une portion supérieure et une portion inférieure correspondant respectivement au limbe et à la gaine (Hubert, 1998; Jouve et Daoudi, 2001).
- b) **L'inflorescence** est un épi formé de deux rangées d'épillets situés de part et d'autre du rachis (figure 02). Chaque épillet est une petite grappe d'une à cinq fleurs dont trois à quatre sont fertiles, enveloppées chacune par deux glumelles (supérieure et inférieure) et comportant typiquement trois étamines et un ovaire à un seul carpelle (ACIA, 2006; BOULAL et al., 2007). Le fruit est un caryopse nu ou fruit sec indéhiscent dont les parois sont soudées à celles de la graine (SOLTNER, 2005).

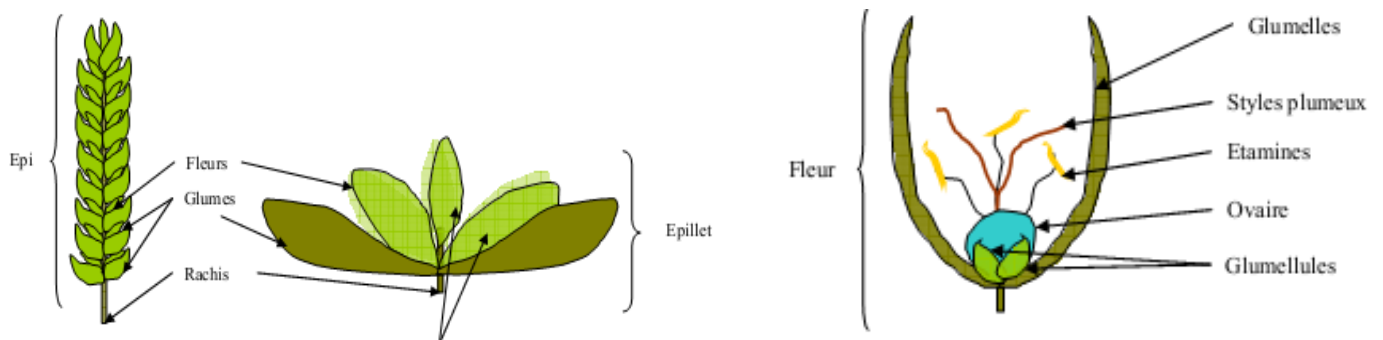


Figure 02. Anatomie de l'épi et des fleurs de blé (BOGARD, 2011)

I.4. Cycle de développements du blé dur

Le cycle de développement du Blé est jalonné par une série de transformations qui concernent la tige et l'épi (Figure 03). Les échelles de notations des différents stades du développement du blé ont été décrites par de nombreux auteurs MUAME et DULAC (1936), FEEKS(1941), HAVN (1973), WADREN et FLOWDAY (1979), MARTIN(1984).

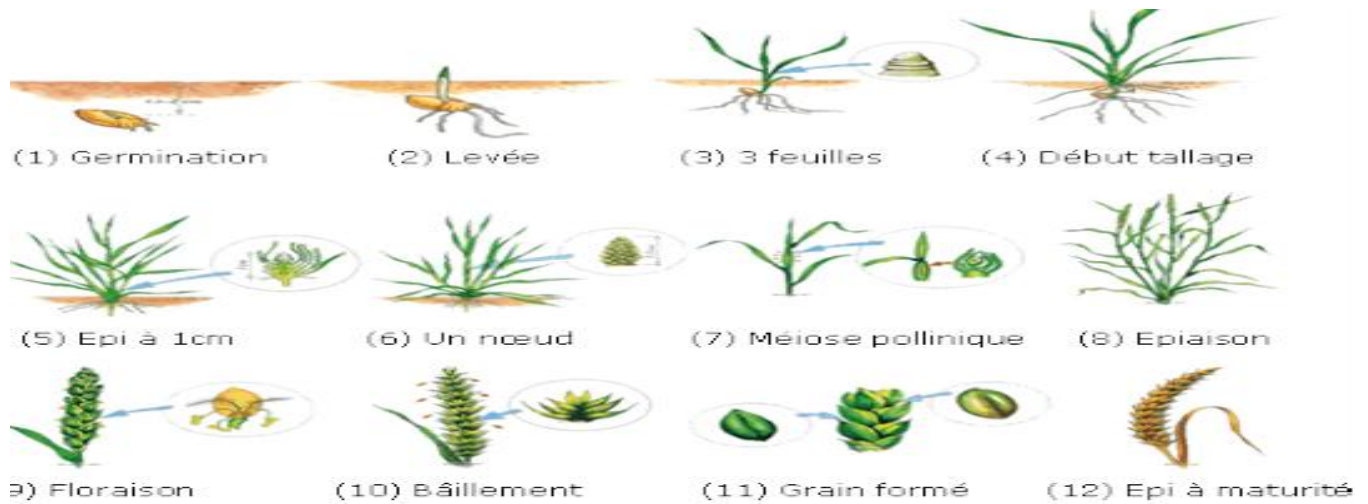


Figure 03 .Cycle de développement du blé (HENRY et DE BUYSER, 2000)

I.4.1. La période végétative

I.4.1.1. La phase semis –levée

Cette phase peut être accomplie dès que la semence est capable de germer et que le sol peut lui fournir l'humidité, la chaleur et l'oxygène nécessaire. La teneur minimale en eau qui permet la germination est de l'ordre de 35 à 40%. Lorsque la graine a absorbé de 20 à 25% de son poids d'eau. La température optimale de la germination varie de 20 à 22°C (JONARD,1951).

I.4.1.2. La phase levée - tallage

Selon SOLTNER (1988), C'est un mode de développement propre aux graminées, La durée de cette période varie de 31 à 89 jours (MEKLIČHE, 1983). Elle est caractérisée par la formation du plateau du tallage, l'émission de talles et la sortie de nouvelles racines.

I.4.1.3. La phase tallage – montaison

Elle est caractérisée par la formation de talles et l'initiation florale qui se traduit par l'apparition de la future ébauche de l'épi; tout déficit hydrique durant cette période se traduit par une diminution du nombre de grains par épi (MARTIN et PREVEL, 1984).

I.4.2. La période reproductrice

I.4.2.1. La phase montaison

Elle débute lorsque les entrenœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage, ce qui correspond à la formation du jeune épi à l'intérieur de la tige (BELAID, 1986). COUVREUR (1981), considère que ce stade est atteint quand la durée du jour est au moins de 11 heures et lorsque la culture a reçu au moins 600°jours(base 0°C depuis la levée).

