



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques

MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie
Sciences Agronomiques
Production végétale

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
BERBACHE Mohamed Rami

Le : jeudi 27 juin 2019

Analyse de l'efficience de l'utilisation de l'azote, du blé dur cultivé en zone semi- aride

Jury :

M.	GUIMEUR K	MCB	Université du Biskra	Président
Mme.	BEDJAOUI H	MCB	Université du Biskra	Rapporteur
M.	MEHAOUA M.S	MCA	Université du Biskra	Examineur
Mme.	BOULELOUAH N	MCB	Université du Batna1	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2018 – 2019

Abstract:

The objective of this study is analyzing the effect of nitrogen fertilization and its use efficiency on the grains yield and its components, as well as the protein content in local variety of durum wheat (Boussalem), grown in semi-arid area (Sétif).. The experiment were conducted over two years (2017 and 2018). The wheat crop was subjected to seven increasing nitrogen regimes (0-100-110-120-130-140 and 150 NU / ha) applied in two fractions. Statistical analyzes show a nitrogen effect on yield, its components and protein levels. During the rainy year, the yield range was 34.8 to 69.1Qx / ha and a protein level ranged from 11.1 to 12.4%. The highest values were achieved with the 150UN / ha dose. In the dry year, yields ranged from 6.4 to 12.5Qx / ha recorded under the 130UN /ha dose and a protein level of 12.4 to 17.5% with the 120UN / ha dose. The most important determinant of yield is the number of kernels but with a negative effect on the protein level. The effect of nitrogen on agronomic nitrogen use efficiency ($NUE_A = 15.29\text{kgG} / \text{kgN}$) is insignificant except on the apparent nitrogen recovery efficiency ($CAU = 12.14$ to 72.24%) under the dose 150UN/ha. The latter who affected the other indicators; it has increased the NUEA is therefore increased the grains yield. The nitrogen harvest index (NHI) increases the level of protein but the agro-physiological nitrogen use efficiency (NUEAP) decreases the NHI and consequently decreases the level of proteins.

Key words: Durum wheat, agronomic nitrogen use efficiency, apparent nitrogen recovery efficiency, nitrogen dose, semi-arid area, grains yield.

Sommaire

DEDICACE

REMERCIEMENTS

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Listes des figures

Liste des équations

Introduction générale

Revue bibliographique4

Chapitre 1: Production du blé en Algérie4

1. place du blé en Algérie:.....4

2. Production et consommation du blé:4

3. contraintes de la culture de blé:.....5

Chapitre 2: Fertilisation azotée6

1. Cycle d'utilisation de la fertilisation azotée:6

2. Utilisation des engrais azotés en Algérie:7

3. Importance de la fertilisation azotée sur la culture de blé:.....8

4. Besoins et les fractions de la fertilisation pour la culture de blé.....9

5. Impact de la fertilisation azotée sur l'environnement:.....9

Chapitre3: Efficience d'utilisation d'azote.....10

1. Indicateurs de NUE11

1.1 Efficience agronomique (NUE_A):11

1.2 Efficience agro-physiologique (NUE_{AP}):.....10

1.3 Efficience physiologique (NUE_P):10

1.4 Coefficient apparent d'utilisation d'azote (CAU):.....11

1.5	Efficiencce d'utilisation d'azote NUE:.....	11
1.1	Indice de récolte azotée (NHI):.....	12
1.2	Coefficient réel d'utilisation d'azote (CRU):.....	12
	Partie pratique	14
	Matériels et méthodes.....	15
	Objectif de travail:.....	15
	Présentation de la région d'étude:.....	15
1.	Situation géographique:.....	15
1.1	Présentation de cadre physique:.....	15
1.2	Reliefs:	15
A.	Zone montagneuse:.....	15
B.	Zone des hauts pleins:.....	16
C.	Zone de dépression sud et sud-est:.....	16
1.3	Sol:	17
2.	Étude climatique de la région d'étude:	17
1.1	Température:	17
1.2	Pluviométrie:.....	18
1.3	Vents:	18
1.4	Gelées:.....	19
1.5	Classification du climat selon diagramme de Mr EMBERGER:.....	19
3.	Diagnostic de secteur agricole dans la wilaya de Sétif:	20
	Protocole expérimental:.....	21
1.	Matériel végétale:.....	21
2.	Dispositif mis en place:	21
3.	Récolte:.....	22

4. Conditionnement des échantillons:	22
5. Paramètres agro-physiologiques mesurés pour les grains et la paille:	24
1.1 Paramètres agronomiques:	24
A. Nombre des épis/m ² :	24
B. Nombre des grains/m ² :	24
C. Poids de mille grains:	24
D. Poids des épis/ha:	24
E. Poids de la paille/ha:	25
F. Rendement en grains:	25
G. Efficience agronomique d'utilisation d'azote:	25
1.2 Paramètres physiologique:	25
A. Teneur en azote dans le végétal:	25
B. Teneur en protéines:	25
C. Taux de mitadinage:	25
D. Efficience agro-physiologique d'utilisation d'azote:	26
E. Coefficient apparent d'utilisation d'azote:	26
F. Indice de récolte azotée:	26
6. Analyses statistiques:	26
Résultats et discussions	29
Présentation des résultats:	29
Partie 1: Analyse du rendement, ses composants et les paramètres de qualité	29
1. Nombre des épis/m ²	29
2. Nombre des grains/m ²	30
3. Poids sec de la biomasse totale:	31
4. Poids de mille grains (PMG)	34

5. Poids sec de la paille:	34
6. Rendement.....	35
7. Taux de protéines	36
8. Taux de mitadinage:	37
9. Corrélations entre le rendement, ses composants et les paramètres de qualités	38
10. Étude du coefficient de piste causale "path coefficient" sur le rendement, ses composants et le taux de protéines	44
1.1 Effet direct et indirect des variables étudiées sur le rendement.....	44
A. Taux de protéines:.....	45
B. Composantes de rendement	45
C. Apport d'azote:	46
1.2 Effet direct et indirect des variables étudiées sur le taux de protéines:	48
A. Rendement	48
B. Composantes de rendement:	48
C. Apport d'azote	49
Discussion partielle:	49
Partie 2: Analyse de l'efficience de l'utilisation d'azote et ses indicateurs:.....	51
1. Efficience de l'utilisation d'azote agronomique.....	51
2. Efficience de l'utilisation d'azote agro-physiologique.....	51
3. Coefficient apparent d'utilisation d'azote	51
4. L'indice de récolte azotées.....	52
5. Corrélations entre l'efficience de l'utilisation d'azote, ses indicateurs, le rendement en grains et le taux en protéines	54
6. Étude du coefficient de piste causale "path coefficient" sur le rendement, l'efficience d'utilisation d'azote ses composants et le taux de protéines	63

1.1	Effet direct et indirect d'efficience d'utilisation d'azote, ses indicateurs et le taux de protéines sur le rendement	63
1.2	Effet direct et indirect d'efficience d'utilisation d'azote, ses indicateurs et le taux rendement sur le taux de protéines.....	67
	Discussion partielle	69
	Conclusion.....	72
	Liste bibliographique	
	Résumé	

DEDICACE

À mes chers parents en guise de gratitude pour tous leurs sacrifices, soutien, confiance. Vous êtes les êtres les plus chères à mon cœur, aucun mot ne pourra exprimer ma gratitude et mon estime pour vous.

À mes très chers frères : Dhiac eddine, Ahmed Rached

À ma très chère sœur : Malek Dounia

À tous mes amis spécialement : Djemoune Tayeb, Amouri Khavla

À mes camarades de la promotion de Master

À toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Je dédie ce modeste travail

RACHED

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, je remercie avant tout **Dieu le Tout Puissant**, de m'avoir donné la foi et le courage et de m'avoir guidé pour l'accomplissement de ce travail.

Tout d'abord, J'exprime ma profonde gratitude à **Mme BEDJAOUI HANANE** Maître de Conférences à l'Université de Biskra, pour la confiance qu'il m'a accordé en acceptant la direction de mon mémoire, son dévouement, sa disponibilité et ses conseils judicieux pour moi. C'est un honneur pour moi d'avoir travaillé avec elle.

Je remercie **M. GUIMEUR Kamel** chef de département d'agronomie à l'université de Biskra, pour avoir accepté de présider le jury et qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

J'adresse aussi mes remerciements à **MEHAOUA Mohamed Seghir** Maître de Conférences à l'Université de Biskra, d'avoir accepté d'examiner le document et faire partie du jury de soutenance.

Je remercie très vivement **Mme. BOULELOUAH. Nadia** Maître de Conférences à l'Université de Batna1, Je la remercie pour son aide, sa patience, ses conseils précieux qui ont conduit à l'achèvement ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mes plus profonds respects et ma profonde gratitude.

Je tiens aussi à remercier au agriculture de Sétif spécialement **M. BOURAS M.S**, Avec vous, j'ai acquis une très bonne expérience sur le terrain.

Je remercie aussi tous les ingénieurs du laboratoire de département d'agronomie d'université de Biskra.

Un très grand merci, à tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à la réalisation de mon mémoire.

Liste des abréviations

N^{bre} grains/m²= nombre des grains par m²

PMG= Poids de mille grains

Tp%= Teneur en protéines

NUE_A = Efficience agronomique d'utilisation d'azote

NUE_{AP} = Efficience agro-physiologique d'utilisation d'azote

CAU= Coefficient apparent d'utilisation d'azote

NHI= L'indice de récolte azotée

ANOVA = analyse de la variance

r = coefficient de corrélation

R^2 = coefficient de détermination

RMSE = la racine d'erreur quadratique moyenne

RMSG = Rendement en matière sèche grains

QNT= quantité d'azote totale dans la plante

Liste des tableaux

Table 1:différentes expressions de l'efficience d'utilisation d'azote NUE et leur méthode de calculé (Fageria, 2009).....	10
Table 2: donné des températures (min,max,moy) de la région de Sétif (2016/2017).....	17
Table 3:donné des températures (min,max,moy) de la région de Sétif (2017/2018).....	17
Table 4:Précipitation dans la région de Sétif (2016/2017).....	18
Table 5:Précipitation dans la région de Sétif (2017/2018).....	18
Table 6: Étapes de conditionnement des échantillons.....	23
Table 7: analyse d'ANOVA,corrélation et T.TEST de rendement et leur composantes et le taux de protéines pour les deux années.....	33
Table 8:Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année humide.....	39
Table 9:Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année sèche.....	39
Table 10:Matrice de corrélation des variable étudiées dans les deux années	39
Table 11 :Analyse d'ANOVA,corrélation et T.TEST sur l'efficience d'utilisation d'azote et ses composants pour les deux années.....	53
Table 12:Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année humide.....	55
Table 13:Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année sèche.....	55
Table 14:Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'ensemble des deux années	55

Listes des figures

Figure 1: Répartition de la SAU algérienne	4
Figure 2:Évolution de la superficie, la production, le rendement et l'importation du blé en parallele avec l'evolution démographique algérienne.	5
Figure 3:Cycle de l'azote (MAAF, 2016).....	6
Figure 4:Utilisation des engrais azotées dans le monde et dans l'Algérie (“FAOSTAT,” 2019b) ..	7
Figure 5: carte des zones de la wilaya de sétif (DSA., 2016)	16
Figure 6:Diagramme d'EMBERGER	19
Figure 7: Répartition de la SAU dans la région de sétif.....	20
Figure 8:présentation de dispositif expérimental à installer sur le terrain (Boulelouah,2016)	22
Figure 9:Nombre des épis en fonction des apports azotés	30
Figure 10: Nombre des grains en fonction des apports azotés	31
Figure 11: Poids de la biomasse totale en fonction des apports azotés	32
Figure 12:Poids de la paille en fonction des apports azotés.....	35
Figure 13: Rendement en grains en fonction des apports azotés	36
Figure 14: Taux de protéines en fonction des apports azotés	37
Figure 15:Taux de mitadinage en fonction d'apports azotés	38
Figure 16: Rendement en grains en fonction du nombre des épis	40
Figure 17:Rendement en grains en fonction du nombre de grains/m ²	41
Figure 18:Rendement en grains en fonction du PMG.....	42
Figure 19:Rendement en grains en fonction du taux de protéines	43
Figure 20: Taux de protéines en fonction de taux de mitadinage	44
Figure 21:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendente "rendement en grains" pour l'année sèche	47
Figure 22:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendente "rendement en grains" pour l'année humide	47
Figure 23:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendente "rendement en grains" , des deux années	48
Figure 24:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "taux de protéines" pour les deux années	49
Figure 25:Coefficient apparent d'utilisation d'azote (CAU) en fonction des apports azotés	52

