

LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Lhadj Lakhdhar

- Batna -



جامعة الحاج لخضر

- باتنة -

Université de Batna

Institut Des Sciences Vétérinaires Et Des Sciences Agronomiques

Département Des Sciences Agronomiques

Ecole Doctorale

Valorisation Et Amélioration De L'agro-Biodiversité Végétale

Thèse Magister

**Analyse de la variabilité génotypique dans
l'efficacité de l'utilisation de l'azote de trois
cultivars de blé dur, en zone semi-aride.**

Présenté par Mme : Ghezzaz Fatiha

Jury:

Président: Chorfi A.Elmalek	Professeur	Université de Batna
Rapporteur: Benbouza Halima	Professeur	Université de Batna
Examineur: Bouzerzour Hamenna	Professeur	Université de Sétif
Examineur: Makhlouf A. Elhamid	M.C.A	Université de Sétif
Invitée : Boulelouah Nadia	M.C.B	Université de Batna

Année universitaire : 2013 - 2014

بسم الله الرحمن الرحيم

«مَثَلُ الَّذِينَ يُنْفِقُونَ أَمْوَالَهُمْ فِي سَبِيلِ اللَّهِ كَمَثَلِ حَبَّةٍ أَنْبَتَتْ
سَبْعَ سَنَابِلَ فِي كُلِّ سُنبُلَةٍ مِئَةُ حَبَّةٍ وَاللَّهُ يُضَاعِفُ لِمَنْ يَشَاءُ وَاللَّهُ
وَاسِعٌ عَلِيمٌ»

صدق الله العظيم

« « *L'agriculture est le premier métier
de l'homme ; c'est le plus honnête, le plus
utile et par conséquent le plus noble qu'il
puisse exercer. » »*

Jean-Jacques Rousseau

Dédicace

A mes très chers parents, que dieu les protège et leur donne longue vie et bonne santé Nchallah.

A mon mari,

A tous ses enfants (Ilièce, Asma, Dounia, Hadjer et Haroun). Que dieu leur donne patience pour le décès de leur mère.

A tous mes frères (Mohammed, Rachid, A. Elmalik, lârbi, Hassane et Djamel-Eddine), leurs femmes (Louiza, Fatiha, Samira, Djemâ et Louiza respectivement) et leurs enfants.

A mes sœurs (Cuarda et Mounira), leurs maris Smaïl et Moussa ainsi que leurs enfants.

A ma très chère amie Soumia Benchelali et sa famille.

A tous mes amies.

Remerciement

Avant tout, je remercie ALLAH tout puissant de m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

L'achèvement de ce mémoire n'aurait pu avoir le jour sans la collaboration de nombreuses personnes dont il m'est agréable de remercier.

Je tiens à remercier vivement Mme Benbouza Halima, Professeur à l'Université Hadj Lakhdar de Batna, au Département des Sciences Agronomiques, d'avoir accepté d'encadrer ce travail.

Toute ma gratitude est adressée à Mme Boulelouah Nadia, Maitre de Conférence à l'Université Hadj Lakhdar de Batna, au Département des Sciences Agronomiques pour la proposition de la thématique, pour son aide, ses orientations et ses conseils qui ont été très utiles lors de mon parcours de thèse.

Mes vifs remerciements sont adressés aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail, M le professeur Chorfi A.Elmalek de l'UHL Batna, en tant que président et messieurs les examinateurs professeur Hamenna Bouzerzour et Makhlouf A. Elhamid, Maitre de Conférence, tout deux de l'Université Ferhat Abes de Sétif.

Toute ma reconnaissance aux Directeurs et aux Ingénieurs des laboratoires de Recherche LAPAPEZA et LESPA de l'UHLBatna ainsi qu'au personnel des laboratoires pédagogiques du département des Sciences Agronomiques.

Mes remerciements s'adressent aussi au directeur et au staff technique de l'ITGC de Sétif et à Mr Mahnane Said, agriculteur au sein de l'EAC Dahel Nouari –Sétif, pour leur aide en tout sens.

Les Moulins SMID du TELL ont cofinancé le projet PNR où s'intègre notre travail de thèse, nos sincères remerciements au directeur et au personnel des moulins.

Je tiens à remercier encore une fois professeur Bouzerzour H de l'UFASétif et M Sbih de l'UHLBatna pour leurs précieux conseils. Ma reconnaissance va également à Mr Zerari Abbes, ingénieur de FERTIAL.

Merci à mon amie Soumia Benchelali et aux stagiaires de 2012, ingénieurs et master II pour leur participation aux travaux du champ et de laboratoire (Chahra, Wafa, Marièm1, Marièm2, Djemâa Amel, Asma Bilal et Abderrahim). Sans oublier tous ceux qui ont participé de loin ou de près pour la préparation de ce mémoire.

« Tout Passe Et Ne Reste Que Les Traces ».

Abréviation

ITGC = institut technique des grande cultures

D-N =Dehal-Nouari

ONM= Office National de la météorologie

ICARDA = International Centre for Agricultural Research in Dry Areas.

CIMMYT = International Maize and Wheat Improvement (Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé).

FAO = Organisation mondiale de l'Agriculture et de l'Alimentation (Food and Alimentation Organisation).

ONG= Organisation Non Gouvernementales

CUA = Coefficient d'Utilisation Apparent

CUR = Coefficient d'Utilisation Réel

NUE= Efficience d'Utilisation de l'N

NUEA = Efficience Agronomique de l 'utilisation de l'N (RDTG (kg/ha)/l'N appliqué (kg/ha)).

NUEp = Efficience physiologique d'utilisation de l'N (RDTG (kg/ha) /QNabsT (kg/ha)).

NG= azote des grains des parcelles fertilisées

N0G=azote des grains des parcelles non fertilisées (le témoin)

QNabsT=Quantité d'N absorbée Totale (kg/ha)

RMSG=Rendement Matière Sèche Grain (kg/ha)

Liste des tableaux

Tableau1: Superficie fertilisée (ha) durant 2009 et 2010.	6
Tableau2: Quantité d'azote minéralisé annuellement (kg/ha) en fonction de la teneur en matière organique du sol, PH et l'état du sol (Viaux 1999).	9
Tableau3: Différentes expressions de l'efficience de l'utilisation de l'azote (NUE) et leurs méthodes de calcul (Ladha et al, 2005) in in (Boulelouah 2008).	20
Tableau4: Caractéristiques physico-chimiques du site DN.	26
Tableau5: Valeurs des températures (min, max et leur moyenne) et la pluviométrie mensuelle de la compagne (2012-2013) source ONM de Sétif.	28
Tableau6: Différents traitements azotés (kg/ha) appliquées et leur fractionnement, des deux sites.	31
Tableau7: Dates d'échantillonnage du végétal des trois variétés de blé.	34
Tableau8: Valeurs moyennes de matière sèche aérienne (totale) (MST) produite par les trois variétés en fonction des doses d'azotes au cours des stades de développements (site DN).	39
Tableau9: Valeurs moyennes de la matière sèche aérienne (totale) (MST) produite par les trois variétés en fonction des doses d'azote apportées au cours des stades de développement (site ITGC).	42
Tableau10: Valeurs moyennes des paramètres (MST D-Mont), (MSP,MSE et MST flor) et (MSP, MSE et MSTmat) sous l'effet des facteurs (site, dose et variété).test fisher au seuil 5%.	44
Tableau11: Valeurs moyennes du rendement MSG des trois variétés de blé dur en fonction des doses croissantes d'N au niveau des deux sites (DN et ITGC).	48
Tableau12: Valeurs moyennes du rendement MSG (kg/ha) et ses composantes et l'IH% sous l'effet des facteurs (site, dose et variété).	50
Tableau13: Corrélations entre le rendement et ses composantes et l'IH.	57
Tableau14: L'azote apporté plus le témoin et la quantité d'azote absorbée et l'Ndes grains pour chaque variété.	61
Tableau 15: Coefficient de l'utilisation apparent (C.U.A%) de l'azote d'engrais des trois variétés en fonction des doses d'azote apportées.	62
Tableau16: Rendement MSG des trois variétés et les quantités d'azote absorbées correspondante.	64
Tableau17: Présentation de l'azote absorbé total, le rendement MSG, la différence d'absorption et la différence du rendement entre le témoin N0 et les doses N1 et N2 pour les trois variétés.	65
Tableau18: Efficience de l'utilisation physiologique de l'azote pour les trois variétés en fonction des quantités d'azote absorbées.	67
Tableau19: Indice de récolte pour l'azote en fonction des doses d'azotes absorbées totales.	68
Tableau20: Valeurs moyennes de l'NUEA, NUEp et leurs paramètres sous l'effet du facteur dose.	69
Tableau21: Valeurs moyennes de l'NUEA, NUEp et leurs paramètres sous l'effet du facteur variété.	70
Tableau22: Corrélation entre RMSG, ses indicateurs (QNabsT et NG), les deux efficacités (NUEA et NUEP) et le NHI%.	71

Liste des figures

Figure1: Différentes formes d'entrées et sorties d'azote au cours de son cycle.	8
Figure2: Définition de l'INN utilisé par (Lemaire et al., 1989).....	14
Figure3: Courbe de réponse du blé aux apports d'engrais azotés.	15
Figure4: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'este Algérien montrant la situation de la zone d'étude (CôteM, 1998) cité par (Gouadia, 2008).	25
Figure5: Carte simplifiant la répartition des précipitations au nord de l'Algérie (Abdelguerfi et Zeghida 2005).	27
Figure6: Influence des données climatiques sur le cycle de culture du blé (2012-2013).	28
Figure10: Dispositif expérimental au niveau du site de l'EAC (D-N) au stade floraison (cliché personnel).	32
Figure11: Dispositif expérimental réalisé dans les deux sites (D-N et ITGC Sétif d'une superficie de 1666m ²)	33
Figure12: Dimensions des parcelles élémentaires composant le dispositif expérimental.	33
Figure13: Conditionnement des échantillons du végétal.	34
Figure14: Evolution de la MST en fonction des stades de développement des trois variétés (site DN).	40
Figure15: Evolution de la MST en fonction des stades de développement des trois variétés (site ITGC). ..	42
Figure16: Comparaison des deux sites pour la production de la MSP (valeurs moyennes) maturité en fonction des doses d'azote.	46
Figure17: Comparaison des trois variétés pour la production de la MSP en fonction de la croissance des doses d'azote (site DN).	47
Figure18: Comparaison des trois variétés pour la production de la MSP en fonction de la croissance des doses d'azote (site ITGC).....	47
Figure19: Comparaison des trois variétés pour l'accumulation de la MSG (site DN).	49
Figure20: Comparaison des trois variétés pour l'accumulation de la MSG (site ITGC).	49
Figure21: Comparaison des trois variétés pour le Nombre de Grain /Epi (valeurs moyennes) en fonction des doses croissantes d'engrais azoté.	52
Figure22: Comparaison des trois variétés pour l'indice de récolte (valeurs moyennes) en % en fonction des doses d'engrais azoté (UN/ha).	53
Figure23: Comparaison du Rendement MSG (kg/ha) en fonction des doses croissantes d'azote au niveau des deux sites.	53
Figure24: Comparaison des indices de récolte pour les deux sites en fonction des doses d'N (UN/ha).	54
Figure25: Comparaison du poids de 1000 grains pour les deux sites en fonction des doses d'N (UN/ha).	54
Figure26: MSG (kg/ha) produite par la variété V1 (Bousselam) au niveau des deux sites.	55
Figure27: MSG (kg/ha) produite par la variété V2 (Waha) au niveau des deux sites.	55
Figure28: MSG (kg/ha) produite par la variété V3 (MBB) au niveau des deux sites.	56
Figure29: Réponse des trois variétés pour la quantité d'azote apportée.	62
Figure30: Coefficient moyen d'utilisation apparent de l'azote de l'engrais en fonction des doses d'azotes apportées pour les trois variétés.	63
Figure31: Efficience de l'utilisation agronomique (NUEA) de l'engrais azoté apporté pour les trois variétés.	63
Figure 33: Echantillon de plantes des trois variétés de blé dur (stade épi 1cm).	6
Figure 34:Schéma illustrant les différentes étapes du cycle de développement de la plante du blé dur (cliché personnel).	7

Sommaire

Dédicace	IV
Abréviation	VI
Liste des tableaux	VII
Liste des figures.....	VIII
Introduction :	1
Partie I : Etude bibliographique	3
I. Blé dur en Algérie:.....	4
I-1-Culture du blé dur en Algérie :	4
I-2-Exigences du blé dur:	4
I-3- Choix des variétés adaptées:	4
I-4- Caractéristiques d'un bon développement de la plante du blé :	5
I-5- Caractéristiques des régions semi-arides:	5
II- Utilisation des engrais en Algérie :	6
II-1- Différentes formes d'engrais :	7
II-1-1- L'urée (46% N) 46-0- 0 :	7
II-1-2- Nitrate d'ammonium (33,5% d'N) 34-0-0 :	7
II-1-3- Solutions azotées :	7
II-1-4- Nitrate d'ammonium calcique (27-0-0) :	7
III- L'azote dans le système sol - plante:	7
III-1 Dynamique de l'azote dans le sol :	7
III-1-1- Principaux processus de disponibilité des formes d'N assimilable :	9
III-1-2- Activité de la flore microbienne du sol, les facteurs influençant cette activité et le devenir de l'azote:	10
III-1-3- Organisation (L'immobilisation) de l'azote après récolte :	11
III-2- Dynamique de l'azote dans la plante:	11
III.2.1 Absorption et assimilation de NH_4^+ :	11
III-2-2- Absorption et assimilation de NO_3^- :	12
IV- Raisonnement de la fertilisation et fractionnement des apports azotés:	12
IV-1- Nutrition azotée du blé dur:	12
VI-1-1- L'indice de nutrition azoté :	12

VI-1-2- La teneur critique en azote :	13
IV-2- Intérêt du fractionnement des apports:	14
IV-3- Raisonnement de la fertilisation :	16
V- Rendement grains et la teneur en protéines:	17
V-1- Phases critiques déterminant la formation du grain :	18
V-1-1- Avant anthèse :	18
V-1-2- Après anthèse :	18
VI- Efficience d'utilisation de l'azote du blé:	18
VI-1- Principaux indicateurs de la variation de l'NUE :	19
VI-1-1- Efficience agronomique d'utilisation de l'azote:	21
VI-1-2- Efficience physiologique d'utilisation de l'azote :	21
VI-1-3- Coefficients d'utilisation de l'engrais azoté :	22
Deuxième partie : II. Matériel et méthodes.....	24
II-1- Localisation des sites d'étude et leurs caractéristiques pédoclimatiques :	25
II-2- Matériel végétal et engrais utilisé :	29
II-3- Méthodes de travail :	31
II-3-1- Techniques culturales appliquées dans les deux sites:	31
II-3-2- Les traitements azotés:	31
II-3-3- Le dispositif expérimental:	32
II-3-4- Prélèvement du végétal :	34
II-3-5- Paramètres a mesurés :	34
II-3-6- Analyses statistiques :	36
Troisième partie : III. Résultats et discussion.....	37
III-1- caractères agronomiques :	39
Analyse des résultats :	39
III-1-1- Influence des apports d'azote sur l'accumulation de la biomasse aérienne au niveau des deux sites (ITGC et DN):	39
1. Effet des apports d'azote sur l'évolution de la Matière Sèche Totale:	39
2. Effet des facteurs (site, dose, variété et leurs interactions) sur l'accumulation de la biomasse aérienne :	44
III-1-2- Effet de la fertilisation azotée sur le rendement MSG et ses composantes :	48
1. Effet de la fertilisation azotée sur l'accumulation de la MSG au niveau des deux sites :	48
2. Effet des trois facteurs site, dose, variété et leurs interactions sur le rendement MSG et ses composantes :	50
Discussion du résultat :	57

III-2- caractères physiologiques :	61
Analyse des résultats :	61
1. Coefficient de l'utilisation apparent de l'azote (C.U.A%) :	61
2. L'efficience agronomique (NUEA) de l'utilisation de l'azote :	63
3. Efficience de l'utilisation physiologique de l'azote :	67
4. Effet des facteurs dose et variété sur la NUEA et la NUEp et leurs paramètres :	69
Discussion des résultats :	72
Conclusion :	75
Références bibliographiques:	76
Communications scientifiques publiées Dans le cadre de cette thèse.	
Annexes :	5
Résumé	8
Abstract	8

Introduction :

Au niveau mondial, il y a un déséquilibre de production de blé. Certains pays arrivent à exporter, alors que d'autres comblent leur déficit par l'importation et parfois attendent l'intervention des aides humanitaires de la FAO ou des ONG.

L'exploitation du patrimoine végétale de chaque pays constitue le premier pas de la sécurité alimentaire. La production et la productivité des blés en Algérie sont en fonction du potentiel génétique des variétés cultivées et des conditions offertes par le milieu physique (climat, sol). Le système de culture blé-jachère appliqué depuis 1930 a engendré un appauvrissement et une érosion des sols et leur fertilité se voit régresser d'une année à l'autre. L'adoption d'un autre système de culture à base de légumineuses annuelles doit subvenir à la restauration et à l'amélioration des sols dégradés (Hamadache 2013).

Benmohammed et al, (2010) ont montré à partir d'une étude sur les performances des génotypes locaux dans le milieu semi-aride, allant de l'année 2000 jusqu'à 2005, l'existence d'une variation dans le classement des génotypes d'une année à l'autre. Ceci indique la présence d'interaction génotype $\times$ environnement. Hamadache, (2013) affirme que le climat n'explique qu'une partie des variations du rendement du blé en Algérie. L'augmentation du rendement de blé dur en zone semi-aride peut se faire en agissant sur les techniques culturales appropriées (travail du sol, fertilisation et traitement phytosanitaire) et les génotypes performants et adaptés aux différents aléas climatiques de la région (Mekliche et al., 2008). La stagnation des rendements résulte aussi de la réduction de l'utilisation des intrants particulièrement les fertilisants azotés (Bertheloot 2009).

Néanmoins, les rendements doivent être augmentés de façon à satisfaire la demande alimentaire croissante, cela pourrait se faire en sélectionnant des cultivars productifs et ayant une forte efficience d'utilisation de l'azote qui signifie une grande capacité de production de biomasse par unité d'azote disponible. Des recherches dans les différentes disciplines scientifiques : la génétique, l'écophysiologie et la modélisation sont orientées vers la compréhension de l'effet de l'efficience d'utilisation de l'azote sur le rendement en grains et la teneurs en protéines (Hirel et al., 2001 ; Hirel et al., 2007 ; Hirel and Gallais, 2013 ; Moll et al., 1982; Bogard, 2011; Bertheloot, 2009; Barbottin, 2004; Guillaume, 2011).

Il est à noter que 60% des engrais utilisés mondialement sont destinés pour la production des céréales : le riz, le blé et le maïs. Cependant, cet engrais n'est pas utilisé efficacement en

agriculture, on trouve que sa teneur dans le système sol-plante dépasse rarement 50% de l'azote appliqué (Abbasi et al., 2013).

Parmi les stratégies de gestion de l'engrais azoté au niveau du système sol – plante est la maîtrise de la dose adéquate, de la forme appropriée et des périodes d'application, au cours du cycle de la culture, selon Abbasi et al., (2012) ; Jeuffroy et al., (2013); Goffart et al., (2013) ces pratiques non seulement augmentent le rendement mais réduisent les coûts de production et la pollution environnementale.

En Algérie, La culture du blé dur (*Triticum Turgidum*L.*var.durum*) utilise un géromplasme de deux types : les génotypes locaux (faibles productivité) et les génotypes d'introduction (haute productivité et tolérance à la sécheresse) (Hazmoune 2000). L'augmentation du rendement de ces variétés en zone semi-aride peut se faire en agissant sur les techniques culturales appropriées en particulier la fertilisation minérale. Peu d'études sont orientées vers la fertilisation azotée à cause de diverses pénuries et aussi de la fluctuation des conditions abiotiques surtout (Mekliche, 1983; Fertas, 2007 ; Belaid, 2013). Le raisonnement de cette fertilisation est très utile pour éviter le gaspillage, compléter l'offre du sol et satisfaire les besoins des cultures au moment opportun.

Dans ce cadre, nous apportons notre contribution par la détermination de l'interaction génotype x doses engrais azoté et particulièrement l'efficience d'utilisation de l'azote (NUE) par des indicateurs physiologiques et agronomiques. Pour les indicateurs moléculaires, nous ne les avons pas étudiés à cause de la pénurie des produits et du matériel nécessaires. Trois génotypes seulement de blé dur (les plus cultivés), cultivés en zone semi-aride seront étudiés sous l'effet de sept différents régimes azotés afin de déceler leur efficience d'utilisation de l'azote sous ces conditions.

Partie I : Etude bibliographique

I. Blé dur en Algérie:

I-1-Culture du blé dur en Algérie :

En Algérie, la céréaliculture représente l'activité principale pour plus de 25% de la population occupée dans l'agriculture (Hamadache 2013). La superficie agricole utile (SAU) occupe 8 458 680 millions d'ha (Smadhi et Zella. 2009) dont la céréaliculture occupe une superficie annuelle d'environ 3,6 millions d'hectares (Ladraa et Ounane., 2013). Le blé est la base de l'alimentation de l'Algérien. Le blé dur est surtout cultivé à l'Est du pays (Constantine, Mila, Souk-Ahras, Sétif) (Hamadache 2013). Il constitue la culture dominante en termes de superficie et de production. La surface occupée par le blé dur est de 1,3million d'hectares ce qui présente 44% de la superficie totale des céréales avec une production de 24 millions de Quintaux, cette production représente 47% de la production nationale céréalière.(MADR 2012).

Pour arriver à un objectif de rendement (qualité et quantité), il faut multiplier par quatre la production, Soit en améliorant le rendement à 27quintaux / ha (Smadhi et Zella 2009), soit en augmentant la superficie céréalière de 3millions d'ha à 11,5 millions d'ha au dépend de la jachère qui occupe 40 % de la SAU, ou en s'étendant vers les étendus sahariennes (zones irriguées) dont l'eau n'est pas une contrainte mais la qualité du sol constitue l'obstacle. L'intensification de la culture qui nécessite des quantités élevées d'engrais peut agir sur la fertilité du sol saharien et accomplir le déficit de rendement national (Halilat 2004).

I-2-Exigences du blé dur:

Le blé dur présente une sensibilité à certains stress (sécheresse, froid et l'eau) en le comparant au blé tendre, son système racinaire est moins performant, préfère un sol sain, profond et riche, il est très exigeant en azote pour élaborer sa qualité (un bon précédent favorise la présence d'azote dans le sol), (Bonnefoy 2009). Les températures comprises entre (0°- 20°C) sont très importantes pour son bon développement. (Bannai et BenAbbes., 2007).

I-3- Choix des variétés adaptées:

Le choix d'une variété la mieux adaptée à une telle région ou à un type de sol parmi un certain nombre constitue un avantage et permet de répartir les risques ; puisque les variétés ne présentent pas les mêmes sensibilités aux aléas climatiques ou aux maladies (Bonnefoy 2009). Le choix d'une variété à cultiver dépend de sa capacité de production en grains et en paille, de la zone de culture (altitude, pluviométrie et risques climatiques), de sa tolérance aux maladies et aux

ravageurs, de la régularité de son rendement, de sa précocité, de la disponibilité de sa semence et de sa qualité technologique (Hamadache 2013).

La connaissance des caractéristiques génétiques et en particulier du mode de croissance et du développement des différentes variétés est indispensables si l'on veut satisfaire l'ensemble des exigences climatiques diverses nécessaire au développement végétatif et à la formation du grain (Doorenbos et Kassam 1987).

I-4- Caractéristiques d'un bon développement de la plante du blé :

La longueur du cycle de développement du blé d'hiver demande une durée de 180 à 250 jours pour arriver à la maturité. La longueur du jour et la température sont les facteurs déterminant le choix de la variété. Durant les premiers stades de développement (phase végétative) cette espèce de blé manifeste une forte résistance aux gels pouvant aller jusqu'à -20°C, cette résistance disparaît pendant la période de croissance active (printemps). Au moment du développement des épis et de floraison, le gel peut rendre les épis stériles, c'est pour cette raison que parfois les gelées printanières causent des dommages plus élevés que le gel hivernal (Doorenbos and Kassam, 1987).

La température moyenne journalière nécessaire à une croissance optimale et au tallage se situe entre 15 – 20°C. Pour le mûrissement, le blé dur d'hiver préfère une période sèche et chaude de 18°C ou plus. Le PH optimal pour la culture du blé dur se situe entre 6 – 8 en préférant des sols à texture moyenne. Les besoins d'engrais correspondant à de bons rendements vont jusqu'à 150kg/ha d'azote (Doorenbos and Kassam 1987).

I-5- Caractéristiques des régions semi-arides:

La majorité des régions semi-arides algériennes pratiquent la céréaliculture en régime pluvial, généralement se caractérisaient par un milieu et une topographie très variés, une diversité des sols d'une région à une autre, pauvre en matière organique, fluctuation de la pluviométrie d'une année à l'autre, variation du régime des températures hivernales et printanières et des périodes de sécheresse très sévères et souvent d'une longue période.

En ces régions, l'eau constitue la principale cause limitant la production, le déficit hydrique intervient à différents moments du cycle, souvent après l'épiaison. Les variétés à cycle court échappent à la sécheresse de fin de cycle et produisent du grain même en année où il y a une pénurie en pluies hivernales (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane 2006).

II- Utilisation des engrais en Algérie :

L'engrais est connu pour être un intrant puissant d'augmentation de la productivité. Le tiers de l'augmentation de la production céréalière mondiale est lié à l'application des engrais (FAO 2000) alors que (Pinstrup 1974) confirme que les engrais contribuaient de 55 à 57 % dans l'augmentation des rendements moyens par hectare (ha) et de 30 à 31 % dans l'augmentation de la production totale.

L'Algérie est riche en ressources naturelles surtout en phosphate naturel et gaz naturel qui constituent des matières premières pour la fabrication des engrais. Cette ressource satisfait non seulement les besoins du marché national mais permet l'exportation (FAO 2005).

L'utilisation des engrais en Algérie n'est pas une application nouvelle, ainsi, la période 1971-1986 est marquée par une utilisation très régulière des engrais à des stades bien précis parce qu'ils ont été subventionnés et appliqués à des prix très réduits sur des terres appartenant à l'Etat (FAO 2005) (INRAA 2009). En période 1988-2002 (INRAA 2009), l'application des engrais a baissé suite à une restructuration du secteur agricole qui a influencé sur l'obtention et l'utilisation des engrais (élévation des prix). En 1993, moins d'un kilogramme de blé dur suffisait pour l'achat d'un kilogramme d'azote ou de phosphate, en année 1997 deux kilogrammes étaient nécessaires, en 2004 étaient trois kilogramme (FAO 2005).

75% des exploitations céréalières n'appliquant pas d'engrais (INRAA 2009) ce qui a influé sur le rendement national (10,5qx / ha) durant la période 2001-2008 même en années humides cela n'a pas d'impact sur la production. **Le tableau1**, montre la réduction de l'application de la fertilisation azotée en Algérie (Bellah et al., 2010) durant deux campagnes agricoles .

Tableau1: Superficie fertilisée (ha) durant 2009 et 2010.

campagne	Superficie emblavée (totale céréales)	Superficie fertilisée par le P2O5	Superficie fertilisée par l'azote
2008 – 2009	3.243.144	130.000	-
2009 – 2010	3.356.582	403.985	427.579

La faible utilisation d'engrais ne permet pas d'atteindre la sécurité alimentaire ou à inverser le grave appauvrissement des sols en nutriments en Afrique. En comparant l'utilisation des engrais en Afrique à d'autres continents par exemple l'Asie, on trouve que l'Afrique utilise 10kg /ha (10 % de

la moyenne mondiale), environ 20 fois moins que la moyenne en Asie (191kg/ ha) (AfricaFertilizer 2012).

II-1- Différentes formes d'engrais :

Plusieurs types d'engrais minéraux azotés sont commercialisés ou utilisés par les agriculteurs :- Selon (Ziadi et al., 2007).

II-1-1- L'urée (46% N) 46-0- 0 :

L'urée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ est l'engrais sec le plus riche en azote (46% d'N sous forme ammoniacal), il est complètement soluble en eau, son hydrolyse dépend de la température du sol, ainsi en sol froid cette action peut se faire dans trois à cinq jours, tandis qu'en sol réchauffé seulement quelques heures suffisent. Son application est recommandée avant une pluie et il est préférable de l'enfouir pour éviter sa volatilisation.

II-1-2- Nitrate d'ammonium (33,5% d'N) 34-0-0 :

Ce pourcentage est divisé en 50% sous forme ammoniacale et 50% sous forme nitrique. Le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) est très rapidement absorbé par les plantes car il contient les formes ammonium et nitrates. Il peut être perdu par lessivage ou dénitrification. Il est appliqué à la volée ou en bandes.

II-1-3- Solutions azotées :

Obtenus par mélange d'ammoniac, de nitrate d'ammonium, d'urée et d'eau. Elles contiennent, en moyenne, entre 28 et 32 % d'N (engrais de poste-levée).

II-1-4- Nitrate d'ammonium calcique (27-0-0) :

C'est le nitrate d'ammonium granulé avec de la chaux, il contient 27 % d'N. Son application soit à la volée ou en bandes en pré-semis ou en poste-levée.

III- L'azote dans le système sol - plante:

III-1 Dynamique de l'azote dans le sol :

Le sol est une structure vivante et dynamique, sa fertilité et sa capacité de nourrir les plantes dépendent de l'interaction de ses propriétés physiques (porosité, structure et la stabilité du sol et la texture), chimiques (richesse du sol en éléments minéraux régulés par la taille du complexe argilo-humique (CAH) mesuré par la capacité d'échange cationique (CEC)) et biologiques (richesse du sol

en macrofaune et microflore). La dynamique de l'azote dans le sol résulte de l'action de processus biologique et non biologique qui dépend à la fois des conditions du milieu, des apports de matière organique et des pratiques culturales.

L'azote atmosphérique N_2 (78%) constitue la principale réserve d'azote de la planète. On trouve également dans l'atmosphère de l'ammoniac (NH_3) et les oxydes d'azote (NO_2 , N_2O , NO) mais en faible quantité (des émissions industrielles et naturelles. Le nitrate (NO_3) est un produit d'oxydation de N_2 par O_2 et O_3 (Morot-Gaudry 1997).

Les entrées de l'azote organique ou minéral du sol s'effectuent principalement par la fixation symbiotique, fixation libre, les restitutions de matière organique (résidus de récolte, exsudats racinaires, amendements organiques), les apports atmosphériques par déposition ou précipitation (10 à 15 kg/ha/an parfois plus) et les engrais de synthèse ((Nicolardot et al., 1997).

Les sorties de cet éléments sont liées aux exportations par les végétaux, par les pertes gazeuses (volatilisation, dénitrification) et aux pertes par transfert (ruissellement et lessivage) (Nicolardot et al., 1997).

Le cycle de l'azote est complexe, la **figure 1** simplifie la présentation des différentes formes d'entrées et de sorties de cet élément au cours de son cycle.

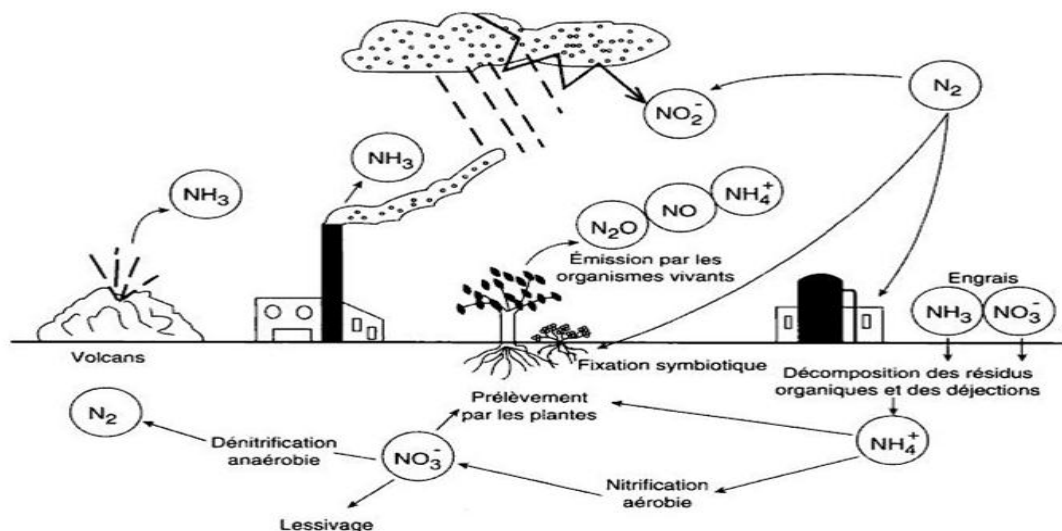


Figure1: Différentes formes d'entrées et sorties d'azote au cours de son cycle.