I.4.2.2. La phase épiaison

Cette période commence dès que l'épi apparaît hors de sa graine foliaire et se termine quand l'épi est complètement libéré (MAUME et DULAC, 1936). La durée de cette phase est de 7 à 10 jours, elle dépend des variétés et des conditions du milieu, (MARTIN et PREVEL, 1984).C'est la phase où la culture atteint son maximum de croissance.

I.4.2.3. La phase floraison - fécondation

Elle est déterminée par la sortie des étamines hors des épillets, la fécondation est accomplie lorsque les anthères sortent des glumelles. Le nombre de fleurs fécondées dépend de la nutrition azotée et d'une évapotranspiration pas trop élevée (SOLTNER, 1988).

I.4.2.4. La phase de maturation

Cette phase est caractérisée par le grossissement du grain, l'accumulation de l'amidon et les pertes de l'humidité des graines qui marque la fin de la maturation (SOLTNER, 1988). Les graines vont progressivement se remplir et passer par différentes stades.

I.4.2.4.1. Maturité laiteuse

Ce stade est caractérisé par la migration des substances de réserves vers le grain et la formation des enveloppes. Le grain est de couleur vert clair, d'un contenu laiteux et atteint sa dimension définitive (SOLTNER, 1988).

I.4.2.4.2. Maturité pâteuse

Durant cette phase 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 (SOLTNER, 1988).

I.4.2.4.3. Maturité complète

Après le stade pâteux, le grain se déshydrate. Il prend une couleur jaune, durcit et devient brillant. Ce stade est sensible aux conditions climatiques (SOLTNER, 1988).

I.5. Exigences du blé

Un bon comportement de la culture durant son cycle de développement exige la réunion de certains facteurs qui conduisent à l'obtention d'un meilleur rendement.

I.5.1. La température

La température conditionne à tout moment la physiologie des plantes ; l'optimum de température se situe entre 20 à 22°C (SIMON et al., 1989). Le zéro de végétation du blé est proche de 0°C (MOULE, 1980). Une température constamment inférieure à 15°C pendant la fécondation provoque la coulure, aussi pour certaines variétés, il y'a risque d'échaudage à partir de 33°C (SIMON et al., 1989).

Des températures trop faibles peuvent causer des dégâts en fonction des stades de développement du blé ; une chute brutale de température entre le stade de germination et le début tallage occasionne de graves dégâts en raison de la faible résistance du blé au froid durant cette phase (RUEL, 1996). Selon VILAIN(1987), le blé dur à besoin de cumuler une

certain somme de température pour la réalisation des différentes phases physiologiques comme le montre le tableau suivant :

Tableau 03. Les besoins en températures pour les différentes phases de développement du blé

Les phases de développement	Somme de températures (°jours)
Semis –levee	150
Levee- fin tallage	500
Montaison–floraison	850
Floraison–maturation	850
Maturation	2350

Source : VILAIN(1987)

I.5.2. L'eau

Leblé exige une humidité permanente durant tout le cycle de développement en quantité variable. Les besoins en eau de la culture varient de 450 à 650 mm (Baldy, 1974; FAO, 2010). Les besoins en eau décadaires sont 46 mm du stade de fin tallage - début montaison (mars-avril). Ils s'élèvent à 103 mm à la phase gonflement-épiaison (Chennafi et al, 2008). C'est de la phase épi 1 cm à la floraison que les besoins en eau sont les plus importants. La période critique en eau se situe de 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison (LOUE, 1982). Les besoins sont plus importants au vu des conditions climatiques défavorables.

I.5.3. La lumière

Leblé est une plante à jour long, il a besoin de lumière pour assurer un bon tallage qui sera déterminant pour la plante lors de l'élaboration du rendement. Sa floraison est en effet favorisée par l'allongement du jour (SOLTNER, 2007) ; 12 à 14 heures selon l'espèce et la variété ; sont nécessaires pour permettre le démarrage de la phase reproductrice (RUEL, 1996).

I.5.4. Les exigences édaphiques

Le blé prospère sur une gamme assez variée de sols, les meilleures terres de blé sont les terres de limon argilo-calcaires et argilo-siliceuses (MOULE, 1980).SOLTNER (2005) détermine trois caractéristiques pour une bonne terre à blés :

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

I.5.5. Éléments nutritifs

Les besoins du blé en éléments majeurs sont résumés dans le tableau (04).

Tableau(04). Les besoins en éléments majeurs (Kg) pour un quintal de blé dur .

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca0	Mg0	S
Grain seul (1q)	1.9	1	0.5	0.15	0.15	0.25
Grain +paille (1 q)	2.4	1.25	1.7	0.75	0.4	0.45

Source : SOLTNER (1990).

A) Azote : est un constituant de la majorité des composés organiques : chlorophylle, protéique, acides aminés. Il joue un rôle primordial dans l'augmentation du rendement.

Il faut 3 kg d'N pour produit 1 quintal de blé dur (VIAUX, 1980).

b) Le phosphore : se trouve dans le sol essentiellement sous deux formes, organiques et minérales. Selon LAFON(1990), le phosphore joue un rôle dans la multiplication cellulaire, d'où son importance dans tous les phénomènes de croissance et de reproduction. L'acide phosphorique contribue à la solidité des tiges des céréales et leur permet de résister à la verse physiologique (OULD-SAID et MENAD, 2003).

c) Le potassium : il intervient dans la synthèse des protéines à partir des aminoacides, il favorise la photosynthèse ; en plus de ça il intervient plus ou moins directement dans la

diminution de la transpiration et réduit les risques de flétrissement en cas de sécheresse (HELLER, 1981). Le potassium favorise la formation des grains (OULD-SAID et MENAD, 2003).

I.6. Conduite d'une culture de blé

I.6.1. place du blé dans la rotation

Il est nécessaire pour la réduction des attaques parasitaires et l'amélioration de la structure et la fertilité du sol.

L'agriculture méditerranéenne est caractérisée depuis longtemps par une rotation biennale jachère - blé, où la jachère est vue comme un moyen d'immagasinement de l'eau pour la culture qui suit (Jouve, 2007).

I.6.2. Préparation du sol

Le blé nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 12 à 15 cm pour les terres limoneuses en générale, ou 20 à 25 cm pour les autres terres. Le sol doit être légèrement motteux et suffisamment tassé en profondeur, une structure fine en surface pour permettre un semis régulier et peu profond.

I.6.2.1. Semis

La date de semis un facteur limitant vis-à-vis du rendement, c'est pourquoi la date propre à chaque région doit être respectée sérieusement pour éviter les dégâts liés aux conditions climatiques. En Algérie, il peut commencer dès la fin d'octobre avec un écartement entre les lignes de 15 -25 cm et une profondeur de semis de 2,5 -3 cm.