Figure 26:Taux de protéines en fonction d'apports azotés, CAU et le NHI pour l'année humide .	56
Figure 27:Taux de protéines en fonction de NUE_{AP}	57
Figure 28: Rendement en grains en fonction d'apports azotés, NUE_{AP} et NHI à l'année humide.	58
Figure 29:Rendement en fonction des apports azotés, NUE_A et les pertes apparent d'azote à l'année humide	59
Figure 30:Rendement en fonction des apports azotés, NUE_A et les pertes apparent d'azote à l'année sèche	60
Figure 31:Rendement en grains en fonction de CAU	61
Figure 32: Rendement en grains en fonction de NUE_A	62
Figure 33: Rendement en fonction des apports azotés, NUE_A ,perte apparent d'azote pour l'ensemble des deux années	63
Figure 34:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "rendement en grains" et des variables indipendants " taux de protéines, efficience d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année humide	65
Figure 35:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "rendement en grains" et des variables indipendants "taux de protéines, efficience d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année sèche	66
Figure 36:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "rendement en grains" et des variables indipendants "taux de protéines, efficience d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'ensemble des deux années.....	66
Figure 37:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "Taux de protéines" et des variables indipendants "randement en grains, efficience d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année humide	68
Figure 38:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "Taux de protéines" et des variables indipendants "randement en grains, efficience d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année sèche	68
Figure 39:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "Taux de protéines" et des variables indipendants "randement en grains, efficience d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'ensemble des deux années	69

Liste des équations

Equation 1: N ^{bre} grains/m ²	24
Équation 2: Poids de mille grains	24
Équation 3: Poids des épis/ha (Qx/ha)	24
Équation 4: Poids de la paille (Qx/ha)	25
Équation 5: Rendement en grains	25
Équation 6: Efficience agronomique d'utilisation d'azote	25
Équation 7: Teneur en protéines:	25
Équation 8: Efficience agro-physiologique d'utilisation d'azote	26
Équation 9: Coefficient apparent d'utilisation d'azote	26
Équation 10: L'indice de récolte azotée:	26

Introduction générale

Le blé dur est l'aliment de base pour la population méditerranéenne (Arregui et Quemada, 2008). En Algérie, la production de cette céréale reste faible et dans les trois dernières décennies, le rendement moyen était près de 12 Qx/ha. En parallèle, il existe une évolution démographique croissante avec une consommation de 211 kg/habitat/ans (FAOSTAT, 2019a) accompagné de l'urbanisation des terres agricoles ce qui a conduit à une non suffisance nationale en cet aliment. Par conséquent, il devient impératif d'augmenter le rendement (Djermoun, 2009). Les précipitations sont le facteur non contrôlé, le plus limitant pour augmenter le rendement. D'un point de vue pratiques agricoles, l'itinéraire technique particulièrement la fertilisation minérale joue un rôle très important dans l'augmentation du poids en matière sèche "rendement et paille" (Ramdane and Christine, 2012; Melki et al., 2015).

Sur un aspect qualitatif, le transformateur cible le taux de protéines et le taux de mitadinage qui traduit par le niveau de panification des semoules.

D'après Crews et Peoples (2004), la fertilisation azotée est considérée, comme la plus importante pratique culturale chez les céréales. Elle a un effet positif sur le rendement car un déficit azoté peut diminuer la taille des organes végétatifs et le taux de protéines (Djennadi, 2013; Ayadi et al., 2016; Belay et al., 2017).

En Algérie, cette pratique est moins maîtrisée par nos agriculteurs et on constate un anarchie d'utilisation d'azote au cours des années (FAOSTAT, 2019b). Ceci présente un effet négatif sur l'efficacité d'utilisation d'azote (NUE), qui est définie par le rendement en grains produits par unité d'azote (Moll et al., n.d.). Elle représente seulement 33% pour les céréales au niveau mondial (Raun et al., 2002). L'azote non assimilé par les plantes conduit à une pollution de la nappe phréatique et de l'atmosphère. On peut augmenter l'efficacité d'utilisation d'azote soit par la synchronisation des apports azotés ou par le choix variétal sous l'effet de pratiques culturales (Souissi et al., 2018).

L'objectif de notre étude est d'optimiser l'efficacité d'utilisation de l'azote, sur la culture du blé afin d'augmenter le rendement, au profit des agriculteurs et la réduction d'impacts de ce fertilisant

sur l'environnement. Au cours de cette étude, les composantes du rendement sont étudiées afin de déceler la relation d'efficacité d'utilisation de l'azote et le rendement avec ses composantes.

Cette étude est composée de deux parties; une partie bibliographique répartie en trois chapitres et une partie pratique formée de deux chapitres:

Partie bibliographique:

Chapitre 1: Production du blé en Algérie.

Chapitre 2: Fertilisation azotée.

Chapitre 3: Efficacité d'utilisation d'azote.

Partie pratique:

Chapitre 1: Matériel et méthodes

Chapitre 2: Résultats et discussions.

Revue bibliographique

Revue bibliographique

Chapitre 1: Production du blé en Algérie

1. place du blé en Algérie:

En Algérie la filière céréalière constitue une des principales filières agricoles en Algérie (Djermoun, 2009), elle occupe dans l'année 2017 une superficie agricole près de 3510637 ha ou 68% de la SAU. La superficie destinée pour la culture de blé est de 2118510 ha. Elle représente 60% de la superficie destinées pour les céréales ou 41% de la SAU algérienne ("FAOSTAT," 2019a). Ces chiffres indiquent l'importance primordiale de cette culture et sa place stratégique dans les pratiques agricoles algériennes.

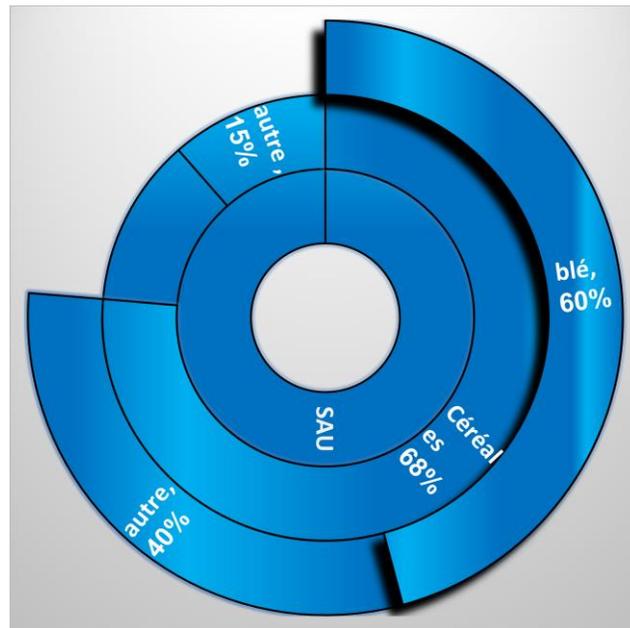


Figure 1: Répartition de la SAU algérienne

2. Production et consommation du blé:

L'analyse des données des 30 dernières années montre que la production de blé à un lien direct avec la superficie récoltée. Elle reste toujours faible et se situe autour de 2057387 tonnes. Le rendement reste aussi faible et n'a pas augmenté depuis 1987 jusqu'au aujourd'hui autours de 12QX/ha. Au contraire, l'augmentation démographique a accentué la consommation, indiquant une

valeur de 211 kg/habitat. Pour couvrir les besoins des consommateurs l'État s'est orienté vers l'importation, avec une moyenne annuelle de 4916856 tonnes ("FAOSTAT," 2019a).

À partir de ces données, on constate que la production locale couvre seulement 30% des besoins de la population mais afin de garantir une autosuffisance, il est impératif de multiplier cette production à plus de 3 fois.

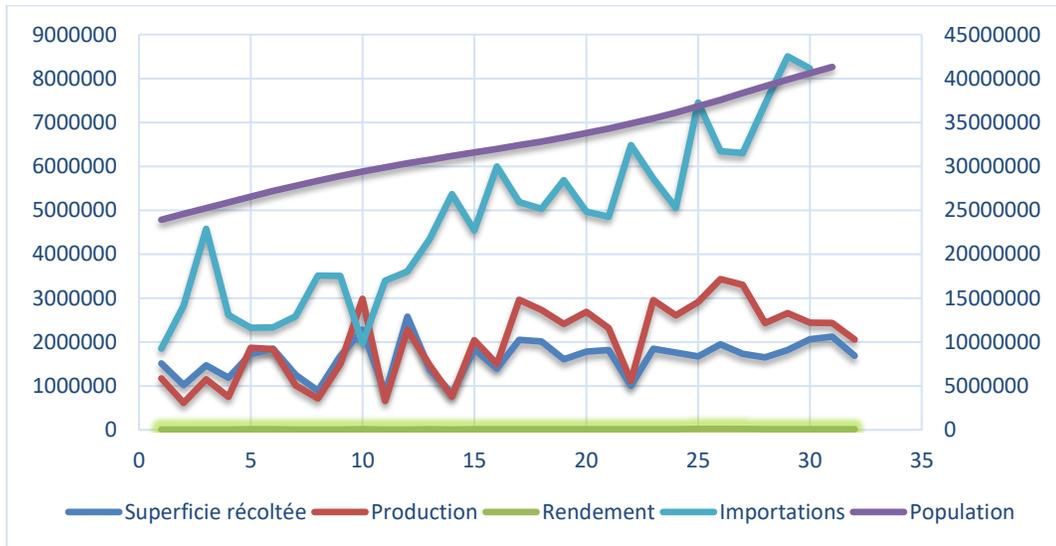


Figure 2:Évolution de la superficie, la production, le rendement et l'importation du blé en parallèle avec l'évolution démographique algérienne.

L'orientation de l'augmentation de la superficie n'est pas considérée, comme une solution pertinente. Elle ne présente que 40% de la SAU. L'augmentation du rendement, par l'amélioration de l'itinéraire technique et l'approvisionnement des agriculteurs en intrants est le chemin à prendre en considération.

3. contraintes de la culture de blé:

- Selon Djermoun, (2009) la cause principale de la faiblesse de la production est dû aux conditions climatiques, principalement le manque et l'irrégularité de la précipitation; l'apparition d'un déficit hydrique au début de montaison réduit 10 à 25% le nombre des épis. Un manque d'eau combiné aux températures élevées est une condition fréquente dans les zones semi-arides après la floraison entraine une diminution dans le PMG et agit sur la vitesse de remplissage des grains, ce qui se traduit par un échaudage des épis (Benbelkacem and Kellou, 2000).

- Les itinéraires techniques et les pratiques agricoles, adoptées par les agriculteurs (Ramdane & Christine, 2012), particulièrement la fertilisation azotée et son fractionnement, joue un rôle dans la production et la qualité des grains de la culture du blé dur (Melki et al., 2015).

Chapitre 2: Fertilisation azotée

1. Cycle d'utilisation de la fertilisation azotée:

L'échange et la transformation des éléments minéraux se font dans le sol au cours des années. Le cycle d'azote est l'un des mécanismes complexes il se caractérise par des échanges perpétuels entre les formes organiques et minérales et le transfert de nitrate entre les horizons du sol (Beaudoin et al., 2012).