(Morot-Gaudry 1997).

III-1-1- Principaux processus de disponibilité des formes d’N assimilable :

- *Minéralisation de la matière organique :*

La transformation de la MO du sol en ammonium puis en nitrate par nitrification dépend des conditions de température et d’humidité du sol qui sont liés aux caractéristiques climatique de la région. Elle dépend aussi des caractéristiques relativement stables du sol : stock en azote organique du sol, PH, teneur en calcaire et en argile du sol. L’azote non utilisé par les micro-organismes est libéré sous forme d’ammonium NH_4^+ . La libération de l’azote dans le sol dépend du rapport C/N des résidus organiques. Un rapport C/N > 30 ne permet pas une libération active d’azote, alors qu’un rapport C/N < 20 permet une libération efficace et précoce d’azote. Les températures basses ralentissent toutes activités biologiques du sol, les températures élevées les favorises (Lewis, 1986 ; Bockman et al., 1990)cité par (Morot-Gaudry 1997). L’ammonium libéré est retenu par les particules d’argile du sol chargées négativement. Un profil d’un sol limoneux peut retenir jusqu’à 20kilogrammes d’N/ha sous forme de NH_4^+ au moment de la récolte des céréales (Bockman et al., 1990) cité par (Morot-Gaudry 1997).

- *La nitrification :*

L’ammonium retenu dans le sol, il est soit absorbé par les plantes et les micro-organismes soit oxydé en nitrates (NO_3^-) par les bactéries aérobiques du sol (Nitrosomas et Nitrobacter). Le tableau suivant présente trois situations de la minéralisation de la matière organique du sol.

Tableau2: Quantité d'azote minéralisé annuellement (kg/ha) en fonction de la teneur en matière organique du sol, PH et l'état du sol (Viaux 1999).

Sol à faible teneur en matière organique (<1,2%), terrain acide (PH< 6) ou terrain très calcaire (PH>8)	Teneur en matière organique moyenne (1,5 à 2%), PH voisin à 7, sol bien structuré	Sol pourvu de matière organique (> 2%), PH voisin de 7, sol bien structuré
50	80	100

- La dénitrification :

Les nitrates chargés négativement ne peuvent être retenue par les particules du sol de même charge. Très solubles, ils peuvent être lessivés ou être réduits en partie en oxyde d'azote et azote gazeux par les micro-organismes. Ce phénomène est susceptible de diminuer la quantité de nitrates dans les sols et d'avoir un effet protecteur sur la qualité des eaux (50mg de NO_3^- / litre). Cette norme est indiquée par l'Organisation Mondiale de la Santé et constitue la norme de pollution des eaux (Limaux 1999).

III-1-2- Activité de la flore microbienne du sol, les facteurs influençant cette activité et le devenir de l'azote:

Les activités microbiennes sont largement influencées par divers facteurs abiotiques tels que l'humidité, la température et la disponibilité des nutriments (azote, phosphore, carbone). La température intervient sur l'activité de la biomasse microbienne et par conséquent sur les vitesses de transformation de l'azote (*Houot et al., 1996*) cité par (*Lemaire et al., 1997*); au champ lorsque la température augmente de 10°C, les vitesses de transformation sont multipliées par un coefficient (Q10) variant de 1,7 à 3,5 selon les auteurs. Par contre (*Nicolardot et al., 1994*) cité par (*Lemaire et al., 1997*) ont montré que c'est la nature des matières organiques décomposées qui détermine le degré de température pour le fonctionnement de la flore microbienne responsable de la décomposition.

Dans la solution du sol, l'azote minéral apporté par l'engrais évolue très rapidement sous l'influence des micro-organismes du sol et leurs enzymes. Ainsi l'hydrolyse de l'urée est très rapide, aucune perte d'azote n'est associée à cette hydrolyse. La nitrification qui est la transformation de l'ammonium en nitrate est très rapide (2 à 3kg d'N/ha/jour) pour une température de 10°C (*Recous et al., 1996*) cité par (*Lemaire et al., 1997*). Dans les sols à certaine humidité (sans engorgement en eau) et à PH = 6,5 – 7 (condition d'une bonne nitrification) un engrais apporté sous forme uréique, ammoniacal ou nitrique se trouve en totalité dans quelques semaines sous forme nitrique (*Recous et al., 1992 ; Recous et al., 1996*) cité par (*Lemaire et al., 1997*). Dans toutes les situations, la quantité totale d'azote minéral disponible, provenant de l'engrais diminue rapidement au cours du temps à la suite de la consommation par la culture et aux puits qui sont l'organisation microbienne et les pertes. Sous culture annuelles et au bout de quelques semaines, il n ya pratiquement plus d'azote de l'engrais disponible dans le sol. Dans la plupart des situations étudiées et pour de nombreuses cultures, la migration de l'azote de l'engrais dans le profil du sol est faible car les processus concurrents interviennent précocement et plus rapidement que les transferts (*Lemaire et al., 1997*).

III-1-3- Organisation (L'immobilisation) de l'azote après récolte :

La gestion des résidus de récolte, les cultures intermédiaires et le travail du sol jouent un rôle très important. Les résidus de récolte en fonction de leur teneur plus ou moins élevée en azote, ont le pouvoir d'immobiliser l'azote du sol (Lemaire et al., 1997).

Les résidus de culture pauvre en azote comme les pailles des céréales, de maïs et du tournesol sont capables d'immobiliser en quelques semaines 15kilogrammes d'azote par tonne de pailles, soit 75kilogrammes d'azotes par 5 tonnes de pailles (Viaux 1999).

Brûler les pailles est une grande perte. Elles doivent être finement broyées et dispersées derrière la moissonneuse batteuse avec un disperseur de paille. Il faut les enfouir avec un léger déchaumage de 5 à 7 cm de profondeur pour favoriser le contact entre les micro-organismes du sol et la paille. De ce fait, les pailles se décomposent rapidement tout en immobilisant l'azote minéral disponible de manière homogène dans la parcelle. Pour le travail du sol, le labour profond est à éviter, il favorise l'aération du sol mais augmente la minéralisation. Il est intéressant de retarder le plus possible les labours pour limiter la minéralisation d'automne. D'une manière générale, la simplification du travail du sol limite les fuites des nitrates d'une manière non négligeable (Viaux 1999).

III-2- Dynamique de l'azote dans la plante:

Une meilleure connaissance des mécanismes de régulation de l'absorption et l'assimilation de nitrate et de l'ammonium au niveau de la plante entière permet de mieux contrôler sa croissance et son développement. Cette régulation est sous le contrôle de nombreux facteurs dont les produits de l'assimilation ; acides organiques et acides aminés (Morot-Gaudry 1997).

Selon le même auteur, le prélèvement de l'N par la plante dépend de sa disponibilité dans le sol et surtout des besoins de la plante, sauf en conditions de fourniture limitant où il dépend de la disponibilité de l'azote minéral, sa répartition et de la distribution des racines (Gastal et Lemaire., 2002). le prélèvement de l'N par la plante du blé est de 2,2 à 3, 4kilogrammes d'N/ha/jour (Lefebvre 2008).

III.2.1 Absorption et assimilation de NH_4^+ :

Le statut azoté des tissus est considéré comme un élément majeur de la régulation de l'absorption de NH_4^+ , il ne peut circuler dans la sève de la plante vue sa toxicité et quelque soit son origine, il est directement assimilé sous forme d'acides aminés (glutamine, glutamate, aspartate et asparagine), précurseur des protéines, directement dans les racines. Pour assimiler l'ammonium, la plante consomme de 1% à 2% de son énergie produite (Hopkins 2003).

III-2-2- Absorption et assimilation de NO_3^- :

L'absorption de cet élément est en corrélation avec la croissance des parties aériennes des plantes donc, il est déterminé par le besoin demandé en N de la plante. Aussi, la carence en azote augmente la capacité d'absorption de NO_3^- par les racines.(Morot-Gaudry 1997). Pour prélever le NO_3^- , la plante consomme 15% de son énergie produite (Hopkins 2003).

Des signaux spéciaux s'échangent principalement entre les feuilles et les racines qui permettent de maintenir les cellules racinaires informées du statut nutritionnel azoté de l'ensemble de la plante. Des régulations font que l'absorption racinaire de NO_3^- est déterminé par la demande en azote de la plante et non par la disponibilité de l'azote dans le milieu (Grignon et al., 1997) (Touraine et Gojon., 1997).

IV- Raisonnement de la fertilisation et fractionnement des apports azotés:

La fertilisation azotée constitue un dossier de discussion en agriculture, pour produire d'une façon durable. Les pratiques de la fertilisation ont pour but de mettre à la disposition des plantes la quantité d'azote nécessaire à l'obtention d'un rendement optimal et cela en fonction des conditions climatiques locales et du matériel génétique utilisé (Lemaire et al., 1997) .

IV-1- Nutrition azotée du blé dur:

L'azote est l'un des éléments nutritifs majeur pour la croissance et le développement des plantes, son absorption est étroitement liée à l'humidité du sol. La quantité d'azote nécessaire pour produire 1 quintal de blé dur est de 3,5kilogrammes d'azote. Pour l'ensemble des variétés de blé dur, il constitue, avec l'eau, le principal facteur limitant de la production des céréales. Il améliore le rendement en favorisant, le tallage, le nombre d'épis /m², le nombre de grains/ épi, le poids de 1000grains et le taux de protéines dans le grain (Bannai et BenAbbes., 2007).

L'état nutritionnel des plantes en cet élément est déterminé par un indice de nutrition azoté (INN%) qui est corrélé linéairement avec la vitesse de croissance de ces plantes. La quantité d'azote décroît au fur et à mesure l'augmentation de la biomasse.

VI-1-1- L'indice de nutrition azoté :

Afin de rendre compte de l'état de nutrition azotée d'un peuplement végétal et de caractériser d'éventuelles carences, (Lemaire et Gastal., 1997) ont proposé de calculer l'Indice de

Nutrition Azotée (INN). Il est défini comme le rapport entre la teneur en azote observée dans la plante (N% mesuré) et celle en azote critique (Nc) pour la même quantité de matière sèche produite *figure2*.

$$INN = N\%_{\text{mes.}} / Nc \% \dots\dots (1)$$

Lorsque l'INN est inférieur à 1, on déduit qu'il y a une de déficience en azote de la culture. Elle ne peut donc produire suffisamment de biomasse et par conséquent moins de grains / m². Par contre, si l'INN est supérieur à 1, l'azote n'est pas limitant et sa disponibilité dans le sol permet une croissance maximale.

VI-1-2- La teneur critique en azote :

L'expérience prouve que plus une culture de blé reçoit des doses d'engrais azotés importantes, plus la biomasse accumulée par la culture est élevée, et ce jusqu'à une dose « optimale » d'engrais, au-delà de laquelle la biomasse de la culture n'évolue plus, bien que cette dernière puisse encore accroître sa teneur en azote (Lemaire et al., 1989).

La teneur minimale de la plante en azote, nécessaire à sa croissance maximale est appelée « teneur en azote critique (notée Nc %). Elle peut être déterminée à tout instant et évolue au cours du cycle en fonction de la biomasse du peuplement. Le prélèvement critique en azote d'une culture est alors défini comme la quantité d'azote que la culture doit prélever pour atteindre le maximum de biomasse (Lemaire et al., 1989).

La courbe critique (ou de dilution) *figure2*, établie par (Lemaire et al., 1989), met en relation la teneur en azote total et l'évolution de la biomasse sèche aérienne d'une culture au cours de sa croissance végétative. Cette courbe est applicable en l'état pour blé dur (Justes et al., 1997).

La relation est de type :

$$Nc\% = a (MSa)^{-b} \dots\dots\dots (2)$$

Nc = teneur critique en azote de la plante (% du poids sec)

Msa = Matière sèche aérienne produite (tonnes / ha)

Pour la courbe référence du blé: a = 5,350 et b = 0,442 (Justes et al., 1994).

Pour que cette relation soit validée, les biomasses sèches doivent être comprises entre 0,2 et 14 t/ha. Elle est stable jusqu'à floraison, quelle que soit la variété, le stade de la culture, les conditions pédoclimatiques et la vitesse de croissance de la culture (Justes et al., 1994).

La courbe de dilution critique d'azote semble être un outil théorique solide et fiable pour diagnostiquer le statut de nutrition azoté de la culture en période de croissance (levée floraison), en

utilisant uniquement la production de matière sèche et la teneur en azote de la culture (Gastal et Lemaire 2002).

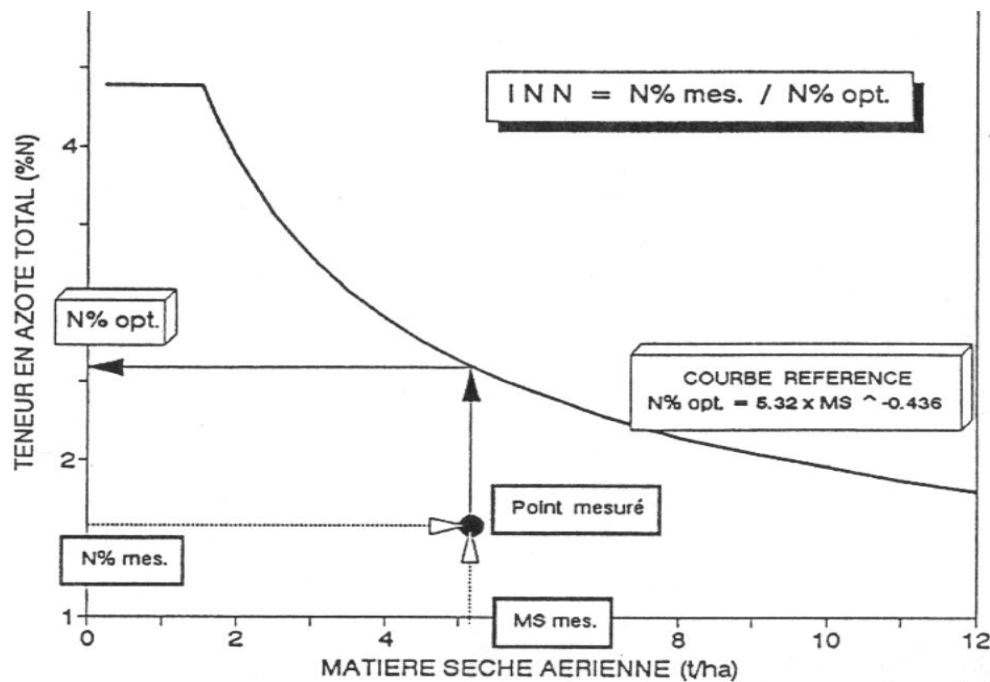


Figure2: Définition de l'INN utilisé par (Lemaire et al., 1989)

MS mes. = matière sèche aérienne mesurée,

N % mes. = teneur en azote total mesurée

N% opt. = teneur en azote total optimale

$$[N\% = 5.32 \times MS \text{ mes. } (-0.436)]$$

La lecture de la courbe critique permet de différencier 3 zones:

- La teneur en N située sous la courbe critique, signifie que l'azote est facteur limitant de la croissance
- La teneur en N placée sur la courbe, indique que le peuplement est à son optimum de nutrition azotée (biomasse maximale).
- La teneur en N située au-dessus de la courbe, traduit une consommation de luxe en azote **figure 2**.

IV-2- Intérêt du fractionnement des apports:

Plusieurs méthodes de fractionnement indiquées dans la littérature visent à bien cibler le moment opportun où la plante valorisera au mieux l'absorption d'azote apporté et permettra une bonne production en quantité et en qualité (Gate 2000). Sur blé, (Augus 1995) a démontré que l'efficacité de l'apport est en fonction du potentiel génétique de cette culture. En effet, l'emplacement de certaines plantes du blé en conditions standards de CO₂, de température et de

lumière, sauf pour l'azote qui, son application s'effectue à des doses croissantes (de 0 à des doses supérieures aux besoins) aboutie à une production de biomasse aérienne qui évolue en fonction de l'évolution de la dose d'azote jusqu'à un optimum où la courbe est stable et les apports supplémentaires n'augmentent plus la production mais deviennent toxique pour la culture. On estime que la plante est arrivée à son optimum de production et cela constitue la courbe de réponse de la culture du blé aux apports de cet élément *figure3*.

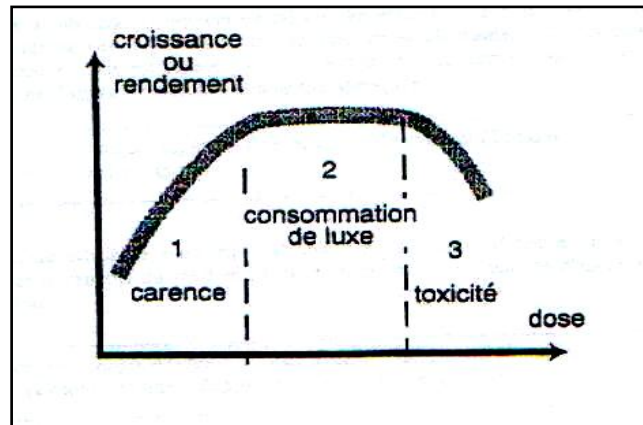


Figure3: Courbe de réponse du blé aux apports d'engrais azotés.

(Augus 1995).

L'efficacité d'un apport azoté est d'autant plus élevée que la vitesse de croissance de la culture est élevée en ce moment, en plus l'azote qui n'est pas absorbé par la culture dans les 20 à 25 jours après le 1^{er} apport n'est plus disponible pour la culture (Limaux 1999).

La méthode de la bande double densité (BDD) constitue un moyen simple visuel et efficace pour connaître le bon moment du 1^{er} apport par le changement de couleur de cette bande (Bouchard et al., 2006). La gestion des apports doit être bien maîtrisée. Les dates et les doses d'apport doivent être adaptées à différentes conditions du développement de la culture.

Les besoins de la culture en azote sont plus importants à partir du moment où les tiges s'allongent et jusqu'en fin de remplissage du grain. Toute déficience durant cette période entraîne une perte du potentiel de rendement.

Ci-dessous Bodson et Falisse., (1996) proposent un fractionnement dans les régions tempérées en trois apports, ils sont ajustés d'une façon à réguler la concurrence entre talles au tallage, en monté des épis et un apport au stade dernière feuille-gonflement (stade critique pour accroître la teneur en

protéine des grains sans affecter le taux de productivité). On arrive donc à trois apports comme suit :

-Un premier apport au stade début tallage ($< \text{ou} = 50\text{kgN/ha}$), donne un bon démarrage de développement du nombre de talles qui donne une idée quantitative du rendement (mi-mars).

-Un 2^{ème} apport ($> 80 \text{ et } < 100\text{kg N / ha}$) où les tiges commencent à s'allonger (fin Avril).

-Un 3^{ème} apport (40kg N/ha), stade dernière feuille juste avant l'épiaison (fin mai).

Pour ces mêmes auteurs, le raisonnement de la dose est fonction des disponibilités prévisibles du sol et de l'état de la culture (stade de développement et la densité de végétation).

IV-3- Raisonnement de la fertilisation :

Sur céréales, le calcul de la dose d'engrais selon (Meynard et al., 1996) peut se faire par :

IV-3-1- Méthode du bilan :

Rémy et Hébert, (1977) sont les premiers à mettre au point cette méthode qui consiste à estimer, avant l'apport d'engrais, les différents termes d'un bilan de l'N minéral du sol sur une profondeur « z » considérée comme accessible par les racines de la culture, ce bilan se calcule comme suit :

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Etat final} & - & \text{Etat initial} & = & \text{Entrées} & - & \text{sorties} \\ \\ \mathbf{Rf} & - & \mathbf{Ri} & = & (\mathbf{Mn} + \mathbf{X}) & - & (\mathbf{Pf} - \mathbf{Pi} + \mathbf{L}) \dots\dots\dots (3) \end{array}$$

Dont :

Rf: Reliquat d'azote minéral du sol à la fin de la campagne.

Ri : reliquat d'azote minéral à la sortie hiver.

Mn : Minéralisation nette d'N du sol, c'est la somme de (Mh : humus du sol, Mr : l'azote des résidus de récolte et Ma : azote des produits organiques).

X : Quantité d'azote minéral apporté par l'engrais.

Pf : Quantité d'N total absorbé par la culture jusqu'à la fermeture du bilan.

Pi : Quantité d'N contenu dans la culture à l'ouverture du bilan.

L : Lessivage d'N nitrique au delà de la profondeur « z », entre l'ouverture et la fermeture du bilan.

De ce fait, la quantité d'azote minéral à apporter par l'engrais (X) est :

$$\mathbf{X} = (\mathbf{Pf} - \mathbf{Pi}) - (\mathbf{Mn} + \mathbf{Ri} - \mathbf{L} - \mathbf{Rf}) \dots\dots\dots (4)$$

X = besoins de la culture - fourniture nette du sol.

V- Rendement grains et la teneur en protéines:

Le rendement en grains et la teneur en protéines du blé sont des paramètres corrélés négativement (Oury et al., 2003). Le rendement (Y) est le produit entre le nombre de grains (NG) et le poids de mille grains (PMG):

$$Y = NG \times PMG \dots\dots\dots (5)$$

En effet, Latiri-Souki et al., (1992) confirment que la principale composante liée au rendement est le nombre de grain par m², qui dépend des conditions de la croissance et du développement durant la phase semi- floraison, cependant la composante PMG est affectée par les conditions d'alimentation hydrique au cours de la phase du remplissage du grain.

Latiri-Souki et al., (1992) et Casagrande, (2008) mentionnent que le NG étant déterminé pendant la phase végétative par contre le PMG est déterminé durant la phase du remplissage du grains. Les facteurs limitant identifiés d'être susceptibles d'affecter ces deux composante seront choisis durant chacune des phases (M Casagrande 2008).

La teneur en protéines (TP) dépend de la teneur en azote des grains (N_{grains}) et du rendement (Y) selon l'équation suivante :

$$TP_{grains} = 5,7^* \times N_{Grains} / NG \times PMG \dots\dots\dots (6)$$

* : 5,7 étant le coefficient moyen des protéines par rapport à l'azote des protéines du grain de blé) (Jeuffroy 2001).

pour le blé dur la teneur des grains en protéines doit être égale ou supérieur à 14 % (Bousquet 2006) afin de limiter le mitadinage au dessous de son seuil de réfaction.

$$TP_{grain} = 5.7 \times N_{Grains} / Y \dots\dots\dots (7)$$

Le rendement dépend aussi des facteurs génétiques, agronomiques et pédoclimatiques entrant dans son élaboration ainsi que dans l'absorption d'azote par la culture (Lestache et al., 2005; Arduin et al., 2006) et (Rao et al., 1993 ; Di Fonzo et al., 2000 ; Rharrabti et al., 2003) cité par (Guillaume 2011) .

Le pourcentage d'azote dans les grains est d'autant plus faible que le poids des grains est élevé et / ou le nombre de grains augmente. Les facteurs pouvant influencés les composantes du rendement peuvent avoir un effet sur la teneur en protéines du blé. La disponibilité de l'azote dans le sol et le

potentiel génétique d'un cultivar sont les principaux facteurs qui déterminent la concentration des grains en protéines (CPG) (Fowler 2003).

V-1- Phases critiques déterminant la formation du grain :

Deux phases critiques d'une bonne valorisation d'azote par la culture du blé (Groot et Van keulen 1990) sont citée ci-dessous :

V-1-1- Avant anthèse :

Une augmentation de l'absorption de l'azote par la culture se traduit notamment par une augmentation de la surface foliaire, du nombre de talles épiées, du nombre de grains par épi et donc du rendement (Triboi 1990) jusqu'à un optimum qui dépend de la variété, des conditions pédoclimatiques et de l'itinéraire technique à adopter.

V-1-2- Après anthèse :

La vitesse de croissance potentielle du grain ainsi que son poids potentiel sont déterminés pendant les premiers stades du développement par la mise en place de l'équipement enzymatique de synthèse des réserves et du potentiel de stockage, le nombre de cellules.

Durant cette phase précoce, les besoins en assimilats C et N sont faibles, alors que l'assimilation nette et l'absorption de l'azote du peuplement sont encore maximales. Il résulte un surplus d'assimilats qui sont stockés sous forme de réserve principalement dans la tige. Puis, l'absorption de l'azote diminue considérablement en conditions normales. La majeure partie de l'azote des grains lors de leur remplissage provient de la remobilisation de l'azote des parties végétatives. Ainsi pendant le dépôt intense des réserves dans le grain, la production de nouveaux d'assimilats peut être inférieure à la demande des grains. Ce qui conduit à l'utilisation des réserves de la plante et à sa sénescence (Triboi et Ollier 1991).

VI- Efficience d'utilisation de l'azote du blé:

L'agronomie actuelle vise à améliorer les rendements des cultures sans nuire à l'environnement et à la santé humaine en réduisant les flux et les infiltrations d'engrais au niveau des nappes phréatiques et les eaux de surfaces.

Afin d'atteindre cet objectif, il est nécessaire d'ordonner les étapes qui limitent l'assimilation, la gestion et la remobilisation de l'azote par la plante pour permettre une valorisation efficace de celui-ci en maintenant une teneur élevée en protéines des organes récoltables (Hirel et al., 2007).

L'efficacité avec laquelle l'azote est extrait du sol, métabolisé, transporté puis stocké dans les grains représente un paramètre agronomique, nommé l'efficience d'utilisation de l'azote (NUE :Nitrogen Use Efficiency) (Aurélie Christ 2009).

Selon Masclaux-Daubresse et al., (2010) la NUE est complexe et dépend de la disponibilité de l'N dans le sol et son utilisation par les plantes durant leur cycle. L'efficience d'Utilisation de l'azote est le rapport entre les différentes formes d'N utilisé (N total, N du sol, l'N de l'engrais utilisé) qui sont les entrées et les produits finaux (l'N dans la plante totale, l'N dans les grains, le rendement en biomasse et le rendement en grains) qui sont les sorties.

L'utilisation de l'N par les plantes implique plusieurs étapes, y compris l'absorption, l'assimilation et la translocation. (Moll et al 1982) ont défini l'efficience d'utilisation de l'azote (NUE) comme le rendement en grains par unité d'azote disponible dans le sol y compris les engrais azotés.

Hirel and Gallais, (2013); Hirel et al., (2007) et Wang et al., (2011) définissent l'efficience d'utilisation de l'azote (NUE) comme étant la résultante de l'efficience d'absorption et l'efficacité d'utilisation. L'efficacité d'utilisation de l'azote est un caractère agronomique complexe qui définit l'efficacité avec laquelle l'azote est extrait du sol, métabolisé puis remobilisé vers les grains. Actuellement, la sélection des plantes qui utilisent l'azote d'une façon plus efficace est nécessaire pour subvenir aux besoins alimentaires de la population humaine en constante augmentation est cela sans nuire à l'environnement (Christ 2009).

VI-1- Principaux indicateurs de la variation de l'NUE :

La définition la plus fréquente de l'efficience d'utilisation de l'azote est le rapport entre le rendement en grains et l'azote disponible pour la plante (sol + engrais). Le tableau ci-dessous (**tableau3**) renferme différentes façons de déterminer cette efficience, qui sont utilisées en fonction de la disponibilité de certains facteurs (temps, données de base, moyens et coût d'expérimentation).

Tableau3: Différentes expressions de l'efficacité de l'utilisation de l'azote (NUE) et leurs méthodes de calcul (Ladha et al, 2005) in in (Boulelough 2008).

Dénominateurs possibles	Fourniture totale en azote (dose N) ou azote prélevé des parcelles fertilisées (Q _{Nt})		Azote fourni par le sol (N sol) ou azote prélevé des parcelles non fertilisées (Q _{Nt0})		Azote fourni par l'engrais (N _f) ou différence de prélèvement d'azote entre différents niveaux d'engrais azoté (U _f)	
Numérateurs possibles	Rendement en grains (RG) ou azote des grains (Q _{Ng})	Matière sèche totale (M _{St}) ou Azote total prélevé (Q _{Nt})	Rendement en grains (RG ₀) ou azote des grains (Q _{Ng0})	Matière sèche totale (M _{St0}) ou Azote total prélevé (Q _{Nt0})	Rendement en grains (RG _f) ou azote des grains (Q _{Ngf})	Matière sèche totale (M _{Stf}) ou Azote total prélevé (Q _{Ntf})
Efficacité agronomique (NUE _A)	RG / dose N	M _{St} / dose N ou Q _{Nt} / dose N	RG ₀ / N sol	M _{St0} / N sol	RG _f / N _f	M _{Stf} / N _f
Coefficient d'utilisation de l'azote	Q _{Ng} / dose N	Q _{Nt} / dose N	Q _{Ng0} / N sol	Q _{Nt0} / N sol	Q _{Ngf} / N _f	U _f / N _f
Efficacité physiologique (NUE _p)	RG / Q _{Nt}	M _{St} / Q _{Nt}	RG ₀ / Q _{Nt0}	M _{St0} / Q _{Nt0}	RG _f / U _f	M _{Stf} / U _f

RG, RG₀, RG_f, rendement en grains pour les différents traitements avec l'azote total (dose N, N_{sol}+N_{engrais}), azote du sol (N sol) et azote d'engrais (N_f) respectivement. M_{St}, M_{St0}, M_{Stf} biomasse totale pour les différents traitements avec l'azote total (dose N, N_{sol}+N_{engrais}), azote du sol (N sol) et azote d'engrais (N_f) respectivement.

Q_{Ng}, Q_{Ng0}, Q_{Ngf}, azote prélevé dans les grains pour les différents traitements avec l'azote total (dose N, N_{sol}+N_{engrais}), azote du sol (N sol) et azote d'engrais (N_f) respectivement.

Q_{Nt}, Q_{Nt0}, Q_{Ntf} l'azote prélevé présent dans la partie aérienne de la plante pour les différents traitements avec l'azote total (dose N, N_{sol}+N_{engrais}), azote du sol (N sol) et azote d'engrais (N_f) respectivement.

Maynard et Aubry, (1988) ont démontré que les courbes de réponse permettent de calculer les efficacités d'utilisation de l'azote (l'efficacité agronomique et physiologique). En effet, lorsque la biomasse est mise en relation avec l'azote accumulé dans la plante, le début de la pente de la courbe obtenue, qui représente l'efficacité intrinsèque de l'utilisation de l'azote par la plante (NUEp) est plus raide (plus de biomasse par unité d'azote apportée) que celle de la biomasse mise en relation avec l'azote appliqué (NUEA). La différence entre les points qui correspondent au début du plateau de production de biomasse exprimée en fonction d'unité d'azote absorbé et appliqué, donne une indication sur l'efficacité d'utilisation de l'azote appliqué.

La pente de la courbe qui met en relation la production et la quantité d'azote appliquée indique l'efficacité d'utilisation de l'azote appliquée (August 1995)

VI-1-1- Efficacité agronomique d'utilisation de l'azote:

L'efficacité agronomique d'utilisation de l'azote (NUEA) est la capacité de la culture d'augmenter le rendement en grains en réponse aux niveaux de la fertilisation azotée. Cette efficacité est calculée suivant un rapport de la quantité de biomasse en grains de la parcelle fertilisée, dont on déduit la biomasse en grains de la parcelle non fertilisée, et la dose de l'azote appliqué, la formule représentative est la suivante :

$$\text{NUEA} = \frac{\text{RMSGN de la parcelle fertilisée} - \text{RMSGN0 de la parcelle non fertilisée N0 (témoin)}}{\text{Dose d'azote (N) appliquée}} \dots\dots\dots(8)$$

VI-1-2- Efficacité physiologique d'utilisation de l'azote :

Définie par le rapport du rendement ou de biomasse réalisé par la quantité d'azote exportée provenant de l'engrais ou c'est le rendement grains de la parcelle fertilisée, dont on déduit le rendement grains de la parcelle non fertilisée par la quantité d'azote totale absorbée des parcelles fertilisées dont on déduit la quantité d'azote totale absorbée des parcelles non fertilisées, la formule est la suivante :.

$$\text{NUEp} = \frac{\text{RMSGN de la parcelle fertilisée} - \text{RMSGN0 de la parcelle non fertilisée N0 (témoin)}}{(\text{QNT dans la plante fertilisée} - \text{QNT dans la plante non fertilisée})} \dots\dots\dots (9)$$

L'efficacité d'utilisation de l'azote est bonne lorsque la fourniture en azote est faible et elle diminue lorsque l'apport d'azote augmente. La NUE est très dépendante des conditions de l'environnement.