I.6.2.2. Entretien

Il est effectué soit sur les ravageurs (pucerons, les vers blancs et les moineaux), soit sur les mauvaises herbes.

Les mauvaises herbes concurrencent les céréales pour l'alimentation hydrique et minérale et aussi pour la lumière affectant le rendement. Il existe deux méthodes de lutte :

- La lutte mécanique : dès le moins de septembre, les premières pluies d'automne favorisent la germination des grains de mauvaise herbe et du précédent culturale. après leur levée, procéder à leur enfouissement.
- Lutte chimique : se fait à l'aide de désherbant polyvalent.

I.6.2.3. Fertilisation

Le blé est relativement exigeant en azote, la plus grande part de ses besoins en azote est pendant la phase tallage-remplissage du grain (GATE, 1995).

L'enfouissement de l'engrais de fond avant le semis est important à l'ameublissement du sol pour la préparation du lit de semences.

I.6.2.4. Récolte

Le grain de blé dur est mûr lorsqu'il casse sous la dent. Un taux d'humidité de 15%, une hygrométrie de l'air ambiant inférieure ou égale à 70% et une température de l'air et du grain de 10 °C sont indiqués pour une bonne conservation (SOLTNER, 1980).

La récolte se fait à l'aide de moissonneuse batteuse vers la fin du mois de juin et peut aller jusqu'à la fin du mois de juillet selon la région et les conditions climatiques de la campagne agricole (ITGC, 1999).

Chapitre 02

La nutrition azotée de blé dur

II.1. Rôle physiologique de l'azote dans la plante

Selon SOLTNER (2003), l'azote est un constituant essentiel du cytoplasme car il favorise :

- * La synthèse des glucides grâce à l'augmentation du nombre de chloroplastes.
- * La constitution des réserves azotées dans les graines.
- * La multiplication cellulaire donc la croissance des tissus.
- * La multiplication des chloroplastes, puisque la chlorophylle est substance azoté d'où la couleur vert foncée des plantes après un apport d'azote.
- * C'est un facteur de rendement, et parfois de qualité, puisque il augmente la teneur en protéines des céréales. L'azote est donc nécessaire à tous les stades de la plante: jeune, croissance, reproduction et mise en réserve.

II.2. Dynamique de l'azote

Selon DUTHIL (1973), la transformation de l'azote en l'une ou l'autre de ces différentes formes constitue un système très complexe appelé "le cycle de l'azote" (figure 04).

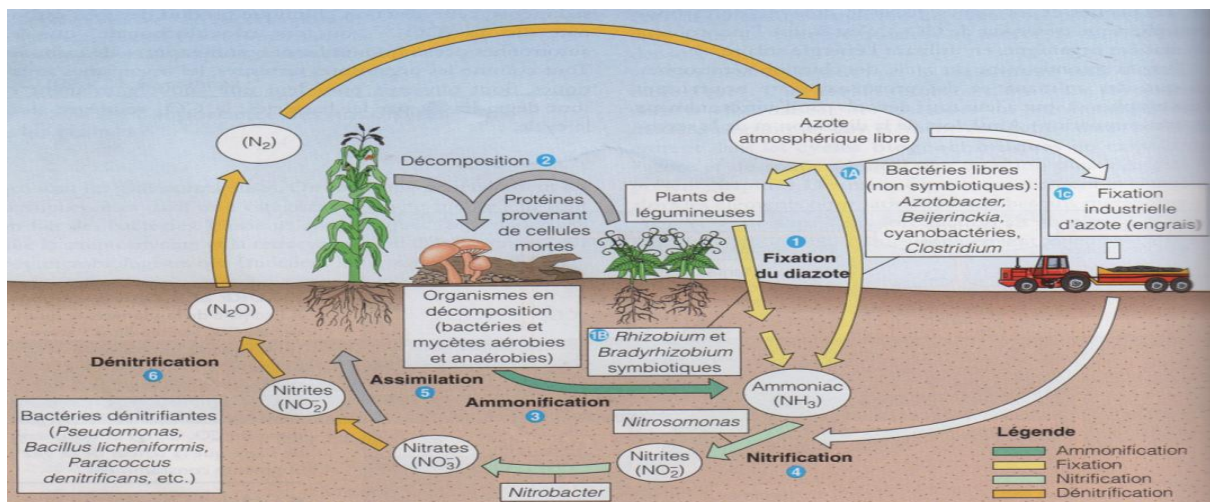


Figure 04. Cycle de l'azote dans la nature (Tortora et al. 2003)

Le passage de l'azote de la forme organique à la forme minérale par les microorganismes se réalise en deux étapes :

A- l'ammonification :

L'ammonification est le processus qui transforme l'azote organique en azote ammoniacal. Les bactéries sont considérées comme les principales responsables de cette dégradation, où elles dégradent les substances protéiques et provoquent la libération d'ammoniaque (SIMON *et al*, 1989 ; BARROIN *et al*, 1997 in LEMAIRE et NICOLARDOT, 1997).

DUCHAUFFOUR (1979) et DUTHIL (1983) affirment que l'ammonification se réalise à des conditions écologiques extrêmement diverses, parce qu'elle demande un nombre élevé de bactéries et de champignons.

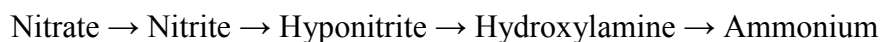
B- la nitrification

La nitrification est la conversion biologique de l'azote minéral réduit (NH_4) en azote minéral oxydé sous forme NO_3 en passant par le NO_2 . L'ammonium se transforme en nitrite puis de nitrite en nitrate (BARBAULT, 2009).

Les bactéries qui interviennent à cette étape sont du type *nitrobacter* et *nitrosomonas* à exigences écologiques bien précises de pH voisin de la neutralité, de quantité suffisante de CO_2 , bonne aération du sol et température comprise entre 28 et 36°C (BARROIN *et al*, 1997 in LEMAIRE et NICOLARDOT, 1997 ; CHRISTIAN *et al*, 2005).

II.2. l'assimilation de l'azote par la plante

L'absorption de l'azote par les plantes se réalise sous formes ammoniacale et nitrique. Ce dernier est directement assimilable, il subit dans le végétal une série de transformations grâce à l'enzyme nitrite réductase (NiR) et nitrate réductase (BLANC, 1971).



L'assimilation des nitrates permet la synthèse d'acides aminés et des protéines. Les anions de nitrate NO_3^- de la solution du sol sont absorbés activement par les racines et sont réduites en nitrite NO_2^- puis en ammonium NH_4^+ avant d'être incorporés rapidement dans les molécules organiques (HOPKINS, 2003).