La quantité d'azote disponible dans le sol à un instant donné résulte à des différents facteurs; la minéralisation de la matière organique, la fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses et les apports minéraux des engrais de synthèse et des fertilisations organiques. Aussi, il y a des flux de sortie qui diminuent le stock azoté; la lixiviation est la principale cause de perte d'azote minérale, la volatilisation d'azote ammoniacale ainsi que la réorganisation de l'azote minérale et l'absorption par les cultures. Plusieurs facteurs peuvent influencer ce cycle tels le climat, les caractéristiques de sol et les pratiques culturales (Beaudoin et al., 2012; MAAF, 2016)

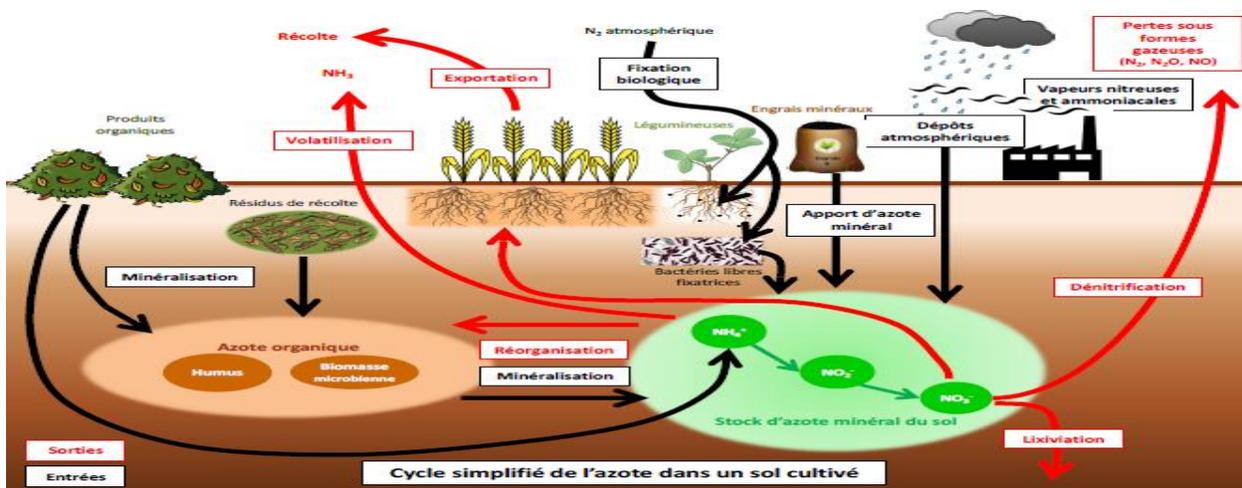


Figure 3: Cycle de l'azote (MAAF, 2016)

2. Utilisation des engrais azotés en Algérie:

L'utilisation des engrais azotés pour les pratiques culturales, dans le monde connaît une augmentation au cours des dernières années. La consommation de ces engrais en 2002 était aux près de 82529086 tonnes et a atteint 110182362 tonnes en 2016. L'utilisation de ce type de fertilisant, en Algérie connaît une large variation dans la quantité utilisée au cours de la période 2002 à 2016. Cette variation est indépendante des disponibilités des fertilisants, il est corrélé très fortement avec la dose appliquée par les agriculteurs. Il est variable au cours des années; en 2004, il a atteint un d'utilisation d'azote dans les 15 dernières années précédentes. La dose appliquée est de près de 13kg/ha contrairement à l'année 2005, avec une dose appliquée autours de 1 kg/ha ("FAOSTAT," 2019b).

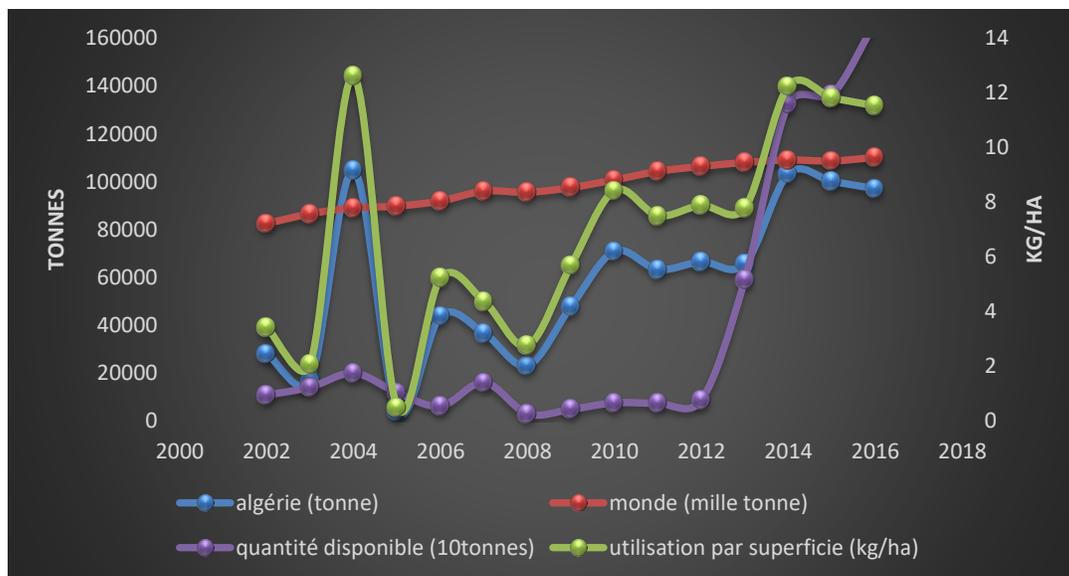


Figure 4:Utilisation des engrais azotées dans le monde et dans l'Algérie ("FAOSTAT," 2019b)

La variation interannuelle d'utilisation d'azote en Algérie, ainsi que la dose appliquée par hectare permettent de constater que cette pratique est moins maîtrisée par les agriculteurs algériens. Elle est considérée comme une technique culturale négligeable.

3. Importance de la fertilisation azotée sur la culture de blé:

La production alimentaire dans le monde a suivi un rythme d'une demande accrue. L'utilisation des nouvelles variétés à haut rendement associées à une gestion des cultures améliorée joue un rôle important pour une augmentation substantielle de rendement (Eickhout et al., 2006). Mais selon Smil, (2001) sans l'industrie de l'ammoniac de synthèse, moins des deux cinquièmes de la population mondiale mourraient de la faim à cause du manque de protéines, dans leur régime alimentaire.

Selon le MAAF (2016), les critères d'évaluation d'efficacité de la fertilisation azotée sont le rendement. Il est la masse de produits récoltées sur une superficie donnée ou déterminé par un nombre des composants (le poids de mille grains, le nombre des épis par m² ...etc.). On peut évaluer aussi par la qualité des produits récoltés, particulièrement la filière de distribution. Il est nécessaire d'assurer un niveau minimal de qualité pour la culture de blé dur. Le taux de protéines est le critère de qualité le plus étudié.

Pour la plupart des espèces cultivées, on peut diviser le cycle de production en deux phases, la première phase est la phase végétative. Elle est caractérisée par le développement de la surface foliaire et la captation de l'énergie lumineuse et par conséquent une forte demande d'azote aux méristèmes pour l'initiation et l'expansion des nouveaux organes. Toute réduction d'azote se traduit par une diminution du taux des divisions cellulaires et par conséquent ralentir la croissance des organes. La deuxième phase, est la phase reproductive qui est dominée par le développement des organes de stockage et la remobilisation de l'azote des organes végétatifs (Lemaire and Gastal, 2016).

Plusieurs études (Ayadi et al., 2016; Belay et al., 2017; Haile et al., 2012) ont montré que le rendement en grains, du blé dur est affecté significativement ($p \leq 0.01$) par le niveau de la fertilisation azotée.

Selon (Djennadi, 2013) tout manque d'azote traduit par une réduction de la taille de tous les organes, un faible tallage et par conséquent un faible rendement et une réduction de la teneur en protéines.

4. Besoins et les fractions de la fertilisation pour la culture de blé

L'azote est un élément essentiel pour la croissance et le développement de blé, en effet le blé dur est la culture la plus exigeante en azote que les autres céréales, ces besoins de l'ordre de 3.5 kg pour produire un quintal de grains et la dose initiale du bilan prévisionnel est modulé selon l'objectif de rendement, et le fractionnement donne la possibilité d'ajuster la dose en fonction des besoins nutritionnel de la plante (Djennadi, 2013).

Selon Melki et al., (2015), dans les zones semi-arides, les précipitations oscillent 244 mm/an. Les besoins en azote sont de 3kg pour produire 1ql de blé dur. On fractionne la dose totale sur deux ou trois apports, répartis équitablement sur la levée, le tallage et la montaison. Ceci permettra de couvrir les besoins des différents stades critiques de la culture. Il donne une amélioration du rendement et de la qualité de grains de blé dur. Mais la fraction de l'engrais en deux apports, entre la levée et le tallage, améliore le rendement en paille et le PMG et il diminue le rendement en grains.

5. Impact de la fertilisation azotée sur l'environnement:

Une nutrition azotée limitante des plantes influe généralement, sur le niveau de production et de la qualité de la culture. En Europe, les prix relativement bas des engrais azotés incitent les agriculteurs à utiliser des quantités excessives, par rapport aux besoins de la culture. Leur objectif est de minimiser les risques de diminution du rendement. Ces excès d'apport azotée par rapport au besoin de la culture entraînent une diminution de l'efficacité d'utilisation d'azote, et ils présentent une des sources de pollution pour l'hydrosphère et l'atmosphère (Lemaire and Gastal, 2016; MAAF, 2016)

Selon Lemaire and Gastal (2016), afin d'atteindre un rendement objectif de 80qx/ha de grains de blé, les besoins en fertilisation azotée sont d'environ 240 kg/ha. Alors qu'une lixiviation est de seulement 10% de cette quantité apportée conduit inexorablement à des eaux drainées dépassant le seuil de potabilité 50 mg NO₃/L (norme européenne). Une perte gazeuse est de seulement 1% de cette quantité sous forme N₂O conduit à des contributions très importantes en terme de réchauffement climatique.

Chapitre3: Efficience d'utilisation d'azote

Afin d'atteindre les objectifs des politiques agricoles, de tout pays, qui est l'autosuffisance nationale en produit agricole, la réduction des prix des produits alimentaires et une sécurité sanitaire des aliments, il devient nécessaire de transformer les systèmes de culture pour rendre plus économe les ressources environnementales et compatibles avec un développement durable, en tenant compte les trois dimensions : environnementale, économique et sociale (Allinne, 2009).

Une fertilisation minérale élevée a une conséquence d'ordre économique, liées à un surcout de la fertilisation azotée. Elle est d'ordre environnementale à cause de la lixiviation élevée (Candido et al., 2009; Dejoux et al., 2000), qui devient un problème universel. Il est judicieux de proposer de nouvelle approche afin de contrôler et minimiser ces risques environnementaux à long terme (Tanaskovik et al., 2016).

L'efficience d'utilisation d'azote (NUE) est un terme complexe comportant des nombreux composants. Pour mesurer ou quantifier le NUE, qui est une ration qui considère un produit de sortie (rendement biologique ou économique) comme numérateur et l'entrée qui est l'apport azoté comme dénominateur ((Ladha et al., 2005).

L'obtention des informations et des estimations du NUE est importante afin d'aider à concevoir de nouvelle pratique de gestion de la dose d'engrais azotée et la date d'application (Ayadi et al., 2016; Ladha et al., 2005). La dose et la période d'application influent sur la formation des composants génétiques. Une variété améliorée à une NUE plus élevée que les variétés anciennes (Ayadi et al., 2016). Ainsi la zone bioclimatique, l'irrigation, le système de culture présentent un effet sur le NUE (Souissi et al., 2018).

Les données disponibles pour les agriculteurs sur le NUE sont le rendement obtenu et les apports azotés. Ils peuvent se baser sur la différence de rendement entre une parcelle fertile et une autre non fertile par rapport à la quantité d'azote appliquées (Cassman et al., 2002), c'est le résultat de l'efficience de prélèvement de l'azote (CAU). L'efficience de l'incorporation de l'azote dans la biomasse végétale et l'efficience de remobilisation de l'azote vers les grains est définie par l'indice azotée de l'azote (NHI) (Souissi et al., 2018).

1. Indicateurs de NUE

L'estimation la plus fréquente de NUE est le rapport entre le rendement de la parcelle fertilisée et la quantité d'azote apporté. Il a généralement une corrélation positive avec le rendement en grains chez les plantes cultivées. Cela signifie que l'amélioration de NUE peut améliorer le rendement en grains pour les plantes cultivées (Fageria, 2009), tel les céréales.

Le tableau ci-dessous (**tableau1**) renferme les différentes façons de détermination de cette efficacité, qui sont utilisées en fonction de la disponibilité de certains facteurs (temps, données de base).

1.1 Efficience agronomique (NUE_A):

À partir d'une étude de Belete et al., (2018), le NUE_A permet d'étudier la capacité d'amélioration du rendement en grains, avec la dose d'azote appliquée. Il est affecté par la disponibilité d'azote pour la plante et diminue par l'application excessive de la fertilisation azotée, liée directement avec la rentabilité économique.

L'efficience agronomique est calculée par la différence entre la production économique dans une parcelle fertilisée et un autre non fertilisée par rapport à l'apport N appliqué, selon la formule suivante (Fageria, 2009):

$$NUE_A = \frac{RMSG \text{ de la parcelle fertilisée} - RMSG \text{ de la parcelle non fertilisée}}{\text{quantité d'azote apporté}}$$

Généralement le NUE_A est faible pour les céréales, plusieurs études réalisées sur le blé dur, le blé tendre et le riz indiquent que le NUE_A est limité par une fourchette de 4 à 26 kg/kgN. Le NUE_A diminue avec l'augmentation d'azote appliqué, et avec la variation génotypique (Ayadi et al., 2016; Belete et al., 2018; Fageria, 2009).