En effet, l'azote peut provenir des précipitations, des réserves dans le sol et de l'application des fertilisants. Ceci affecte très fortement la réponse apparente vis-à-vis de l'azote appliqué. Les pertes dues au lessivage et au métabolisme des bactéries, faussent également l'interprétation.

VI-1-3- Coefficients d'utilisation de l'engrais azoté :

VI-1-3-a- Coefficient apparent d'utilisation de l'azote (CAU) :

Pour connaître la part de l'azote valorisé par une culture, on quantifie l'évolution de l'absorption d'azote permis par l'apport en comparaison à une situation non fertilisée. De ce fait, on détermine l'efficacité de l'apport à tout moment après la date de fertilisation.

Cette efficacité représente le coefficient apparent d'utilisation de l'azote (CAU) qui identifie une relation linéaire entre l'azote absorbé et l'azote apporté, c'est un indicateur de l'efficacité des apports azotés minéraux.

$$\text{CAU} = (\text{QN}_D - \text{QN}_0)/D. \dots\dots\dots (10)$$

- Avec:
- QN_D : azote absorbé pour une fertilisation de D (kg N/ha)
 - QN_0 : azote absorbé en l'absence de fertilisation.

Le coefficient apparent de l'utilisation de l'azote (CAU) est défini comme étant le rapport entre la différence d'azote absorbé entre un peuplement fertilisé et un peuplement non fertilisé et la quantité d'azoté apporté (Limaux 1999).

$$\text{CAU} = (\text{P}_x - \text{P}_0 / X) * 100 \dots\dots\dots (11)$$

Où $\text{CAU} = (\text{Nf} - \text{Nt})/X \times 100$, (Mosseddaq and Moughli 1999). $\dots\dots\dots (12)$

- Où :
- $\text{P}_x(\text{Nf})$ = azote absorbé par le peuplement à la dose X en kg N /ha.
 - $\text{P}_0(\text{Nt})$ = azote absorbé par le peuplement en l'absence d'engrais en kg N/ ha.
 - X = dose d'engrais apportée en kg N/ ha.
 - CAU = coefficient apparent d'utilisation de l'engrais azoté en %.

La signification du coefficient apparent de l'utilisation de l'azote CAU tel qu'il est défini, ne représente qu'une utilisation apparente de l'engrais. Cette utilisation pourrait être qualifiée réelle si la contribution du sol P_0 , mesurée en l'absence de fertilisation, n'était pas modifiée par l'apport de l'engrais.

1) Facteurs de variation du coefficient apparent de l'utilisation de l'azote (CAU):

i. CAU et courbe de réponse à l'azote :

Le CAU dans sa partie ascendante sur la courbe de réponse à l'engrais azoté est constante. Au de la de l'optimum le CAU diminue. D'autre part, une corrélation faible, mais significative montre que le CAU serait positivement relié à la quantité d'azote absorbé à l'optimum de la courbe de réponse (Limaux, 1999).

ii. CAU et date d'apport :

Les apports d'engrais azotés sur blé d'hiver sont généralement fractionnés en deux apports, le fractionnement classique présenté par le 1/3 au 1^{er} apport et 2/3 au 2^{ème} apport conduisant à un CAU de 80 % (Limaux 1999).

Limaux, (1994), a observé sur la culture du blé, que les meilleurs CAU sont associés à des niveaux de biomasses du peuplement végétal élevés au moment de l'apport d'azote et inversement. Un CAU de 80 % serait atteint avec une biomasse de l'ordre de 120g / m², alors qu'une biomasse de 20g / m² ne conduirait qu'à un CAU de 10 %.

iii. CAU et conditions du milieu :

Sur blé, (Limaux, 1994), indique une gamme de CAU très variable que ce soit en sol argileux profond ou en sol argilo-calcaire (40 % à 100 %).

VI.3.1.b Le coefficient Réel de l'Utilisation de l'azote (CRU):

Le Coefficient Réel d'Utilisation de l'N pourrait être mesuré par l'utilisation de l'isotope stable N¹⁵, en identifiant la proportion réelle d'engrais marqué retrouvé dans la plante, et par différence avec l'azote total absorbé, les quantités provenant réellement du sol (Ndfs :Nitrogen derived from soil) (Limaux, 1999).

L'utilisation de l'isotope N¹⁵ met en évidence la concurrence forte pour la ressource azotée entre les besoins de la culture, les pertes par voie gazeuses et l'organisation (Limaux, 1999). L'intérêt du traçage par l'azote N¹⁵ est la détermination et le suivi des autres devenir de l'engrais que l'absorption par les plantes : organisation microbienne, lessivage et pertes (Limaux et al., 2001).

Il peut être calculé selon la formule :

$$\text{C.R.U (\%)} = (\text{P} \times \text{N}^{15} / \text{X}) \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

Où : $\text{P} \times \text{N}^{15}$ (kg/ha) = Quantité d'azote absorbée provenant de l'engrais N¹⁵
 X (kg/ha) = dose d'engrais azoté N¹⁵ apporté.

Deuxième partie : II. Matériel et méthodes

II-1- Localisation des sites d'étude et leurs caractéristiques pédoclimatiques :

II-1-1- Localisation des sites d'étude :

Notre étude s'est déroulée durant la saison agricole 2012- 2013. Elle a été suivie au niveau de deux sites : (a) la station de l'ITGC au centre de Sétif (b) l'EAC Dehal Nouari située à 12 km au Nord-Est du chef lieu de la Wilaya de Sétif, entre 36° 15' 12, 05'' N et 5° 29' 45,27'' E.

Site 01 : Le premier site est situé au niveau de la station expérimentale agricole de l'ITGC, à 4km au Sud-ouest de la ville de Sétif, sur une altitude de 962m (Fortas et al., 2013; Nadjem 2012). La zone appartient à l'étage bioclimatique semi-aride *figure4*, présentant un régime climatique des hauts plateaux (Badly 1986) qui se caractérise par des hivers froids, une pluviométrie irrégulière, des gelées printanières et des vents chauds et desséchant en fin de cycle de la céréale. Ces caractéristiques sont la résultante de la triple influence, de l'Atlas Tellien qui limite les précipitations hivernales, de l'Atlas Saharien et du Sahara qui sont à l'origine de vents secs et desséchants qui peuvent intervenir dès le printemps et l'altitude qui entraîne des gelées tardives (Bouzerzour et Monneveux 1992).

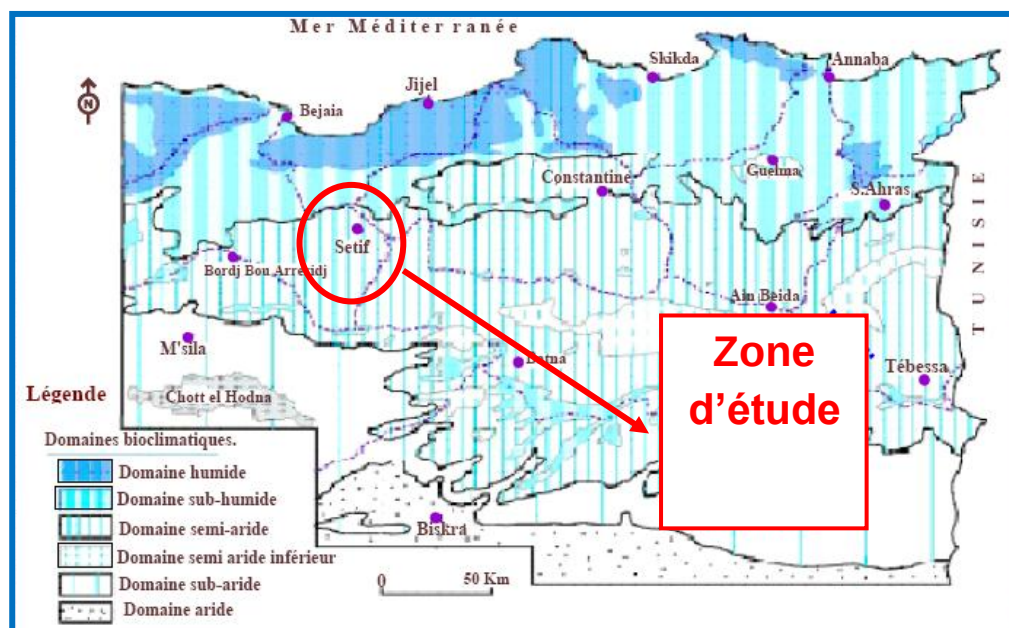


Figure4: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'est Algérien montrant la situation de la zone d'étude (CôteM, 1998) cité par (Gouadia, 2008).

Site 02 : L'exploitation agricole collective (EAC) Dehal Nouari est d'une superficie agricole totale (SAT) de 440ha dont 330ha constitue la superficie agricole utile (SAU) et 50ha est une portion irriguée. Cette exploitation est située dans une région montagneuse d'une altitude de 1200m et d'une pente de 12% à climat méditerranéen (hivers froids et humides et des étés secs et chauds). Le système de production dominant est la céréaliculture.

Le tableau 4 renferme les caractéristiques pédologiques de la parcelle d'essai. Les résultats des analyses réalisés au niveau de l'université Hadj Lakhdar de Batna (Messous 2013). Cette parcelle présente une texture fine de type limoneux, à sol alcalin (PH=8,3), riche en matière organique (> 2%) et en Phosphore assimilable (175, 25ppm).

Tableau4: Caractéristiques physico-chimiques du site DN.

Argile %	Limon fin%	Limon grossier%	Sable fin %	Sable grossier%	PH	Calcaire total%	Carbone organique %	Matière organique %	CEC meq//100g	P-assimilable (joreh-hebert) (ppm)
30	41	24,78	4,06	0,6	8,3	14,3	1,26	2,10	18,61	175,25

II-1-2- Caractéristiques climatiques :

- La pluviométrie

On se référant à la carte de la répartition de la pluviométrie du nord-Algérien *figure5*, il est indiqué que la région d'étude reçoit une quantité annuelle de pluie d'un intervalle allant de 692 jusqu'à 198mm, au fur et à mesure qu'on s'oriente du Nord vers le Sud.

Durant la campagne agricole 2012-2013, un cumul de 437,2 mm de précipitation est enregistré au niveau des deux sites expérimentaux, par contre la quantité de précipitation disponible au cycle de la culture n'était que 315,8 mm durant la période s'étalant du 12 /12/2012 jusqu'au 08/07/2013.

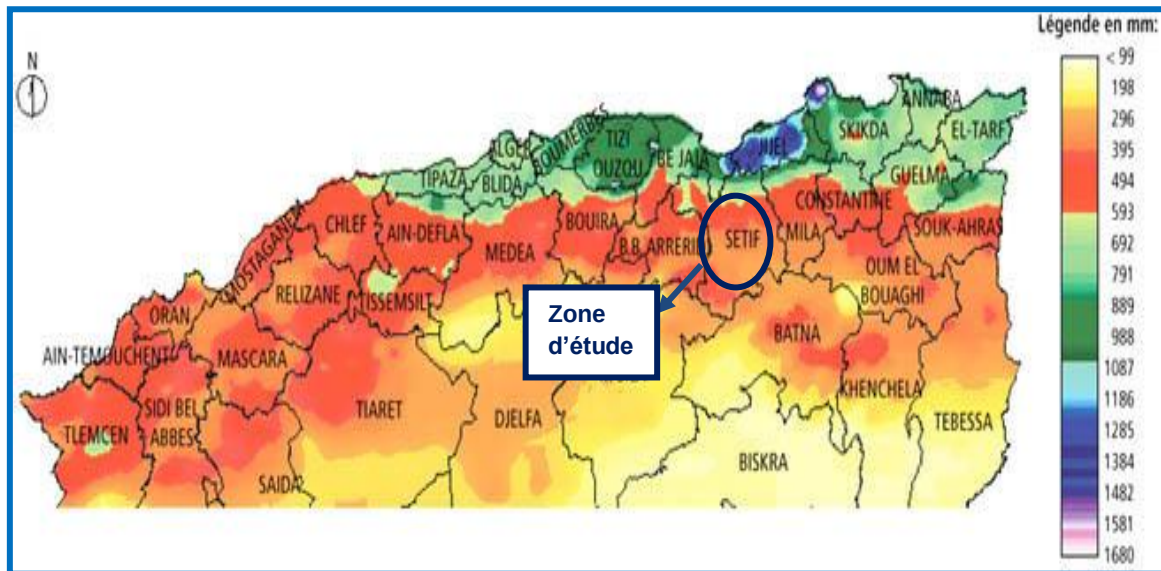


Figure5: Carte simplifiant la répartition des précipitations au nord de l'Algérie (Abdelguerfi et Zeghida 2005).

La **figure6** indique les différents paramètres climatiques influençant le cycle de culture du blé. La pluviométrie enregistrée est de 83mm et 72,2mm durant les deux mois de janvier et février respectivement. La campagne 2012-2013 est bien douce et favorable pour la culture du blé à l'exception de quelques jours de gelées durant le mois de novembre et avril.

- La température :

Le **tableau5** renferme les valeurs de températures min et max enregistrées durant la campagne 2012-2013. La valeur la plus faible est enregistré au mois de février (4,32 TC°) par contre la plus élevée est notée au mois de juin, avec 26,05TC°.

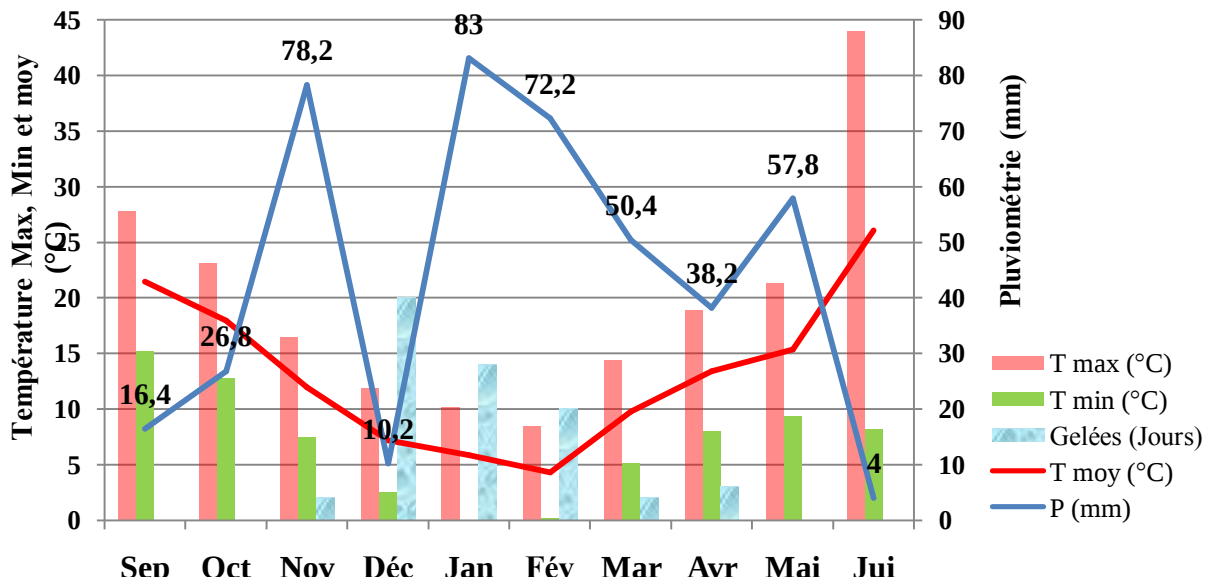


Figure6: Influence des données climatiques sur le cycle de culture du blé (2012-2013).

Tableau5: Valeurs des températures (min, max et leur moyenne) et la pluviométrie mensuelle de la campagne (2012-2013) source ONM de Sétif.

mois	gelées	Température T (°C)			Pluviométrie (P mm)
		T° mini	T° max	T° moy	
septembre	0	16,08	27,72	21,90	16,40
octobre	0	12,18	23,05	17,61	26,80
novembre	2	7,48	16,39	11,93	78,20
décembre	20	2,51	11,78	7,14	10,20
janvier	14	1,57	10,11	5,84	83
février	10	0,2	8,43	4,31	72,20
mars	2	5,08	14,40	9,74	50,40
avril	3	7,94	18,82	13,38	38,20
mai	0	9,34	21,32	15,33	57,80
juin	0	8,15	43,90	26,02	4
total	51				437,20

- Effet du climat sur les différents stades du cycle de la culture du blé :

La durée du cycle était différente entre les deux sites d'une différence allant jusqu'aux 07 jours. Les deux sites sont situés à des altitudes différentes et un climat assez froid en zone Nord (DN), L'ITGC à 962m contre DN à 1200 m.

Selon la **figure6** présente les conditions climatiques ainsi que la durée du cycle du blé sur les deux sites au cours de la campagne agricole (2012-2013), pour les trois variétés et pour des raisons purement pratiques, nous avons pris en moyenne la durée du cycle et les dates de prélèvement pour les trois variétés.

Un écart de 07 jours est enregistré entre les deux sites, selon nos dates de prélèvement des échantillons. Du semis jusqu'à montaison (mi à fin avril), il a fallu un nombre de 125jrs dans le site ITGC alors que dans l'exploitation DN 130jrs. A ce stade, une croissance active des talles et la culture a exprimé un besoin important d'azote.

Le stade floraison (fin mai début juin) est atteint après de 28jrs de la montaison à l'ITGC, alors qu'à l'exploitation DN après 37jrs.

La maturité est atteinte 49jrs après le stade de floraison à l'ITGC, alors qu'à l'exploitation DN c'est au bout des 39 ème jours du même stade. Le cumul atteint durant l'ensemble du cycle est 202 jrs pour ITGC et de 206jrs pour DN.

II-2- Matériel végétal et engrais utilisé :

II-2-1- le matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé se compose de trois variétés de blé dur V1 = Boussellam, V2 = Waha et V3 = Mohamed Ben Bachir (MBB).

Les variétés (V1) et (V2) sont des variétés performantes, ces deux variétés ont été introduites par les services de la recherche agronomique lors de l'introduction massive du matériel végétal en provenance d'institutions internationales CIMMYT et ICARDA. Suite à la productivité et d'adaptation des deux variétés, elles ont été introduites pour la multiplication semencière et à la commercialisation en Algérie. Elles occupent le nord des hauts plateaux et que les plaines intérieures de l'Algérie.

La variété (V3) est une variété historique pour la céréaliculture Algérienne, elle a été sélectionnée à l'intérieur d'une population locale de la région de Ain Roua (nord de Sétif) et multipliée par des services de recherche agronomique à la station annexe de Ouled Hamla (Laumont et Erroux, 1961) in (Nouar et al. 2010). Elle est très cultivée dans les hauts plateaux Algérien.

- **Les caractéristiques des trois variétés :**

• **Bousselam (V1) :**

Une nouvelle obtention de la station de l'ITGC de Sétif, V1 est une variété qui se caractérise par un cycle végétatif tardif de cinq jours par rapport à Waha et une précocité d'environ quinze jours sur MBB (Fortas et al., 2013), résistante presque à toutes les maladies (rouille jaune, brune et noire, piétin verse et échaudage, l'Oidium et au fusariose et moyennement résistante à la Septoriose), possède un fort tallage, une bonne résistance à la sécheresse, à la verse et au froid, une hauteur de presque 1m, de très bonnes caractéristiques qualitatives (PMG élevé) et un rendement en grain optimal de 38qx/ha (Boufnar-Zaghouane et Zaghouane 2006).

• **Waha (V2) :**

Une variété sélectionnée par l'ITGC du matériel végétal reçu de l'ICARDA (*International Centre for Agricultural Research in Dry Area*) ; V2 est une variété à paille naine 80-90cm, possédant un tallage moyen à fort et un PMG moyen. Caractérisée par une courte phase semi-épiaison et une longue phase de remplissage du grain tout en gardant un cycle de développement plus court que celui de MBB. Puisque c'est une variété précoce, elle est plus sensible au gel tardif (Bouzerzour et al., 2000). Elle se caractérise par une stabilité du rendement (rendement grain optimal 45qx /ha) et une tolérance à la sécheresse élevée (Meziani et al., 1993), C'est l'une des variétés améliorées les plus recommandées pour valoriser les potentialités agricoles des plaines intérieures et le nord des hauts plateaux (Makhloufi et al. 2006). Waha Montre une tolérance à certaines maladies (rouille jaune, brune et noire) résistante à d'autres (piétin verse et l'Oidium) moyennement résistante à la septoriose et au fusariose et sensible au piétin échaudage (Boufnar-Zaghouane et Zaghouane 2006).

• **MBB (V3) :**

Une variété très cultivée par les agriculteurs des zones céréalières Sétifiennes et Tiaret. V3 est une variété tardive, à paille haute (120cm), résistante au froid, sensible à la verse et tolérante à la sécheresse. Elle présente des besoins modérés en température vernal et en photopériode. Ce qui retarde la montée en épi, dont la conséquence est le positionnement de la phase du remplissage en pleine période de déficit hydrique et de hautes températures, par contre, elle échappe le plus souvent aux basses températures printanières (gel tardif) (Bensemmane 2003), possède un tallage moyen, sensible à certaines maladies (rouille brune, noire et le piétin verse), tolérante à d'autres (rouille jaune, Oidium et le piétin Échaudage) et assez sensible à la septoriose et à la fusariose. Se caractérise par un PMG moyen et un rendement grain optimal de 20qx /ha (Boufnar-Zaghouane et Zaghouane 2006).

II-2-2- l'engrais utilisé :

L'engrais utilisé est l'urée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ à 46 % d' N appliqué manuellement sur les parcelles élémentaires cultivées. Il a été fractionné en deux apports, avec la modalité (1/3-2/3). Le premier apport au début du tallage, les 2/3 restantes constituent le deuxième apport effectué au stade début montaison.

Remarque : L'apport devait être réalisé au stade épi 1cm mais pour des raisons pratiques l'apport a été appliqué au début du stade de montaison.

II-3- Méthodes de travail :

II-3-1- Techniques culturales appliquées dans les deux sites:

Le semis au niveau des deux essais est effectué le 12/12/2012, en utilisant un semoir expérimental de la station ITGC de Sétif. La densité de semis appliquée est de 300grains/ m^2 . Le précédent cultural était une légumineuse. Des opérations de désherbage ont été appliquées au cours du cycle de développement de la culture pour limiter les effets des mauvaises herbes. Un désherbage chimique a été effectué le 29/03/2013 par un pulvérisateur 1200 Litres avec une combinée de dose de Grand Star 15g/ha et Brunby 0.75 li/ha. Les essais ont été réalisés sans irrigation d'appoint. La récolte a été effectuée à l'aide d'une moissonneuse batteuse expérimentale le 03/07/2013.

II-3-2- Les traitements azotés:

Des doses d'engrais azoté ont été appliquées à la volée. Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des traitements azotés utilisés dans les deux essais.

Tableau6: Différents traitements azotés (kg/ha) appliquées et leur fractionnement, des deux sites.

traitements	La dose totale d'azote (kg/ha)	Fractionnement (kg /ha)	
		1 ^{er} apport : Début Tallage (DT) 1/3	2 ^{ème} apport : Début-Montaison (DM) 2/3
N0	00	00	00
N1	109	36	73
N2	217	72	145
N3	326	109	217
N4	435	145	290
N5	543	181	362
N6	652	217	435

II-3-3- Le dispositif expérimental:

Nos essais étaient réalisés sur des parcelles agricoles, en conditions pluviales. Le dispositif expérimental est de type split-plot à deux facteurs et à quatre répétitions (4 blocs). Le facteur variété en parcelles principales est le facteur dose en sous parcelles **Figure11**. Les parcelles principales correspondaient aux 07 traitements de dose azotée dont le témoin. Chaque répétition (bloc) est divisée en sous bloc correspondant à une parcelle élémentaire à son tour divisée en deux parcelles jumelles dont les dimensions sont indiquées sur **la figure12**. La première parcelle jumelle était destinée aux prélèvements des échantillons de plantes durant le cycle de la culture. La deuxième parcelle est destinée à l'estimation du rendement réalisé par une moissonneuse batteuse des essais expérimentaux.



Figure7: Dispositif expérimental au niveau du site de l'EAC (D-N) au stade floraison (cliché personnel).

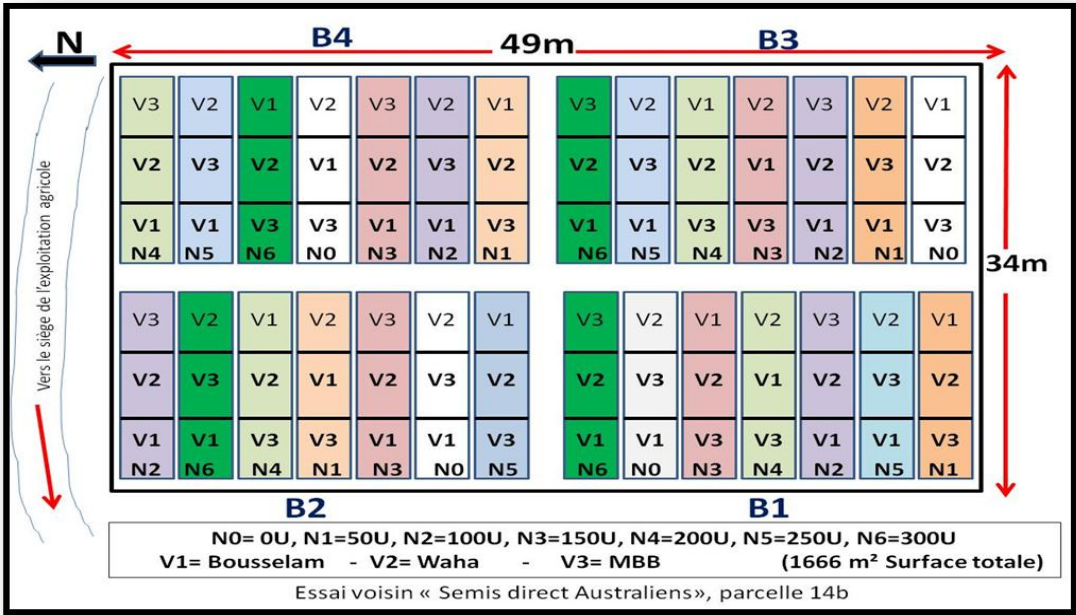


Figure8: Dispositif expérimental réalisé dans les deux sites (D-N et ITGC Sétif d'une superficie de 1666m²

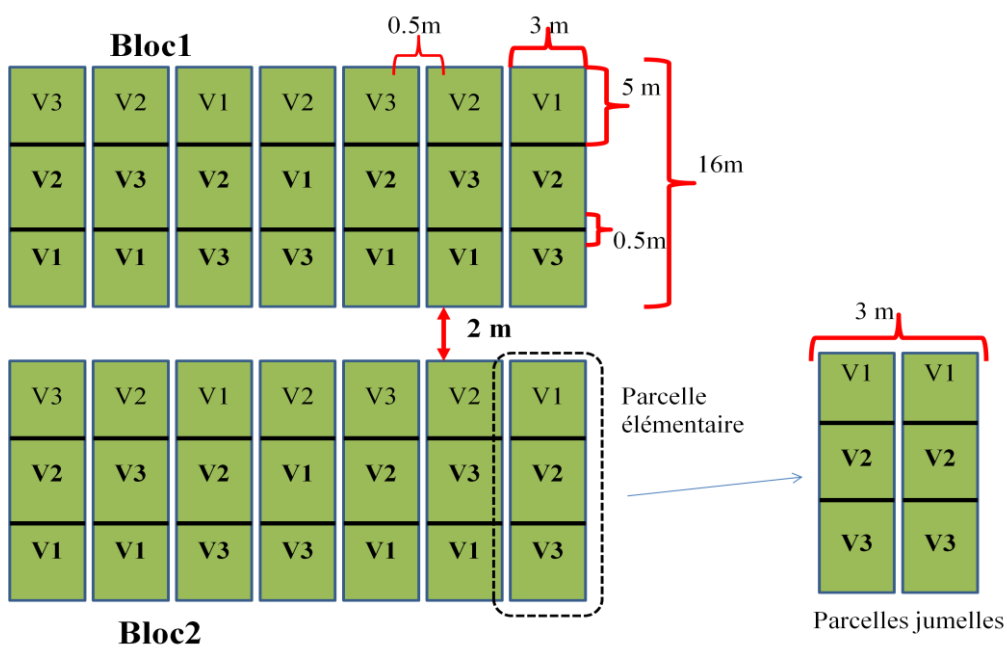


Figure9: Dimensions des parcelles élémentaires composant le dispositif expérimental.

II-3-4- Prélèvement du végétal :

Le prélèvement a été effectué en récoltant au rat du sol trois lignes, en évitant les lignes de la bordure, l'espace entre les lignes est de 20cm sur une longueur de chaque ligne de 50cm. Quatre prélèvements ont été effectués au cours du cycle (stade de tallage, stade épi 1 cm, à la floraison et à la maturité). Les échantillons du végétal prélevés sont placés dans des sachets en plastique étiquetés *figure13*.



Figure10: Conditionnement des échantillons du végétal.

II-3-5- Paramètres a mesurés :

a) Paramètres agronomiques :

a-1- La biomasse aérienne :

Les échantillons du végétal récolté au cours du cycle de la culture *tableau7*, sont conditionnés au laboratoire. Au stade de floraison, les épis sont séparés de la paille et au stade maturité complète, les épis sont battus après étuvage pour la séparation des grains.

L'ensemble de ces échantillons ont subi un séchage à l'étuve pendant 72 heures à une température de 80°C

Tableau7: Dates d'échantillonnage du végétal des trois variétés de blé.

stade	Dates de prélèvement (même date d'apport d'N) Site DN	Dates de prélèvement (même date d'apport d'N) Site ITGC
semis	12/12/2012	(12/12/2012)
Début-Tallage (DT)	13 /3/2013	(07/03/2013)
Début-Montaison (DM)	21/04/2013	(17/04/2013)
Floraison (Flor)	29/05/2013	(15/05/2013)
Maturité (Mat)	07/07/2013	(03/07/2013)

a-1-1- La matière sèche totale : (MST en kg/ha)

La matière sèche est mesurée au début du stade de montaison (MS D-Mont).

La matière sèche totale à la floraison est composée de la matière sèche paille (MSP flor) + matière sèche épi (MSE flor).

La matière sèche totale au stade de maturité est composée de la paille (MSP mat), grain (MSG).

a-1-2- Les composantes du rendement :

- *Le nombre d'épi / m² (NE/m²):*

Le nombre d'épi est déterminé par comptage effectué sur l'échantillon prélevé sur une surface de 0,3m² après récolte, puis ramené au m².

- *Le nombre de grain / épi / m² (NG/E) :*

Les épis de chaque échantillon récolté sont battus. Le poids des grains est déterminé par pesage et calculé pour m². Le poids des grains est rapporté au nombre d'épi/ m², et le nombre de grain par épi /m² est déduit par calcul.

- *Poids de mille grains (PMG en gramme) :*

Le poids de mille grains est déterminé par comptage de 250 grains de chaque échantillon, pesé pour obtenir leur poids. Le poids de 1000grains est obtenu par calcul.

- *Le rendement en paille et en grains :*

A la récolte, Le poids de la paille et le poids des épis constituent le poids de la biomasse totale. Le poids des grains qui constitue le rendement grains est obtenu après battage des épis et étuvage à 80°C pendant 72heures.

Le rendement paille pour chaque échantillon récolté est obtenu par différence entre la biomasse totale produite à la maturité et le poids des grains du même échantillon par unité de surface.