Grâce à l'enzyme nitrate réductase (NR), les nitrates sont réduits en nitrites, dans le cytosol (HOPKINS, 2003).



Dans les plastes, les nitrites sont réduits en ammonium, grâce à nitrite réductase (NiR) (BLANC, 1971).

L'ammonium sous forme non ionisée (NH_3 : ammoniac), dont l'accumulation est toxique pour la cellule, est rapidement incorporé dans les molécules organiques. Les basses températures influent défavorablement sur l'assimilation de l'azote chez les plantes. Cette réaction n'est toutefois pas irréversible. COTTIGNIES(1977) confirme que les racines ne sont pas les seuls organes d'absorption d'azote. Les feuilles possèdent également la capacité d'absorption à travers leurs tissus superficiels.

II.3. Conséquences d'excès et de carence en azote

Selon HELLER (1969) et BOUDOUKHA (1991), la carence en azote ou faim d'azote se traduit par :

- ✓ Une chlorose (feuillage vert jaunâtre), avec apparition de taches pigmentées qui correspondent à la formation d'anthocyanes favorisée par une élévation du rapport C/N (excès des glucides par rapport aux amino-acides).
- ✓ Une réduction de la taille du plant (réduction de l'appareil végétatif avec chute prématurée du feuillage)
- ✓ la floraison est plutôt avancée (toujours par suite de l'élévation du rapport C/N), si la carence n'est pas trop poussée.
- ✓ Mauvais développement des bourgeons (diminution de la fertilité).

L'excès en azote qui Provoque :

- ✓ Un développement végétatif intense.
- ✓ Retard de la maturité (risque d'échaudage) (GROS 1976)
- ✓ Une tendance plus forte à la verse (BOUDOUKHA 1991)
- ✓ Le rendement peut être légèrement réduit, c'est là le résultat d'un excès de sel dans le sol plutôt que forme de toxicité due à l'azote (HOPKINS 2003).
- ✓ L'excès d'engrais azotés en abaissant abusivement le rapport C/N entraîne les troubles signalés plus haut (HELLER 1969).

II.4. la Fertilisation azotée du blé

II.4.1. Les engrais azotés

Les engrais azotés sont appliqués depuis plus de 150 ans. Jointes aux progrès de la sélection génétique et des itinéraires techniques, ils permettent d'atteindre des rendements culturels suffisamment élevés et assurer un faible coût de production (GHOUAR, 2006).

A l'origine, les engrais azotés étaient essentiellement des sous-produits végétaux et animaux (fumier, guano, engrais verts). Depuis la mise au point du procédé, les engrais azotés sont synthétisés industriellement à partir de l'azote de l'air, qui est réduit en ammoniac, en présence de méthane et d'eau (MOROT et GAUDRY, 1997). L'ammoniac est oxydé ensuite en acide nitrique. Le mélange nitrate + ammonium est un des engrais le plus utilisé en agriculture (MOROT et GAUDRY, 1997).

II.4.2. Les différentes formes d'engrais azotés

On a recours à des engrais organiques naturels (fumier, déchets de récolte), des sous-produits industriels ou artificiels (urée, cyanamide calcique) ou minéraux, des engrais ammoniacaux, nitriques ou bien ammoniacaux-nitriques (Heller 1969).

1. Les engrais naturels

D'après PONTAILLER (1971), l'azote sous forme de composés organiques animaux ou végétaux est minéralisé et rendu accessible aux plantes par les microorganismes qui transforment l'azote organique d'abord en azote ammoniacal, puis en azote nitrique.

2. Les engrais azotés minéraux

Selon PONTAILLER (1971), On classe les engrais azotés suivant la forme de leur azote.

a. Engrais nitriques : CHRISTIAN et al (2005) notent qu'ils contiennent de l'azote sous forme nitrique :

- Le nitrate de sodium $[\text{NaNO}_3]$: 16% de N et 36.5% de Na_2O ;
- Le nitrate de calcium $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$: 15.5% de N et 34% de CaO ;
- Le nitrate de calcium et le magnésium $[\text{Ca}, \text{Mg}(\text{NO}_3)_2]$: 15% de N, 46% de CaO et 8 % de MgO ;
- Le nitrate de potassium $[\text{KNO}_3]$: 13 % de N et 46% de K_2O .

Les nitrates sont directement assimilables par la plante. Sous cette forme, ils sont très peu utilisés sur céréales (SIMON et *al*, 1989).

b. Engrais ammoniacaux-nitriques : Selon PONTAILLER (1971) et CHRISTIAN et *al* (2005) ce sont des engrais contiennent à la fois de l'azote nitrique (apporté par l'acide nitrique) et de l'azote ammoniacal (apporté par le radical ammoniac).

c. Engrais ammoniacaux : Cette forme d'azote limite les pertes par lessivage car ils sont constitués en grande partie d'ammoniaque, retenue par le complexe argilo-humique (SIMON et *al*, 1989).

d. Autres formes

- **Urée (46-0-0) :** c'est l'engrais azoté solide le plus concentré (CHRISTIAN et *al*, 2005). Très soluble, l'urée se transforme rapidement dans le sol en gaz carbonique et en azote ammoniacal, La plante peut assimiler l'urée soit directement sous forme d'ammoniaque, soit après nitrification (PONTAILLER, 1971).
- **Les solutions azotées :** Elles sont fabriquées à partir du nitrate d'ammoniaque et de l'urée, Elles sont généralement employées sur des cultures en cours de végétation (CHRISTIAN et *al* 2005).
- **La cyanamide calcique [CN₂Ca] :** 18 à 21% de N : PONTAILLER (1971) considère qu'elle est un excellent engrais azoté, surtout employé dans les terres acides ou pauvres en chaux (60-70% de CaO).

II.4.3. Raisonnement de la fertilisation azotée

Les méthodes de raisonnement d'une fumure azotée reposent sur l'établissement du bilan de l'azote minéral. Cette technique permet de prévoir la quantité économique et adéquate d'azote à apporter à la culture (VIAUX, 1983).

Le principe de la méthode des bilans est très simple. Il s'agit de couvrir les besoins de la plante en azote par des fournitures conséquentes (tableau 05). La fiabilité de la méthode se base sur la bonne appréciation des différents termes du bilan. Selon REMY et VIAUX (1983) cette méthode est applicable à toutes les cultures.

Tableau 05. Relation entre les besoins azotés et les quantités d'azote fournies par le sol (VIAUX, 1983).