Table 1: différentes expressions de l'efficacité d'utilisation d'azote NUE et leur méthode de calcul (Fageria, 2009)

Les désignations	La formule de calcul	Les abréviations des équations
Efficacité agronomique NUE_A	$NUE_A (kg*kg^{-1}) = Gf - Gu/Na$	G_f : rendement grains de la parcelle fertilisée G_u : rendement grains de la parcelle non fertilisée N_a : quantité d'azote appliquée
Efficacité physiologique NUE_p	$NUE_p (kg*kg^{-1}) = BYf - BYu/Nf - Nu$	BY_f : rendement biologique (grains + paille) de la parcelle fertilisée BY_u : rendement biologique (grains + paille) de la parcelle non fertilisée N_f : quantité d'azote absorbé par la plante (grains + paille) de la parcelle fertilisée N_u : quantité d'azote absorbé par la plante (grains + paille) de la parcelle non fertilisée
Efficacité agro-physiologique NUE_{AP}	$NUE_{AP} (kg*kg^{-1}) = Gf - Gu/Nf - Nu$	G_f : rendement grains de la parcelle fertilisée G_u : rendement grains de la parcelle non fertilisée N_f : quantité d'azote absorbé par la plante (grains + paille) de la parcelle fertilisée N_u : quantité d'azote absorbé par la plante (grains + paille) de la parcelle non fertilisée
Coefficient apparent d'utilisation d'azote CAU	$CAU (\%) = (Nf - Nu/Na) \times 100$	N_f : quantité d'azote absorbé par la plante (grains + paille) de la parcelle fertilisée N_u : quantité d'azote absorbé par la plante (grains + paille) de la parcelle non fertilisée N_a : quantité d'azote appliquée
Efficacité d'utilisation d'azote NUE	$NUE (kg*kg^{-1}) = PE \times ARE$	PE : Efficacité physiologique ARE : Coefficient apparent d'utilisation d'azote

1.2 Efficience agro-physiologique (NUE_{AP}):

Représente la capacité et l'aptitude d'une plante de transformer l'azote absorbé à partir d'un apport en rendement économique (Gauer et al., 1992), il est affecté aussi comme le NUE_A par les doses élevées d'azote (Belete et al., 2018). Son calcul 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 (Fageria, 2009):

$$NUE_{AP} = \frac{RMSG \text{ de la parcelle fertilisée} - RMSG \text{ de la parcelle non fertilisée}}{QNT \text{ absorbé par la plante dans la parcelle fertilisée} - QNT \text{ absorbé par la plante dans la parcelle non fertile}}$$

Pour les céréales l'ordre de grandeur de NUE_{AP} en Afrique est de 22.9 kg/kgN (± 1.4) avec une moyenne mondiale de 40.6 kg/kgN (± 1.1). Une moyenne mondiale d'efficience plus faible pour le blé 28.9 kg/kgN (± 1.3) par rapport au riz 52.8 kg/kgN (± 1.6) (Ladha et al., 2005)). Cet indicateur est influencé par le comportement génotypique des plantes. Il atteint 123 kg/kgN pour un génotype de riz (Fageria, 2009), aussi il diminue en fonction d'augmentation d'apport azotée. Il est marqué sur la culture de blé tendre avec une dose de 120 kg/ha, le NUE_{AP} est de 46.56 kg/kgN et s'affaiblit jusqu'à 21.56 kg/kgN pour une dose de 360 kgN/ha (Belete et al., 2018).

1.3 Efficience physiologique (NUE_P):

Représente la capacité de la plante à transformer la quantité d'azote absorbé en rendement biologique (matière sèche). Il est considéré un des paramètres de détermination de NUE. Il est le rapport du rendement en matière sèche globale (grains + paille) de la parcelle fertilisée, dont on déduit le rendement en matière sèche 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 (Fageria, 2009):

$$NUE_P = \frac{RMST \text{ de la parcelle fertilisée} - RMST \text{ dans la parcelle non fertilisée}}{QNT \text{ absorbé par la plante dans la parcelle fertilisée} - QNT \text{ absorbé par la plante dans la parcelle non fertile}}$$

Les valeurs de NUE_P sont plus grandes par rapport aux NUE_A et NUE_{AP}, car il est prend en considération toute la biomasse aérienne de la plante. Il est moins utiliser pour le blé destiné à

l'alimentation humaine. La paille à une faible valeur nutritive et économique par rapport aux grains. Pour la culture de riz, les valeurs sont situées dans une intervalle de 105 à 222 kg/kgN en fonction des variétés (Fageria, 2009).

1.4 Coefficient apparent d'utilisation d'azote (CAU):

C'est un paramètre de mesure de NUE, l'objectif de ce paramètre est de mesurer la capacité d'une plante de répondre à une augmentation d'azote appliquée par une augmentation de prélèvement d'azote. Il est très élevé lorsque la croissance de la plante est rapide, son système racinaire dense permet une meilleure captation des ions NO_3^- et NH_4^+ dans le sol. Le système de transport membranaire de ces plantes devient plus efficace pour une absorption plus rapide de ces ions, pour une meilleure compétition vis-à-vis de leur utilisation par les microbes de sol. Ceci permet d'éviter les pertes vers l'hydrosphère ou l'atmosphère (Lemaire and Gastal, 2016).

Ce paramètre est la différence de la quantité d'azote absorbé par la plante dans une parcelle fertilisée et la quantité d'azote absorbé dans une parcelle non fertilisée par rapport à la quantité d'azote apportée, la formule est la suivante (Fageria, 2009):

$$\text{CAU} = \frac{\text{QNT absorbé par la plante de la parcelle fertilisée} - \text{QNT absorbé par la plante de la parcelle non fertilisée}}{\text{Quantité d'azote apportée}}$$

La plage de données du CAU est située entre 50%- 90%. Les valeurs faibles à cet intervalle provoquent des pollutions de sol et des eaux par N. Les valeurs élevées épuisent le stock de sol en élément N (Oenema O et al., 2015). En Afrique, la valeur moyenne de CAU est près de 63% ($\pm 3\%$) pour les céréales avec une moyenne mondiale de 55% ($\pm 1\%$) plus spécifiquement 57% ($\pm 2\%$) pour la culture de blé (Ladha et al., 2005).

1.5 Efficience d'utilisation d'azote NUE:

Il est défini comme le produit d'une efficience physiologique d'utilisation d'azote NUE_p et le coefficient apparent d'utilisation d'azote CAU. Il donne la capacité d'obtenir des rendements

économiques maximales pour une région agro-écologique donnée. Il est déterminé comme suit (Fageria, 2009):

$$NUE = NUE \text{ physiologique} \times CUA$$

Cette formule est rarement utilisée car dans plusieurs systèmes de culture, les pools N organiques et minérales ont atteint l'état équilibré. Par exemple, le riz irrigué en Asie et le maïs en USA; ces systèmes appliquent la monoculture et les mêmes techniques de gestion cultural au cours des années. Contrairement aux zones qui adoptent des nouvelles pratiques et appliquent la rotation qui affecte le bilan de carbone et par conséquent affectera le bilan d'azote. Le rapport C/N de la matière organique dans l'état d'équilibre est stable.

1.1 **Indice de récolte azotée (NHI):**

Il est exprimé par la quantité d'azote dans les grains par rapport à la quantité d'azote totale absorbé par la plante (grains et paille). Un NHI supérieur dans les génotypes est souhaitable car il est lié positivement avec le rendement en grains (Fageria, 2009). Un NHI élevé indique une utilisation efficiente de l'azote, il est influencé par l'apport azoté et la variété, ainsi que l'interaction entre ces deux facteurs (Belete et al., 2018). Il est déterminé comme suit :

$$NHI\% = \frac{\text{Quantité d'azote dans les grains}}{\text{Quantité d'azote totale dans la plante}}$$

Il est important de déterminer le NHI car il est contribué avec 71% dans la variation de rendement en grains. Il est généralement élevé pour les légumineuses plus que les céréales; pour la culture d'haricot l'intervalle de NHI est situé entre 0.43 à 0.88. Il est plus élevé pour le riz qui est situé entre 0.53 à 0.64. Pour le blé dur les valeurs se situent dans une fourchette de 0.57 à 0.83 (Desai and Bhatia, 1978; Fageria, 2009).

1.2 **Coefficient réel d'utilisation d'azote (CRU):**

C'est un autre coefficient similaire au CAU. Il est nommé le coefficient réel d'utilisation d'azote (CRU) qui a un avantage de mesurer la récupération d'azote appliquée par la culture. Il nécessite

l'utilisation de l'azote isotope (marquée ^{15}N). De grand moyens financier et des installations d'analyses sont nécessaires pour sa détermination (Ladha et al., 2005).

$$\text{CRU (\%)} = \frac{\text{Quantité d'azote absorbé provenant d'engrais azotée marquée}}{\text{dose d'engrais azotée apportée (15N)}} \times 100$$

En Afrique, la valeur moyenne du CRU est de 37% ($\pm 3\%$), elle est de 11% inférieure à la valeur du CAU. Il y a une part d'azote appliquée qui est indisponible pour l'absorption par la plante à cause des autres flux de sortie d'azote (volatilisation, lessivage, réorganisation). Le CRU du blé présente une moyenne mondiale de 45% ($\pm 1\%$) (Ladha et al., 2005).

Tout ces éléments (NUE_A , NUE_P , NUE_{AP} , CAU, CRU, NHI) sont des indicateurs pour analyser l'efficacité d'utilisation d'azote pour une bonne maîtrise de la fertilisation azotée, dans les zones semi- arides. Cette zone est caractérisée par la production des céréales sous un système pluvial. La principale charge pour l'agriculteur est le coût des fertilisants azotés, dans ce cas l'amélioration de NUE_A est efficace pour augmenter la marge bénéficiaire des agriculteurs. Sur un autre aspect, la connaissance des performances variétales d'absorption d'azote et son intervention dans le fonctionnement de la plante (biomasse végétale) est importante. Pour le NUE_{AP} l'importance de ce paramètre est la connaissance de la capacité de la plante et à transformer l'azote absorbé en matière sèche grains. Il a une relation positive avec le NHI.

Pour la détermination du coefficient réel d'utilisation(CRU), il nécessaire d'utiliser le N^{15} , qui est couteux. Dans notre cas, on utilisera le CAU qui est facile à déterminer par la méthode de différent-N entre deux parcelles (N et N_0). Le NHI est un paramètre qu'il faudrait améliorer à cause de son lien avec le rendement en grains et l'azote stocké dans la paille, considérée comme une perte. Enfin, le NUE détermine l'objectif principal d'une bonne utilisation d'azote. Son augmentation améliore le rendement dans un contexte de rentabilité économique avec une diminution des pollutions environnementales, suite à des applications des fertilisants azotés non raisonnables.

Partie pratique

Chapitre 1: Matériels et méthodes

Matériels et méthodes

Objectif de travail:

Le travail réalisé a comme objectif la gestion d'utilisation des engrais azotés, par l'étude de l'efficacité d'utilisation de l'azote. L'essai expérimental a été réalisé au cours de la saison 2017-2018, au niveau de la région semi-aride -Sétif.

Les résultats obtenus dans notre essai ont été comparés à un essai similaire, conduit au cours de la saison 2016/2017.

Les résultats des deux années ont permis l'élaboration d'un modèle mathématique, qui exprime l'efficacité d'utilisation d'azote de la variété locale Bousselam, cultivée dans la région de Sétif.

Présentation de la région d'étude:

1. Situation géographique:

1.1 Présentation de cadre physique:

La wilaya s'étend sur une superficie de 6504 km² (630 000 ha) soit 0,27% du territoire national, elle est située entre 36°50 et 35° de latitude Nord et entre 5° de longitude Ouest et 6° de longitude Est, limitée au Nord par les wilayas Jijel et Bejaia, Est la wilaya de Mila, Sud les wilayas de Batna et M'sila, Ouest la wilaya de Bordj-bou-Argeridj.

Sétif est très connue pour sa vocation céréalière et était dénommée autrefois le « grenier de Rome » au vu de l'importance de ses capacités de production en blé dur.

1.2 Reliefs:

D'une manière générale, la wilaya de Sétif est une région de hautes plaines où trois types de zones existent comme le montre la figure 5.

A. Zone montagneuse:

Cette zone occupe plus de 40% de la superficie de la wilaya, elle est constituée de trois masses montagneuses: les montagnes de la région Nord (Babor) s'étend sur une centaine de kilomètres avec une

altitude maximale de 2004 m, les montagnes de Bibans dont l'extrémité orientale couvrent le Nord-ouest de la wilaya et les montagnes du Hodna, qui s'étalent sur le Sud et le Sud-Ouest, où l'altitude atteint à Djebel Boutaleb 1890 m.

B. Zone des hauts pleins:

C'est une immense étendue, occupant 50% de la superficie totale de la wilaya, relativement plate dont l'altitude varie de 900 à 1200 m.