Le rendement et la biomasse totale des échantillons servent au calcul de l'indice de récolte et au comptage des épis.

a-2- L'indice de récolte (HI%) :

L'indice de récolte est le rapport entre le rendement matière sèche grain (RMSG) et la quantité de matière sèche totale (MST) produite à la maturité.

$$HI = \frac{RMSG}{MST \text{ de la plante à la maturité}} \% \quad \dots (14)$$

a-3- L'indice de récolte azoté (NHI%) :

C'est le rapport entre la teneur (Quantité) en azote des grains par rapport à la teneur (Quantité) en azote total de la plante à la maturité. Il est calculé par la formule :

$$NHI = \frac{\text{Quantité d'azote des grains}}{\text{Quantité d'azote totale de la plante à la maturité}} \% \dots (15)$$

a-4- La teneur en azote dans le végétal :

Le dosage de l'azote dans le végétal (paille et grain) a été effectué par la méthode KJELDHAL (Brenner and Mulvaney 1982).

b) Paramètres physiologiques:

b-1- Le coefficient d'utilisation apparent de l'engrais azoté (C. U .A%):

Le C. U .A en % est calculé par la formule suivante :

$$C.U.A = \frac{\text{Quantité d'Ntotal d'uneculture fertilisée} - \text{Quantité d'Ntotal d'uneculture non fertilisée}}{\text{la dose d'N appliquée}} \% \dots (16)$$

b-2- L'efficacité agronomique de l'utilisation de l'azote :

L'efficacité agronomique de l'utilisation de l'N (NUEA) en (kg de RG/ha / kgd'N (ap) /ha) est calculée par la formule (Maynard and Aubry 1988) suivante:

$$NUEA = \frac{\text{RMSGN de la parcelle fertilisée} - \text{RMSGN0 de la parcelle non fertilisée NO (témoin)}}{\text{la dose d'azote (N) appliquée}} \dots (17)$$

b-3- L'efficacité physiologique de l'utilisation de l'azote :

L'efficacité physiologique de l'utilisation de l'N (NUEp) en (kg de RG/ha / kgd'N (abs) /ha) est calculée par la formule (Maynard and Aubry 1988) suivante:

$$NUEp = \frac{(\text{RMSGN de la parcelle fertilisée} - \text{RMSGN0 de la parcelle non fertilisée NO (témoin)})}{(\text{QNT dans la plante fertilisée} - \text{QNT dans la plante non fertilisée})} \dots (18)$$

II-3-6- Analyses statistiques :

Le tableur Excel 2007 a servi au traitement des données expérimentales et au traçage des graphiques.

La signification statistique des résultats obtenus au cours de cette expérimentation a été testée par :

- L'analyse de la variance est réalisée à l'aide de la procédure GLM (General Linear Model) du logiciel SAS (Statistical Analysis System), version 9.1 (SAS Institute, 2002, Cary, Etats-Unis).
- Le test de Fisher's LSD (Least Significant Difference method), toujours avec le logiciel SAS, Son seuil de significativité est de 5%. Les groupes homogènes (non différents significativement) sont symbolisés par une lettre commune.
- Les différentes corrélations entre les variables sont déterminées avec le logiciel SAS par la procédure de corrélation (Pearson corrélation coefficients).

Troisième partie : III. Résultats et discussion

Trois géotypes seulement de blé dur (Bousselam, Waha et Mohamed Ben Bachir), cultivés en zone semi-aride ont été étudiés sous l'effet de sept différents régimes azotés afin de déceler leur efficacité d'utilisation de l'azote. Deux parties seront étudiées:

- La première partie concerne l'étude des caractères agronomiques (matière sèche totale et le rendement en grains et ses composantes) chez les trois variétés, sous les sept régimes azotés, au niveau des deux sites (ITGC et D-N).
- La deuxième partie concerne l'étude des caractères physiologiques (l'efficacité agronomique de l'utilisation de l'N NUEA, l'efficacité physiologique de l'utilisation de l'N NUEp et le coefficient d'utilisation apparent de l'azote C.U.A) des trois variétés, sous les sept régimes azotés, au niveau du site DN seulement.

III-1- caractères agronomiques :

Analyse des résultats :

III-1-1- Influence des apports d'azote sur l'accumulation de la biomasse aérienne au niveau des deux sites (ITGC et DN):

L'appréciation de la fertilisation azotée sur les variétés de blé dur est basée sur l'étude des relations entre la quantité d'azote exportée et la croissance exprimée par l'augmentation de la biomasse aérienne de ces variétés.

1. Effet des apports d'azote sur l'évolution de la Matière Sèche Totale:

Le suivi de l'accumulation de la Matière Sèche Totale (MST, qx/ha) a été réalisé aux stades: début tallage, début montaison, floraison et maturité pour les trois variétés de blé dur (V1=Bousselam, V2=Waha et V3= Mohamed Ben Bachir). Pour le premier apport, il est effectué au stade début tallage après avoir fait le premier prélèvement des échantillons du végétal des trois variétés, ces échantillons du végétal non pas reçu de fertilisation et l'influence de cet apport sera observé au stade début montaison. Pour le deuxième apport, il est effectué après avoir fait le deuxième prélèvement des échantillons du stade début montaison et son effet sera observé au stade floraison et cela pour les deux sites.

Tableau8: Valeurs moyennes de matière sèche aérienne (totale) (MST) produite par les trois variétés en fonction des doses d'azotes au cours des stades de développements (site DN).

stade	dose d'N (UN/ha)	MSTV1(qx/ha)	MSTV2(qx/ha)	MSTV3 (qx/ha)
D-Tallage	N0	1,08	0,75	0,68
	N1	7,98	10,50	9,10
D-Mont	N2	11,29	8,92	9,81
	N3	9,15	10,08	13,47
	N4	10,31	11,18	16,36
	N5	11,26	14,20	12,85
	N6	16,53	16,87	15,39
Floraison	N0	28,66	29,95	35,52
	N1	50,67	49,42	60,66
	N2	66,90	50,18	78,50
	N3	62,39	53,63	60,66
	N4	71,78	62,72	73,13
	N5	64,37	66,70	80,94
	N6	66,68	67,63	83,85
maturité	N0	56,87	55,44	57,45
	N1	90,73	87,26	97,57
	N2	109,18	88,36	114,24
	N3	100,57	85,37	102,43
	N4	112,49	105,48	118,94
	N5	100,86	113,04	118,09
	N6	102,20	98,53	121,30

Au niveau du site DN, la production de la matière sèche aérienne au stade début tallage (sans fertilisation) des trois variétés est très faible ($V1=1,01\text{q/ha}$, $V2=0,75\text{q/ha}$ et $V3=0,68\text{q/ha}$). Après le premier apport d’N, lors du deuxième prélèvement, les plantes se trouvaient en fin tallage (émission de nouveaux organes feuilles et talles) début montaison qui marque le développement de l’épi au fur et à mesure l’élongation des talles primitives, les parcelles témoin ($N0$) pour chaque variété ont montré qu’il y a une évolution de la production de la MST avec $V1N0=5,01\text{qx/ha}$, $V2N0=5,82\text{qx/ha}$ et $V3N0=6,49\text{qx/ha}$ **tableau8**. Pour les parcelles fertilisées, l’apport d’azote a légèrement amélioré la production de la matière sèche aérienne des trois variétés en comparaison avec le témoin mais la production est faible par rapport aux quantités d’engrais apporté **tableau6**. Si on choisit la plus petite dose qui semble donner la production la plus élevée on trouve ; $V1N2=11,29\text{qx/ha}$, $V2N1=10,50\text{qx/ha}$ et $V3N3=13,47\text{qx/ha}$. Il n’y a pas de différence de production élevée entre les faibles doses ($N1$, $N2$ et $N3$) et les grandes doses ($N4$, $N5$ et $N6$) **tableau8**. Les trois variétés se comportent de la même manière avec la croissance des doses d’azotes **figure14**. Ce qui pourrait s’expliquer qu’à ce stade le besoin en azote est faible pour les trois variétés. L’apport d’azote au stade début tallage a une action importante sur la production d’un nombre appréciable d’épi/m².

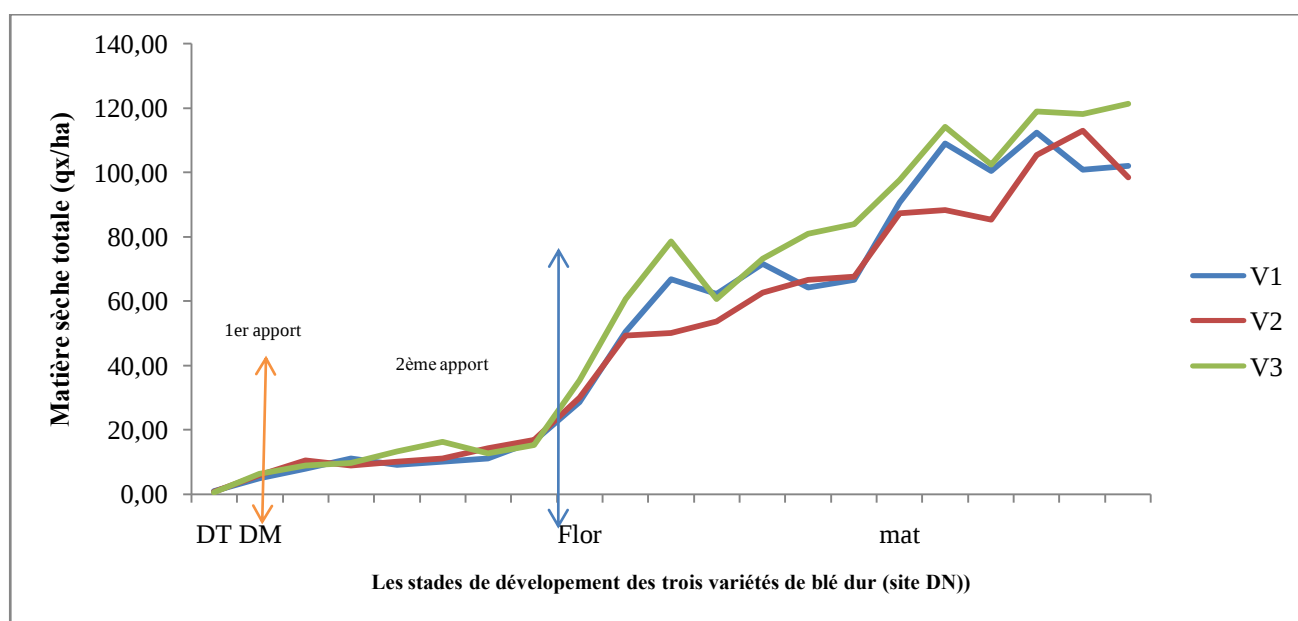


Figure11: Evolution de la MST en fonction des stades de développement des trois variétés (site DN).

Après le deuxième apport effectué au cours du stade montaison, le troisième prélèvement s’est effectué au stade floraison qui débutait par l’épiaison puis fécondation, durant cette période, les parcelles témoins ont accumulé une biomasse aérienne très élevée en comparaison avec le témoin du stade début montaison. A ce stade, les plantes ont besoin en suffisance d’eau, de lumière

et principalement de l'azote. La **figure14** montre que le besoin en azote des trois variétés durant ce stade augmente au fur et à mesure la croissance des doses et en comparaison avec le témoin **tableau8**. La production la plus élevée est enregistrée par la V3 avec la dose N2 ($V3N2=78,50\text{qx/ha}$) alors que $V3N0=35,52\text{qx/ha}$, pour V1, la dose N2 donne une production de $66,90\text{qx/ha}$ diminue avec la dose N3 puis augmente avec N4 alors que le témoin $V1N0=28,66\text{qx/ha}$. Pour V2, la production de la matière sèche aérienne est proportionnelle avec la croissance des doses **tableau8**. Si on prend la production avec la dose N2, $V2N2= 50,18\text{qx/ha}$ alors que le témoin $V2N0=29,95\text{qx/ha}$. On observant les quantités d'N apportées par les doses N4, N5 et N6 **tableau6** et les productions de la MST correspondantes **tableau8**, nous constatons qu'il n'y a pas de proportionnalité et que ces productions sont très voisines de celles obtenues par les faibles doses.

Au stade maturité, la **figure14** montre une évolution de l'accumulation de la MST pour les trois variétés jusqu'à N2 diminue avec N3 puis augmente de nouveau jusqu'à N6 pour V3. La variété V3 montre une dynamique d'accumulation de la biomasse aérienne plus élevée que V1 et V2. Cette phase concerne le remplissage du grain en amidon et en protéines qui va se faire à partir des réserves stockées dans les tiges et surtout les dernières feuilles et des parties vertes de l'épi. L'influence de la fertilisation azotée est marquée par une production de la MST élevée avec la dose N2 pour les trois variétés en comparaison avec le témoin **tableau8**, d'une façon que $V1N2=109,18\text{qx/ha}$ $V1N0=56,87\text{qx/ha}$, $V2N2=88,36\text{qx/ha}$, $V2N0=55,44\text{qx/ha}$ et $V3N2=114,24\text{qx/ha}$, $V3N0=57,45\text{qx/ha}$.

La croissance des doses d'azote (à partir de N3) montre une variabilité de production de la MST tantôt elle diminue tantôt elle augmente c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'effet positif nette de la croissance des doses d'azote sur l'accumulation de la MST. Alors pourquoi gaspiller des dizaines de kg d'engrais pour une production non avantageuse alors que les faibles doses (N1, N2 jusqu'à N3) peuvent arriver à des productions similaires aux doses croissantes N4, N5 et N6).

Pour le site ITGC, le premier prélèvement au stade début tallage, la production de la MS aérienne est très faible mais elle est un peu plus élevée de celle du site DN avec $V1=1,49\text{qx/ha}$, $V2=1,53\text{qx/ha}$ et $V3=1,49\text{qx/ha}$. Après le premier apport d'N, lors du deuxième prélèvement, qui coïncide avec le stade fin tallage (détermination du nombre de talles qui détermine le nombre d'épi par unité de surface) début montaison (la montée de l'épi à 1cm sur le plateau de tallage), les parcelles témoin montre que le sol est pourvu en azote justifié par l'augmentation de la MST produite par les trois variétés est cela en comparaison avec le stade début tallage d'une façon que $V1N0=11,57\text{qx/ha}$, $V2N0=11,45\text{qx/ha}$ et $V3N0=10,24\text{qx/ha}$ **tableau9**. Elles sont plus élevées

Tableau9: Valeurs moyennes de la matière sèche aérienne (totale) (MST) produite par les trois variétés en fonction des doses d'azote apportées au cours des stades de développement (site ITGC).

stade	dose d'N (UN/ha)	MSTV1 (qx/ha)	MSTV2 (qx/ha)	MSTV3 (qx/ha)
DT	N0	1,49	1,53	1,49
DM	N0	11,57	11,45	10,24
	N1	11,42	11,97	13,29
	N2	14,83	14,98	18,34
	N3	14,69	14,69	20,01
	N4	17,27	15,35	15,56
	N5	21,19	17,18	20,87
	N6	19,78	15,64	20,40
flor	N0	38,77	38,59	34,50
	N1	43,04	39,69	46,02
	N2	44,07	45,27	64,41
	N3	64,57	49,42	64,59
	N4	70,58	59,18	62,73
	N5	70,92	44,86	73,35
	N6	64,79	56,61	66,62
mat	N0	53,63	59,99	62,07
	N1	101,90	63,19	85,56
	N2	95,86	71,43	89,34
	N3	103,82	84,10	94,53
	N4	108,95	78,53	105,19
	N5	93,07	77,59	104,47
	N6	99,26	79,94	91,53

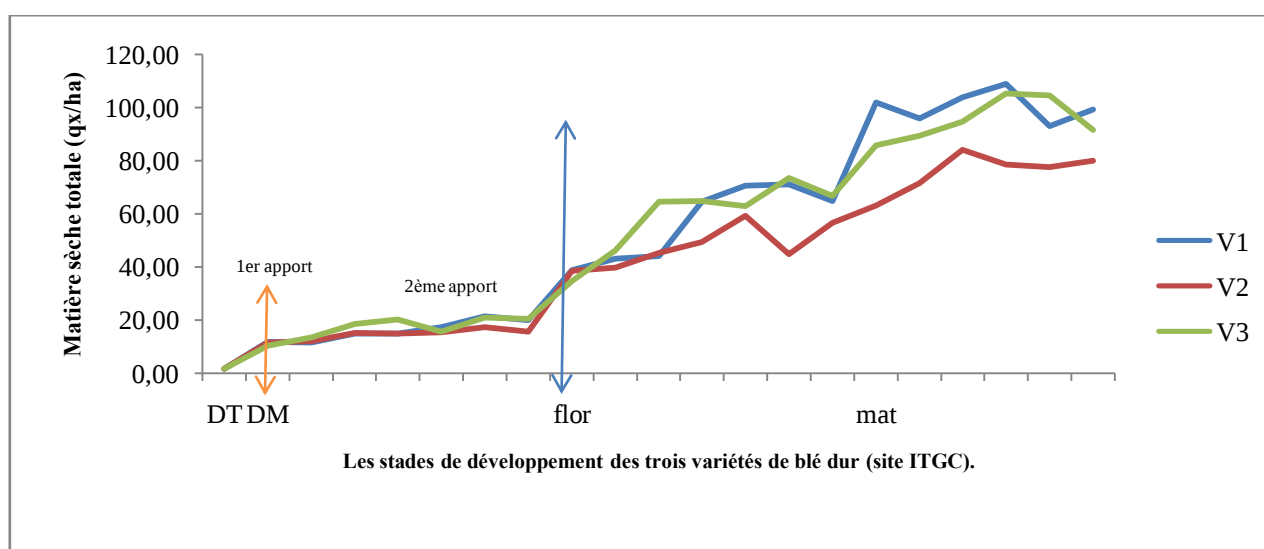


Figure12: Evolution de la MST en fonction des stades de développement des trois variétés (site ITGC).

que celles du site DN tableau8. Pour les parcelles fertilisées, il ya une certaine augmentation de la production de la MST mais elle est très faible par rapport aux quantités de kg d'engrais apporté surtout pour les doses élevées **tableau6**. La variété V3 accumule plus de MST que V1 et V2 presque avec toutes les doses. La plus petite dose qui accumule une quantité élevée de MST est N3 pour V3 ($V3N3=20,01\text{qx/ha}$). La **figure15** montre qu'à ce stade, les trois variétés se comportent de la même manière avec toutes les doses c'est-à-dire qu'il n ya pas de différence de production entre les faibles doses et les doses élevées pour les trois variétés. Cela pourrait s'expliquer qu'à ce stade le besoin en azote est faible pour les trois variétés.

Après le deuxième apport d'N, le troisième prélèvement effectué au stade floraison. La comparaison de la production des parcelles témoins de ce stade à celles du stade début montaison à montrer que la production a triplée pour les trois variétés ce qui identifie le besoin élevé en azote à ce stade **figure15**. Les parcelles fertilisées montrent qu'il ya une évolution de la production de la biomasse aérienne en comparaison avec le témoin **tableau9** mais il n ya pas de proportionnalité de production par rapport aux quantités élevées d'engrais apporté. La production de V1 à doubler après l'apport de la dose $N4=290\text{kg/ha}$, celle de V3 avec la dose $N2=145\text{kg/ha}$ alors que V2 la production est sous le double avec la dose N4. L'apport d'une dose de 290kg d'N a produit une différence avec le témoin de 32qx MST pour V1 et de seulement 21qx MST pour V2.

Au-delà de la dose N3 la croissance des doses d'N n'ont pas d'effet significatif sur l'augmentation de l'accumulation de la MST.

Au stade maturité, après le quatrième prélèvement, les parcelles témoins montrent qu'il ya une augmentation appréciable de l'accumulation de MST en comparaison avec celles au stade floraison. Les parcelles fertilisées enregistrent une évolution de l'accumulation de la MST au fur et à mesure la croissance des doses pour les trois variétés **figure15**. La variété V1 accumule la MST la plus élevée avec la dose N1 **tableau9**. Pour V2 et V3 la différence de production entre la dose N1 et la dose N3 ne dépasse pas les 10 qx de MST/ha , alors pourquoi gaspiller une quantité de $N3=217\text{kg d'N}$ pour produire seulement 10qx de MST .

La croissance des doses d'N au-delà de la dose N3 n'enregistre pas d'évolution de l'accumulation de la biomasse aérienne proportionnelle aux quantités élevées d'N apportées. La richesse du sol en azote et les faibles doses entre N1 et N3 donnent des rendements en MST voisines ou supérieures à celles des doses élevées.

Les trois variétés accumulent plus de biomasse aérienne au site DN qu'au site ITGC. Au stade maturité la variété V3 accumule la biomasse aérienne la plus élevée au site DN, alors qu'au site

ITGC c'est V1 qui accumule la biomasse la plus élevées. Ce qui explique l'effet du site sur la différence de production entre les variétés.

2. Effet des facteurs (site, dose, variété et leurs interactions) sur l'accumulation de la biomasse aérienne :

A partir de l'analyse de la variance, **le tableau10** présente les valeurs moyennes de la MST des stades : début montaison (D-Mont), floraison et maturité sous l'effet des facteurs site, dose, variété et leurs interaction.

Tableau10: Valeurs moyennes des paramètres (MST D-Mont), (MSP,MSE et MST flor) et (MSP, MSE et MSTmat) sous l'effet des facteurs (site, dose et variété).test fisher au seuil 5%.

Effet moyen		D-Mont	Floraison			Maturité		
		MST (qx/ha)	MSP (qx/ha)	MSE (qx/ha)	MST (qx/ha)	MSP (qx/ha)	MSE (qx/ha)	MST (qx/ha)
site	Dehal	11.08b	44.46a	15.76a	60.23a	50.95a	46.74b	97.70a
	ITGC	15.26a	41.92a	12.65b	54.58b	34.72b	52.40a	87.12b
sign		***	NS	***	**	***	**	***
dose	N0	8.09d	26.43d	7.89d	34.33d	23.80d	33.77c	57.58d
	N1	10.71d	36.18c	12.06c	48.24c	39.70c	47.99b	87.70c
	N2	13.02c	43.81b	14.40b	58.22b	42.79bc	51.93a	94.73bc
	N3	13.48c	43.63b	15.57a	59.20b	47.00a	48.12b	95.13bc
	N4	14.33bc	49.38a	17.30a	66.68a	49.00a	55.92a	104.93ab
	N5	15.16b	51.12a	16.34ab	67.46a	50.35a	55.18a	105.54a
	N6	17.38a	51.79a	15.89ab	67.69a	47.19ab	54.08ab	101.27ab
sign		***	***	***	***	***	***	***
var	V1	12.61b	42.67b	15.05a	57.72b	42.60b	52.87a	95.48a
	V2	12.71b	36.34c	14.90a	51.24 c	35.76c	46.62b	82.39b
	V3	14.18a	50.57a	12.67b	63.24a	50.14a	49.22ab	99.36a
sign		*	***	**	***	***	*	***
dose×var		0.72	0.12	0.51	0.24	0.41	0.28	0.55
sign		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Site*dose		NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Site*var		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

THS : Très Hautement Significatif (***), HS : Hautement Significatif (**), S : Significatif (*), NS : Non Significatif, var : variété, MST (kg/ha) : Matière Sèche Totale (kilogramme à l'hectare), MSE : Matière Sèche Epi, MSP: Matière Sèche Paille, D-Mont : Début-Montaison, sign : signification. (a, b, c) : les groupes homogènes.

a) *Effet du facteur site sur la dynamique d'accumulation de la MST des trois variétés :-*

Le **tableau10** montre un effet facteur site (***) pour la MST D-Mont, la MSP et MST maturité et la MSE floraison, alors qu'il est (**) pour la MST floraison et MSE maturité et NS pour la MSP floraison.

En effet, l'analyse des moyennes des différents paramètres (MST, MSP, MSE) montre qu'à maturité, l'accumulation de la matière sèche paille et totale est plus élevée au site D-N (50,95^a qx/ha MSP et 97,70^a qx/ha MST) que le site ITGC (34,72^b qx/ha MSP et 87,12^b qx/ha MST), alors que la matière sèche épi est plus élevée au site ITGC (52,40^a qx/ha) qu'au site D-N (46,74^b qx/ha). Par contre au début du cycle (D-Mont) le site ITGC enregistre une accumulation de la MST plus élevée (15,26^a qx/ha) que celle de D-N (11,08^b qx/ha), la même chose pour la MSE à floraison ; le site D-N enregistre une production de (15,76^a qx/ha) MSE alors qu'au niveau du site ITGC la production était de (12,65^b qx/ha). L'effet significatif du site sur le paramètre MSE floraison et non significatif sur la MSP indique l'effet des conditions du milieu sur les composantes du rendement à ce stade (nombre d'épillet et la fertilité de l'épi).

Ces résultats expliquent que la variation des conditions environnementales de chaque site enregistre des différences de production d'un site à un autre et que le froid et l'altitude favorise l'accumulation de la MSP (site DN).

b) *Effet du facteur dose sur la dynamique d'accumulation de la MST des trois variétés :-*

Le **tableau10** montre un effet facteur dose (***) sur tous les paramètres étudiés. En effet, une évolution de l'accumulation de la MST, MSP et MSE au stade D-Mont et floraison est marquée avec les doses les plus élevées en les comparant au témoin. Au stade maturité, la dose N2=100UN/ha enregistre une production de MSE plus élevée (51.93^a qx/ha) par rapport aux autres doses et en comparaison avec le témoin, alors que la MSP, la meilleure production (47.00^aqx/ha) est enregistré avec la dose N3=150UN/ha. Pour la MST la production la plus élevée est enregistrée avec les dernières doses N4, N5 et N6. Si on observe la production avec la dose N3 et celle des doses N4, N5 et N6 **tableau10** nous constatons que la différence de production est très faible (10qx), cette différence n'est pas proportionnelle aux quantités élevées d'engrais apporté **tableau6**, c'est une perte de l'engrais.

c) *Effet du facteur variété sur la dynamique d'accumulation de la MST des trois variétés :-*

Le **tableau10** montre différentes états de signification du facteur variété sur tous les paramètres de la MS produite. Un effet (*) est enregistré sur la MST (D-Mont) et sur la MSE maturité, alors qu'un

effet (**) est enregistré sur la MSE floraison par contre un effet (***) est enregistré sur la MSP et MST floraison et maturité.

En effet, à maturité l'accumulation de la MST par les trois variétés montre que les variétés MBB et Bousselam accumulent respectivement plus de MST (99.36^a qx/ha, 95.48^a qx/ha) d'une différence non significative. Alors que Waha, sa production en MST est (82.39^b qx/ha). Pour la production de la MSE le **tableau10** montre que la variété Bousselam enregistre une production de (52.87^a qx/ha) que la variété Waha dont la production était de (46.62^b qx/ha), la production de la variété MBB (49.22^{ab} qx/ha) paraît intermédiaire entre les deux autres variétés. Pour la production de la MSP, la variété MBB a enregistré la meilleure production de 50.14^a qx/ha, suivi de Bousselam avec 42.60^bqx/ha, puis de Waha 35.76^c qx/ha.

d) Effet interaction entre les trois facteurs sur la dynamique d'accumulation de la MST des trois variétés :-

Aucune interaction n'est enregistrée entre les trois facteurs (site, dose et variété) sur tous les paramètres du **tableau10** sauf un effet (**) est enregistré par l'interaction site*dose sur le paramètre MSP maturité. En effet la **figure16** illustre une comparaison de production de la MSP avec la croissance des doses d'azote au niveau des deux sites, elle est plus marquée au site DN. La dose N4 enregistre la production la plus élevée (61,44qx/ha). Au niveau du site ITGC, il ya une fluctuation de production, la plus élevée est enregistrée avec la dose N5 (41,16qx/ha) mais avec la dose N4 la production est de (36,56qx/ha) presque la moitié de celle produite au site DN. Nous pouvons dire que l'altitude et le froid ont favorisé la production en paille.

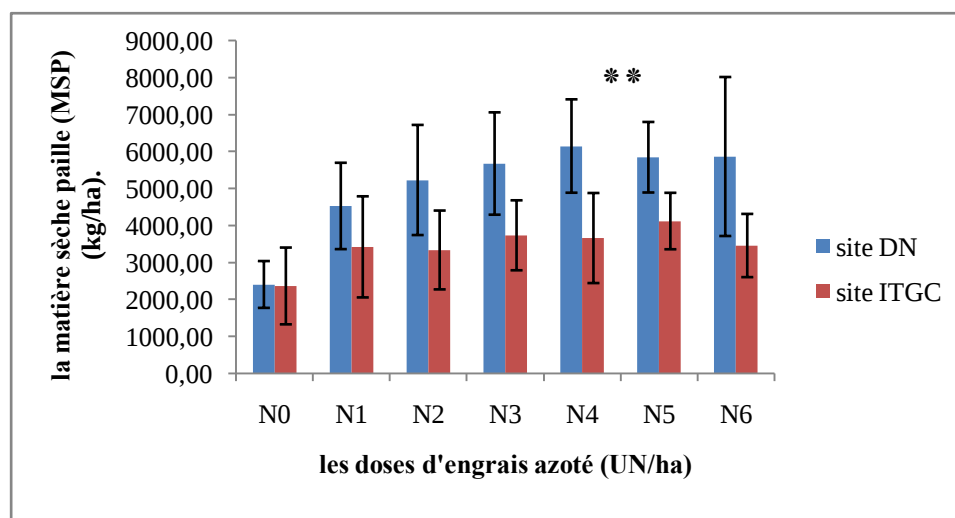


Figure13: Comparaison des deux sites pour la production de la MSP (valeurs moyennes) maturité en fonction des doses d'azote.

-Comparaison des trois variétés pour la production de la matière sèche paille (MSP, kg/ha) au niveau des deux sites :-

La matière sèche paille constitue la deuxième production de la céréaliculture après le rendement MSG, elle constitue une alimentation appréciable du cheptel ovin et caprin des agriculteurs propriétaires de ces terres au niveau de ces régions.

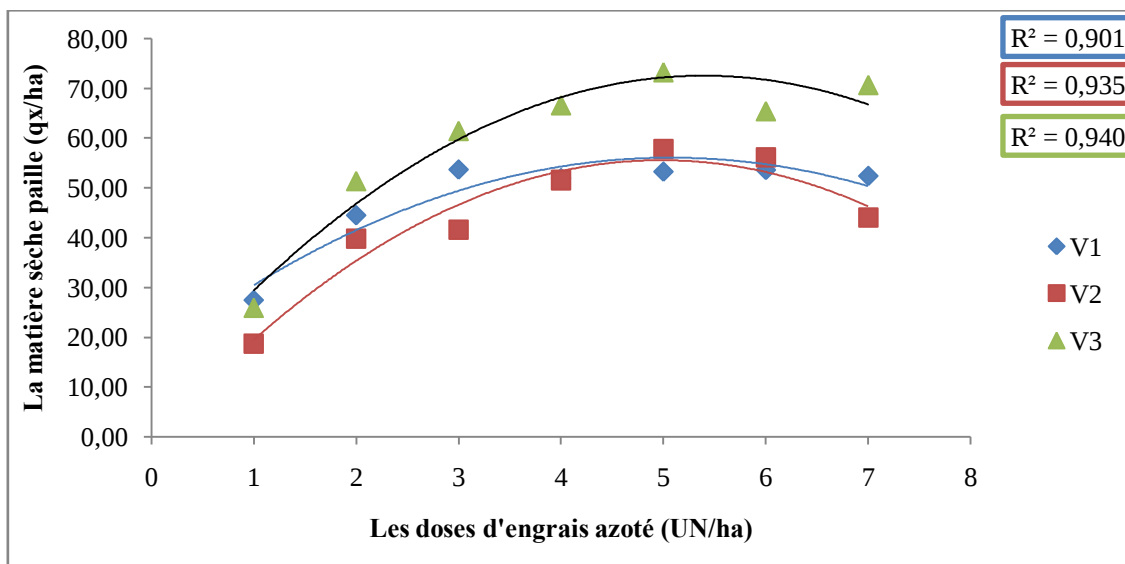


Figure14: Comparaison des trois variétés pour la production de la MSP en fonction de la croissance des doses d'azote (site DN).

Pour le site DN, la **figure17**, illustre une augmentation de la production de la MSP qui progresse au fur et à mesure la croissance des doses d'N en partant du témoin jusqu'à la dose N4 pour les trois variétés, elle diminue avec les doses N5 et N6. La dose N4 enregistre la production de MSP la plus élevée pour les trois variétés avec V3= 73,28qx/ha, V2= 57,78qx/ha et V 1= 53,27qx/ha.

Pour le site ITGC, **figure18**, illustre un rythme faible d'augmentation de la production de la MSP pour les trois variétés. En effet, en comparaison avec le site DN la production avec la dose N4 enregistre pour V1=39,16qx/ha, V2=27,51qx/ha et V3=43,02qx/ha.

La V3 enregistre la production en MSP la plus au niveau des deux sites et pour toutes les doses sauf pour la dose N1 la V1 enregistre une production de 43,98qx/ha plus élevée que V3 et V2 au site ITGC.