Besoins pour un objectif x de rendement (B)	Azote fourni par le sol(FS)
Azote absorbé par la céréale	Effet de précédent cultural
Azote non utilisable par la céréale	Apport organique
	Retournement de prairie
	Minéralisation de l'humus de sol
Apport = B – FS	

Source : VIAUX (1983).

L'équation de la quantité absorbée s'écrit :

$$N \text{ absorbé} = (FS+E) K \quad (1)$$

Avec :

N absorbé : quantité d'azote qui doit être absorbée.

FS : fourniture du sol.

E : dose d'engrais à apporter.

K : coefficient d'efficacité de l'azote.

Le terme N absorbé est très important, il représente le besoin azoté interne du peuplement végétal. Généralement, il dépend du niveau de production ramené au rendement (2.5 à 3 kg N/q de grain produit).

Dans l'équation (1) le terme FS est généralement évalué à partir d'un modèle additif dont l'expression est donnée par l'équation (2) suivante(REMY et VIAUX ,1983):

$$FS = Rh + Mh + Mr + A_{\text{eff}} \text{ (Kg/N/ha)} \quad (2)$$

Avec:

Rh : reliquat d'azote minéral présent dans le sol en sortie d'hiver sur la profondeur présumée d'enracinement de la culture.

Mh : minéralisation de l'humus du sol.

Mr : effet de la décomposition des résidus du précédent.

A_{eff}: arrière effet des retournements de prairies et/ou des apports réguliers de fumier et de lisier.

II.4.4. Les besoins en azote du blé

L'action de l'azote sur les céréales dépend surtout de l'époque de son apport. En effet, tous les chercheurs dont REMY et VIAUX (1980) qui se sont préoccupés des apports azotés admettent que pour avoir de bons résultats de rendements il est nécessaire que l'azote soit disponible en quantité suffisante (Figure 05) sous forme assimilable au début montaison. En présence de suffisamment d'eau, le blé absorbe 3 kg/ha/jour (MASSE et VIAUX, 1983). Globalement l'absorption d'azote suit le développement du blé et ceci durant les quatre phases :

- ✓ Herbacée jusqu'à la montaison avec une absorption de l'ordre de 4,5 Kg d'azote/quintal.
- ✓ Elongation avec une activité intense de croissance, cette phase se termine à la floraison.
- ✓ Fructification où l'absorption se ralentit et où les phénomènes de translocation deviennent importants.
- ✓ Maturation avec la sénescence des tissus suivie d'une perte d'eau, de matière sèche et même d'azote.

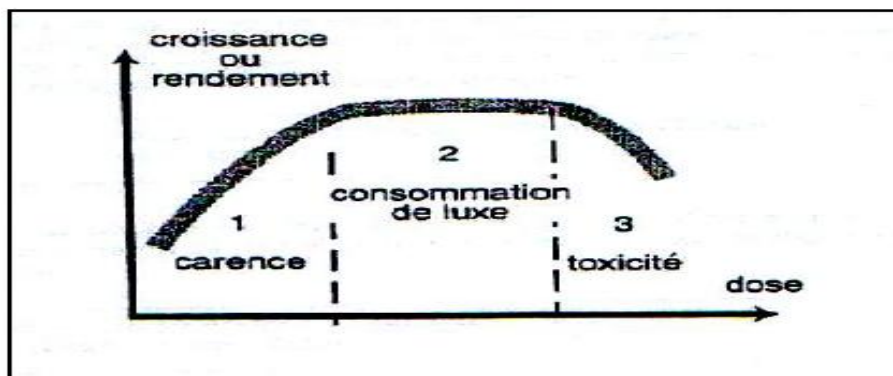


Figure 05 .courbe de réponse du blé aux apports d'engrais azote (Augus 1995)

II.4.4.1. Effet de l'azote sur la croissance, le développement et le rendement du blé dur

Plusieurs auteurs ont mis en évidence une relation étroite entre la nutrition azotée et la croissance et le développement du blé dur (GROS, 1969; DUTHIL, 1973; GATE, 1995; HALILAT et DOGAR, 2000). L'azote n'est pas le seul élément qui peut avoir une influence directe sur les différentes composantes du rendement mais sa disponibilité au niveau du sol au moment où la plante en a le plus besoin, en conditions de milieu non militantes, influe

fortement sur les composantes du rendement. Plusieurs auteurs ont mis l'accent sur la relation étroite qui existe entre la fumure azotée et le rendement (ACHOURI, 1984 ; GATE ,1995 ; BOUTOULI, 1996).

II.4.4.1.1. Le tallage

L'azote, à ce stade, agit sur la première composante de rendement c'est-à-dire le nombre de talles par mètre carré. En effet, la nutrition azotée modifie la fréquence et le nombre de talles, une carence en azote pendant cette période peut provoquer des sauts de talles si cette carence est momentanée, et un arrêt anticipé du tallage dans le cas où cette carence persiste (GATE, 1995).

D'après DRIEU (2003), l'excès de tallage herbacé fait diminuer la teneur en protéines. En effet, si l'on force la dose d'azote et la densité au premier et au deuxième apport, l'excès d'azote maintient les talles qui devraient régesser. Celles –ci vont nuire à la croissance des talles produisant les épis et cet azote se retrouve piégé dans ces talles improductives, ainsi donc l'azote agit surtout sur le tallage secondaire, talles qui ne contribuent pas outre marginalement à l'élaboration de rendement.

II.4.4.1.2. La montaison

Selon GROS(1969), l'allongement des entre –nœuds et la croissance des feuilles est conditionné par une bonne nutrition azotée ; par ailleurs, le manque d'azote en début de montaison provoque une régression des talles qui cause une diminution du nombre d'épillets fertiles (GATE, 1995).

II.4.4.1.3. Effet sur la densité épi

Selon MEYNARD(1987), le nombre d'épis par mètre carré dépend largement des conditions de nutrition minérale pendant la période tallage-montaison : toute carence en azote au redressement-floraison entraîne une régression des tiges susceptibles de monter en épis et

diminue la fertilité de ces dernières. A ce stade, l'azote intervient dans la fécondation en diminuant l'avortement des fleurs (GATE, 1995).

SIMON et al (1985) ; BAHLOUL (1989) ; GATE(1995) ; et DRIEU(2003), ont montré que le moyen le plus efficace pour obtenir un nombre d'épi élevé est d'apporter l'azote au stade « épi 1 cm ». Durant cette phase, l'alimentation en azote a une influence déterminante pour cette composante car elle coïncide avec le moment où les besoins en azote de la plante sont importants. Si ces dernières ne sont pas couvertes, le nombre d'épis sera réduit (BAHLOUL, 1989).