C. Zone de dépression sud et sud-est:

Située dans le Sud et le Sud-est de la wilaya, où L'altitude dépasse rarement les 900 m. Cette zone pratiquement plate couvre une superficie de 10% de l'espace de la wilaya et se caractérise par la présence des 'chotts' ou dépression salées.

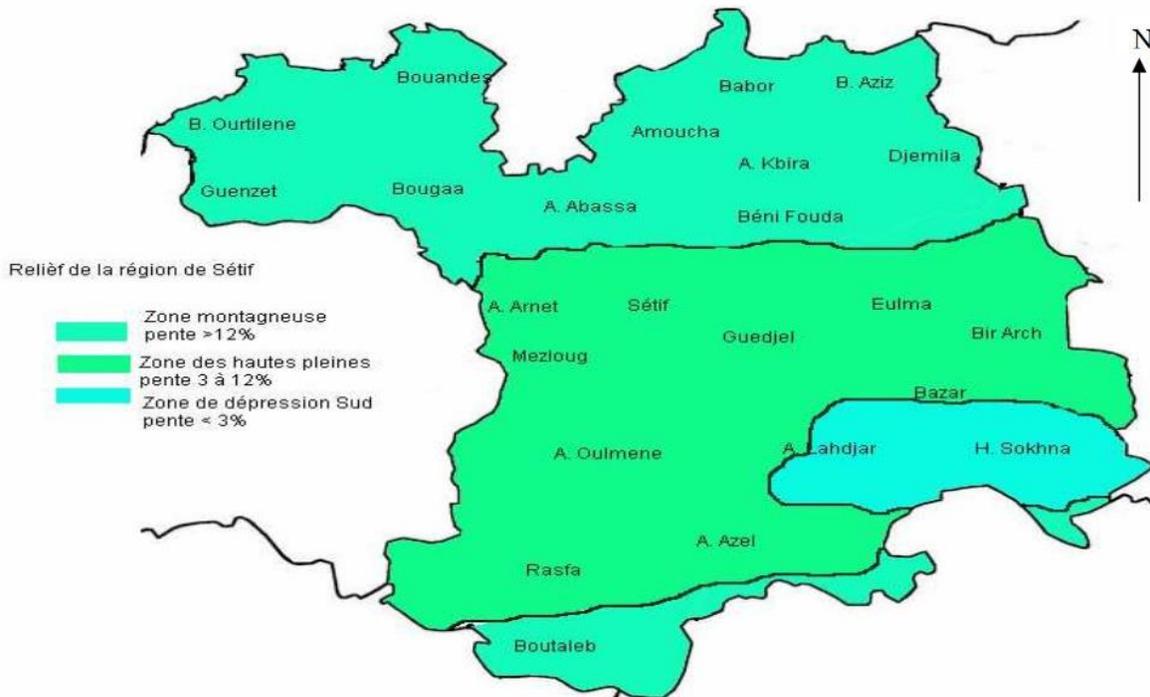


Figure 5: carte des zones de la wilaya de sétif (DSA., 2016)

1.3 Sol:

D'une étendue assez vaste, la wilaya de Sétif recouvre cinq catégories de sols. Ce sont les sols calcaires qui occupent la moitié de la superficie, les sols insaturés, les sols calciques, les sols salins et enfin les sols alluviaux.

La zone montagneuse : dans sa grande partie, elle est couverte par des sols calcaires et des sols alluviaux.

La zone des hautes plaines : dans cette région, on rencontre surtout des sols calciques et calcaires dont la qualité est variable d'un lieu à un autre ; les uns sont riches en argiles mais moins pourvus en humus au Nord.

2. Étude climatique de la région d'étude:

1.1 Température:

La température est l'une des principaux facteurs climatiques qui influe sur la croissance et le développement des cultures, les températures qui ont caractérisées la région de Sétif durant la campagne agricole 2016/2017 sont présentées dans le **tableau 2**, par contre les températures de la campagne agricole 2017/2018 sont présentées dans le **tableau 3**:

Table 2: donné des températures (min,max,moy) de la région de Sétif (2016/2017)

mois	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	Août
t°moy	20,3	18	10,2	7,3	3,1	7,8	11	12,9	20,1	24,4	27,5	27,5
t°max	27,7	25,2	16	12,1	7,1	13,7	17,5	18,8	27,2	31,3	34,6	35
t°min	14	11,7	4,8	2,8	-1	2	3,9	6,1	12,5	17,3	19,2	20,1

Source: tutiempo¹ 2019

Durant la campagne 2016/2017, le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de 3.1°C, et la température la plus élevé enregistré au mois d'Aout avec une moyenne de 27.5°C.

Table 3:donné des températures (min,max,moy) de la région de Sétif (2017/2018)

mois	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août
t°moy	20,4	15,1	8,5	4,9	6,1	4,4	8,7	12,6	14,9	20,7	28,3	22,9
t°max	27,3	21,5	14,3	8,9	11,4	8,9	12,9	18,2	20,1	26,9	35,4	29,2
t°min	13	8,9	3,3	0,8	0,9	-0,1	3,9	6,5	9,4	13,3	20,1	16,3

Source: tutiempo² 2019

¹ fr.tutiempo.net

² fr.tutiempo.net

Durant la campagne agricole 2017/2018, le mois le plus froid était le mois de février où on a enregistré la température moyenne la plus basse (4.4°C), et la température la plus élevée est au mois de juillet qui est le mois le plus chaud (28.3°C).

Pendant les mois de Mai et de juin, les températures étaient convenables pour le cycle de la culture (stade de floraison et le remplissage des grains).

1.2 Pluviométrie:

Le **tableau 4** indique les précipitations dans la région de Sétif durant la saison 2016/2017, par contre les données de la saison agricole 2017/2018 sont présentées dans le **tableau 5**.

Table 4:Précipitation dans la région de Sétif (2016/2017)

mois	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	totale
PP (mm)	12,18	14,99	29,97	7,62	48,26	19,05	0	5,6	8,39	41,91	0,25	7,62	195,84

Source: tutiempo³ 2019

Cette saison était caractérisée par une faible précipitation et une mauvaise répartition des pluies ce qui permet de la considérer comme une année sèche. Le mois de Novembre qui est la période de semis a enregistré une pluviométrie insuffisante (29.97mm). L'agriculteur a retardé le semis jusqu'au 10 décembre. Au mois d'Avril (période de tallage et de montaison) la précipitation était très déficitaire (5.6 mm), ce qui a influencé négativement sur le rendement.

Table 5:Précipitation dans la région de Sétif (2017/2018)

mois	sept	oct	nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	août	totale
PP (mm)	32,76	12,96	38,12	50,27	12,96	21,33	90,9	83,3	67,3	39,37	1,53	17,5	468,38

Source: tutiempo⁴ 2019

Cette campagne contrairement à l'année précédente est caractérisée par une forte précipitation (année humide). Le semis a été réalisé le 8 Novembre où la quantité de pluviométrie a permis la bonne mise en place (germination des grains et une forte densité de semis) de la culture. Les apports azotés appliqués à la fin du mois de janvier (tallage) et à la fin du mois de février (épis 1cm) ont été effectuées, suite à une précipitation suffisante (35mm).

1.3 Vents:

Les vents les plus fréquents et les plus nuisibles sont ceux de sud (les siroccos) qui commencent généralement du mois de mai et peuvent aller jusqu'au mois d'octobre.

³ fr.tutiempo.net

⁴ fr.tutiempo.net

1.4 Gelées:

Les gelés sont très fréquents dans cette région, ils s'étalent du mois de novembre jusqu'à fin avril. ils provoquent des dégâts sur le rendement des céréales, en agissant sur la fertilité des épis.

1.5 Classification du climat selon diagramme de Mr EMBERGER:

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER est calculé par la formule suivante:

$$Q = 2000 \frac{P}{M^2 - m^2}$$

Avec:

Q: coefficient pluviométrique d'EMBERGER

P: précipitation moyenne annuel (mm)

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud en kelvin

m: moyenne des minima du mois le plus froid en kelvin

Moyenne de deux campagnes agricoles (2016/2017), (2017/2018):

$$M = 35,2 + 273 = 308,2 \text{ K}$$

$$m = -1,1 + 273 = 271,9 \text{ K}$$

$$Q = 2000 \frac{332,11}{308,2^2 - 271,9^2} = 31,54$$

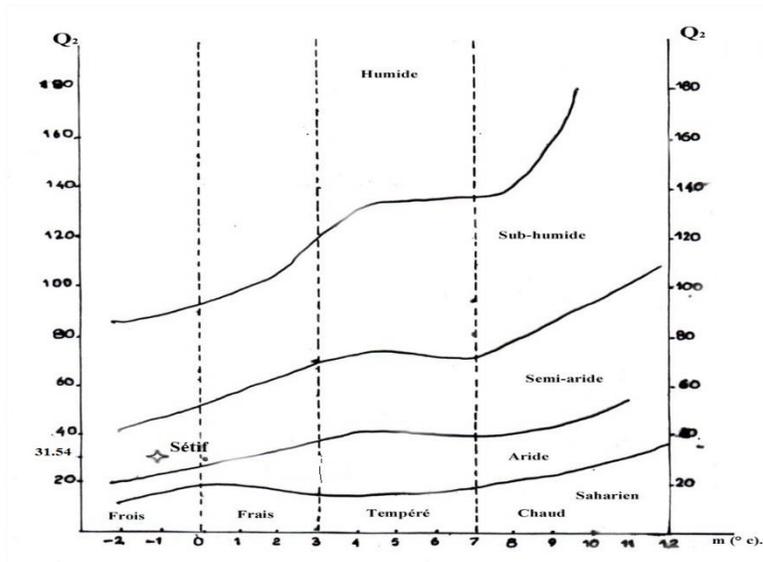


Figure 6: Diagramme d'EMBERGER

Notre zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par un climat continental typiquement méditerranéen, avec des été chauds et secs et des hiver froids.

3. Diagnostique de secteur agricole dans la wilaya de Sétif:

En 2016, La surface agricole totale était de 654 777,2 ha. La superficie agricole utile (S.A.U) avec 364728.17 ha. Ceci représente 55.7% de la superficie globale de la wilaya, La jachère s'étend sur 97675.8 ha soit 14.95 % de la SAT (DSA.,2016).

La céréaliculture constitue la principale activité au niveau de la wilaya de Sétif. Elle couvre une superficie estimée à plus de 191560 hectares (72% de la SAU), le blé dur est la principale céréale cultivée dans les hautes plaines Sétifiennes avec une superficie de 118825ha soit 62 %, l'orge 24%, le blé tendre est 10 % (DSA., 2016).

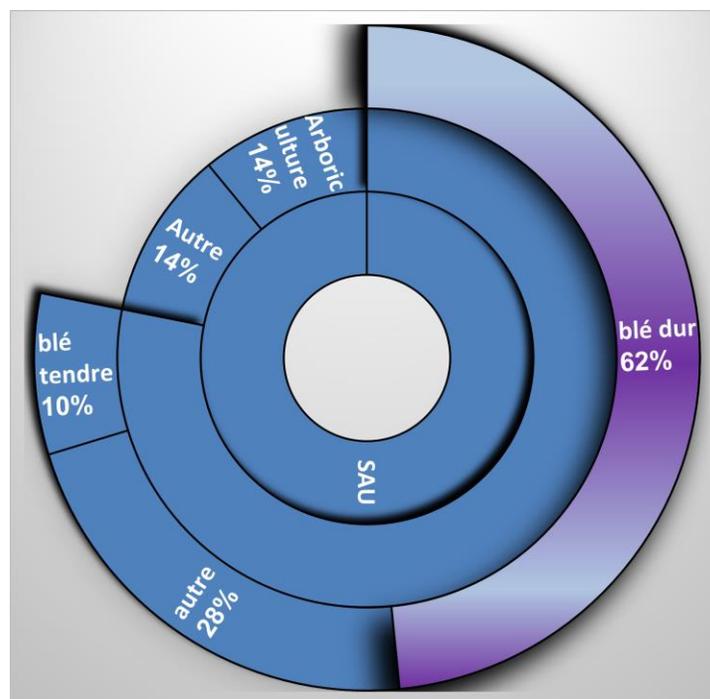


Figure 7: Répartition de la SAU dans la région de sétif

Protocole expérimental:

1. Matériel végétale:

Dans ce travail nous avons utilisé la variété **Bousselam**. Elle est une nouvelle variété à haut rendement. Elle est très appréciée par les agriculteurs, pour sa productivité et la grosseur de son grain (PMG élevé 40-60g). Elle est tolérante au froid, à la sécheresse et à la verse.