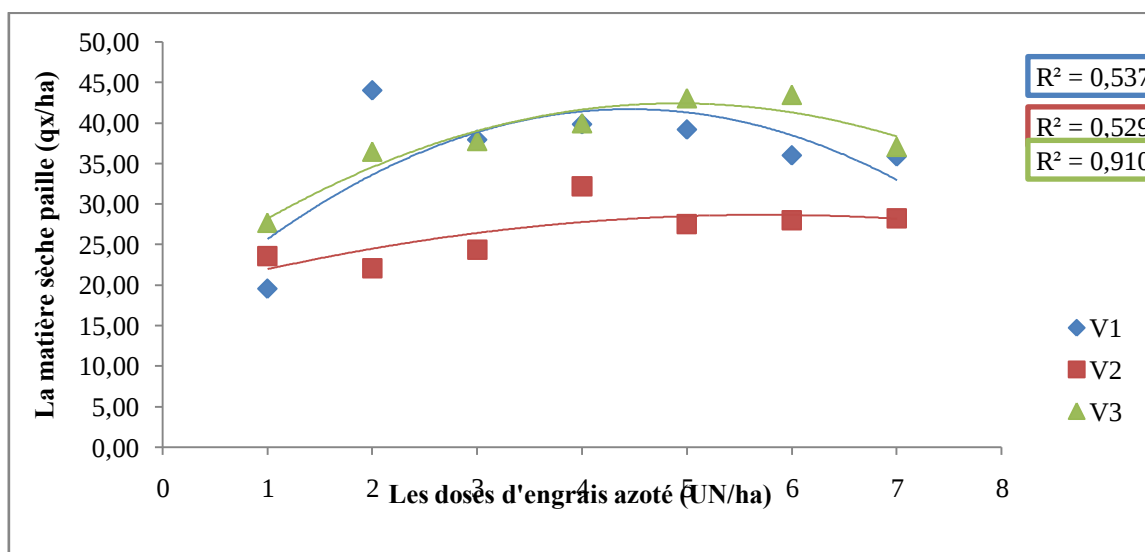


Figure15: Comparaison des trois variétés pour la production de la MSP en fonction de la croissance des doses d'azote (site ITGC).

L'intervalle de production de la MSP pour les trois variétés et pour toutes les doses au niveau du site ITGC, il est supérieur à 20qx/ha mais inférieur à 45qx/ha. Pour le site DN la production est supérieure à 40qx/ha mais inférieur à 75qx/ha. Nous constatons une différence importante pour la production de la MSP entre les deux sites et que les conditions environnementales jouent un rôle très important sur le niveau de production des trois variétés.

III-1-2- Effet de la fertilisation azotée sur le rendement MSG et ses composantes :

Le rendement en grains constitue la cible principale des programmes d'amélioration variétale. Il résulte de la contribution de divers paramètres fixés tout au long de la mise en place des différents stades du cycle de développement dont les principales composantes sont le nombre de grains par m² et le poids moyen d'un grain (Sebillotte 1980).

1. Effet de la fertilisation azotée sur l'accumulation de la MSG au niveau des deux sites :

Le stockage maximal des réserves (amidon et protéines) dans les cellules du grain s'effectue au moment où la quantité d'eau dans le grain est stable. Lorsque toutes les cellules du grain ont atteint leur poids final, le grain atteint sa taille définitive (maturité physiologique, qui traduit l'arrêt de la croissance en matière sèche du grain). La maturité récolte s'effectue lorsque la teneur du grain en eau avoisine 15% (Gate 1995).

Le rendement MSG produit par les trois variétés de blé dur **tableau11** au niveau des deux sites montre qu'en général les rendements sont très faibles par rapport aux quantités élevées d'N apportées par chaque dose.

Tableau11: Valeurs moyennes du rendement MSG des trois variétés de blé dur en fonction des doses croissantes d'N au niveau des deux sites (DN et ITGC).

site DN		MSG (qx/ha)		
dose d'N	V1	V2	V3	
N0	23,21	21,35	21,30	
N1	29,28	27,53	27,31	
N2	25,10	31,37	31,49	
N3	23,37	18,69	23,10	
N4	27,95	26,76	30,00	
N5	30,27	24,44	27,66	
N6	29,41	34,35	29,17	
site ITGC		MSG (qx/ha)		
dose d'N	V1	V2	V3	
N0	22,79	24,58	22,95	
N1	40,11	27,57	31,78	
N2	41,39	31,60	33,86	
N3	45,12	36,14	35,64	
N4	48,93	36,41	40,41	
N5	39,07	33,66	39,81	
N6	43,88	35,83	35,00	

Pour le site DN, le **tableau11** montre que le témoin identifie une production MSG ne dépassant pas les 24qx/ha pour les trois variétés, alors que les parcelles fertilisées montrent une légère augmentation du RMSG par rapport au témoin **figure19** mais elle est négligeable par rapport aux quantités d'engrais apporté. Le RMSG le plus élevé et identifié par la V3=31,49qx/ha et la V2=31,37qx/ha avec la dose N2=145kgd'N/ha d'un écart de 10qx/ha avec le témoin. Si on se réfère à la quantité d'N nécessaire pour produire un quintal de grain qui est de 3kg d'N/1q de grain (Gate 1995), la production sera plus de 40qx/ha. Ce qui nous amène à conclure que l'apport d'N à des doses élevées sur un sol déjà pourvu en cet élément n'influe pas positivement la production en MSG.

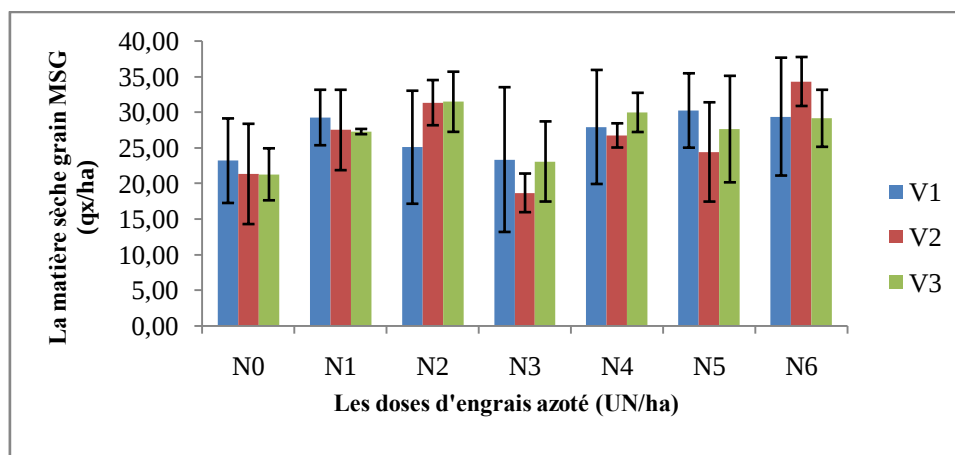


Figure16: Comparaison des trois variétés pour l'accumulation de la MSG (site DN).

Pour le site ITGC, le **tableau11** montre aussi que le sol est bien pourvu en N justifié par la production du témoin des trois variétés qui est plus de 20qx/ha et ne dépassant pas les 25qx/ha. Pour les parcelles fertilisées, il ya une certaine influence de l'apport d'azote sur l'augmentation du RMSG surtout avec la dose N1sur la V1. Alors que pour les autres doses, il ya une légère augmentation du RMSG mais elle est négligeable par rapport aux quantités élevées d'N apportées. La **figure20** montre que le RMSG pour V1 ainsi que pour V2 etV3 augmente au fur et à mesure la croissance des doses d'N mais L'écart de production en passant d'une dose à une autre n'est que 2à 3qx/ha au lieu d'être de plusieurs dizaines de quintaux de grain.

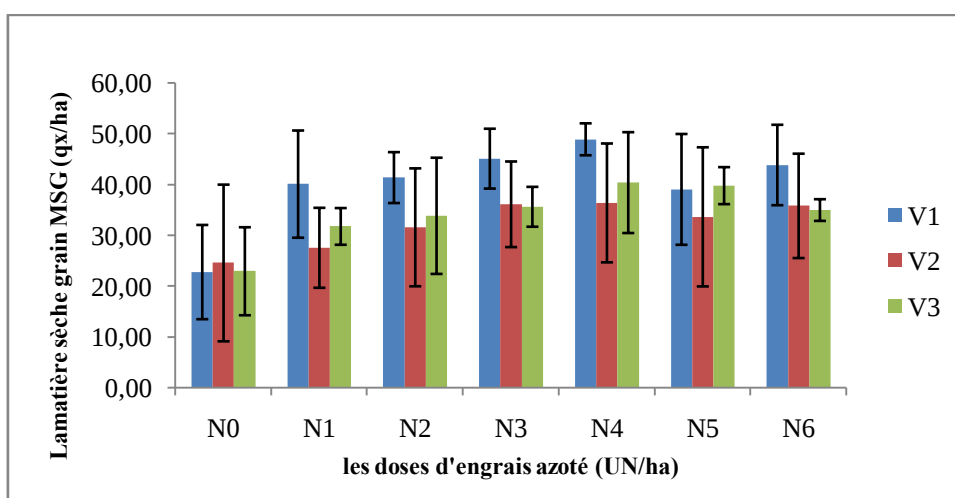


Figure17: Comparaison des trois variétés pour l'accumulation de la MSG (site ITGC).

De ces résultats on peut conclure qu'il n'y a pas de proportionnalité entre la production MSG et les doses d'N apportées. L'apport d'N en quantité élevée influe négativement ou inversement sur le rendement MSG et que les faibles doses peuvent avoir un impact positif. Connaître le précédent cultural des parcelles cultivées ainsi que l'analyse du sol pourraient nous éviter l'apport aléatoire des quantités d'engrais non avantageuses.

2. Effet des trois facteurs site, dose, variété et leurs interactions sur le rendement MSG et ses composantes :

Globalement, le fractionnement de la fertilisation azotée ainsi que l'apport de cet élément (N) sous différents doses croissantes jusqu'à N6=300UN/ha a amélioré relativement la production de la biomasse aérienne que le rendement et ses composantes.

Tableau12: Valeurs moyennes du rendement MSG (kg/ha) et ses composantes et l'IH% sous l'effet des facteurs (site, dose et variété).

Effet moyen		NE/m2	NG/E	NG/m2	PMG (g)	MSG (qx/ha)	IH (%)
site	dehal	416.03a	22.89a	9269.86a	30.25b	27.02b	28.90b
	ITGC	357.34b	23.46a	8116.05b	43.99a	35.54a	40.97a
signification		***	NS	***	***	***	***
dose	N0	262.50d	21.78b	5386.09d	42.25a	22.69c	39.31a
	N1	373.33c	22.06b	8071.45c	38.64b	30.59b	35.66b
	N2	381.38bc	25.22a	9092.64abc	36.93bc	32.46ab	35.69b
	N3	371.80c	24.35ab	8765.24bc	35.36cd	31.09ab	32.83cd
	N4	425.55ab	24.07ab	9932.85a	36.25cd	35.07a	34.26cb
	N5	450.97a	21.63b	9437.18ab	35.06d	32.48ab	31.30d
	N6	441.25a	23.12ab	10165.24a	35.33cd	34.60ab	35.46cb
signification		***	NS	***	***	***	***
variété	V1	389.28a	22.56b	8628.43a	40.67a	33.88a	35.93a
	V2	412.97a	22.17b	8776.55a	34.74c	29.30b	37.08a
	V3	357.79b	24.80a	8673.89a	35.94b	30.67b	31.78b
signification		**	*	NS	***	**	***
Dose*variété		NS	*	NS	NS	NS	*
Site*dose		*	NS	NS	***	*	***
Site*variété		NS	NS	**	***	*	NS

NE/m2 : Nombre d'Epi par mètre carré, NG/E : Nombre de Grain par Epi, NG/m2 : Nombre de Grain par m2, PMG : Poids de Mille Grains (g), MSG : Matière sèche Grain (kg/ha), IH : Index Harvest ou (IR) Indice de Récolte(%).

(1) Effet du facteur site sur le rendement et ses composantes :

Le **tableau12** représentant les valeurs moyennes de la MSG et ses composantes et l'IH% après analyse de la variance, montre un effet facteur site (***) sur tous les paramètres sauf un effet NS sur le NG/E.

En effet le site D-N enregistre un meilleur NE/m² (416.03^a) et NG/m² (9269.86^a) par rapport au site ITGC avec respectivement un NE/m² (357.34^b) et NG/m² (8116.05^b), alors que pour le PMG (g) et la MSG (qx/ha) le site ITGC enregistre les meilleures moyennes avec respectivement (43.99^a g) et (35.54^aqx/ha) contre (30.25^bg) et (27.02^bqx/ha) à D-N. la faiblesse du PMG au niveau du site DN revient, en plus des effets de l'environnement (Benbalkacem et al., 2000), au phénomène de compensation entre ce paramètre et le NG/m² qui varie selon les variétés (Fossati 1995), et à la relation inverse entre le PMG et le NE/m² prouvé par Mossedeq et smith (1994), qui ont montré qu'un apport tardif d'azote augmente le nombre d'épis/m² mais réduit le poids de 1000 grains.

(2) Effet du facteur dose sur le rendement en grains et ses composantes :

Le **tableau12** montre un effet (***) de ce facteur sur le rendement et ses composantes sauf un effet NS sur le NG/E.

En effet, la production du NE/m² et le NG/m² est proportionnelle à la croissance des doses d'N, le meilleur NE/m² est marqué avec la dose N5 (450.97^a) et celui du NG/m² est enregistré avec la dose N4 (9932.85^a) en comparaison avec le témoin N0 qui enregistre le faible NE/m² (262.50^d) et NG/m² (5386.09^d). Pour le NG/E, la dose N2 identifie le meilleur NG/E (25.22^a) par rapport aux autres doses et en comparaison avec le témoin N0 qui enregistre un NG/E (21.78^b) qui est d'une différence NS avec les autres doses. Pour le PMG, la dose d'N influe inversement sur ce paramètre c'est-à-dire qu'au fur et à mesure il ya croissance des doses d'N au fur et à mesure il ya diminution du PMG. Le témoin N0 enregistre le meilleur PMG (42.25^ag) en comparaison avec la croissance des doses d'N alors que la dose N1 enregistre le meilleur PMG (38.64^bg) par rapport aux autres doses.

Pour le rendement MSG, il ya une légère augmentation avec la croissance des doses d'N, mais il n ya pas de proportionnalité entre le RMSG et les doses d'N apportées. Mieux accepter le rendement de la dose N1 (30.59^b qx/ha) dont l'apport d'N =73kg/ha ou celui de N2 (32.46^{ab}qx/ha) dont l'apport d'N =145kg/ha et dont l'écart de production en MSG avec le témoin est de 8 à 10qx/ha cela est beaucoup mieux d'apporter une dose N4= 290kg d'N pour une production de 35.07^aqx/ha d'un écart de production de 13qx/ha seulement avec le témoin N0=22.69^c qx/ha. On se référant à la quantité d'N nécessaire pour produire 1quintal de grain qui est de 3kg d'N/q de grain (Gate 1995) nous trouvons que N4=290kg d'N produit plus de 90qx de grain.

(3) Effet du facteur variété sur le rendement et ses composantes :

Le **tableau12**, montre un effet du facteur variété NS sur le NG/m², (*) sur le NG/E, (**) sur le NE/m² et la MSG et (***) sur le PMG.

En effet, pour le MSG, la variété Boussem (V1) enregistre un meilleur MSG avec (33.88^aqx/ha) suivit de MBB (30.67^bqx/ha) puis de Waha (29.30^bqx/ha) mais d'une différence non significative entre ces deux variétés. Pour le PMG, la variété V1 identifie un meilleur PMG (40.67^ag) suivit de V3 (35.94^bg) puis de V2 (34.74^cg). Pour le NG/E, la variété MBB enregistre le meilleur NG/E (24.80^a) puis de Boussem (22.56^b) et enfin de Waha (22.17^b) mais d'une différence non significative entre ces deux variétés.

La variété Boussem (V1) montre des capacités de production plus que MBB (V3) et Waha (V2).

(4) Effet interaction des trois facteurs (site, dose et variété) sur le rendement et ses composantes:

a) Effet interaction dose*variété :

Le **tableau12** montre que cette interaction a un effet NS sur le MSG et toutes ses composantes sauf un effet (*) sur la composante NG/E et l'IH%.

La (**figure 21**) montre que les doses élevées d'azote n'influence pas positivement le NG/E. La dose N2=100UN/ha=145kgd'N/ha c'est la dose qui donne le meilleur NG/E pour les variétés V2 (29) et V3 (27) alors que la dose N1 donne le meilleur NG/E pour la variété V1(23) en comparaison avec le témoin. Le classement des variétés pour le NG/E en fonction des doses d'azote c'est V2 suivit de V3 puis de V1.

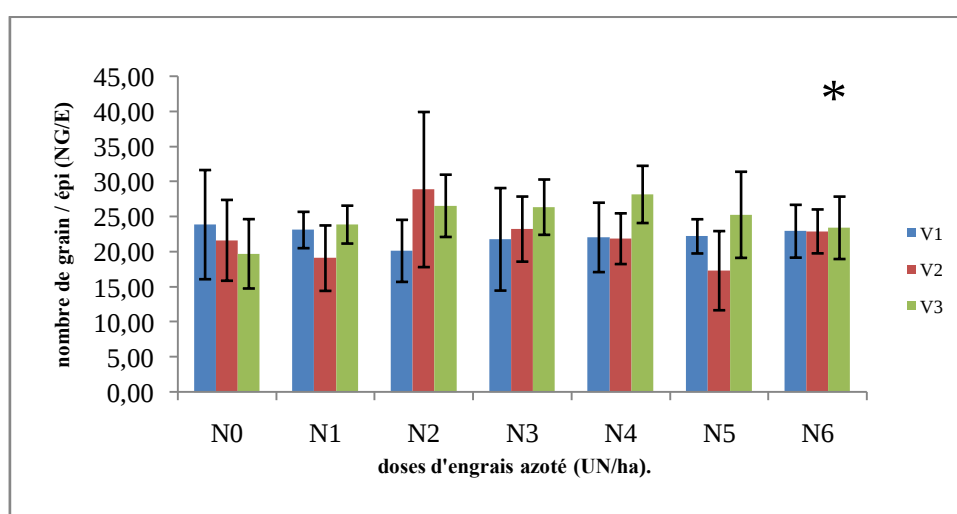


Figure18: Comparaison des trois variétés pour le Nombre de Grain /Epi (valeurs moyennes) en fonction des doses croissantes d'engrais azoté.

Pour l'Indice de Récolte (IR% ou IH%), la **figure22** montre que les doses élevées d'azote n'influence pas positivement l'IH%. Le témoin N0 enregistre le meilleur IH% pour les trois variétés en comparaison avec la fertilisation. La variété Waha extériorise un IR (IH) le plus élevé par rapport à V1 et V3 soit avec la dose N1 ou N2, il est de 38,12% avec la dose N1 et il passe à 41,23% avec N2. Pour la variété Bousselam, l'IH avec N1= 36,34% mais avec N2 il est de 32,22% pour la variété MBB l'indice de récolte avec N1= 32,54% et passe avec N2=32,63%.

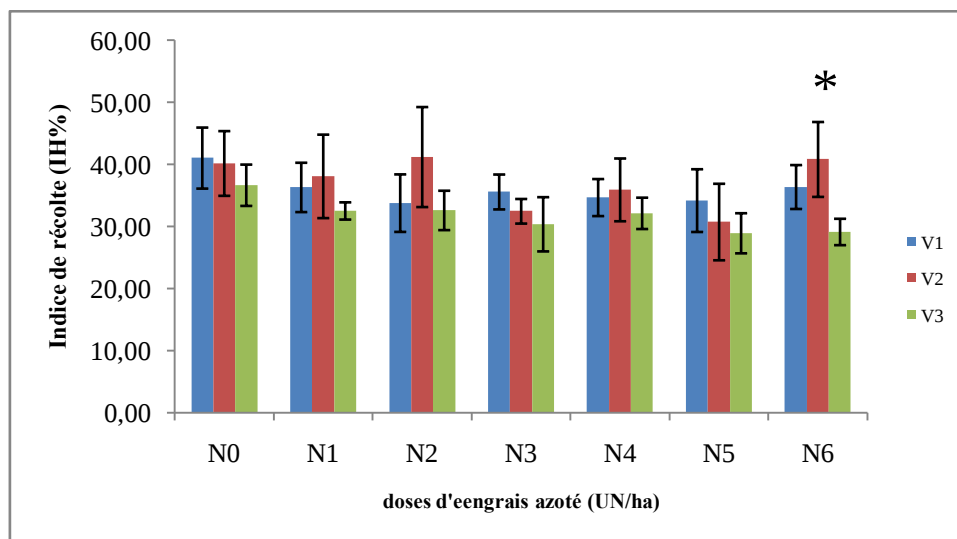


Figure19: Comparaison des trois variétés pour l'indice de récolte (valeurs moyennes) en % en fonction des doses d'engrais azoté (UN/ha).

b) effet interaction site*dose :

Le **tableau12** montre ; un effet NS de cette interaction sur le NG/E et sur le NG/m², un effet (*) sur le NE/m² et sur la MSG, et un effet (***) sur le PMG et sur l'IH.

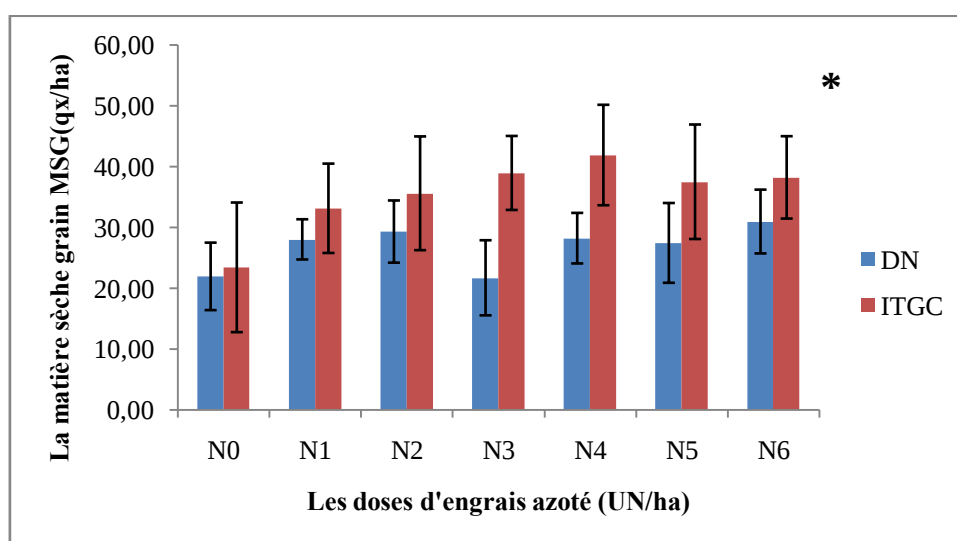


Figure20: Comparaison du Rendement MSG (kg/ha) en fonction des doses croissantes d'azote au niveau des deux sites.

En effet la **figure 23** montre une comparaison de la MSG en fonction des doses d’N pour les deux sites. La croissance des doses d’N influe positivement la production de la MSG pour les deux sites en comparaison avec le témoin N0, elle est plus élevée au niveau du site ITGC qu’au site D-N. toutes les doses donnent le meilleur RMSG au site ITGC qu’au site D-N. la plus petite dose et la plus favorable pour une production de MSG pour les deux sites est la N2=100UN/ha.

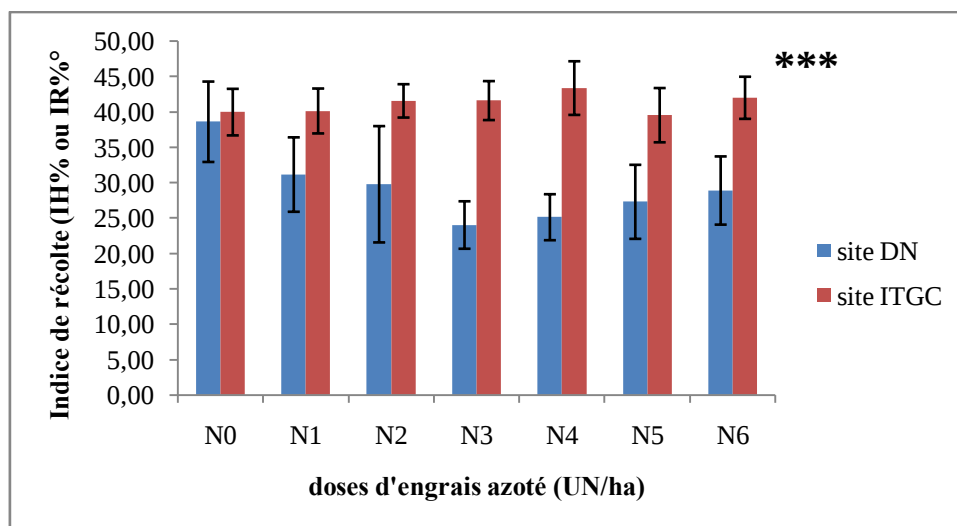


Figure21: Comparaison des indices de récolte pour les deux sites en fonction des doses d’N (UN/ha).

Pour l’IH%, il est plus élevé au niveau du site ITGC pour toutes les doses même le témoin en comparaison avec le site DN **figure 24**. En effet, l’évolution de l’IH% au site ITGC et proportionnelle à l’évolution des doses d’N. Il est de 40,16% avec la N1 passe à 41,59% avec la N2 puis évolue avec la N3 et N4 puis diminue avec la N5, alors qu’au site DN, l’IH% est plus élevé pour le témoin et il chute au fur et à mesure la croissance des doses d’N, le plus élevé est enregistré avec la dose N1= 31,17%. Ce qui identifie que la variation des conditions environnementales entre les deux sites influe négativement sur le paramètre IH. Austin et al. (1980) ont estimé que le maximum théorique possible de l’IH des variétés du blé se situe à environ 62%.

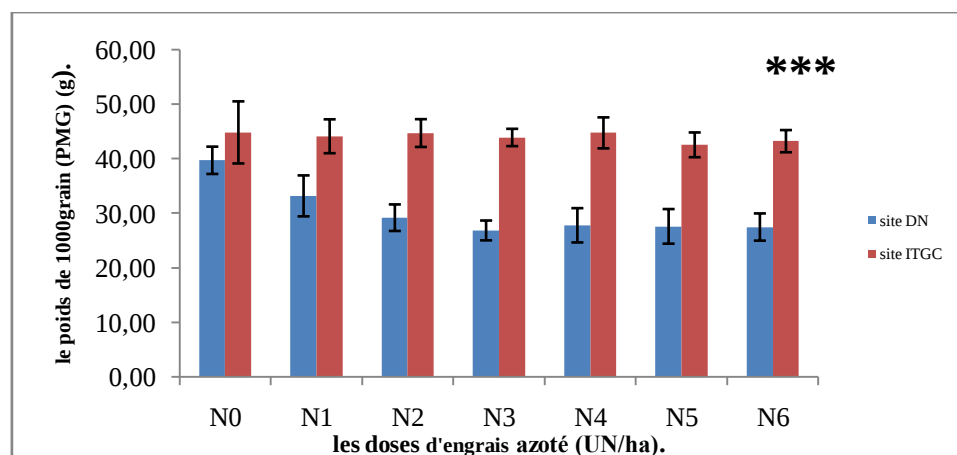


Figure22: Comparaison du poids de 1000 grains pour les deux sites en fonction des doses d’N (UN/ha).

Pour le PMG(g) **figure25**, le site ITGC identifie un PMG plus élevé avec toutes les doses d’N même avec le témoin en le comparant au site DN. En effet, le PMG au site ITGC évolue proportionnellement avec la croissance des doses d’N sauf pour les doses N5et N6, au contraire du site DN ou le PMG est plus élevé au témoin mais il est inversement proportionnel à la croissance des doses d’N. Les effets de l’environnement (froid et basse température) du site DN en un impact négatif sur l’IH%.

c) effet interaction site*variété :

Le **tableau12** montre ; un effet NS de cette interaction sur le NE/m2, sur le NG/E et sur l’IH, un effet (*) est enregistré sur la MSG, un effet (**) sur le NG/m2 et un effet (***) est enregistré sur le PMG.

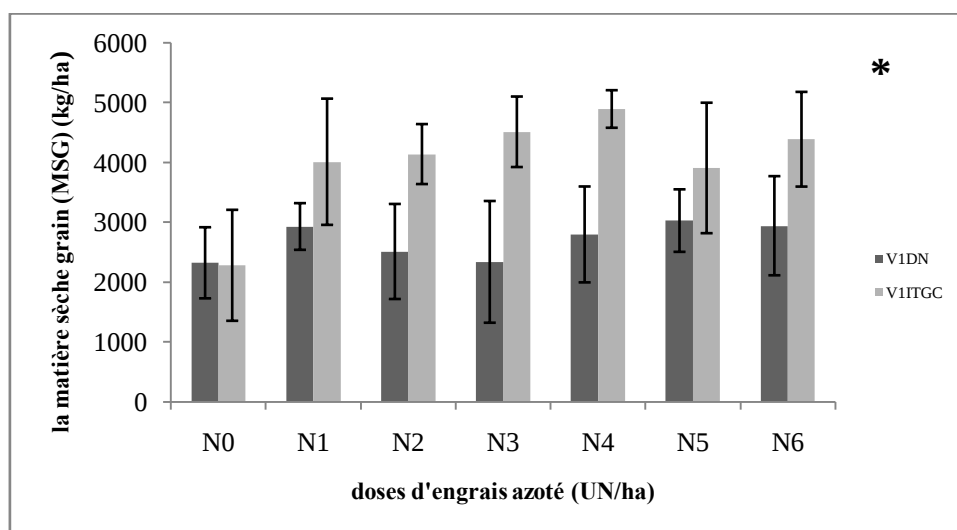


Figure23: MSG (kg/ha) produite par la variété V1 (Bousselam) au niveau des deux sites.

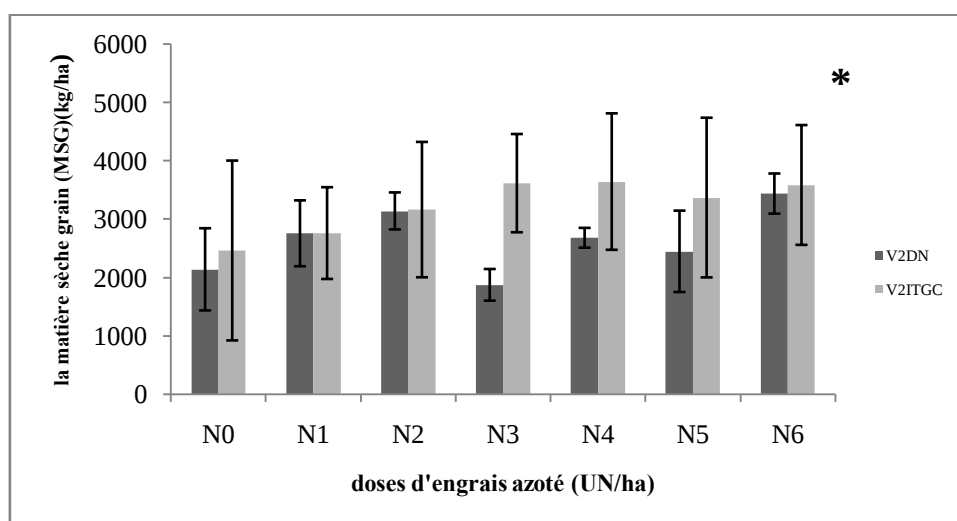


Figure24: MSG (kg/ha) produite par la variété V2 (Waha) au niveau des deux sites.

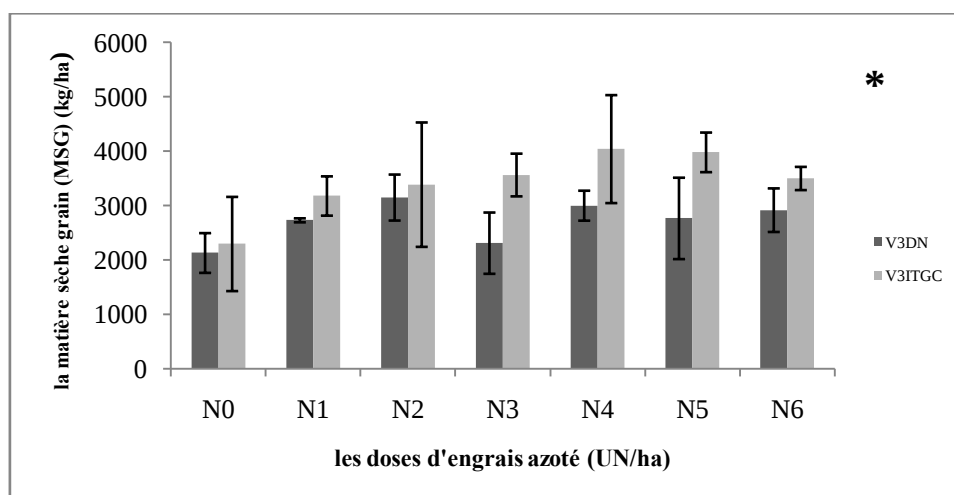


Figure25: MSG (kg/ha) produite par la variété V3 (MBB) au niveau des deux sites.