II.4.4.1.4. Effet sur le nombre d'épillets par épi

ACHOURI (1984), souligne que le nombre d'épillets par épi semble dépendre de la densité et de la fertilisation azotée : l'optimum se situe entre la dose 44.67 à 89.33 U d'azote /ha, Où le nombre d'épillet par épi passe de 16.91 à 17.07 épillets /épi. L'optimum d'azote nécessaire à l'accroissement du nombre d'épillets fertiles par épi se situe autour de 90 U d'azote /ha (BELLULA, 1981). Une carence en azote au début de la montaison provoque une diminution du nombre d'épillets fertiles (GATE, 1995).

II.4.4.1.5. Effet sur le nombre de grain par épi

Selon ACHOURI(1984), le nombre de grains se met en place tout au long de la phase reproductrice. Il dépend du nombre d'épillets par inflorescence, du nombre de fleurs fécondées par épillets, et de même par l'initiation florale où se détermine le nombre de grains par épi. D'après HALILAT et DOGAR (2000) et BELLOULA (1981), le nombre de grains par épi est influencé par la fertilisation azotée, d'ailleurs ce nombre varie de façon hautement significative avec les doses d'azote, il passe de 32.93 à 40.5 grains par épi quand la dose passe de 90 à 180 U d'azote/ ha. Par ailleurs, une carence temporaire en azote au moment de la fécondation réduit le nombre de grains par épi en augmentant le nombre de fleurs avortées (GATE, 1995).

II.4.4.1.6. Effet sur le poids de mille grains (PMG)

Selon MASSE et VIAUX (1983), le remplissage du grain résulte d'une part de la photosynthèse des organes encore verts durant la maturation (dernières feuilles, épis) et d'autre part de la migration à partir des feuilles en cours de dessèchement (faible part).

D'après GROS (1969) et GATE (1995), l'azote absorbé permet un fonctionnement suffisant de la photosynthèse pour pouvoir exprimer le potentiel du poids des grains. Ce dernier est surtout tributaire du métabolisme carboné, c'est -à dire de la quantité d'amidon dans le grain (GATE, 1995).

BELLOULA (1981), a constaté une baisse du poids de 1000 grains lorsque les doses d'azote augmentent ; ainsi le développement végétatif se fait aux dépens de ceux du grain. D'après HALILAT (2000), la dose d'azote le poids de 1000 grains étant de 38,68 g pour la dose 90kg d'azote/ha et diminue à 35,30 g à la dose 180 kg/ha.

II.4.4.1.7. Effet sur la qualité technologique

Selon DUTHIL (1973) et SOLTNER(2003), la fumure azotée, intervenant dans la synthèse des glucides et des protides qui sont les constituants principaux du grain. Elle influe sur la composition biochimique des grains et ainsi sur la qualité technologique. L'apport d'azote a une incidence majeure sur la qualité des produits ; cette action dépend de la qualité, la forme et la date d'application de l'azote ainsi que la variété de blé cultivé (GATE, 1995).

II.4.4.1.8. L'effet sur le taux de mitadinage

Selon ACHOURI(1984) la fréquence de mitadins décroît rapidement avec l'augmentation de l'apport totale d'azote. D'après BAHLOUL (1989), un apport tardif n'est justifié pour le blé dur que pour limiter les risques de mitadinage à un taux inférieure à 20%, ce qui correspond à une teneur en protéines des grains souvent supérieure à 14% quelque soient les variétés (GATE, 1995).

II.4.4.1.9. L'effet sur la composition des protéines

Selon GATE (1995), la nutrition azotée peut être associée à un changement au niveau de la fraction protéique du grain de blé qui peut présenter des teneurs variables selon la nutrition azotée ,Lesgluténines semblent ne pas être influencées par la nutrition azotée et les conditions du milieu en général.Par contre, les fractions comme les gliadines, les albumines et les globulines sont beaucoup plus dépendantes des conditions du milieu et de l'azote.

GATE(1995) souligne que la fertilisation azotée a une incidence sur le rapport azote/soufre, par les variations qu'elle cause au niveau de la synthèse des acides aminée soufrée tels que la

méthionine et la cystéine. Ces acides aminés seront d'autant plus présents dans les gliadines que le rapport N/S augmente. Cette augmentation de la teneur en gliadines consécutive à un enrichissement en azote engendre une élévation du niveau d'extensibilité de la pâte.

ETUDE

EXPERIMENTALE

I.MATERIELS

ET

METHODES

III.1. Présentation de la région d'étude

L'expérimentation a été conduite au cours de la campagne agricole 2015/2016, dans la ferme de démonstration et de production de semences de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif. Elle est située à 4 km du chef-lieu de la wilaya de Sétif. Le site expérimental se trouve à une altitude moyenne dépassant les 1080 m, à la latitude 36° 9 Nord et la longitude 5° 21'Est.

III.2. Conditions pédoclimatiques

III.2.1. Conditions climatiques

Les hautes plaines Sétifiennes sont sous un étage bioclimatique semi-aride caractérisé par des hivers rigoureux et des étés chauds et secs, avec une pluviométrie très irrégulière temporellement et spatialement variant de 250 à 500 mm/an respectivement du Sud au Nord (TIRICHINE, 2012).

a) Précipitations

Au cours de la campagne d'étude 2015/2016, la quantité de pluviométrie enregistrée (de septembre à juin) a été de 337,7 mm. À la cour de l'hiver (décembre, janvier et février) seulement 57 mm ont été enregistrées alors que le mois de mars a été le plus pluvieux avec 59,5 mm faisant de la saison printanière (mars, avril et mai) une saison arrosée avec 161,2 mm (Tableau 06).

Tableau 06. Répartition mensuelle des précipitations au cours la campagne 2015-2016 de la région de Sétif

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil
P (mm)	40.7	49.6	21.6	0	20.2	36.8	59.5	43.9	57.8	7.6	5.5

Source : ONM-Sétif (2016).

b) Les températures

Les températures mensuelles de la campagne 2015/2016 sont présentées sur le tableau (07). La variation annuelle des températures entre les mois est très grande. Les minimales extrêmes commencent le mois de Novembre et se prolongent jusqu'au mois de Mars. Les températures maximales les plus élevées sont notées pour le début et la fin de campagne.

L'hiver a été froid avec des minimas atteignant des températures en-dessous du zéro. Le mois le plus froid a été Décembre une moyenne de 7,28°C.