2. Dispositif mis en place:

L'expérimentation a été installée dans la région de Ain mouss (Sétif), dans l'exploitation de M BOURAS. M.S. Toutes les pratiques culturales du labour jusqu'à la récolte ont été accomplies par l'agriculteur lui-même. La dose de semis appliquée est de 136kg/ha, avec un semoir en ligne afin d'obtenir un peuplement homogène et avec un objectif de 350 plants/m².

Le dispositif expérimental utilisé est de type factoriel, divisé en quatre blocs. Chaque bloc est divisé en sept parcelles élémentaires présentant chacune un traitement du facteur étudié.

Une parcelle élémentaire présente une dimension de 30m² (5x6). La surface totale du terrain expérimental de 1139 m² (28 parcelles élémentaires x 30 m²) en ajoutant les inters blocs (1m) et inter parcelles (0.50m).

Un facteur principal à étudier : dose engrais azoté. Facteur contrôlé : Bloc avec quatre répétitions Le **nombre des parcelles élémentaires est de 28** (07 traitements x 04 blocs = 28 observations).

Les niveaux du facteur sont au nombre de sept variant d'un pas de 10 UN/ha. Cette série de dose est puisée des résultats obtenus lors des expérimentations sur l'optimisation de la fertilisation azotée, installés dans la même zone d'étude.

- Un traitement témoin T1 sans apport **N0**.
- Un traitement T2 représente un apport d'azote de **100 UN/ha**.
- Un traitement T3 représente un apport d'azote de **110 U N/ha**.
- Un traitement T4 représente un apport d'azote de **120 U N/ha**.
- Un traitement T5 représente un apport d'azote de **130 U N/ha**.
- Un traitement T6 représente un apport d'azote de **140 U N/ha**.
- Un traitement T7 représente un apport d'azote de **150 U N/ha**.

L'engrais azoté à utiliser est l'urée 46% est un amendement minéral de formule chimique $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, contient 46% azote uréique. Chaque dose a été fractionnée en deux apports:

Un apport de 1/2 dans le stade débuts tallage.

Un apport de 1/2 dans le stade épis 1cm.

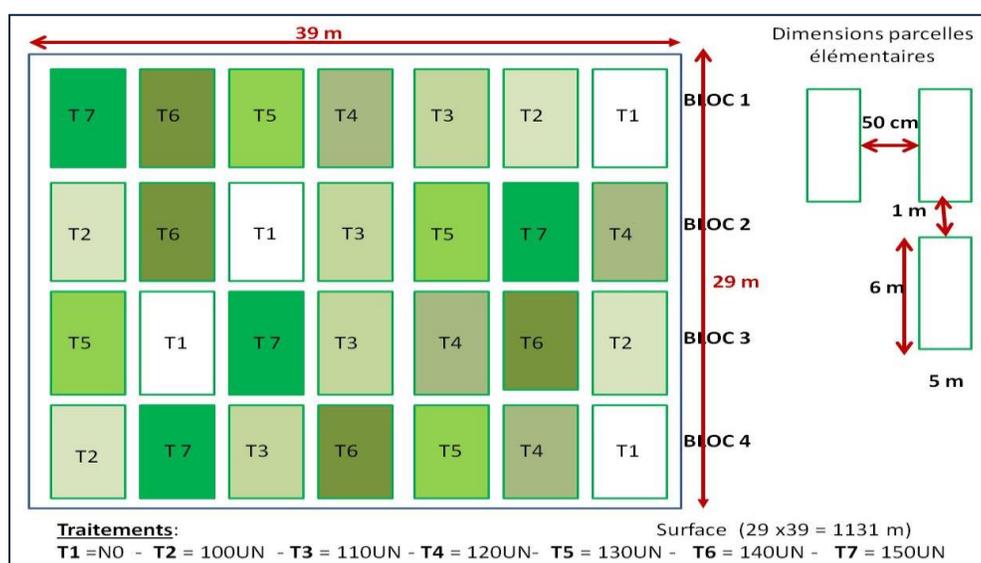


Figure 8:présentation de dispositif expérimental à installer sur le terrain (Boulelouah,2016)

3. Récolte:

On a contribué avec l'agriculteur à la récolte des échantillons aléatoire d'un mètre carré (1 m^2), pour chaque parcelle à l'aide d'un plateau. Les échantillons ont été récoltés au ras du sol. Ils sont mis dans des sachets en papier étiquetés et ramenés au laboratoire pour le conditionnement.

4. Conditionnement des échantillons:

Les plantes du blé dur ont été débarrassées de toutes leurs impuretés (épis d'autres céréales, mauvaise herbe) avant la séparation entre la partie reproductive et la partie végétative. Les plantes ont été conditionnées dans des sachets en papier étiquetés. Les principales opérations de conditionnement sont indiquées dans le tableau 7:

Table 6: Étapes de conditionnement des échantillons

Les étapes	Illustration
Élimination des racines et séparation des épis du reste de la biomasse.	
Comptage du nombre d'épi pour chaque échantillon.	
Étuvage des échantillons (épi + paille) pendant 72hs, à une température de 80°C.	
Après le séchage, les échantillons sont pesés directement pour l'obtention de la matière sèche épi et matière sèche paille.	
Battage des épis manuellement pour la récupération des grains. Ils sont ensuite séchés pendant 72 ha à 80°C et pesés pour l'obtention de la matière sèche grain (MSG)	
Après le pesage de MSG. nous avons fait le broyage des échantillons (grains et paille).	

Le conditionnement d'échantillons de l'essai de la campagne agricole 2016/2017 ont été réalisés, lors du travail de fin d'étude de Selama (2018). Le conditionnement d'échantillons de la campagne agricole 2017/2018, et les analyses appliquées sur les échantillons pour les deux essais, ont été réalisées au niveau de laboratoire pédagogique du département d'agronomie, à l'université de Biskra.

Pour le conditionnement des échantillons, dans les deux essais on a suivre les mêmes étapes dans les mêmes conditions.

5. Paramètres agro-physiologiques mesurés pour les grains et la paille:

1.1 Paramètres agronomiques:

A. Nombre des épis/m²:

Le nombre d'épi est déterminé par comptage effectué sur l'échantillon prélevé sur une surface de 1 m² dans chaque parcelle élémentaire.

B. Nombre des grains/m²:

Le nombre des grains /m² est obtenu à partir de la formule suivante:

Equation 1: N^{bre} grains/m²

$$N^{\text{bre}} \text{ grains/m}^2 = (\text{poids de grains/m}^2 \times 1000) / \text{PMG}$$

C. Poids de mille grains:

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 la formule suivante:

Équation 2: Poids de mille grains

$$\text{PMG (g)} = \text{poids de 250 grains} \times 4$$

D. Poids des épis/ha:

Poids des épis est déterminé par le pesage des épis/m² de chaque échantillon, le poids des épis par hectare est obtenu par la formule suivante:

Équation 3: Poids des épis/ha (Qx/ha)

$$\text{Poids des épis/ha (Qx/ha)} = \frac{\text{poids des épis/m}^2 (\text{g})}{10}$$

E. Poids de la paille/ha:

Poids de la paille est déterminé par le pesage de la paille/m² de chaque échantillon, le poids de la paille par hectare est obtenu par la formule suivante:

Équation 4:Poids de la paille (Q_x/ha)

$$\text{Poids de la paille (Q}_x\text{/ha)} = \frac{\text{poids de la paille/m}^2\text{(g)}}{10}$$

F. Rendement en grains:

Le rendement est déterminé par la formule suivante:

Équation 5:Rendement en grains

$$\text{Rendement (Q}_x\text{/ha)} = \frac{\text{poids des grains/m}^2\text{(g)}}{10}$$

G. Efficience agronomique d'utilisation d'azote:

L'efficience agronomique d'utilisation d'azote (NUE_A) est obtenue par la formule suivante:

Équation 6:Efficience agronomique d'utilisation d'azote

$$\text{NUE}_A \text{ (kg grains/kgN)} = \frac{\text{RMSG de la pacelle fertilisée} - \text{RMSG de la parcelle non fertilisée}}{\text{quantité d'azote apporté}}$$

1.2 Paramètres physiologique:**A. Teneur en azote dans le végétal:**

Le dosage d'azote dans le végétal (grains et paille) a été effectué par la méthode KJELDHAL (ISO 5983-2, 2009).

B. Teneur en protéines:

La teneur en protéines des grains est calculée par la formule suivante:

Équation 7:Teneur en protéines:

$$\text{Protéines (\%)} = \text{teneur en N dans les grains} \times 5.7$$

C. Taux de mitadinage:

Un des critères industriels de blé dur, les transformateurs demandent un taux de mitadinage inférieur à 20% pour produire le maximum du rendement en semoule. Il est causé par de multiple raisons; un effet

variétal, les pluies excessives juste après le stade grains pâteux et une teneur en protéines faibles (ARVALIS, 2014).

La détermination du taux de mitadinage en (%) fait sur un échantillon de 100g de blé dur, d'une manière visuelle, en comptant les grains mitadinés, qui sont ensuite pesés à l'aide d'une balance de précision.

D. Efficience agro-physiologique d'utilisation d'azote:

L'efficience agro-physiologique d'utilisation d'azote (NUE_{AP}) est obtenue par la formule suivante:

Équation 8: Efficience agro-physiologique d'utilisation d'azote

$$NUE_{AP} = \frac{RMSG \text{ de la parcelle fertilisée} - RMSG \text{ de la parcelle non fertilisée}}{QNT \text{ absorbé par la plante dans la parcelle fertilisée} - QNT \text{ absorbé par la plante dans la parcelle non fertile}}$$

E. Coefficient apparent d'utilisation d'azote:

Le coefficient apparent d'utilisation d'azote (CAU) est obtenu par la formule suivante:

Équation 9: Coefficient apparent d'utilisation d'azote

$$CAU = \frac{QNT \text{ absorbé par la plante de la parcelle fertilisée} - QNT \text{ absorbé par la plante de la parcelle non fertilisée}}{\text{Quantité d'azote apportée}}$$

F. Indice de récolte azotée:

L'indice de récolte azotée (NHI) est obtenu par la formule suivante:

Équation 10: L'indice de récolte azotée:

$$NHI\% = \frac{\text{Quantité d'azote dans les grains}}{\text{Quantité d'azote totale dans la plante}}$$

6. Analyses statistiques:

Pour les traitements statistiques des données, le logiciel R (v3.5.1) a été utilisé. Le package Rcmdr est utilisé pour le test d'ANOVA et le T. Test de deux échantillons indépendants et l'obtention des matrices de corrélation.

Le R Graphics est utilisé pour l'obtention des graphes.

Le choix de type des modules est fait à la base de coefficient de détermination "R²" le plus élevé et le test d'ANOVA entre les types des modules. Ces deux critères permettent de choisir le type le plus facile à utiliser ; la qualité des modules est évaluée à partir du calcul de la racine d'erreur quadratique moyenne sous le package "Metrics".

Le reste des tests ont été utilisés avec le R Console.

Une autre analyse qui a été appliquée sur ces données est l'analyse du coefficient de piste causale. Cette analyse permet de déterminer l'effet direct et indirect et évalue la contribution des paramètres indépendants sur un paramètre dépendant. Il est souvent utilisé dans la sélection des critères d'amélioration de la production d'une culture (Okuyama et al., 2004; Seker and Serin, 2004; Leilah and Al-Khateeb, 2005; Samante et al., 2006). Pour l'extraction des coefficients de pistes causales "path coefficient" , on a utilisé les packages "semPlot".

L'ensemble de ces analyses appliquées est réalisé après un test de la normalité de distribution de données "Kolmogrov-Smirnov" et le test d'homogénéité des variances " Test de Levene".

Chapitre2: Résultats et discussions

Résultats et discussions

Présentation des résultats:

Tous les paramètres ont été soumis dans une analyse de normalité afin de tester la normalité de distribution des variables; tous les paramètres suivent la loi normale qui permet l'utilisation de test d'ANOVA, seulement l'efficacité d'utilisation d'azote qui n'a pas suivi une distribution normale et choisir le test non paramétrique de Kruskal-Wallis pour la comparer entre les deux années.

Partie 1: Analyse du rendement, ses composants et les paramètres de qualité

1. Nombre des épis/m²

La comparaison entre les différentes doses d'azote appliquées par le test ANOVA donne un effet très hautement significatif (F value=8.943, $P < 0.0000653$) pour l'année humide. Contrairement à l'année sèche (2017), où l'analyse a révélé une absence significative du nombre d'épis pour les différentes doses d'engrais azotés étudiés (Table 8).