Les (**figures26, 27 et 28**) montrent que les doses d’N ont amélioré la production de la MSG pour les trois variétés en comparaison avec le témoin, dans les deux sites. La production de la MSG paraît plus favorable au site ITGC qu’au site D-N.

Au niveau des deux sites et pour les trois variétés, le témoin à identifier un RMSG supérieur à 20qx/ha ce qui est équivalent à la production par l’apport de la dose N1=73kgd’N/ha (toujours en se référant au 3kg d’N pour produire un quintal de grain) (Gate 1995). Alors que l’apport de N1 n’a donné que 29qx/ha pour V1 au site DN d’une différence avec le témoin de 9qx/ha par contre au site ITGC, V1 a presque traduit la dose apportée N1 par un RMSG= 40qx/ha d’une différence avec le témoin de 18qx/ha. C’est le rendement le plus élevé par rapport aux autres doses. Pour V2 et V3 l’apport des doses croissantes d’N augmentent légèrement le RMSG au niveau des deux sites surtout au site DN. Cette augmentation est négligeable par rapport aux quantités très élevées d’N apportées. On observant le témoin des deux sites pour les trois variétés, il est plus de 20qx/ha et ne dépasse pas les 25qx/ha, cela ne mérite pas d’apporter les doses N1=73kgd’N/ha, N2=145kg d’N/ha, N3=217kgd’N/ha, N4=290kgd’N/ha, N5=362kgd’N/ha et N6=435kgd’N/ha pour produire une différence soit avec le témoin ou entre les doses de seulement de 2 à 3qx ou même jusqu’à 10qx/ha au lieu d’être de plusieurs dizaines de qx de grains.

On peut dire que la richesse du sol en azote identifié par le témoin nous a expliqué que les fortes doses d’N (supérieur à N2) sont non avantageuses pour la production RMSG pour les deux sites. Et que les conditions environnementales du site DN (froid et basses températures) ont accentué la chute du RMSG.

Analyse des corrélations :

On a déterminé les différentes corrélations entre les 6 variables par l'utilisation de la procédure de corrélation (Pearson correlation coefficients, N=84)

Tableau13: Corrélations entre le rendement et ses composantes et l'IH.

	Epi_m2_	NG_m2	PMG	NG_E	MSG (qx/ha)	IH
Epi_m2_	1.00000	0.67384	-0.42631	-0.41492	0.33648	-0.29688
		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
NG_m2		1.00000	-0.43009	0.35660	0.62776	-0.07294
			<.0001	<.0001	<.0001	0.3474
PMG			1.00000	-0.00900	0.40049	0.69662
				0.9078	<.0001	<.0001
NG_E				1.00000	0.32217	0.25559
					<.0001	0.0008
MSG (kg/ha)					1.00000	0.47513
						<.0001
IH%						1.00000

Selon la matrice des corrélations Les performances du rendement MSG sont liés au nombre de grains/m² ($r_{\text{RDT_NG/m}^2}=0,62^{***}$), au nombre d'épi ($r_{\text{RMSG_NE}}=0,33^{***}$), au nombre de grain/épi ($r_{\text{RMSG_NGE}}=0,33^{***}$). La réalisation d'un nombre de grain/m² paraît dépendant surtout des épis ($r_{\text{NGm}^2_NE}=0,67^{***}$) et du nombre de grains /épi ($r_{\text{NGm}^2_NGE}=0,35^{**}$), le NG/m² est affecté négativement par le poids de 1000 grains ($r_{\text{NGm}^2_PMG}= -0,43^{***}$). Le nombre de grains/épi est lié négativement avec le nombre d'épi ($r_{\text{NGE_NE}}=-0,41^{***}$) mais aucune relation identifiée entre le NGE et le PMG. Pour l'indice de récolte, il est positivement corrélé avec le PMG ($r_{\text{IH_PMG}}=0,69^{***}$) et avec la MSG ($r_{\text{IH_MSG}}=0,47^{**}$).

Discussion du résultat :

Parmi les stratégies proposées pour augmenter la production d'une culture de blé est l'augmentation de la masse sèche globale par unité de surface (Shearman et al. 2005). La biomasse sèche résulte de la conversion du rayonnement lors des processus de la photosynthèse. L'ensemble des activités liées à cette dernière est influencé par l'azote. Ainsi, une carence en azote se traduit par une diminution de la biomasse en affectant les phénomènes de conversion du rayonnement, et en particulier la mise en place de la surface foliaire / m² qui elle même dépend de nombreux paramètres tels le nombre de plantes /m², de talles / plantes, de feuilles / par talle, de la surface de chaque feuille (Bélangier et al., 1992; Plénet, 1995) ainsi que du processus de sénescence des feuilles (Olesen Jorgen et al. 2002).

L'effet positif de la fumure azotée sur la dynamique d'accumulation de la biomasse aérienne tout au long du cycle de développement des trois variétés au niveau des deux sites *figures 14 et 15* surtout au début floraison, confirme le rôle bien connu de l'azote dans l'amélioration de la production de la biomasse aérienne chez le blé.

Les travaux de Sieling et al., (2005) sur la croissance et le rendement du blé d'hiver soumis à une série de traitements azotés ou de Sieling et al., (2006) qui traite l'effet de l'azote sur la croissance du colza, du blé et de l'orge en Allemagne, montrent que la biomasse végétative qui constitue le support de la production en grains dépendait étroitement de la nutrition azotée.

L'importance de la conversion du rayonnement en biomasse varie avec les stades phénologiques de la culture (Girard, 1997). Chaque stade a ses propres besoins en azote; ce qui suggère un fractionnement de la fertilisation azotée. Nos résultats prouvent qu'une répartition des besoins en azote pour les trois variétés en 2 apports améliore sensiblement la production de matière sèche aérienne. L'apport d'azote au stade début tallage, suivi par le deuxième apport à l'épi 1cm favorisent la biomasse aérienne via l'augmentation du nombre de tiges herbacées qui montent en épi (Rinaldi, 2004). Le rôle déterminant de l'apport au stade épi 1cm signifie que les besoins en azote du blé sont plus marqués à cette période, comme cela a été rapporté par Corbeels et al., (1998). L'intérêt de mettre à la disposition de la plante une quantité suffisante au stade épi 1cm s'explique par le fait qu'au cours de la période montaison qui débute au stade épi 1cm et prend fin à l'épiaison (avant la floraison), la croissance des jeunes organes nécessite une forte consommation d'azote servant pour une plus grande surface foliaire interceptant plus de lumière (Lemaire et Gastal, 1997; Demotes Mainard et Jeufroy, 2004). L'apport d'azote à l'épi 1cm améliore la production de matière sèche aérienne en diminuant également le taux de régression des talles herbacées (Rinaldi, 2004). Aussi l'avantage de répartir la fumure azotée a également mis en évidence par Limaux, (1999) et Laitiri-Souki et al.,(1992). Ces derniers auteurs ont montré sur la culture du blé dur conduite en zone semi-aride tunisienne, que plus l'engrais azoté est fractionné (surtout aux stades début tallage et début montaison), plus il est mieux valorisé et son grain est plus riche en protéines

Pour notre étude, l'environnement à influencer beaucoup la différence de production de la biomasse aérienne au niveau des deux sites DN et ITGC (région nord et région centre) de l'est Algérien. L'effet interaction site*dose et site*variété indique la forte relation entre la variété et l'environnement (le climat et le type de sol),

Les conditions climatiques (température et pluviométrie) sont les mêmes sur les deux sites, la seule différence c'est l'altitude qui favorise les températures basses et la pente. Du même, l'existence d'une hétérogénéité de la fertilité du sol au niveau d'une même parcelle dans un milieu peut se répartir sur d'autres milieux d'une même région.

Le rendement et sa composante le PMG sont aussi sous l'influence de l'environnement. Benbelkacem and Kellou, (2000) confirme que le PMG est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. En effet, nos résultats montrent que le meilleur PMG (g) est enregistré par Bousselam (40.67^ag), suivi de MBB (35.94^bg) puis de Waha (34.74^cg). Nos résultats montrent qu'il y a une corrélation négative entre le PMG et le NE/m² ($r_{NE_PMG} = -0,42^{***}$). Une relation prouvée par Mossedeq et Smith (1994), qui ont montré qu'un apport tardif d'azote augmente le nombre d'épis/m² mais réduit le poids de 1000 grains. Mais aucune relation n'existe entre le PMG et le NGE. À l'inverse du résultat de Duggan and Fowler, (2006) et celui de Nouar et al. (2010) lors d'une étude suivie au niveau de l'ITGC ont trouvé que le PMG est corrélé au NG/E. Meynard, (1985) a identifié que le grain commence à prendre du poids au début floraison. Mekhlouf et al. (2006) ont confirmé que la variation, d'une année à l'autre, des quantités de pluies reçues, de leurs distributions et du régime des températures hivernales et printanières aboutit à une forte variation des rendements. Il ajoute que, sous conditions pluviales, la durée de remplissage atteint rarement sa durée maximale suite aux effets des stress climatiques qui ne permettent pas au grain d'atteindre son poids potentiel. Le nombre de grains/m² est le produit du NE et le NG/E dont ($r_{NE_NG/E} = -0,41^{***}$), (Bahlouli et al. 2005) notent un effet de compensation négatif entre ses deux composantes sous conditions semi-arides. L'amélioration de l'une de ces composantes, réduit l'autre. Cet effet de compensation est d'autant plus important que ces deux composantes s'élaborent au cours de périodes différentes ; subissent les stress à des intensités différentes. Le rendement MSG est très dépendant du NG/m² ($r_{MSG_NG/m^2} = 0,62^{***}$) ce qui a été identifié par (Fisher and Maurer 1978) que le rendement est étroitement lié au nombre de grains par m² avec différents géotypes et dans différents lieux.

Ainsi les **figures 23, 24 et 25** montrent une différence très claire de production respectivement du RMSG et sa composante le PMG entre les deux régions la région nord (DN) et la région centre (ITGC) et que les **figures 26, 27 et 28** illustrent bien la différence de production des trois variétés entre les deux sites. Dupont and Altenbach (2003) confirment que la température idéale pour le remplissage du grain se situe entre 15-20°C, au-delà, la durée de remplissage sera diminuée. Nos résultats montrent que l'apport de fortes doses d'N au-delà de N2=145kgd'N/ha n'est pas avantageux pour l'augmentation du RMSG des trois variétés et au niveau des deux sites. En effet, au site ITGC, le meilleur rendement RMSG pour les trois variétés est enregistré avec la dose N1 pour Bousselam (40qx/ha) et avec la dose N2 pour MBB (34qx/ha) et Waha (32qx/ha). Pour le site DN, Bousselam enregistre son meilleur RMSG avec la dose N1=29qx/ha, alors que Waha et MBB enregistrent leur meilleur RMSG avec la dose N2 d'une façon que Waha=32qx/ha et MBB=31qx/ha. Barbottin (2004) en suivant une étude sur 20 sites explique la forte interaction qui

existe entre le génotype (G) et l'environnement (E), c'est l'interaction $G \times E$ qui permet d'expliquer que certains génotypes soient plus performants que d'autres pour un type d'environnement donné: certaines variétés présentent une faible variabilité des rendements entre les environnements, alors que d'autres ont des valeurs de rendement beaucoup plus variables,

Pour l'interaction dose*variété, elle est marquée sur les paramètres, NG/E et l'IH%, qui indique l'efficacité de la plante à prélever l'azote du sol et l'efficacité d'utilisation de cet azote pour produire des grains (Moll et al., 1982).

En effet l'interaction dose*variété était positive sur le NG/E et sur l'IH%. La **figure 21** montre la réaction des trois variétés en vers les doses d'N pour la production du NG/E. la dose N2 est plus favorable pour la production d'un NG/E élevé pour la variété Waha (29) et la variété MBB (27) alors que la variété Bousselam produise un nombre de (23) G/E avec la dose N1. Plénet, (1995) a soutenue une hypothèse, il rapporte qu'on rencontre souvent un poids de mille grains élevé pour des nombres de grains faible et c'est ce qui a été identifié par nos résultats. Or, la variété V1 (Bousselam) enregistre un PMG de 40.67^ag avec un NG de (23) alors que V2 (Waha) 34.74^cg avec un NG de (29) et MBB identifie un PMG intermédiaire 35.94^bg avec un NG (27) intermédiaire.

III-2- caractères physiologiques :

Analyse des résultats :

1. Coefficient de l'utilisation apparent de l'azote (C.U.A%) :

Avant de calculer le C.U.A%, il faut connaître les quantités d'N absorbées par les trois variétés et pour chaque dose d'N.

a) Relation entre l'azote de l'engrais apporté et l'azote absorbé :

On observant le **tableau14**, nous constatons qu'il y a une proportionnalité entre les doses apportées et les quantités absorbées totales. C'est-à-dire qu'au fur et à mesure il y a croissance des doses d'azotes apportées au fur et à mesure il y a absorption de cet élément en comparant les trois variétés au témoin. L'absorption des trois variétés pour le témoin montre que le sol est bien pourvu en N, sa concentration est même supérieure à la dose N1. Une réduction d'absorption est enregistrée au niveau de la dose N4 pour V1, au niveau de la dose N3 pour V2 et au niveau des doses N3 et N6 pour V3. Cette réduction est dû soit à la satisfaction du besoin des plantes en cet élément soit à sa présence en quantité insuffisante dans le sol.

Tableau14: L'azote apporté plus le témoin et la quantité d'azote absorbée et l'N des grains pour chaque variété.

L'N apporté (kg/ha)	L'azote absorbé total (kg/ha)			L'azote des grains (kg/ha)		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
N0=00	87,85	65,19	109,41	32,91	21,55	34,57
N1=73	145,55	119,87	155,33	25,72	33,32	33,53
N2= 145	167,36	195,23	273,04	32,62	60,71	81,34
N3=217	187,02	165,95	234,77	51,12	39,94	51,12
N4=290	147,15	211,19	315,95	57,78	19,38	89,96
N5=362	208,82	212,02	234,00	76,35	49,08	66,72
N6=435	252,47	216,05	374,31	62,57	101,67	94,33

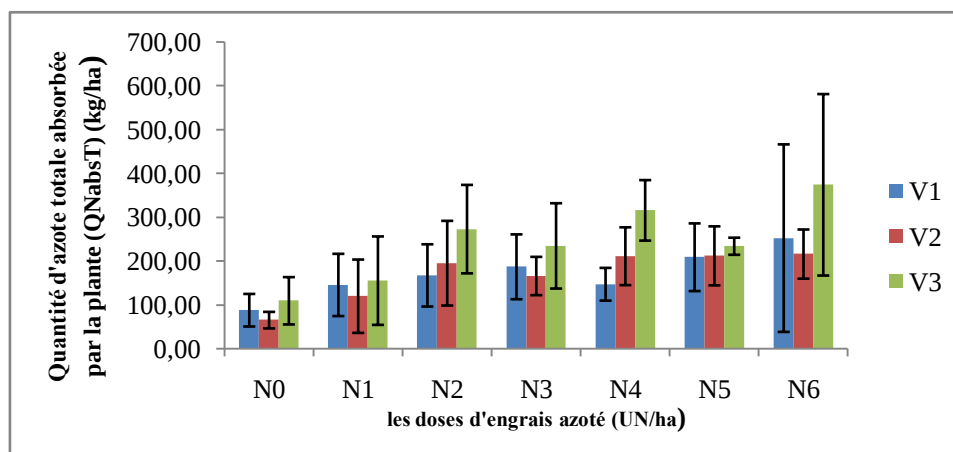


Figure26: Réponse des trois variétés pour la quantité d'azote apportée.

Le taux d'absorption de l'azote de l'engrais par les trois variétés **figure29** est estimé par le Coefficient d'Utilisation Apparent de l'azote de l'engrais exprimé en pourcentage (C.U.A%) .

Tableau 15: Coefficient de l'utilisation apparent (C.U.A%) de l'azote d'engrais des trois variétés en fonction des doses d'azote apportées.

Dose d'azote (UN/ha)	le coefficient d'utilisation apparent de l'azote de l'engrais (C.U.A %)			
	V1	V2	V3	moyenne
N1=50	79,41	75,24	63,20	72,62
N2=100	54,96	89,89	113,11	85,99
N3=150	45,63	46,36	57,68	49,89
N4=200	20,45	50,34	71,22	47,34
N5=250	33,42	40,56	34,42	36,13
N6=300	37,87	34,71	60,94	44,51

Le tableau 15 montre une variabilité du C.U.A% pour les trois variétés par rapport aux différentes doses d'N appliquées, cela pourrai s'expliquer par la fluctuation d'absorption de cet engrais suite à des quantités élevées au niveau du sol ou à sa disparition totale par des processus qui s'effectue dans le sol. En effet, pour V1, le C.U.A% suit une dis proportionnalité par rapport aux doses apportées de N1 jusqu'à N4 ensuite il augmente de nouveau avec la dose N5 et N6. Pour la variété V2, une fluctuation du C.U.A% de la dose N1 jusqu'à la dose N4 puis une dis proportionnalité s'établie de la dose N4 jusqu'à la dose N6. Pour V3, la fluctuation du C.U.A est rythmique ; tantôt il diminue avec une dose tantôt il s'élève avec la dose suivante. Les moyennes du C.U.A% des trois variétés avec chaque traitement **figure30** montrent que le C.U.A% diminue au fur et à mesure la croissance des doses jusqu'à la dose N6 où il s'élève de nouveau.

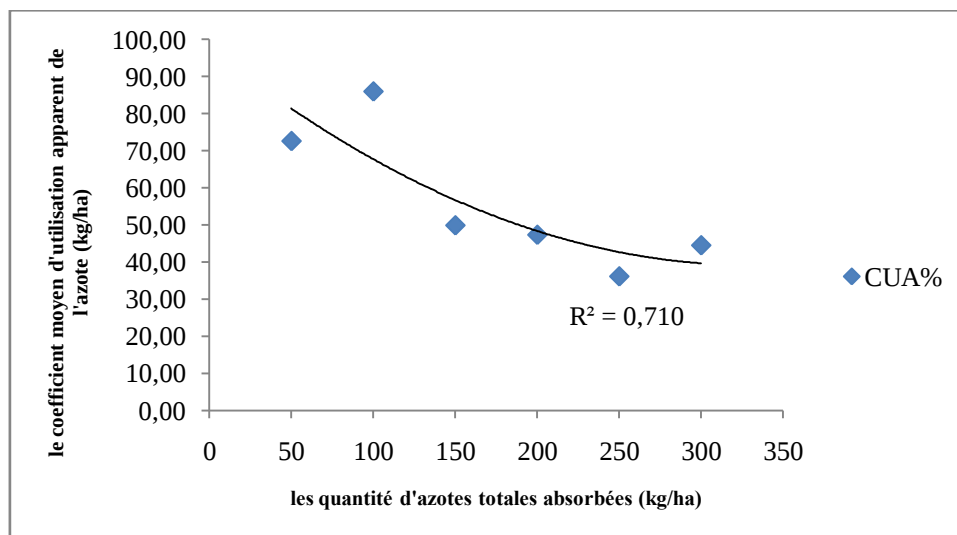


Figure27: Coefficient moyen d'utilisation apparent de l'azote de l'engrais en fonction des doses d'azotes apportées pour les trois variétés.

2. L'efficacité agronomique (NUEA) de l'utilisation de l'azote :

L'efficacité agronomique explique la relation entre le rendement MSG et la quantité d'azote apportée, elle identifie la quantité d'azote de l'engrais que chaque variété pourrait absorber.

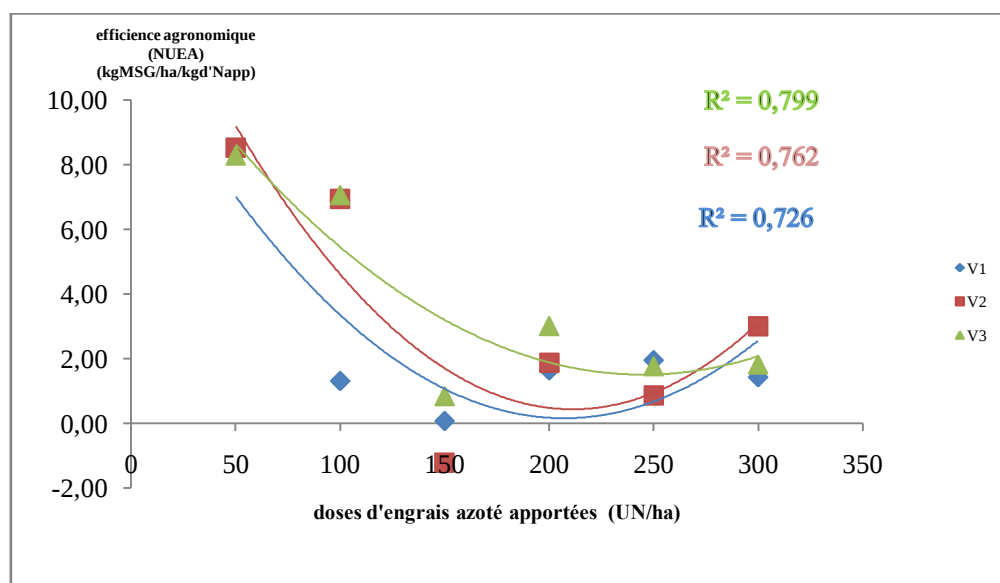


Figure28: Efficacité de l'utilisation agronomique (NUEA) de l'engrais azoté apporté pour les trois variétés.

En effet, la **figure31** montre que l'efficacité agronomique (NUEA) diminue au fur et à mesure la croissance des doses d'azotes pour les trois variétés. Elle est plus élevée avec la dose d'azote N1 et elle est presque similaire pour les trois variétés. Or $NUEA(V1) = 8,36 \text{ kgMSG/ha /kgd'Napp}$, la $NUEA (V2) = 8,51 \text{ kgMSG/ha/kgd'Napp}$ et la $NUEA (V3) = 8,27 \text{ kgMSG/ha/kgd'Napp}$. Elle

diminue légèrement avec la dose **N2** pour V2 et V3, alors qu'elle prend une chute pour V1 d'une façon que $NUEA(V1)=1,31 \text{ kg MSG/ha/kgd'Napp}$ alors que $NUEA(V2)=6,9351 \text{ kgMSG/ha/kgd'Napp}$ et $NUEA(V3)=7,0551 \text{ kgMSG/ha/kgd'Napp}$. Nous pouvons dire que l'efficience NUEA devient meilleure lorsque la quantité d'azote disponible est faible.

a) Relation entre la quantité d'azote totale absorbée et le rendement MSG pour les trois variétés:

Le **tableau16** montre les rendements MSG pour les trois variétés en fonction des quantités d'azote absorbées totales. Les témoins sans apport d'azote aboutissent à des rendements de 23,20qx/ha pour V1, 21,34 qx/ha pour V2 et 21,29 qx/ha pour V3. Pour les autres traitements, les trois variétés répondent positivement à l'azote mais avec une légère différence du RMSG entre les doses et avec le témoin. Les rendements enregistrés paraissent très faible par rapport aux quantités d'azotes absorbées dont le rendement le plus élevé (34,34 qx/ha) est enregistré avec la dose N6 pour la variété V2 (la dose $N6=435 \text{ kgd'N/ha}$ est très élevée pour produire seulement un écart de 12qx/ha avec le témoin). La faiblesse des rendements pourrait être due aux conditions climatiques défavorables de la région nord (froid et basses températures) ou au stress hydrique régnant lors du remplissage du grain.

Tableau16: Rendement MSG des trois variétés et les quantités d'azote absorbées correspondante.

Dose d'N (UN/ha)	Quantités d'N total absorbées (kg/ha)			Rendement MSG (qx/ha)		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
N0	87,85	65,19	109,41	23,20	21,34	21,29
N1	145,55	119,87	155,33	29,28	27,52	27,30
N2	167,36	195,23	273,04	25,10	31,37	31,49
N3	187,02	165,95	234,77	23,36	18,68	23,10
N4	147,15	211,19	315,95	27,95	26,76	29,99
N5	208,82	212,02	234,00	30,26	24,44	27,65
N6	252,47	216,05	374,31	29,40	34,34	29,16

La quantité d'N de l'engrais absorbé et la contribution du sol, ainsi que la différence de production du RMSG entre le rendement pour les différents traitements et le témoin sont présentés dans le tableau suivant (**tableau17**):

Tableau17: Présentation de l'azote absorbé total, le rendement MSG, la différence d'absorption et la différence du rendement entre le témoin N0 et les doses N1 et N2 pour les trois variétés.

	V1	V2	V3
L'NabsT du témoin N0 (kg/ha)	87,85	65,19	109,41
RDT (N0) (Qx/ha)	23,21	21,35	21,30
L'NabsT (doseN1)	145,55	119,87	155,33
RDT(N1) (Qx/ha)	29,28	27,53	27,31
Différence d'absorption entre N0 et N1 (kg/ha)	+57,7	+45,68	+45,92
Différence entre le RDTN0 et le RDTN1 (Qx/ha)	+06,07	+06,18	+06,01
L'NabsT(doseN2) (kg/ha)	167,36	195,23	273,4
RDT(N2) (Qx/ha)	25,10	31,37	31,49
Différence d'absorption entre N0 et N2 (kg/ha)	+79,51	+130,04	+163,99
Différence entre le RDT N0 et RDTN2 (Qx/ha)	+1,89	+10,02	+10,19

RDT : Rendement, Qx/ha : Quintaux/ hectare, l'NabsT : l'azote absorbé Total.

La figure29 qui illustre les quantités d'azote absorbées totales par rapport aux doses apportées, montre une réaction positive des trois variétés pour la fertilisation azotée en comparaison avec le témoin sans fertilisation (N0) dont V1=87,85 kg/ha d'N absorbé, V2=65,19kg/ha et V3=109,41kg/ha avec les rendements MSG : V1=23,21qx/ha, V2=21,35qx/ha et V3=21,30qx/ha. En effet, avec la doseN1:V1=145,55kgNabs/ha, V2=119,87kgNabs/ha et V3=155,33kgNabs/ha avec les rendements MSG enregistrés respectivement: V1=29,28qx/ha, V2=27,53qx/ha etV3=27,31qx/ha par contre avec la dose N2 : les trois variétés ont augmenté leur absorption d'une façon que V1=167,36kgNabs/ha, V2=195,23kgNabs/ha et V3=273,4kgNabs/ha avec les rendements MSG enregistrés avec cette dose : V1=25,10qx/ha, V2=31,37qx/ha et V3=31,49qx /ha.

On a choisi les doses où l'efficacité agronomique de l'utilisation de l'azote (NUEA) paraît élevée.

Le **tableau16** présente la quantité de l'azote de l'engrais absorbée par chaque variété et le rendement correspondant et cela en comparaison avec le témoin.

En effet, la première dose apportée N1=73kg d'N/ha utilisée sur les trois variétés, les quantités d'N absorbées totales après l'apport et à maturité pour les trois variétés sont respectivement : V1=145,55 kgd'N/ha, V2=119,87 kgd'N/ha et V3=155,33 kgd'N/ha. Nous constatons une

variabilité d'absorption entre les trois variétés et que les trois variétés ont absorbé des quantités élevées par rapport à la dose apportée.

On réduit les quantités d'azotes absorbées totales par le témoin pour les trois variétés dont $V1N0=87,85 \text{ kg d'N /ha}$, $V2N0=65,19\text{kgd'N/ha}$ et $V3N0=109,41\text{kgd'N/ha}$, de celles pour le traitement N1 la différence trouvée représente la fraction de l'azote d'engrais absorbée pour chaque variété, elle est pour $V1=+57,7 \text{ kgd'N}$ de l'engrais absorbé/ha, pour $V2=+45,68 \text{ kgd'N}$ de l'engrais absorbé/ha et pour $V3=+45,92\text{kgd'N}$ de l'engrais absorbé/ha. Cela nous laisse à dire que la totalité de l'azote apporté n'est pas assimilé et que la contribution du sol est importante.

Aussi la différence trouvée pour le rendement lorsqu'on réduit le rendement du témoin du rendement obtenu par absorption des quantités d'azote absorbées totales, nous trouvons la part du rendement obtenu par la fraction de l'azote de l'engrais absorbé pour les trois variétés dont $V1=+06,07 \text{ qx/ha}$, $V2=+06,18 \text{ qx/ha}$ et $V3=+06,01 \text{ qx/ha}$. Les rendements en (qx/ha) pour les trois variétés sont similaires par absorption d'une quantité d'azote de l'engrais en (kg/ha) similaire entre V2 et V3 mais légèrement élevé pour V1 d'une façon que $V1=+57,7 \text{ kgd'N}$ de l'engrais absorbé/ha, $V2=+45,68 \text{ kgd'N}$ de l'engrais absorbé/ha et $V3=+45,92\text{kgd'N}$ de l'engrais absorbé/ha.

L'absorption d'une quantité de 57kg d'N de l'engrais pour produire seulement 6qx/ha de grain c'est trop en se référant à une base de 3kgd'N pour produire 1 quintal de grain. La même observation pour la dose $N2=145\text{kg/ha}$, la différence de production RMSG entre les trois variétés et le témoin, elle est pour V2 et V3 de (+ 10 qx/ha) induite par une absorption de presque d'un quintal et demi d'azote, alors que V1 la différence de production est de presque 2qx/ha par l'absorption de plus de la moitié d'un quintal. La différence d'absorption est très élevée pour produire un écart de seulement de 10qx/ha **tableau17**.

La croissance des doses d'N non pas d'impact positif sur l'augmentation du RMSG. La richesse du sol et la faible dose N1 donnent des rendements élevés en les comparants aux fortes doses qui donnent des écarts de quelques quintaux de grains.

La quantité d'azote de l'engrais absorbée et le rendement en grains produit par kilogramme d'azote d'engrais absorbé, identifie la variété la plus efficiente pour l'utilisation de l'azote d'engrais absorbé. En effet, selon le résultat les trois variétés montrent une efficience agronomique (la quantité absorbée de l'N de l'engrais et le rendement correspondant) similaires. La dose d'azote N1 constitue pour les trois variétés la plus petite dose où l'efficience agronomique d'utilisation de l'azote (NUEA) est plus élevée par rapport aux autres doses croissante et dont la réaction des trois variétés est similaire.

3. Efficience de l'utilisation physiologique de l'azote :

Elle représente la quantité de grain produite par unité d'azote absorbée ou bien c'est la quantité d'azote absorbée nécessaire pour produire un quintal de grain. Elle est liée essentiellement aux paramètres propres à la plante cultivée.

Tableau18: Efficience de l'utilisation physiologique de l'azote pour les trois variétés en fonction des quantités d'azote absorbées.

	L'efficience de l'utilisation physiologique de l'N NUEp (Kg d'N abs /q de grain).			
L'N absorbé	V1	V2	V3	moyenne
N1	37,80	9,11	11,24	19, 38
N2	23,69	6,81	13,32	14,69
N3	2,35	-27,00	-0,22	-8,29
N4	4,26	4,31	5,72	4,76
N5	12,58	1,57	6,26	6,78
N6	12,58	10,03	27,77	16,79

Le tableau18 montre une variabilité de l'efficience physiologique de l'utilisation de l'azote pour chaque traitement pour les trois variétés. En effet, pour les trois variétés la NUEp diminue de la dose N1 jusqu'à la dose N3 puis augmente de nouveau de N4 jusqu'à N6. La même observation est identifiée par La moyenne de la NUEp pour les trois variétés et pour les différentes doses, elle montre qu'elle est plus élevée avec les faibles doses N1 et N2 puis chute avec la dose N3 ensuite reprend l'augmentation avec les fortes doses.

On comparant les résultats de NUEp **tableau16** avec les rendements MSG des trois variétés **tableau18**, nous constatons que les rendements les plus élevés sont enregistrés avec les faibles doses et les NUEp les plus élevées. Même si la différence du rendement MSG des trois variétés avec celui du témoin est très faible vis-à-vis les quantités d'N apportées et absorbées ; la NUEp paraît bonne pour les faibles doses. Elle (NUEp) dépend majoritairement de la quantité d'N abs T est des capacités du génotype pour la conversion de ce dernier en grains.