Tableau 07. Répartition mensuelle des températures moyennes, minimales et maximales au cours la campagne 2015-2016 de la région de Sétif.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil
T max (°C)	34	30.5	16.29	14.57	13.7	13.39	13.75	20.4	24.86	30.3	34.4
T min (°C)	7.5	4.3	3.94	0	2.17	1.3	3.2	7.6	10.2	14.6	17.3
T Moy	20.75	17.4	10.15	7.28	7.93	7.61	8.47	14	17.53	22.45	25.85

Source: ONM-Sétif (2016).

c) Le gel

Les risques de gel tardif enregistré au cours de la campagne 2015/2016 sont rapportés sur le (tableau 08).

Le nombre de jours de gel a été de 79 jours, enregistrés au cours de la période allant du mois de novembre au mois d'avril. Les gélés ont commencé dès le mois de Novembre et ont duré tout le mois de décembre. Des journées gélives ont été notées au mois de Mars.

Tableau 08. Répartition mensuelle du nombre de jour de gel durant la campagne (2015-2016) de la région de Sétif.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil
Gel (jours)	0	0	12	29	17	9	11	0	1	0	0

Source : ONM-Sétif (2016)

II.3. Méthodes de travail et paramètres étudiés

III.3.1. Mesures effectuées sur Le sol :

III.3.1.1. Méthodes et dates de prélèvements

Les échantillons du sol ont été prélevés le 01/02/2016 par une tarière classique et ont ensuite été conservés dans des sachets plastique étiquetés et acheminés vers laboratoire. Le prélèvement a été réalisé à des endroits différents en zigzag (Figure 06) avec une profondeur variable (0-20cm) et (20-40), soit 6 échantillons. Ensuite les échantillons du sol ont été mélangés pour constituer un



échantillon moyen représentant la parcelle



Figure 06. Prélèvement des échantillons de sol (photo originale)

III.3.1.2. Méthodes d'analyse

Nous présentons dans ce volet le principe de chaque analyse physico-chimique réalisée.

Analyse granulométrique : Méthode de tamisage pour déterminer les proportions physiques de trois particules primaires du sol (sable grossière, sable fin, et limon+ argile) par rapport à leurs caractéristiques (poids, taille) par la méthode de la pipette de robinson.

Mesure du pH : C'est un facteur qui influe directement sur l'absorption des éléments nutritifs. Le Pha été

Effectuée à l'aide d'un pH mètre à électrodes et réalisée sur une suspension du sol dans l'eau distillée selon un rapport de 1/5.

Mesure de la conductivité électrique : La conductivité électrique est une moyenne d'apprécier la teneur globale en sels dans la solution du sol. Elle a été déterminée par le conductimètre sur une suspension avec un rapport de sol/eau de 1/5 à une température de 25°C.

Dosage du calcaire : Dans notre essai il est dosé par la méthode volumétrique utilisant le calcimètre de BERNARD.

Dosage du calcaire actif : la méthode utilisée est de DROUINEAU- GALET cette méthode ne convient qu'aux sols contenant moins de 2% de MO. Pour le dosage de calcaire actif, on utilise la propriété du calcaire de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de solution d'oxalate est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.

Dosage de l'azote total : La technique adoptée est la méthode Kjeldahl. Cette méthode consiste à attaquer le sol avec l'acide sulfurique pour transformer l'azote organique en sulfate d'ammonium.

La matière organique du sol : Le dosage de la matière organique se fait par la méthode Walkley et Black. Elle consiste à prendre 1g d'échantillon du sol de terre fine à laquelle on ajoute 10ml de solution aqueuse de bichromate de potassium (KCr_2O_7) à 8% et 15ml de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré pendant 30mn. Ensuite on ajoute 150ml d'eau distillée et quelques gouttes de dèphynillamine et titré par une solution de sulfate de fer ($FeSO_4$) et comparer la couleur (virage du bleu foncé au bleu vert) par rapport à la solution avec le témoin (sans sol).

III.3.1.3. Résultats de l'analyse du sol

Les résultats de l'analyse physicochimiques du sol de deux horizons de la parcelle expérimentalesont présentés dans le tableau 09.

Tableau 09.Résultats analytique du sol de site expérimental

Analyse	Caractéristique	Horizon (0-20 cm)	Horizon(20-40cm)
Physique	Sable grossier (%)	8.48	7.81
	Sable Fin %	22.08	13.79
	Argile + Limon %	69.1	67.83
	Classe texturale	Argilo-limoneuse	Argilo-limoneuse
Chimique	Ph eau	8.42	8.49
	C.E (mM/cm)	0.144	0.146
	Matière Organique (%)	5.35	5.44
	Carbone Organique (%)	3.11	3.16
	Calcaire total (%)	13.33	18
	Calcaire actif (%)	8.83	10.83
	Humidité %	28	26.66
	Azote Total (%)	2,3	3

Le triangle des textures (HENIN et al, 1969) montre qu'il s'agit de sols à texture argilo-limoneuse. Le PH est à fort alcalinité (8.45) avec un horizon modérément calcaire.

Le sol est riche en matières organiques (MO=5.39%), la teneur en azote est avec un taux de 2.65% Les valeurs de la conductivité électriques (CE) sont de 0,14mm/cm ce qui rend le sol non salé.

III.3.2. Mesures effectuées sur le végétal

III.3.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de huit (08) variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). Ces variétés sont considérées meilleures par leur comportement et aptitudes de production en région semi-aride (tableau 10).

Tableau 10. Présentation des caractéristiques des variétés de blé dur étudiées

Variétés	Origine	Teneur en protéine %	PMG	Mitadinage	Qualité de semoule
Bousselam	Syrie	15.01	élevé	résistance	Bonne
Waha	Syrie	13.95	moyenne	sensible	Très bonne
Mohamed Ben Bachir(MBB)	Algérie	-	élevé	résistance	Bonne
Sétifis	Algérie	15.89	élevé	résistance	Bonne
Megress	Algérie	14.77	élevé	résistance	Bonne
Mansoura	Algérie	14.77	élevé	Faiblement sensible	Bonne
Massinissa	Algérie	15.87	élevé	résistance	Bonne
Gta dur	Mexique	--	élevé	--	Bonne

Source : ITGC (2015)

III.3.2.2. Mise en place, dispositif expérimental et conduite de l'expérimentation

III.3.2.2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un dispositif en split plot avec 3 blocs (Figure 07).

Les facteurs étudiés sont :

- ✓ Le facteur variété de blé dur avec 8 modalités
- ✓ Le facteur dose d'azote avec 4 niveaux à savoir 0, 40, 80 et 120U d'azote/ha,

Notre expérimentation, porte donc au total 32 traitements (4 doses x 8 variétés) avec 3 répétitions (96 unités expérimentales). Chaque bloc est divisé en 4 sous bloc selon les niveaux du facteur dose et le sous bloc est divisé en 8 parcelles élémentaires selon les modalités du facteur variété. Chaque parcelle élémentaire est de 6 rangs de 2,5m long avec un espace inter-rangs de 20 cm, soit une superficie parcellaire de 3 m².