Le T. Test montre une différence très hautement significative entre les deux années avec la valeur maximale obtenue avec les données de l'année humide. L'augmentation du nombre d'épis est très hautement ($r=0.71^{**}$) liée à l'accroissement des doses d'engrais.,

Le test de la régression non linéaire pour l'année humide indique le type de relation entre le nombre d'épis et les doses d'azote étudiées, qui est présentée par l'équation dans la figure 9. Le coefficient de détermination ($R^2=0.65$) montre que 65.26% de la variation dans le nombre des épis/m² est expliqué par l'apport d'azote (figure 9).

En ce qui concerne l'année sèche (2017), aucune relation n'a été révélée entre l'apport d'azote et le nombre des épis.

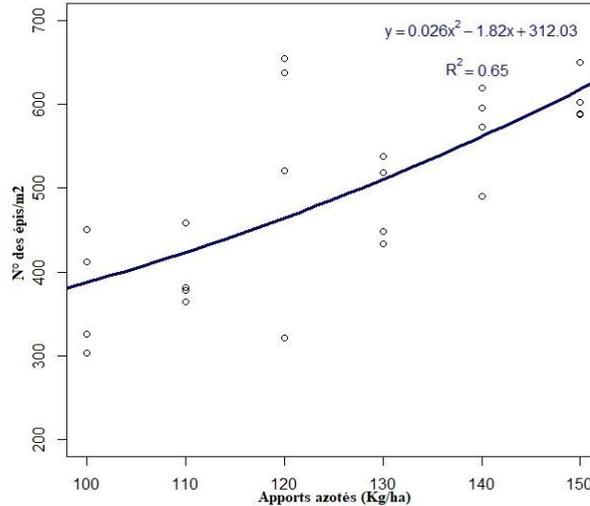


Figure 9: Nombre des épis en fonction des apports azotés

2. Nombre des grains/m²

Le nombre des grains par unité de surface s'est très hautement distingué entre les différentes doses d'engrais azotés étudiés ($F = 6.16$, $Pr < 0.00074$) pour l'année humide. Les doses de 120 à 150 UN/ha ont enregistré un nombre de grains allant de 16000 à 18600 grains. Un autre test statistique a dégagé cette forte corrélation entre le nombre de grain et les doses d'engrais azotés, qui est le test de corrélation ($r = 0.68^{***}$). Par contre, l'année sèche (2017) n'a présenté aucune différence significative entre les doses appliquées (table 8).

Le T. Test montre une différence très hautement significative entre les deux années avec la valeur maximale pour l'année humide.

Le test de la régression non linéaire pour l'année humide indique le type de relation linéaire entre le nombre de grains/m² et les doses d'azote étudiés. Il est montré par l'équation dans la figure 10. Le coefficient de détermination ($R^2 = 0.46$) montre que 46% de la variation dans le nombre des grains/m² est expliqué par l'apport d'azote (figure 10).

En regroupant les deux années d'études, le test de la régression pour l'année sèche ou l'ajustement du modèle obtenu en 2018 avec les données de l'année sèche (2017) n'est pas fiable, suite à l'absence de corrélation entre les doses appliquées et le nombre des grains dans l'année sèche.

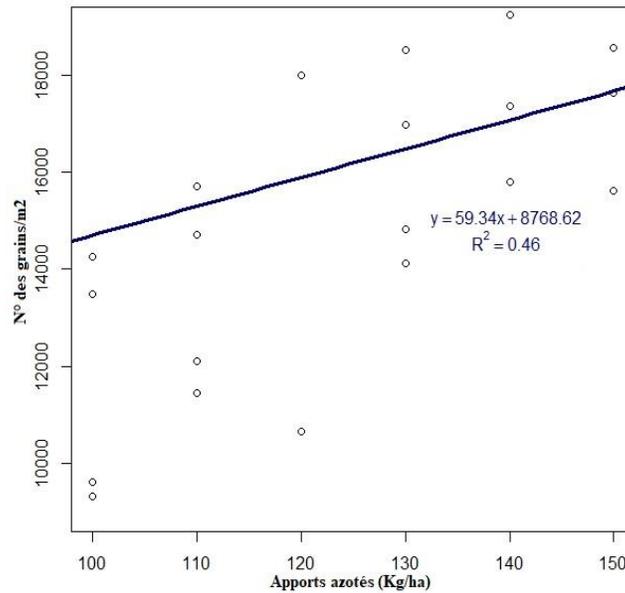


Figure 10: Nombre des grains en fonction des apports azotés

3. Poids sec de la biomasse totale:

La comparaison entre les différentes doses à partir du test d'ANOVA a révélé une différence très hautement significative (F value= 8.269, P< 0.000131) pour l'année humide. La biomasse élevée a été enregistré sous la dose 150 UN/ha, avec 176qx/ha, avec un de 70 qx de la première dose testée (100UN/ha).

La biomasse est fortement corrélée aux apport azoté ($r= 0.71^{**}$), pour l'année 2018 contrairement à l'année sèche. L'étude commune des deux années, a indiqué une différence très hautement significative entre les deux années, en favorisant l'année 2018 pour le poids le plus élevée (table 8).

Une régression non linéaire est obtenue pour la relation biomasse totale et les doses d'engrais azoté (figure 11) avec un coefficient de détermination ($R^2=0.66$). Ceci indique que 66% de la variation au niveau du poids de la biomasse totale est expliquée par l'apport d'azote (figure 11).

Lors de l'application de la régression obtenue en année humide, sur les données de l'année sèche, le résultat est non fiable suite à une absence entre les deux variables étudiés (apports d'azote et le poids de la biomasse totale).

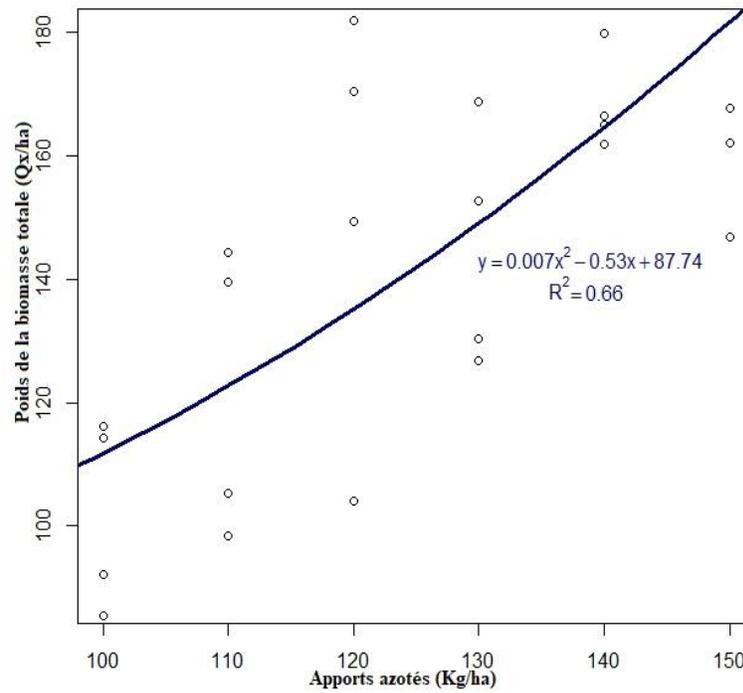


Figure 11: Poids de la biomasse totale en fonction des apports azotés

Table 7: analyse d'ANOVA, corrélation et T. TEST de rendement et leur composantes et le taux de protéines pour les deux années.

paramètre		N° épis/m ²		N°grains/m ²		P.BMT (Qx/ha)		PMG (g)		P.paille (Qx/ha)		REND (Qx/ha)		T.protéines (%)	
		2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Apports Azotés (U/ha)	0 UN	197a	313.2a	2665.1a	9782.8a	14.6a	88.3a	33.7a	51.6a	5.4a	37.7a	6.4a	34.8a	12.4a	11.1ab
	100 UN	261.5a	373ab	2845.4a	11666ab	15.6a	102ab	35.1ab	51a	5.3a	42.6ab	9ab	41.1ab	13.4ab	9.8a
	110 UN	205.5a	395.2ab	3582.8a	13493ac	20.5a	121.8ac	38.6b	51.2a	5.3a	52.6ac	11.6ab	49.5ac	14.5ac	11.8ab
	120 UN	235.7a	533.7bc	3585.5a	18229.3c	25.6a	151.4bcd	35.6ab	48a	12.9a	64.2bcd	12ab	62.7bc	17.5c	11.4ab
	130 UN	237.7a	484.5bc	3511.8a	16112.1ac	22.2a	144.7bcd	37.1ab	50.8a	9.5a	62.3bcd	12.5b	58ac	12.5a	11.8ab
	140 UN	238.5a	569.2c	3714.8a	17977.7bc	26.3a	168.2cd	37.4ab	52.2a	11.5a	74.5cd	11.7ab	67.1 c	15.8bc	12.1b
	150 UN	220.7a	607.2c	4082.4a	18623.6c	28.2a	176d	36.3ab	51.7a	13.5a	79.7cd	12.4ab	69.1c	14.9ac	12.4b
P value		n.s	<0.001	n.s	<0.001	n.s	<0.001	<0.02	n.s	n.s	<0.001	<0.03	<0.001	<0.001	<0.02
C.Corrélation		n.s	0.71***	n.s	0.68***	n.s	0.71***	0.50*	n.s	n.s	0.70***	0.63***	0.68***	0.41*	0.31 ^{ns}
T. Test	17VS18	↓	<0.001 ↑	↓	<0.001 ↑	↓	<0.001 ↑	↓	<0.001 ↑	↓	<0.001 ↑	↓	<0.001 ↑	↑	<0.001 ↓

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à une risque d'erreur $\alpha=0.05$. **Niveau de probabilité:** ***= très hautement significative $p<0.001$. *= significative $p<0.05$. n.s= non significative. ↑ = l'année qui a les valeurs les plus élevées à partir de T. Test. ↓ = l'année qui a les valeurs les plus faible à partir de T. Test. P.BMT= poids de la biomasse totale.

paramètre		Taux de mitadinage (g)	
		2017	2018
Apports azotés	0 UN	54.55 b	38.25 a
	100 UN	70.25 bc	20.25 a
	110 UN	77.35 c	17.88 a
	120 UN	1.92 a	11.44 a
	130 UN	1.90 a	32.10 a
	140 UN	2.5 a	28.06 a
	150 UN	1.70 a	17.08 a
P value		<0.001	n.s
C.Corrélation		-0.53**	n.s
T. Test	17VS18	↑	n.s ↓

4. Poids de mille grains (PMG)

Le poids de mille grain (PMG), composante principale du rendement en grain, n'a exprimé aucune variation significative avec l'accroissement des doses d'engrais azotés ($F= 1.87$, $Pr \geq 0.13$). Par contre l'année sèche, le PMG s'est distingué significativement ($F=3.06$, $Pr < 0.026$) entre les différentes doses testées ce qui permet d'accepter l'hypothèse alternative est dit qu'il y a une différence significative entre les différentes doses, le test de corrélation montre que le coefficient de corrélation est significatif égale à 0.50 (table 8).

La comparaison entre les deux années par le T.TEST de deux échantillons indépendant montre qu'il y a une différence très hautement significative et la valeur maximale enregistré pour l'année humide.

Le test de la régression linéaire simple pour l'année sèche montre que le module de ce paramètre de sortie est $y=0.022x+33.93$ avec une pente de droite significatif ($Pr(>|t|) = 0.0117$) et une ordonnée à l'origine très hautement significatif ($Pr(>|t|) = 2e-16$), cette type de régression donne un coefficient de détermination $R^2=0.22$, à cause de ce coefficient très bas on peut éliminer cette résultat est conclue que n'a pas un effet des fertilisants azotés sur la variation du PMG.

5. Poids sec de la paille:

La comparaison entre les différentes doses à partir de test d'ANOVA donne ((F value= 8.753, $Df=6$, $Pr(>F)= 0.000076$) pour l'année humide ce qui permet de refuser l'hypothèse nul et confirme l'hypothèse alternative qui dit que il y a une différence très hautement significative entre les différents dose, le test de corrélation donne un coefficient de corrélation très hautement significative égale à 0.70 , au contraire à l'année sèche qui montre que n'a aucune différence significative entre les différents doses appliqué, et une différence très hautement significative entre les deux années avec le poids le plus élevée pour l'année humide (table 8).

Le test de la régression non linéaire pour l'année humide montre que le module de ce paramètre de sortie est $y=0.004x^2-0.314x+37.54$ avec le coefficient de x^2 très hautement significatif ($Pr(>|t|) = 0.00073$) et une ordonnée à l'origine très hautement significatif ($Pr(>|t|) = 1.09e-07$), cette type de régression (polynomiale 2^{ème} degré) donne un coefficient de détermination $R^2=0.68$, ça permet de dit que 68.17% de la variation au niveau du poids des épis expliqués par l'apport d'azote (figure 12).