La production de grains en kg produite par un kg d'azote d'engrais absorbé est calculée par une règle de trois pour chaque variété :

pour **V1**: 57,7kg d' N abs de l'engrais → 607kg de grains

1kg d' N → xkg de grains

$$x = \frac{1 \text{ kg d' N} * 607 \text{ kg de grains}}{57,7 \text{ kg d' N}} = 10,51 \text{ kg de grains}$$

Donc 1kg d'N → 10,51kg de grains, alors il faut 10kg d'N pour produire un quintal de grain.

La même méthode est appliquée pour V2 et V3. Nous constatons qu'au fur et à mesure la quantité d'azote absorbée est moins au fur est à mesure le nombre de grains produit augmente, à l'inverse lorsque la quantité d'azote absorbée totale est plus élevée la quantité de grains produits diminue.

Pour V2 : 1kg d'N $\longrightarrow$ 13,52kg de grains, alors il faut 08kg d'N pour produire un quintal de grain.

Pour V3 : 1kg d'N $\longrightarrow$ 13,08kg de grains, alors il faut 08kg d'N pour produire un quintal de grain.

Lorsque nous observant les rendements pour les trois variétés et les quantités d'azote absorbées totales nous constatons que malgré les fortes quantités d'N abs T, le transfert de cet élément vers le grain semble faible, cette faiblesse de transfert pourrai dépendre soit du génotype soit des conditions hydrique lors du remplissage du grain soit des conditions climatiques de température et de lumière qui rends le transfert très lent et cela influence sur le rendement grains. Il faut noter que l'engrais apporté n'est pas du tout absorbé dans sa totalité. Le rendement ne peut dépendre seulement de la fertilisation mais aussi de la contribution du sol qui dépend de la texture du sol et du précédent cultural.

a) Relation entre l'azote absorbé et l'azote des grains :

Cette relation explique la quantité d'azote exporté vers les grains à partir de la quantité d'azote absorbée totale à maturité et qui représente l'indice de récolte pour l'azote, exprimé en pourcentage (NHI%).

Tableau19: Indice de récolte pour l'azote en fonction des doses d'azotes absorbées totales.

Dose d'N (UN/ha)	Indice de récolte azoté (NHI%)			
	V1	V2	V3	moyenne
N1=50	21,74	29,86	20,49	24,03
N2=100	17,89	30,44	27,95	25,42
N3=150	21,34	24,87	19,26	21,82
N4=200	38,94	19,57	28,30	28,94
N5=250	36,91	22,98	27,71	29,20
N6=300	21,38	45,66	25,65	30,90

La même observation est remarquée sur l'NHI%, c'est-à-dire qu'il ya une variabilité de ce paramètre pour chaque traitement azoté pour les trois variétés, mais sa croissance est proportionnelle au rendement grain produit. **Le tableau19**enregistre des indices de récolte faibles c'est-à-dire que les quantités d'azote transférées pour le remplissage du grain sont faibles alors que les quantités absorbées sont élevées. L'indice le plus élevé est enregistré avec la dose N6. Pour les traitements N1 et N2, la variété Waha extériorise un NHI% le plus élevé par rapport à MBB et Bousselam suivit de Bousselam pour le traitement N1 et MBB pour le traitement N2. Les moyennes des trois variétés pour chaque traitement montrent une croissance légère du NHI% avec la

croissance des doses d’N **tableau19**. L’NHI est sous le contrôle des facteurs incontrôlés qui sont les conditions climatiques. Il est en relation directe avec le remplissage du grain dont ce dernier est très dépendant de la pluviométrie en zone semi-arides est du niveau des températures.

4. Effet des facteurs dose et variété sur la NUEA et la NUEp et leurs paramètres :

Après analyse de la variance, les valeurs moyennes des différents paramètres étudiés sont présentées sur les tableaux (20et 21) :

Tableau20: Valeurs moyennes de l’NUEA, NUEp et leurs paramètres sous l’effet du facteur dose.

Effet		RMSG	QNT plte	QNT du G	NUEA	NUEp
dose	N0	2195,02	87,48	29,67	-	-
	N1	2803,88 ^a	140,24 ^c	30,85 ^c	8,37 ^a	17,82 ^a
	N2	2932,16 ^a	211,87 ^{abc}	58,22 ^{abc}	5,09 ^{ab}	14,6 ^a
	N3	2171,91 ^b	195,9 ^{bc}	43,28 ^{bc}	-0,1 ^c	-8,29 ^b
	N4	2823,69 ^a	224,76 ^{ab}	63,51 ^{ab}	2,16 ^{bc}	4,76 ^{ab}
	N5	2745,5 ^a	218,28 ^{abc}	64,05 ^{ab}	1,52 ^{bc}	4,84 ^{ab}
	N6	3097,47 ^a	280,94 ^a	86,18 ^a	2,07 ^{bc}	16,79 ^a
Sign		**	*	*	**	NS

a) Effet du facteur dose d’azote sur les efficacités NUEA et la NUEp et leurs paramètres:

Le **tableau 20** qui présente les valeurs moyennes des différents paramètres étudiés après analyse de la variance montre un effet (**) de ce facteur (dose) sur le RMSG (kg/ha) et sur la NUEA (kg/ha RMSG / kg d’NabsT/ha). Mais un effet (*) de ce facteur est enregistré sur la Qd’N absT plte (la Quantité d’N absorbée totale par la plante) et sur la NG (l’azote du Grain). Alors qu’il est NS sur la NUEp.

Pour le RMSG, il augmente légèrement en passant d’une dose à une autre plus élevée mais la différence d’augmentation est non significative occupant le même groupe (a). En comparant ces rendements avec celui du témoin, nous trouvons qu’il ya une réponse par l’accumulation légère de la MSG. Pour l’efficacité agronomique (NUEA), le facteur dose a un effet (**) sur ce paramètre. La meilleure efficacité est enregistrée avec la dose N1 (8,37^a) suivit de celle de la dose N2 (5,09^{ab}), nous remarquons qu’au fur et à mesure la dose d’N augmente la NUEA diminue. C’est-à-dire qu’au fur et à mesure la quantité d’azote absorbée est faible au fur et à mesure que son efficacité d’utilisation agronomique est meilleure (NUEA).

Pour la QN absT plte (la Quantité d’N absorbée totale par la plante) **tableau20** qui constitue un stock en azote qui sera remobilisé pour le remplissage des grains ; au fur et à mesure il ya remobilisation au fur et à mesure il ya sénescence des parties des plantes jusqu’à la maturité physiologique où les plantes du blé dur deviennent jaunes, le **tableau 20** montre qu’au fur et à mesure il ya croissance de la dose d’azote ; il ya augmentation de l’absorption de cet élément. La quantité d’N totale absorbée par le témoin (87,48 kg/ha), identifie que le sol est bien pourvu en azote et son approvisionnement à dépasser la dose apportée N1 (73kg/ha). Aussi les quantités d’N absorbées ou dosés dans le végétal des trois variétés dépassent les doses apportées. Exemple pour la dose apportée N1 (=73kg/ha), la quantité absorbée est (=140,24^c kg/ha), pour la dose N2 (145 kg/ha), la quantité absorbée (211,87^{abc} kg/ha). Pour les autres doses (N3, N4, N5, N6) les quantités absorbées par les plantes du blé dur des trois variétés sont inférieures à ces doses cela est dû soit à la satisfaction des besoins de la plante et donc elle a cessé d’absorber ou les quantités absorbées sont élevées au niveau des entités de stockage et leur remobilisation vers les grains ne s’effectuent par régulièrement c’est pour ça que l’absorption racinaire à diminuer.

Pour l’N des grains, la quantité transférée du contenu absorbé et stocké dans les entités végétatives pour le remplissage des grains augmente au fur et à mesure l’augmentation de l’absorption, les quantités transférées sont faibles et inférieures à celles absorbées et stockées, elles représentent presque le 1/4 du total absorbé pour chaque traitement apporté. Cette faiblesse de transfert pourrait être due soit aux processus de régulation interne de la plante soit à la sécheresse et les températures élevées.

Tableau21: Valeurs moyennes de l’NUEA, NUEp et leurs paramètres sous l’effet du facteur variété.

Effet		RMSG N	QNT plte	L’N du G	NUEA	NUEp
variété	V1	2756,31 ^a	184,72 ^b	48,97 ^a	2,45 ^a	14,56 ^a
	V2	2718,98 ^a	186,71 ^b	54,58 ^a	3,32 ^a	0,8 ^a
	V3	2812,01 ^a	264,56 ^a	69,49 ^a	3,78 ^a	9,9 ^a
signification		NS	**	NS	NS	NS
Dose*variété		NS	NS	NS	NS	NS

Légende des tableaux 20 et 21 :

- le N représente l’azote des doses de fertilisation, alors que N0 représente le témoin (sans fertilisation).
- RMSGN, RMSGN0 (kg/ha) : Rendement Matière Sèche Grain avec dose d’azote (N) et sans dose d’azote (N0) en kilogramme par hectare.
- QNTplte, QN0Tplte (kg/ha) : la Quantité d’N Totale absorbée par la plante du blé avec dose d’azote (N) et sans dose d’azote (N0).
- NG, N0G (kg/ha) : l’azote (N) des Grains avec dose d’N, l’N des Grains sans dose d’azote (N0),
- NUEA (kg/ha RMSG/kg/ha d’N app) : Efficience Agronomique d’Utilisation d’azote (N),
- NUEp (kg/ha RMSG/ kg/ha QN absT) : Efficience Physiologique d’Utilisation de l’azote (N),

b) Effet du facteur variété sur la NUEA, la NUEp et leurs paramètres :

Aucun effet significatif de ce facteur n’est enregistré sur tous les paramètres du **tableau21** sauf un effet (**) est enregistré sur la QNTabsplte. Or, la variété qui a identifié une meilleure absorption

(264,56^a kg/ha d’N absT) c’était la variété MBB, en la comparant avec les deux variétés V1 (Bousselam) et V2 (Waha) qui ont identifié des quantités d’N absorbées presque similaires d’une différence non significative (184,72^b kg/ha d’N absT et 186,71^b kg/ha d’N absT) respectivement. La différence d’absorption entre les trois variétés pourrait s’expliquer soit par la richesse du sol en cet élément soit à l’architecture racinaire de chaque génotype.

La QNabsT par le témoin (non fertilisé), indique que le sol est riche en cet élément et la fertilisation à augmenter sa richesse ce qui identifie les quantités élevées absorbées par les trois variétés. Nous pouvons dire que l’absorption de l’N est liée principalement aux capacités de chaque génotype.

Pour l’N des grains, le **tableau21** montre que le facteur variété n’a pas d’effet significatif sur ce paramètre. Le transfert de l’azote vers les grains est lié à la physiologie interne des génotypes (processus de fonctionnement interne non identifiés de chaque génotype).

c) Facteur interaction dose* variété sur laNUEA, la NUEp et leurs paramètres:

Aucun effet significatif n’est enregistré de cette interaction sur tous les paramètres des tableaux (**tableau 20**) et (**tableau21**). Ce résultat montre que la sélection classique ne peut conduire aux résultats escomptés et claires.

Analyse des corrélations :

Tableau22: Corrélation entre RMSG, ses indicateurs (QNabsT et NG), les deux efficacités (NUEA et NUEP) et le NHI%.

	RMSG	QNabstplte	NG	NUEA	NUEp	NHI%
RMSG	100000	0.37	0.57	0.57	0.29	0.46
		0.0010	<.0001	<.0001	0.011	<.0001
QNabstplte		100000	0.76	0.058	-0.16	0.075
			<.0001	0.62	0.17	0.52
NG			100000	0.12	-0.073	0.65
				0.28	0.53	<.0001
NUEA				100000	0.33	0.19
					0.0042	0.1007
NUEp					100000	0.077
						0.51
NHI%						100000

Le **tableau22** montre que l’azote des grains est très dépendant de la quantité d’azote absorbée totale par les plantes ($r_{Q\ N\ abs\ T_NG}=0,76^{***}$). De même, le RMSG dépend de l’azote de l’engrais apporté justifié par l’efficacité agronomique de l’utilisation de l’azote ($r_{RMSG_NUEA}=0,57^{***}$), aussi le RMSG

est lié à la quantité d'azote transférée pour le remplissage du grain ($r_{\text{RMSG_NG}}=0,57^{***}$). Le RMSG semble lié positivement avec l'efficacité physiologique de l'utilisation de l'azote par l'intermédiaire des processus interne non identifiés des génotypes et qui démontrant lequel des génotypes profitent mieux de l'azote absorbé pour produire plus de quintal de grain ($r_{\text{RMSG_NUEp}}=0,29^*$). Le RMSG semble lié à l'indice de récolte pour l'azote (NHI%) ($r_{\text{RMSG_NHI}}=0,46^{***}$), ce dernier est lié positivement avec la quantité d'azote remobilisée vers le grain ($r_{\text{NHI_NG}}=0,65^{***}$). Le coefficient d'utilisation apparent de l'azote de l'engrais (C.U.A%) est lié positivement avec la quantité d'azote absorbée totale ($r_{\text{C.U.A_QNabsT}}=0,57^{***}$).

Discussion des résultats :

La céréaliculture des zones semi-arides de l'Est algérien pluvial, qui entraîne une instabilité des rendements en grains d'une année à l'autre. Hamadache, (2013) a mentionné que la production du blé dans ces zones est favorable une année sur deux et que la probabilité d'avoir une sécheresse est de 75% (soit 3 années sur 4). Cette dernière est la majeure contrainte de la fertilisation azotée en ces zones. La réponse à l'apport d'azote dans ces conditions dépend de la richesse initiale du sol en cet élément et l'humidité du sol (Soltanpour et al. 1989). En effet, nos résultats sur les quantités d'azotes absorbées totales **tableau14** par rapport aux quantités apportées, montrent que le sol est bien pourvu en azote pour la dose N1 et N2 en comparaison avec le témoin et les quantités prélevées sont supérieures aux quantités apportées. Par contre pour les autres doses (N3, N4, N5 et N6), les quantités absorbées sont inférieures aux quantités apportées.

Ces deux cas indiquent que la totalité de l'azote apportée n'est pas valorisée. Moll et al. (1982) ont trouvé qu'approximativement la moitié de la quantité d'azote accumulé dans le végétal provient de la minéralisation de l'azote du sol. Par ailleurs, nos résultats montrent que la part fournie par le sol est supérieure à celle citée par ces auteurs. Elle était à plus de 2/3 des exportations dans le cas de la dose N1= 73kg/ha et de 1/3 pour la dose N2= 145kg/ha **tableau14**. Ce résultat corrobore ceux de Karrou, (1996) dans son étude sur la variation génotypique de l'efficacité d'utilisation de l'azote chez le blé tendre, au Maroc.

En effet, Collin, (2012) a mentionné que l'azote dans un engrais apporté à une culture n'est pas intégralement utilisé par cette dernière. Les micro-organismes du sol sont responsables de l'immobilisation d'une fraction de l'azote minéral par organisation. Des phénomènes physico-chimiques, liés aux caractéristiques du sol ou à l'activité dénitrifiant de certains processus, provoquent des pertes par voie gazeuse. Le coefficient d'utilisation apparent d'azote de l'engrais (C.U.A%) quantifie la quantité d'azote de l'engrais absorbée, c'est un indicateur de l'efficacité de l'azote apporté. Nos résultats sur le C.U.A% **tableau15**, par l'utilisation de la moyenne des trois

variétés pour chaque dose, montre que le coefficient apparent d'utilisation de l'N diminue au fur et à mesure l'augmentation de la dose d'N **figure30**, il est plus élevé avec la dose N1 (72,62%) et N2 (85,99%) puis il suit une relation inverse avec les doses jusqu'à la dose N6. Limaux, (1999) et Collin, (2012) ont identifié que le point de la diminution du C.U.A% indique que la culture est arrivée à l'optimum de nutrition azotée et au delà de cette optimum la fraction de l'azote absorbée diminue et l'efficacité marginale de l'engrais décroît. Nos résultats montre que la dose optimum de nutrition azotée pour les trois variétés est la dose N2=145kgd'N/ha dont le C.U.A% = 85,99%.

Le **tableau21** montre une différence d'absorption de l'azote entre les trois variétés, or la variété MBB prélève une quantité supérieure (264,56^a kg/ha) à celle de Waha (186,71^b kg/ha) et Bousselam (184,72^b kg/ha) dont les quantités prélevées sont d'une différence non significative, Limaux, (1994) et Limaux, (1999) a observé sur la culture du blé tendre, que les meilleurs CAU sont associés à des niveaux de biomasses du peuplement végétal élevés au moment de l'apport d'azote et inversement. Nos résultats vont dans le sens des travaux de cet auteur ; La biomasse totale (MST, kg/ha) produite par chaque variété est 9936.7^a kg/ha, 9548.3^a kg/ha et MST=8239.3^b kg/ha respectivement pour MBB, Bousselam et Waha .

Le résultat de l'efficacité agronomique (NUEA) explique la relation entre le rendement (MSG) et la quantité d'azote apportée. Cet indicateur est inversement corrélé avec la croissance des doses d'azote. La **figure31** illustre cette corrélation négative, les doses d'N augmentent au fur et à mesure la NUEA diminue pour les trois variétés. Les doses considérées comme faibles N1 et N2 enregistre les valeurs les plus élevées. Pour le rendement, le facteur dose a un effet (**) sur le NUEA, seulement les résultats obtenus indique l'absence de proportionnalité entre le rendement (MSG) et les doses d'azote apportées. Les rendements enregistrés restent faibles malgré les quantités d'N apportées suite à l'effet de sécheresse au cours du transfert des assimilats.

Ils ne dépassent pas un niveau moyen de 31qx/ha avec la dose N6 mais le résultat pour les trois variétés enregistre pour V1, un RMSG le plus élevé avec la dose N1 (29,28qx/ha), alors que pour V2 et V3, le meilleur RMSG est enregistré avec la dose N2 dont (V2=31,37qx/ha) et (V3=31,49qx/ha). Il semble que c'est les conditions du milieu (déficit de pluviométrie) qui ont affecté l'augmentation du rendement, le même résultat a été observé par Karrou, (1996). Le résultat obtenue par Moll et al., (1982) identifie qu'en condition de faibles doses c'est l'efficacité d'utilisation de l'N qui contribue mieux dans l'efficacité d'utilisation de l'azote (dans notre cas cette efficacité est représentée par la NUEA).

Aucun effet significatif n'a été enregistré pour l'efficacité physiologique qui représente la quantité de grain produite par unité d'azote absorbée. En effet malgré les quantités élevées d'azote absorbées mais les quantités transférées vers le grain restent faibles : Les résultats obtenus indiquent la

supériorité des deux variétés MBB et Waha dans le transfert d’N vers le grain sous la dose N2, avec une quantité de 81,34kg/ha et 60,71kg/ha respectivement.

Les trois variétés s’expriment différemment pour l’indice de récolte azoté (NHI). Il augmente légèrement avec la croissance des doses. Triboï, (1990) ; Gonzalez Ponce et al. (1993) ; Giunta et al. (1993) et Aubry et al. (1994) expliquent que la faiblesse de l’NHI% est associée à de fortes concentrations d’azote dans les pailles, traduisant un transfert déficient de cet élément des parties végétatives vers les grains dans la dernière phase du cycle de la culture, suite au stress hydrique. Dupont and Altenbach (2003) confirme que la température idéale pour le remplissage du grain se situe entre 15-20°C, au-delà de ce degré, la durée de remplissage diminue et diffère selon les génotypes.

Le Gouis, (2012) mentionne que l’efficacité d’utilisation de l’azote (NUE) est sensible aux conditions environnementales avec des interactions génotype x milieu, ce qui fait que le classement pour les performances observées dans une condition ne représentera pas obligatoirement celles dans un autre environnement.

Le même auteur propose que, c’est la capacité à absorber l’azote qui semble être la composante la plus importante pour expliquer des différences de NUE. Cette capacité peut être en partie expliquée par des différences d’architecture ou de fonctionnement du système racinaire pour son efficacité à prélever l’azote du sol. Alors que Moll et al., (1987) ont montré que l’efficacité d’utilisation de l’azote toutes doses confondues, est le critère le plus fiable pour la sélection de variétés ayant une meilleure efficacité d’utilisation de N.

Conclusion :

L'étude de l'impact de six doses d'azote plus un témoin sur trois variétés de blé dur bousselam(V1), waha (V2) et MBB (V3), a démontré que l'azote a favorisé la dynamique de l'accumulation de la MST pour les trois variétés en comparant les parcelles fertilisées au témoin N0 au niveau des deux sites DN et ITGC.

Le site DN a enregistré la MST la plus élevée avec 97,70^a qx/ha alors qu'au site ITGC, la MST =87,12^b qx/ha. Les variétés V3, V1 et V2 ont enregistré une biomasse totale de 99,36^aqx/ha, 95,48^aqx/ha 82,39^bqx/ha respectivement. Pour le rendement en grains, il était plus élevé à l'ITGC (35,54^a qx/ha) qu'au site DN (27,02^bqx/ha) qui était favorisé pour la production de la MSP. Au niveau des deux sites, le RMSG le plus élevé est identifié par la dose N1et N2, d'une façon qu'au site DN ; N1V1=29,28qx/ha alors qu'au site ITGC V1N1=40,11qx/ha. Pour N2, l au site DN le RMSG pour V2N2= 31,37qx/ha et V3N2= 31,49qx/ha par contre au site ITGC, V2N2=31,60qx/ha et V3N2=33,86qx/ha. Les doses élevées d'N à partir de la dose N3 non pas favorisées l'augmentation du RMSG, la différence de production entre ces doses et le témoin n'était que quelques quintaux ne dépassant pas les 10qx/ha. Apporter N3=217kg d'N/ha jusqu'à N6=435kg d'N/ha pour produire un écart de 10qx/ha avec le témoin qui témoigne d'une richesse du sol en cet élément ; constitue une perte de l'engrais et un crime contre la nature.

La quantité de l'azote absorbé la plus élevée est notée par la variété MBB avec 264,56^akgd'NabsT/ha. Les deux variétés Bousselam et Waha ont accumulé une quantité totale de plus de 184 kgNabsT/ha.

L'azote accumulé dans le grain (NG) était sous la dépendance de l'efficacité physiologique et les conditions climatiques de fin de cycle, en particulier le stress hydrique. Le C.U.A% et la NUEA ont identifié que l'efficacité d'absorption et l'efficacité de l'engrais sont plus élevée avec les faibles doses d'N (N1 et N2) et pour les trois variétés. L'absence d'interaction dose d'engrais *variété nous conduit à utiliser une dose optimale (supérieur 50 et inférieur 150 UN/ha) pour l'ensemble des variétés. L'efficacité physiologique est sous la dépendance de l'N abs T et les conditions climatiques au cours du remplissage des grains.

Connaitre le précédent cultural et analyser le sol pour savoir sa teneur en azote semble primordial et permet nous éviter des apports aléatoires et non avantageuses.

La capacité génotypique d'absorption de l'azote pourrait être un paramètre à sélectionner puisque le rendement en quantité et en qualité est lié à la quantité d'azote absorbée.

L'indice de récolte pour l'azote (NHI) pourrait être un dans la sélection variétale et est largement utilisé comme critère d'étude de l'interaction génotype X Environnement dans les modèles de croissance des cultures.

Références bibliographiques:

- Abbasi M.K., Tahir M.M., Sadiq A., Iqbal M., Zafar M., 2012.** “Yield and Nitrogen Use Efficiency of Rainfed Maize Response to Splitting and Nitrogen Rates in Kashmir.” *Agronomy Journal.*, 104: 48–475.
- Abdelguerfi A., Zeghida A., 2005.** “La Fertilisation En Algérie.” *FAO*, 34P.
- AfricaFertilizer. 2012.** “Manuel de Formation Statistiques Sur Les Engrais En Afrique.” *AfricaFertilizer.org*, P:1–87.
- Arduini I., Masoni A., Ercoli L., et Mariotti M., 2006.** “Grain Yield, and Dry Matter and Nitrogen Accumulation and Remobilization in Durum Wheat as Affected by Variety and Seeding Rate.” *European Journal of Agronomy.*, 25: 309–18.
- Aubry C., Latiri-Souki K., Doré T., Griner C., 1994.** “Diagnostic Des Facteurs Limitants Du Rendement Du Blé Dur En Parcelles D’agriculteurs Dans Une Petite Région Semi-Aride En Tunisie.” *Agronomie.*, 14: 213–27.
- Augus J.F., 1995.** “Modeling N Fertilisation Requierements for Crops and Pastures, In: Nitrogen Fertilisation in the Environement.” *Bacon PE, Eds. New York*, 109–27.
- Badly C., 1986.** “Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale.” In: *Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale*.Ed; Bouzerzour.H et Monneveux.P .INRA-Paris., 64p.
- Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hassous K.L., 2005.** “Selection of High Yielding and Risk Efficient Durum Wheat (*Triticum Durum* Desf.) Cultivars under Semi Arid Conditions Pak.” *J. Agro.*, 4: 360–65.
- Bannai M., BenAbbes N., 2007.** “L’amélioration Des Rendement Des Céréales Par Une Fertilisation Adaptée Aux Condition Pédoclimatiques Algériennes.” *PROFERT.*, 3–68.
- Barbottin A., 2004.** “Utilisation D’un Modèle de Culture Pour Évaluer Le Comportement Des Génotypes: Pertinence de L’utilisation D’azodyn Pour Analyser La Variabilité Du Rendement et de La Teneur En Protéine Du Blé Tendre.” Doctorat, Paris-Grignon: INRA Grignon.181P
- Belaïd Djamel., 2013.** “Les nouveaux outils du pilotage de la fertilisation azotée du blé dur en milieu semi-aride.” Séminaire international presented at the Problématiques agronomiques en régions arides et semi-arides (SIAZA1), Batna-Algérie.
- Bélanger G., Gastal F., Lemaire G., 1992.** “Growth Analysis of a Tall Fescue Fertilized with Different Rates of Nitrogen.” *Crop. Science.*, 32: 76-1371.
- Bellah F., Negri C., Houassine D., Dekkiche N., Djennadi F., Messous H., Malou S., 2010.** “Impact Des Conditions Climatiques Sur La Conduite Des Grandes Cultures, La Productivité et La Qualité de Production Durant Les Deux Campagnes Agricoles 2008 - 2009 et 2009 - 2010.” *Céréaliculture. Revue Technique et Scientifique (ITGC).*, 55: 19-41.
- Benbelkacem A., Kellou K., 2000.** “Evaluation Du Progrès Génétique Chez Quelques Variétés de Blé Dur (*Triticum Turgidum* L. Var. *Durum*) Cultivées En Algérie.” *Ciheam -Option Méditerranéennes.*, 40: 105–10.
- Benmhammed A, Bouzerzour H., Oulmi A-M., Nouar H., Haddad L., Laala Z., 2010.** “Analyse de La Stabilité Des Performances de Rendement Du Blé Dur (*Triticum Durum* Desf.) Sous Conditions Semi-Arides.” *Biotechnologie. Agronomie* 1 (14): 177-86.

- Bensemane Latifa., 2003.** “Contribution à l’étude de la cinétique d’accumulation et de la répartition de la matière sèche chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen.” Magistère, Algérie: Ferhat Abbas.
- Bertheloot J., 2009.** “Distribution de L’azote Chez Le Blé (*Triticum Aestivum* L.) Après La Floraison : Un Modèle Dynamique Fondé Sur Une Approche Structure-Fonction.” Doctorat, Grignon, INRA. 132P
- Bodson B., Falisse A., 1996.** “Ecophysiologie de La Production Végétale. Exemple Du Blé.” *PROBIO* 19 (1 - 2): 85–92.
- Bogard Matthieu., 2011.** “Analyse génétique et écophysiologique de l’écart à la relation teneur en protéines-rendement en grains chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.).” Doctorat, France: Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II. 169P
- Bonnefoy M., 2009.** “Résultats 2009 Des Variétés de Blé Dur-Bassin Parisien.” *ARVALIS Institut Du Végétal*. 6P
- Bouchard C., Laurent M., Guérin O., Jeuffroy M.H., 2006.** “Bande Double Densité Sur Blé Tendre D’hiver.” *Perspectives Agricoles.*, 319: 42P.
- Boufenar-Zaghouane F., Zaghouane O., 2006.** “Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine).” Première édition. ITGC- Sétif (Algérie).154P
- Boulelouah N., 2008.** “Analyse Des Effets de Modalités de Fumure Azotée et de Genotypes Sur L’accumulation de L’azote et de La Biomasse Dans Les Grains Du Blé D’hiver (*triticum Aestivum* L.).” Doctorat, Belgique: Faculté de Gembloux.33P
- Bousquet N., 2006.** “Fertilisation Azotée Du Blé Dur. Atteindre 14 % de Protéines.” *Perspectives Agricoles. Cultures.*, 319: 48–49.
- Bouzerzour H., Bahlouli F., Benmahammed A., Djekoun A., 2000.** “Cinétique D’accumulation et de Répartition de La Biomasse Chez Trois Géotypes Contrastés D’orge (*Hordeum Vulgare* L.).” P60–64.
- Bouzerzour H., Benmahammed A., Benbelkacem A., Hazmoune T., Mimoun H., Bourmel S., Makhloufi A., 2000.** “Stabilité Des Performances et Caractéristiques Phéno-Morphologiques de Quelques Variétés de Blé Dur (*Triticum Durum* Desf.) Essai D’une Sélection Multilocale.” 187–P195.
- Bouzerzour H., Monneveux P., 1992.** “Analyse des facteurs de stabilité du rendement de l’orge dans les conditions des Hauts Plateaux de l’Est algérien.” In: *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale.*, INRA - Paris, 139 -158.
- Brenner J.M., Mulvaney C.S., 1982.** “Méthode of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties.” 595–P624.
- Casagrande M., 2008.** “Évaluation Précoce Des Performances Du Blé Biologique (Rendement et Teneur En Protéines) : Une Approche Combinée de Diagnostic Agronomique, de Modélisation À L’aide D’indicateurs de Nuisibilité et D’études Pratiques Dans Les Exploitations Agricoles.” Doctorat, Grignon: INRA/ AgroParisTech. 137P
- Christ A., 2009.** “Recherche et Validation Fonctionnelle de Gènes Impliqués Dans La Remobilisation de L’azote Au Cours Du Remplissage Du Grain Chez Le Maïs.” Diplôme de l’Ecole Pratique des Hautes Etudes, Versailles: INRA. *Science de La Vie et de La Terre.*, 18P.