L'engrais azoté de couverture appliqué est l'urée 46% fractionnée en deux apports de 1/3 au stade début tallage et 2/3 au stade début montaison.

Bloc 3	N2	V5	V6	V8	V3	V7	V1	V2	V4
	N1	V1	V4	V3	V6	V7	V5	V2	V8
	N0	V2	V5	V1	V4	V6	V3	V8	V7
	N3	V7	V1	V5	V2	V8	V4	V6	V3
Bloc 2	N0	V1	V5	V2	V4	V3	V6	V7	V8
	N1	V7	V5	V6	V3	V4	V2	V8	V1
	N3	V3	V1	V7	V4	V6	V2	V5	V8
	N2	V6	V2	V4	V3	V5	V1	V8	V7
Bloc 1	N2	V2	V6	V5	V8	V3	V4	V1	V7
	N0	V6	V5	V4	V1	V7	V2	V3	V8

N3	V3	V4	V6	V5	V8	V2	V1	V7
N1	V2	V7	V4	V8	V6	V5	V1	V3

Figure 07. Schéma représentatif du dispositif expérimental



Figure 08 .Les parcelles expérimentales au stade levé (photo originale)

III.3.2.2.2. Conduite de l'expérimentation

L'essai a été mis en place sur une parcelle dont le précédent cultural est une jachère travaillée. La rotation appliquée dans la station expérimentale est une rotation biennale céréale/jachère.

La parcelle a été labourée en période de jachère le 17 mars 2015 dans des conditions d'humidité du sol favorable, avec une charrue à socs. Un passage au covercrop (le premier recroisement) a été effectué le 10 septembre 2015. Cette opération permet d'éviter l'évaporation de l'eau existante dans le sol en période de sécheresse. Le deuxième recroisement a été réalisé le 02 novembre 2015, d'un côté pour l'enfouissement de l'engrais de fond et d'un autre côté à l'ameublissement du sol pour la préparation du lit de semences. La fumure de fond, seule la

fumure phosphatée a été appliquée à raison de 80 kg/ha de TSP de 46% suivie par un passage de la herse le 05 novembre 2015.

Le semis a été effectué le 03 décembre 2015 avec une densité de semis de 300 grains/m². Pour la fumure azotée ; qui est l'objet de notre étude, a été apportée en plusieurs doses croissantes fractionnées en 2 apports.

III.3.3. Paramètres morphologiques

III.3.3.1. Surface foliaire

La surface foliaire a été mesurée à l'aide d'un planimètre du type AM300 (Figure 09) sur un échantillon de 10 feuilles (dernières feuilles choisies aléatoirement de chaque parcelle élémentaire). La feuille est déposée sous le papier transparent puis on trace sur toute la surface de la feuille jusqu'à l'obtention de la forme finale sur l'écran de l'appareil. La surface foliaire est mesurée en mm².



Figure 09.

Mesure de la surface foliaire des feuilles de blé dur par planimètre

III.3.3. 2. Hauteur des plantes

La hauteur de la plante a été déterminée sur une moyenne de 10 plants pris au hasard dans chaque parcelle élémentaire en s'affranchissant des zones proches des bordures ou des passages de roues (au moins 50 cm de ces zones). On mesure la hauteur entre la base de la tige au ras du sol et le sommet de l'épi (sans les barbes) à l'aide d'une règle graduée. Elle est exprimée en cm.



Figure 10. Mesure de la Hauteur des plantes en cm (photo originale)

c) Biomasse aérienne (Floraison)

La biomasse aérienne et sa répartition ont été mesurées aux stades floraison. Les prélèvements ont été réalisés sur des échantillons fauchés à ras du sol sur une longueur de rang de 50 cm. Chaque échantillon prélevé est mis dans un sachet étiqueté et acheminé vers le laboratoire. Au laboratoire, les épis et la paille sont mis séparément dans des sachets de papier kraft étiquetés et placés dans une étuve pendant 72 h à une température 80°C. Ils sont ensuite pesés pour estimer la matière sèche de la paille et des épis.



Figure 11. La biomasse aérienne et sa répartition ont été mesurées aux stades floraison

III.3.3. 3. Composantes du rendement et rendement

a) Densité de peuplement à la levée



Figure 12. Mesure de la densité de peuplement (photo originale)

Densité de peuplement de blé levée a été mesurée au stade trois feuilles – début tallagecoïncidant avec le 04 janvier 2016. Au niveau des parcelles élémentaires, le comptage des plants a été réalisé l'aide d'une règle de 1m déposé entre deux rangs et en évitant les bordures (figure 12). L'opération a été répétée pour toutes les parcelles élémentaires

b) Le nombre épi au m²

Le comptage du nombre d'épis/m²a été réalisé au stade floraison le 12 Mai 2016, par prélèvement de plants sur trois rangs sur une longueur de 50 cm.

c) Le nombre de grain/épi.

Le nombre de grains par épi a été mesuré sur un échantillon de 10 épis prélevés à maturitéet par micro-parcelle.

c) biomasse sèche (paille et grain Kg/h)

amaturation , les racines de chaque échantillon sont éliminées, puis les épis et la paille sont mis séparément dans des sachets de papier kraft ensuit pesés pour estimer la matière sèche de la paille et de l'épi.



Figure 13. La biomasse aérienne et sa répartition ont été mesurées aux stades maturation

d) Poids de 1000 grains

Le poids de 1000 grains a été mesuré par comptage de 250 grains pour chaque parcelle élémentaire puis pesé avec une balance de précision (pois de 1000grain=250*4).

d) Rendement

Le poids des grains qui constitue le rendement grains est obtenus après battage des épis , et doit être estimé sur un échantillon des grains mûré .

g) Indice de récolte (HI)

C'est le rapport du rendement en matière sèche grains (RMSG) sur le rendement en biomasse aérienne totale. Il est obtenu par la formule suivante:

$$HI\% = \frac{RMSG}{MST \text{ de la plante à la maturité}} \%$$

III.3.3. 3. Traitement des données

Les paramètres mesurés ont été soumis à une analyse de variance à deux facteurs en Split plot à l'aide du logiciel **STATBOX** (version 6.40). La signification des différences est exprimée en fonction de la probabilité:

- $P \leq 0.05 \Rightarrow$ la différence entre les traitements sont significativement différent
- $P \leq 0.01 \Rightarrow$ la différence entre les traitements sont hautement significatifs.
- $P \leq 0.001 \Rightarrow$ la différence entre les traitements sont très hautement significatifs.