- Collin F., 2012.** “Modélisation Du Coefficient Apparent D’utilisation de L’azote Issu D’un Engrais Minéral Apporté Sur Blé Tendre D’hiver.” Ingénieur spécialité; statistiques appliquées, Rennes: Inst Sup des Scien Agr, Agroal, Hort et Pays., 129P
- Corbeels M., Hofman G., Cleemput O., 1998.** “Analysis of Water Use by Wheat Grown on Cracking Clay Soil in a Semi – Arid Mediterranean Environment: Weather and Nitrogen Effects.” *Agricultural Water Management.*, 38: 147–67.
- Doorenbos J., Kassam A.H., 1987.** “Les cultures et l’eau.” In *Réponse des rendements à l’eau.*, Rome. 85–222.
- Duggan B.L., Fowler D.B., 2006.** “Yield Structure and Kernel Potential of Winter Wheat on the Canadian Prairies.” *Crop. Science.*, 46: 1479–87.
- Dupont F., Altenbach S., 2003.** “Molecular and Biochemical Impacts of Environmental Factors on Wheat Grain Development and Protein Synthesis.” *Journal of Cereal Science.*, 2 (38):133-46.
- FAO., 2000.** “Stratégie En Matière D’engrais.” FAO, 105P.
- Fertas K., 2007.** “Essais d’optimisation du fractionnement et de la période d’apport de l’azote pour la culture du blé dur (variété Waha) en zone semi-aride irriguée.” Magister, Batna Algérie :62P
- Fisher R.A., Maurer R., 1978.** “Drought Resistance in Spring Wheat cultivars.I. Grain Yields Responses.” *Aust.J.Agr.Res.*, 29: 897–912.
- Fortas B., Mekhlouf A., Hamsi K., Boudiar R., Laouar A.M., Djaidjaa Z., 2013.** “Impacts Des Techniques Culturelles Sur Le Comportement Physique Du Sol et La Culture Du Blé Dur (*Triticum Durum Desf.*) Sous Les Conditions Semi-Aride de La Région de Sétif.” *Revue Agriculture.*, 6: P 12 – P 20.
- Fossati D., 1995** "Structures du rendement et croissance des grains de triticales. Comparaison de géotypes de tailles différentes." Thèse EPF N° 11271. Zurich., 153P.
- Fowler D-B., 2003.** “Crop Nitrogen Demand and Grain Protein Concentration of Spring and Winter Wheat.” *American Society of Agronomy* ., 95 (2):65-260.
- Garrido-Lestache E., Lopez-Bellido R.J., Lopez-Bellido L., 2005.** “Durum Wheat Quality under Mediterranean Conditions as Affected by N Rate, timing and splitting, N Form and S Fertilization.” *European Journal of Agronomy.*, 23: 78-265.
- Gastal F., Lemaire G., 2002.** “N Uptake and Distribution in Crops: An Agronomical and Ecophysiological Perspective.” *J.Exp.Bot.*, 53:99-789.
- Gate P., 1995** "Ecophysiologie du blé. In : Technique et documentation – Lavoisier (Eds.). 429p.
- Gate P., 2000.** “Au Coeur de La plante. Les Raisons Physiologiques Qui Expliquent L’intérêt Du Fractionnement.” *Perspectives Agricoles.*, 253: 38- 39.
- Girard M.L., 1997.** “Modélisation de L’accumulation de Biomasse Dans Les Grains de Blé Tendre D’hiver (*Triticum Aestivum L.*); Simulation de La Teneur En Protéines À La Récolte.” Thèse de doctorat, Paris: INA., 96P
- Giunta F., Motzo R., Deidda M., 1993.** “Effect of Drought on Yield and Yield Components of Durum Wheat and Triticale in a Mediterranean Environment.” *Field Crops Research.*, 33:399-409.
- Goffart J-P., Morgan A., Ben Abdallah F., 2013.** “Gestion de la fertilisation azotée des cultures de plein champ. Perspectives d’amélioration de l’efficacité d’utilisation de l’azote sur base du suivi du statut azoté de la biomasse aérienne.” *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* S1 (17): 30-221.
- Gonzalez Ponce R., Salas M.L., Mason S.C., 1993.** “Nitrogen Use Efficiency by Winter Barley under Different Climatic Conditions.” *J Plant Nutr.*, 7 (16): 61-1229.

- Grignon C., Thibaud J., Lamaz T., 1997.** "Transport de nitrate par la racine." In *Assimilation de l'azote chez les plantes. aspect physiologique, biochimique et moléculaire.*, J.,F.Morot-Gaudry.INRA, Paris -France: 27-41.
- Groot J.R., Vankeulen H., 1990.** "Prospectsfor Improvementof Nitrogen Fertilizer Recommendations for Cereals: A Simulation Study." In *Plant Nutrition-Physiology and Applications.*, 685-692.
- Guillaume S., 2011.** "Adaptation d'un modèle de culture et conception d'un modèle de décision pour la gestion conjointe de l'irrigation et de la fertilisation azotée du blé dur." Doctorat, INP France: Toulouse.
- Halilat M-T., 2004.** "Effet de La Fertilisation Potassique et Azotée Sur Le En Zone Saharienne (Ouaragla)," 16p.
- Hamadache A-M., 2013.** "La filière blé en Algérie." In *Grandes cultures. Principaux itinéraires techniques de principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du nord (agriculture conventionnelle. Le BLE, 1ère édition, T1: 256P.*
- Hazmoune T., 2000.** "Erosion Des Variétés de Blé Dur Cultivées en Algérie. Perspectives." *CIHEAM. Options Méditerranéennes.*, 40: 94-291.
- Hirel B., Bertin P., Quillere I., Bourdoncle W., attagnant C., Dellay C., Gallais A., 2001.** "Towards a Better Understanding of the Genetic and Physiological Basis for Nitrogen Use Efficiency in Maize." *Plant Physiol.*, 125 (3): P70–1258.
- Hirel B., Gallais A., 2013.** "Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote chez les plantes cultivées." Comptes rendus sur les potentiels de la science pour l'avenir de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement. INRA, Versailles-France.
- Hirel B, Le Gouis J., Ney B., Gallais A., 2007.** "The Challenge of Improving Nitrogen Use Efficiency in Maize and Wheat: Towards a More Central Role for Genetic Variability and Quantitative Genetics within Integrated Approaches." *Exp Bot.*, 58: 4P.
- INRAA., 2009.** "Fertilisation Des Céréales."
- Jeuffroy M.H., 2001.** "Nouveaux Outils de Gestion de La Fertilisation Azotée Du Blé : Comment Concilier Rendement, Qualité et Environnement?" In *Les Nouveaux Défis de La Fertilisation Raisonnée.*, 5ème Rencontres de La Fertilisation Raisonnée et de L'analyse de Terre. Blois: G. Thevenet et A. Joubert., 49-237.
- Jeuffroy M.H., Gate P., Machet J-M., Recous S., 2013.** "Gestion de L'azote En Grandes Cultures: Les Connaissances et Outils Disponibles Permettant-Ils de Concilierexigences Agronomiques et Environnementales?" *INRA, ARVALIS (France).*, 22 (4): P 249–P257.
- Justes E., Jeuffroy M.H., Mary B., 1997.** "Wheat, Barley and Durum Wheat." In *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops.*, G. Lemaire, Berlin., 73–91.
- Justes E., Mary B., Meynard J.M., Machet J.M., Thellier-Huche L., 1994.** "Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Wheat Crops." *Annals of Botany*, N°74: 397-407.
- Kaleem Abbasi, M, M.M Tahir, and Rahim Nasir. 2013.** "Effect of N Fertilizer Source and Timing on Yield and N Use Efficiency of Rainfed Maize (*Zea Mays L.*) in Kashmir–Pakistan," *Geoderma Elsevier* 195-196 : P87-96.
- Karrou M., 1996.** "Variation Génotypique de L'efficience D'utilisation de L'azote Chez Le Blé Tendre." *AL Awamia.*, 39-51.
- Ladraa N., Ounane G., 2013.** "Qualité Technologique de Quelques Variété de Blé Dur Cultivées En Algérie." *Céréaliculture. Revue Technique et Scientifique (ITGC)*, 60: 5-29.

- Latiri-Souki K., Aubry C., Doré T., Sebilotte M., 1992.** “Élaboration Du Rendement Du Blé Dur En Conditions Semi-Arides En Tunisie: Relations Entre Composantes Du Rendement Sous Différents Régimes de Nutrition Azotée et Hydrique.” *Agronomie (Elsevier/INRA)*., 31–43.
- Leferbvre L., 2008.** “Développement d’outils de diagnostic azoté du blé panifiable.” *Maîtrise sciences (M.sc)*, Québec: Laval., 131P
- Le Gouis J., 2012.** “Quels Caractères et Quels Outils Pour Améliorer L’efficacité D’utilisation de L’azote Par Le Blé Tendre?” *Le Sélectionneur Français*., 63: 37-46.
- Lemaire G., Gastal F., 1997.** “N Uptake and Distribution in Plant Canopies.” In *Diagnosis on the Nitrogen Status in Crops*., (Heidelberg: Lemaire G.): 3–43
- Lemaire G., Gastal F., Plenet D., Le Bot J., 1997.** “Les prélèvements d’azotes par les peuplements végétaux et la production des cultures.” In *Maîtrise de l’azote dans les agrosystèmes*, G.Lemaire, B.Nicolardot. INRA, Paris -France., 83: 40-121.
- Lemaire G., Gastal F., Salette J., 1989.** “Analysis of the Effect of N Nutrition on Dry Matter Yield of a Sward by Reference to Potential Yield and Optimum N Content.” *XVI Inter. Grassland Cong. Nice, France*., 180-197.
- Limaux F., 1994.** “Facteurs de Variation Du Coefficient Apparent d’Utilisation de L’azote de L’engrais.” *Diplôme de thèse de l’Inst. Nat. Polytechnique*, France: Lorraine.109P
- Limaux F., 1999** “Modélisation Des Besoins Du Blé En Azote, de La Fourniture Du Sol et de L’utilisation de L’engrais. Application Au Raisonnement de La Fertilisation En Lorraine.” *Doctorat, INPL*.154P
- Limaux F., Meynard J.M., Recous S., 2001.** “Déclencher La Fertilisation Azotée Du Blé: Bases Théoriques et Principes Généraux. Le Témoin ‘Double Densité’.” *Perspectives Agricole*, 273: 62P.
- MADR., 2012.** “Statistiques agricoles (série B). direction des statistiques agricoles et système d’information DSASI. Sous direction des statistiques. Ministère de l’agriculture et du développement rural.”
- Makhloufi A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A., Harkati N., 2006.** “Adaptation Des Variétés de Blé Dur (*Triticum Durum Desf.*) Au Climat Semi-Aride.” *Sécheresse* 17 (4): P507–12.
- Masclaux-Daubresse C., Vedele F-D., Dechorgnat J., Chardon F., 2010.** “Nitrogen Uptake, Assimilation and Remobilization in Plants:challenges for Sustainable and Productive Agriculture.” *Analys of Botany*., 105: 57-1141.
- Maynard J., Aubry C., 1988.** “Itinéraire Technique Pour Le Blé En Conditions D’excès D’eau.” *Perspectives Agricoles*., 126: 80–89.
- Mekhlouf A-H., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A.K., Harkati N., 2006.** “Adaptation Des Variétés de Blé Dur (*Triticum Durum Desf.*) Au Climat Semi-Aride.” *Sécheresse* 4 (17):13-507.
- Mekliche A., 1983.** “Contribution à l’établissement de la fertilisation azotée du blé d’hiver dans le haut chélif.” *Magister*, Algér- Algérie: INRA d’El-Harrach.
- Mekliche H., Boukecha D., Mekliche A., 2008.** “Analyse Agronomique et Génétique de Quelques Variétés de Blé Dur et de Leurs Hybrides En Conditions Pluviales.” *Sciences et Technologie*., 27: 9–14.
- Messous S., 2013.** “Risque de Pollution Nitrate Des Sols et Des Eaux Souterraines Dans La Région de Beni Fouda, Nord Sétif.” *MasterII*, Batna-Algérie.

- Meynard J.M., 1985.** “Les Besoins En Azote Du Blé D’hiver Jusqu’au Début de La Montaison.” *Agronomie* 7 (5): 89-579.
- Meynard J.M., Justes E., Machet J.M., Recous S., 1996.** “Fertiliazoté des cultures annuelles de plein champ.” In *Maitrise de l’azote dans les agrosystèmes*, G.Lemaire, B.Nicolardot.INRA, Reims (France). 99-183.
- Meziani F., Bmmoun A., Hamou M., Brinis L., Monneveux P., 1993.** “Essai de définition des caractères d’adoption du blé dur dans différentes zones agro-climatiques de l’Algérie.” In *Tolérance à la sécheresse des céréales en zones méditerranéennes.Diversité génétiques et amélioration variétale*. Monneveux, P et Bensalem, M.INRA, Algérie., 64: 299–309.
- Moll R.H., Kamprath E.J., Jackson W.A., 1982.** “Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization.” *Agronomie Journal*, N°74: 562–64.
- Moll, R.H, E.J Kamprath, and W.A Jackson. 1987. “Development of Nitrogen Efficient Prolitic Hybrids of Maize.” *Crop. Science.*, 27: 86-181.
- Morot-Gaudry J.-F., 1997.** “Assimilation des nitrates et de l’ammonium.” In *Assimilation de l’azote chez les plantes. aspect physiologique, biochimique et moléculaire.*, Paris - France.20–25.
- Mosseddaq F., Moughli L., 1999.** “Fertilisation Azotée Des Céréales. Cas Des Blés En Bour et En Irrigué.” *Transfert de Technologie En Agriculture.*, 62: 4P.
- Nadjem K., 2012.** “Contribution à l’étude des effets du semis directs sur l’efficacité d’utilisation de l’eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride.” Mgister, Algérie: Farhat Abbas (Sétif). 98P
- Nicolardot B., Mary B., Houot S., Recous S., 1997.** “La dynmique de l’azote dans les sols cultivés.” In *Maitrise de l’azote dans les agrosystèmes*, G.Lemaire, B.Nicolardot. INRA, Paris -France., 83: 87-104.
- Nouar H., Haddad L., Laala Z., Oulmi A., Benmahammed A., Bouzerzour H., 2010.** “Performances Comparées Des Variétés Mohamed Ben Bachir, Waha et Bousselam Dans La Wilaya de Sétif.” *Céréaliculture (ITGC).*, 55: 23–28.
- Jorgen O-E., Jorgen B., Hansen Elly M., Petersen B-M., Petersen J., 2002.** “Crop Nitrogen Demand and Canopy Area Expansion in Winter Wheat during Vegetative Growth.” *European Journal of Agronomy.*, 16: 94-279.
- Oury F.X., Berard P., Brancourt-Hulmel M., Depatureaux C., Doussinaul G., Galic N., Giraud A., 2003.** “Yield and Grain Protein Concentration in Bread Wheat: A Review and a Study of Multi-Annual Data from a French Breeding Program. □ :” *Journal of Genetics & Breeding.*, 57: 59–68.
- Pinstrup A., 1974.** “La Production Céréalière Dans Les Pays Envoie de Développement.”
- Plénet D., 1995.** “Fonctionnement Des Cultures de Maïs Sous Contrainte Azotée. Détermination et Application D’un Indice de Nutrition.” Thèse de doctorat, INPL. 153-171
- Rémy J., Hébert J., 1977.** “Le Devenir Des Engrais Azotés Dans Le Sol.” *Agric- Fr.*, 11: 700-710.
- Rinaldi M., 2004.** “Water Availability at Sowing and Nitrogen Management of Durum Wheat: A Seasonal Analysis with the CERES – Wheat Model.” *Field Crops Research.*, 89: 27–37.
- Shearman V-J., Sylvester-Bradley R., Scott R-K., Foulkes M-J., 2005.** “Physiological Processus Associated with Wheat Yield Progress in the UK.” *Crop Science.*, 45: 175-185.

- Sieling K., Brase T., Svib V., 2006.** “Résidual Effects of Different N Fertilizer Treatments on Growth, N Uptake and Yield of Oilseed Rape, Wheat and Barley.” *European Journal of Agronomy*, 25: 40–48.
- Sieling K., Stahl C., Winkelmann C., Christen O., 2005.** “Growth and Yield of Winter Wheat in the First 3 Years of a Monoculture under Varying N Fertilization in NW Germany.” *European Journal of Agronomy*, 22: 71-84.
- Smadhi D., Zella L., 2009.** “Céréaliculture En Sec et Précipitations Annuelles: Le Cas de l’Algérie Du Nord.” *La Sécheresse*, 20 (2): 199-203.
- Soltanpour P-N., Elharous M., Azzaoui A., Abdelmonem M., 1989.** “A Soil Test Based N Recommendation Model for Dryland Wheat. Commun.” *Soil Science. Plant Anal.*, 20: 68-1053.
- Touraine B., Gojon A., 1997.** “Intégration de l’absorption du nitrate dans la plante.” In *Assimilation de l’azote chez les plantes. aspect physiologique, biochimique et moléculaire*, Morot-Gaudry, J. F.INRA, Paris -France: 28-109
- Triboi E., 1990.** “L’agrophysiologie de la qualité:effet du milieu climatique et nutritionnelsur l’expression du potentiel génétique de la qualité.” In *Gluténines de haut poids moléculaire et qualité des blés*, INRA, Paris.59-76.
- Triboi E., Ollier J-L., 1991.** “Evolution et Rôle Des Réserves Glucidiques et Azotées Des Tiges Chez 21 Génotypes Du Blé.” *Agronomie II*, 46-239
- Viaux P., 1999.** “Lafertilisation azotée.” In *comprendre une 3ème voie en grande culture environnement, qualité, rentabilité*, france agricole, Paris -France:89-105.
- Ziadi N., Gagnon B., Athyna C., 2007.** “utilisation des engrais minéraux azotés en grandes cultures: Description des différentes formes et leurs impacts en agroenvironnement.” presented at the colloque sur l’azote, Québec.29P

Communications scientifiques publiées Dans le cadre de cette thèse.

La participation au séminaire international SIAZAI sur, *les problématiques agronomiques en régions arides et semi-arides*, qui s'est déroulé à *l'université Lhadj Lakhdar-Batna- (28 à 30 octobre 2013)* par deux communications affichées dont l'intitulé ainsi que le résumé est ci-dessous.

**EFFET DES REGIMES AZOTES SUR LA DYNAMIQUE
D'ACCUMULATION DE LA MATIERE SECHE DE TROIS VARIETES DE
BLE DUR, CULTIVEES EN ZONE SEMI-ARIDE.**

GHEZZAZ Fatiha^{1*}, BENCHELLALI Soumia¹, BOULELOUAH Nadia¹ et ABDENEBI Nedjma¹

¹Département des Sciences Agronomiques, LAPAPEZA. Université Hadj Lakhdar Batna, Algérie.

*Ghezzaz1967@hotmail.com

RESUME

La fertilisation azotée constitue après l'eau un deuxième facteur limitant le rendement et sa stabilité chez les céréales en zones semi-arides. L'élaboration d'une stratégie de gestion des apports de la fertilisation azotée pour le blé est une préoccupation de l'agriculture algérienne.

Au cours de la campagne 2012-2013, deux expérimentations ont été conduites en région semi-aride de l'Est algérien (Sétif), sur trois variétés de blé dur (Mohamed Ben Bachir, Waha et Bousselam). Avec un dispositif en split plot, sept traitements différents par la nutrition azotée totale (0-50-100-150-200-250 et 300 UN.ha⁻¹) ont été comparés quant à leurs effets sur l'accumulation de biomasse (QMS) totale à différents stades et l'accumulation de matière sèche des grains à la maturité.

Les résultats extraits de cette expérimentation montre un effet bénéfique des doses élevées d'azote sur l'accumulation des matières sèches totales et celle des grains. En effet, on a enregistré une augmentation progressive avec l'augmentation de la dose d'azote. Pour la MST, un effet (***) des facteurs site, dose et variété est enregistré sur l'accumulation de la MST. Mais pas d'interaction entre les facteurs dose et variété. En effet le site (D-N) enregistre plus de MST (9,77t/ha) que le site (ITGC) (8,71t/ha). La dose d'N N2 constitue la plus petite dose montrant une MST plus élevée (9,47t/ha). Pour les variétés ; le 1er rang est occupé par la variété MBB avec une production de MST (9,93t/ha) suivit par Bousselam (V1= 9,54t/ha de MST) mais d'une différence non significative avec MBB puis Waha (V2= 8,23t /ha deMST). Pour la MSG, le facteur dose enregistre un effet (**) sur la production de la MSG, la dose N2 (100UN) constitue la dose d'N optimale avec une production de (3,24t/ha) de MSG. Le facteur variété enregistre un effet (**) avec une production de MSG plus élevée de la variété Bousselam (3,38t/ha) suivi de MBB (3,06t/ha) puis de Waha (2,93t/ha). L'absence d'interaction des facteurs dose*variété n'a pas permis la détermination de la dose optimale pour un meilleur rendement MSG pour chaque variété.

Mots clés : Fertilisation, blé dur, azote, accumulation de matière sèche, grains.

EVALUATION DE LA CONCENTRATION EN AZOTE PAR LE SPAD 502 SUR DES VARIETES DE BLE DUR (*TRITICUM DURM DESF*) CULTIVEES EN ZONE SEMI ARIDE.

BENCHELLALI Soumia¹, GHEZZAZ Fatiha¹, ABDENEBI Nedjma¹ et BOULELOUAH Nadia¹

¹Département des Sciences Agronomiques, LAPAPEZA. Université Hadj Lakhdar- Batna, Algérie

sesmaagro@gmail.com

L'industrie algérienne de transformation du blé exige des critères de qualités plus précises. Parmi eux, la teneur en protéines des grains (TP, %) est de plus en plus fréquemment évoquée. Plusieurs auteurs, ont montré que la fertilisation azotée est le principal levier pour augmenter la teneur en protéines. Il est donc primordial de faire usage des indicateurs permettant d'estimer le statut azoté de la plante. Le chlorophyllomètre SPAD 502 a été utilisé souvent pour la prédiction de la teneur en azote des grains au stade de maturité du blé étranger. L'objectif de notre travail vise à appréhender l'usage des mesures sur feuilles avec le SPAD 502 non calibrées sur des variétés algériennes et permettre l'évaluation de la teneur en azote des grains à la maturité.

Deux essais au champ ont été installés en zone semi-aride, à Sétif pendant la campagne 2012-2013. Trois variétés : Mohamed Ben Bachir, Waha et Bousselam ont été conduites sous sept régimes azotés (0 U à 300 U N.ha⁻¹) fractionnés en 2 apports (Début tallage et Epi 1 cm). Au stade floraison, 30 mesures avec le SPAD 502 ont été prises sur la dernière et l'avant dernière feuille, pour les différents traitements azotés des trois variétés. Les résultats indiquent des corrélations entre la teneur en protéines des grains et les mesures SPAD 502 ($r=0,45^{***}$) d'une part et le rendement en grains d'autre part ($r=0,36^{**}$).

Mots clés : Blé dur, Teneur en protéine, SPAD 502, Fertilisation azotée, Variété

Annexes :

I. Le matériel utilisé au cours de l'expérimentation:



Une batteuse des épis

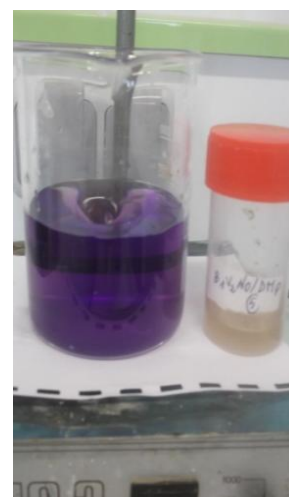


Un broyeur de paille



Appareil de digestion (kjeldhal)

Laboratoire pédagogique de l'institut des sciences agronomiques de Batna.



Les différentes étapes de distillation (laboratoire de recherche LAPAPEZA)

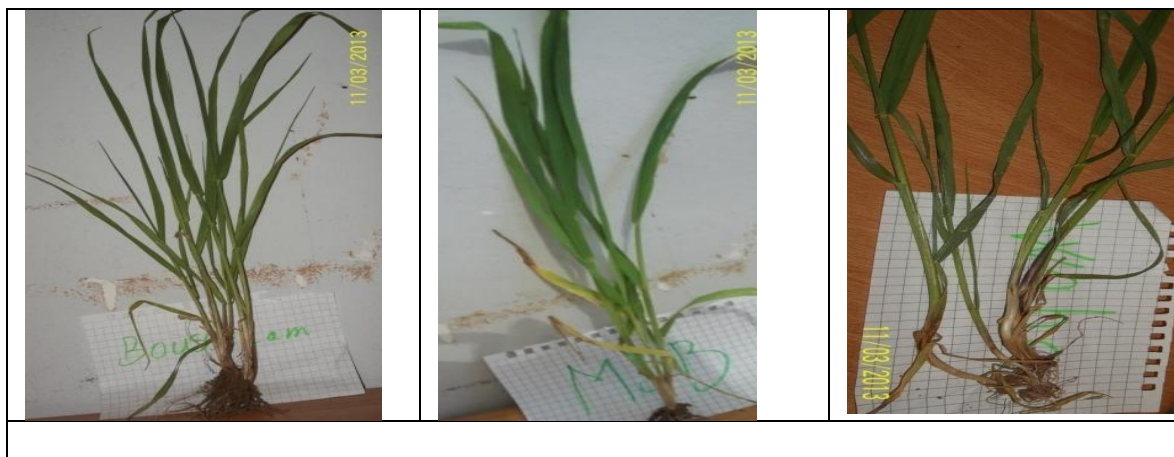


Figure 29: Echantillon de plantes des trois variétés de blé dur (stade épi 1cm).

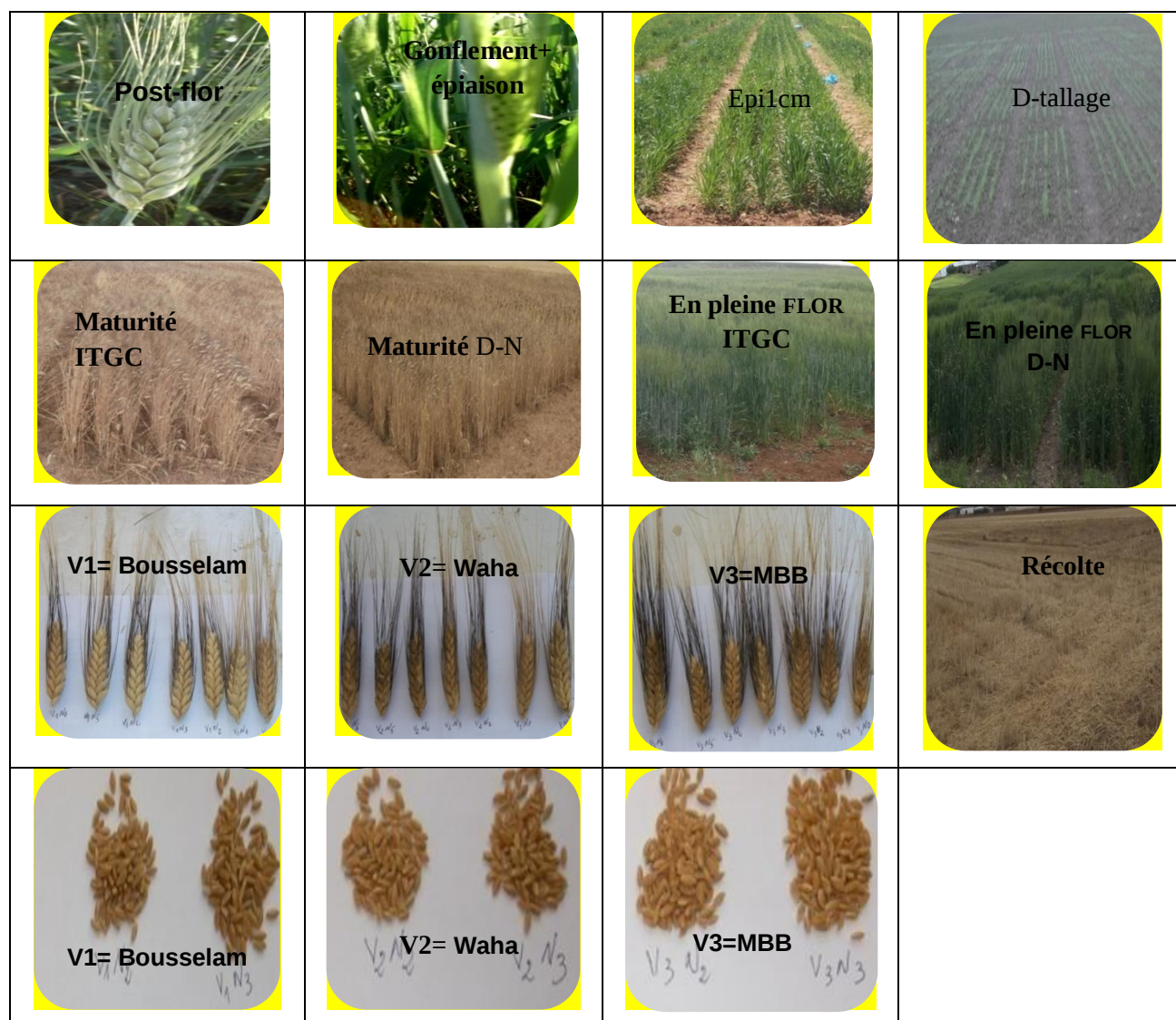


Figure 30:Schéma illustrant les différentes étapes du cycle de développement de la plante du blé dur (cliché personnel).

Résumé

Par le biais du raisonnement de la fertilisation azotée, au cours de la saison agricole (2012-2013), nous avons déterminé les variétés les plus efficaces pour l'utilisation de l'azote sous un ensemble de régimes azotés (06 doses fertilisées et le témoin N0) avec trois variétés de blé dur: Waha, Bousselam et MBB. Deux essais ont été installés au niveau de l'ITGC et l'exploitation DN.

Une différence d'accumulation de la production de matière sèche totale (MST) est enregistrée entre les deux sites. La dose N5 a enregistré 105,54qx/ha de MST. La variété MBB a accumulé 99,96qx/ha s'éloignant de 04 qx/ha de la variété Bousselam et de 18 qx/ha de la variété Waha.

La sécheresse induite au cours du remplissage du grain a diminué considérablement le rendement dont la moyenne a atteint 35qx/ha. Il était sous la dépendance de la composante du nombre de grain.

L'efficacité d'utilisation de l'azote (NUE) est inversement proportionnelle avec la croissance des doses d'N, elle était similaire pour les trois variétés et était plus élevée avec les doses faibles (N1 et N2).

L'absorption de l'N était plus élevée pour la variété MBB (264,56kgd'NabsT/ha). Le Coefficient d'Utilisation Apparent de l'azote (C.A.U) pourrait être un indicateur de l'efficacité de l'engrais azoté et le NHI pourrait être utilisé comme critère de sélection, dans la nutrition azotée du blé dans le semi-aride.

Mots clés : blé dur, azote, efficacité, variété, dose, NUE, semi-aride.

Abstract

Through nitrogen fertilization reasoning, during the agricultural season (2012-2013), we determined the most efficient varieties for the use of nitrogen in a set of nitrogenous diets (06 doses and N0 fertilized control) with three varieties of durum wheat: Waha Bousselam and MBB. Two trials were installed at the ITGC and exploitation DN.

A difference of accumulation of total dry matter production (TDM) is recorded between the two sites. The dose N5 recorded 105,54qs/ha of TDM. The variety MBB has accumulated 99,96qs/ha away from 04quintals/ha of the variety Bousselam and 18 quintals/ha of Waha variety.

Drought induced during the grain filling decreased significantly with an average yield reached 35qs / ha. It was in response to the component of the number of grain.

The use efficiency of nitrogen (NUE) is inversely proportional with the growth of doses of N, it was similar for the three varieties was higher with low doses (N1 and N2).

Absorption of N was higher for the MBB variety (264,56kgN / ha). The coefficient of Use Apparent nitrogen (CAU) could be an indicator of the efficiency of nitrogen fertilizer and the NHI could be used as a selection criterion in the nitrogen nutrition of wheat in the semi-arid.

Keywords: Durum wheat, nitrogen efficiency, variety, dose, NUE, semi-arid.

المخلص:

من خلال تعديل التسميد النيتروجين (الازوتي)، خلال الموسم الزراعي 2012-2013، حددنا الأصناف الأكثر كفاءة لاستخدام الازوت وذلك باستعمال مجموعة من الجرعات 06 (جرعات أزوت + الشاهد)، أصناف القمح الصلب المختارة هي: بوسلام، واحة و محمد بن بشير. وقد تم تركيب تجربتين في موقعين: الأول في المعهد التقني للمحاصيل الكبرى (TT □ S) والثاني في المستثمرة الفلاحية دهال نواري (ND). تنوع في تراكم إنتاج الكتلة النباتية الجافة (ك ن ج) سجلت في الموقعين. الجرعة 5 قد سجلت 105,54 قنطار/هك من (ك ن ج). الصنف محمد بن بشير قد سجل تراكم 99,96 ق/هك وبيتعد ب 04 ق/هك من بوسلام و ب 18 ق/هك من الصنف واحة. الجفاف الذي ساد أثناء امتلاء السنابل سجل تراجع كبير في المردود الذي أصبح متوسطه لا يتعدى 35 ق/هك. المردود يتوقف إلى حد كبير على عدد الحبات في المتر المربع. بالنسبة لكفاءة استخدام النيتروجين (EUN)، فإنها تتناسب عكسيا مع تنامي الجرعات النيتروجينية وهي متماثلة للأصناف الثلاثة. الكفاءة الأكبر سجلت بالجرعات الضعيفة 1 و 2. الصنف محمد بن بشير يسجل أعلى كمية امتصاص تقدر ب 264,56 كلغ من الازوت الممتص الإجمالي/هك. المعامل الظاهري لاستعمال الازوت (A □ %) يمكن أن يصبح مؤشرا لفعالية الأسمدة الأزوتية. ويمكن استخدام دليل الحصاد النيتروجين H □ I % كمعيار التحديد في التغذية النيتروجين من القمح في المناطق شبه الجافة.

كلمات السر: القمح الصلب، الازوت، الكفاءة، الصنف، الجرعة، NEU، شبه الجاف