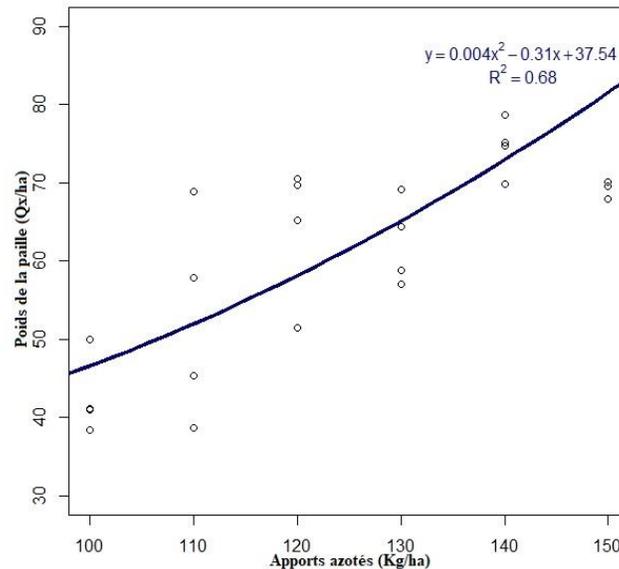


Figure 12:Poids de la paille en fonction des apports azotés

6. Rendement

Le rendement est le premier objectif de la culture de blé dur, la comparaison entre les différentes doses apportées donne une variation croissante ((F value= 5.978, $\Pr(>F)$ = 0.000907) pour l'année humide sur une plage variée de 34.8Qx/ha à 69.1 Qx/ha avec la valeur maximale pour le 150UN/ha et ((F value= 2.921, $\Pr(>F)$ = 0.0312) à l'année sèche variée sur une fourchette de 6.4 Qx/ha à 12.5Qx/ha avec une valeur maximale au niveau d'apport 130 Qx/ha (table 8).

La détermination du rendement par l'apport d'azote est fortement corrélée (0.68***) à l'année humide et (0.63***) à l'année sèche, l'étude commune des deux années à une différence très hautement significative avec les rendements les plus élevés enregistrés à l'année humide.

Une régression non linéaire a été appliquée dans l'année humide entre le rendement et l'apport d'azote avec un coefficient de détermination (0.57), ceci indique que 57% du rendement est expliqué par l'apport d'azote, le test de la régression sur les données de l'année sèche qui a un coefficient de détermination de (0.40) afin d'ajuster le modèle de l'année sèche donne un modèle ajusté de type linéaire avec un coefficient de détermination de 0.06 (figure 13) et un RMSE= 72%, on peut conclure que ce modèle est de mauvaise qualité pour l'utilisation à la prédiction, ce coefficient de détermination faible et le RMSE très élevé peuvent être expliqués par la variation inter-annuelle très élevée.

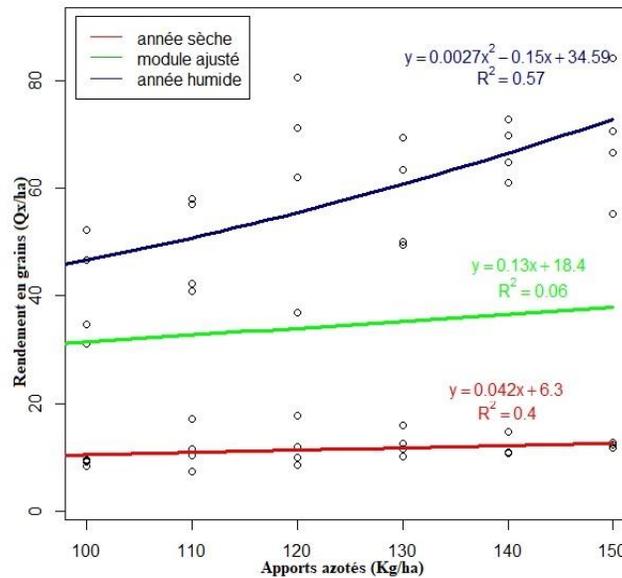


Figure 13: Rendement en grains en fonction des apports azotés

7. Taux de protéines

C'est le critère le plus importants pour le blé dur, la comparaison entre les différentes doses donne une différence entre les différent dose appliqué (F value= 2.993, Pr< 0.0284) pour l'année humide sur une plage de 11.1% à 12.4 % la valeur maximale enregistré dans l'apport 150 UN/ha et (F value= 7.433, Pr< 0.000231) pour l'année sèche dans une fourchette de 12.4% à 17.5% avec la valeur élevée au niveau de 120 UN/ha (table8).

L'application du test de corrélation montre qu'il y a une corrélation significative entre le taux de protéine et les doses d'azote appliquées de (0.41), contrairement à l'année humide qui nous trouve aucune corrélation signification entre le taux de protéine et la dose d'azote, l'étude commun des deux années montre une différence très hautement significative avec la valeur la plus élevé a été enregistré à l'année sèche.

L'application de la régression pour l'année humide est n'a pas fiable à cause de non corrélation significative entre le taux de protéine et les apports azotées, une régression linéaire a été appliqué

au niveau d'année sèche (2017), avec un coefficient de détermination (0.17) ceci permet d'expliquer 17% du taux de protéine par la disponibilité azotée pour la plante (figure14)

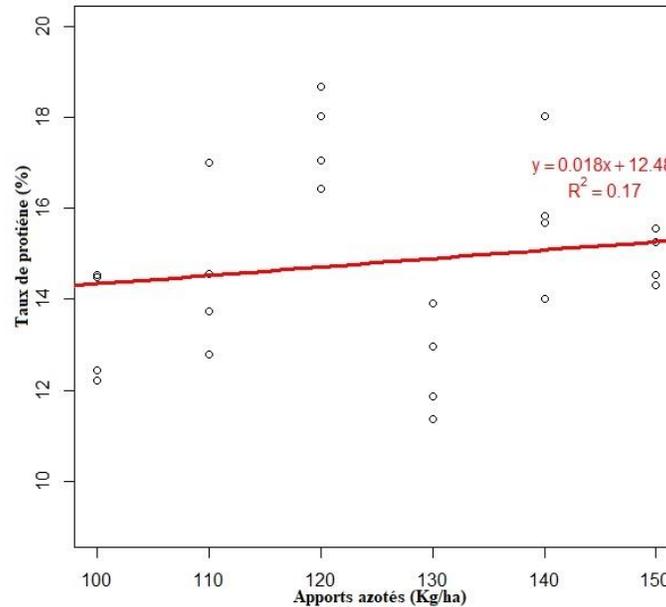


Figure 14: Taux de protéines en fonction des apports azotés

8. Taux de mitadinage:

C'est l'un des paramètres de qualité industrielle du blé dur. La comparaison entre les doses d'azote appliquées montre une différence non significative (F value= 1.07, Pr< 0.41) à l'année humide avec une moyenne de 23.58% et une différence très hautement remarquable à l'année sèche (F value= 61.76, Pr< 2.96e-12) avec la valeur désirable et la plus faible signalée dans l'apport 150UN/ha avec une valeur de 1.7%.

Dans l'année sèche le taux de mitadinage est moyennement corrélé négativement et de manière hautement significative avec l'apport d'azote appliquée (-0.51**) ce qui permet d'expliquer 53% du taux de mitadinage par le traitement azoté appliqué. L'étude entre annuel donne une différence non significative entre les deux années.

Une régression non linéaire a été appliquée sur le taux de mitadinage en fonction des différentes doses d'azote appliquées dans l'année sèche donne un coefficient de détermination de 0.60 et donc ont

conclu que 60% de la variation du taux de mitadinage exprime par l'état de la nutrition azotée(figure15).

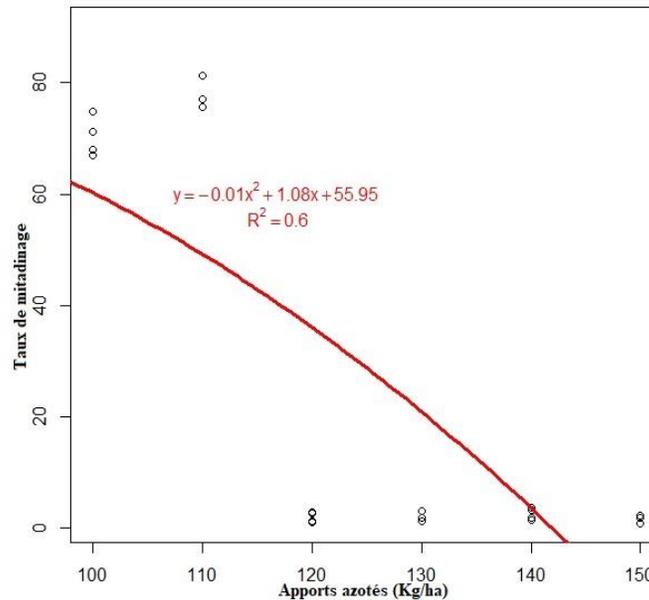


Figure 15:Taux de mitadinage en fonction d'apports azotés

9. Corrélations entre le rendement, ses composants et les paramètres de qualités

Les corrélations entre les différentes variables étudiées sont indiquées dans les tableaux 9, 10 et 11. Selon les données des deux tableaux 9 et 10, le rendement en grains, en année humide, est corrélé positivement ($r=0.98^{***}$) avec le nombre des grains par m^2 et le nombre des épis par m^2 ($r=0.93$), ainsi que le poids de la paille ($r=0.90$). L'essai de l'année sèche a indiqué que le rendement est corrélé avec le PMG ($r=0.57^{**}$) et le poids de la paille ($r=0.59$).

Table 8:Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année humide

	N ^{bre} .É /m ²	N ^{bre} .G /m ²	P.BMT	PMG	P.P	Rend	T.P
N.É/m ²	1.00						
N ^{bre} .G /m ²	0.95 ***	1.00					
P.BMT	0.92 ***	0.96 ***	1.00				
PMG	-0.14 n.s	-0.16 n.s	0.01 n.s	1.00			
P.P	0.83 ***	0.87 ***	0.97 ***	0 n.s	1.00		
Rend	0.93 ***	0.98 ***	0.98 ***	0 n.s	0.90 ***	1.00	
T.P	0.41 n.s	0.34 n.s	0.39 n.s	0.07 n.s	0.41 n.s	0.35 n.s	1.00

N^{bre}.É=Nombre des épis. N^{bre}.G= Nombre des grains. P.BMT=poids de la biomasse totale. P.P=poids de la paille. Rend=rendement en grains. T.P=taux de protéines. Niveau de probabilité: ***= très hautement significative p<0.001. *= significative p<0.05. n.s= non significative.

Table 9:Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année sèche

	N ^{bre} .É /m ²	N ^{bre} .G /m ²	P.BMT	PMG	P.P	Rend	T.P
N ^{bre} .É /m ²	1.00						
N ^{bre} .G /m ²	0.37 n.s	1.00					
P.BMT	0.25 n.s	0.80 ***	1.00				
PMG	0.21 n.s	0.60 **	0.60 *	1.00			
P.P	0.09 n.s	0.40 *	0.86***	0.31 n.s	1.00		
Rend	0.46 n.s	0.49 n.s	0.66 **	0.57 *	0.59 **	1.00	
T.P	0.02 n.s	0.33 n.s	0.41 n.s	0.22 n.s	0.37 n.s	0.26 n.s	1.00

N^{bre}.É =Nombre des épis. N^{bre}.G = Nombre des grains. P.BMT=poids de la biomasse totale. P.P=poids de la paille. Rend=rendement en grains. T.P=taux de protéines.. Niveau de probabilité: ***= très hautement significative p<0.001. **= hautement significative p<0.01. *= significative p<0.05. n.s= non significative.

Table 10:Matrice de corrélation des variable étudiées dans les deux années

	N ^{bre} .É /m ²	N ^{bre} .G /m ²	P.BMT	PMG	P.P	Rend	T.P
N ^{bre} .É /m ²	1.00						
N ^{bre} .G /m ²	0.95***	1.00					
P.BMT	0.94***	0.99 ***	1.00				
PMG	0.76***	0.85 ***	0.88 ***	1.00			
P.P	0.92***	0.97 ***	0.99***	0.86***	1.00		
Rend	0.95***	0.99***	0.99***	0.86 ***	0.97***	1.00	
T.P	-0.44**	-0.51***	-0.51***	-0.60***	-0.49***	-0.52***	1.00

N^{bre}.É =Nombre des épis. N^{bre}.G = Nombre des grains. P.BMT=poids de la biomasse totale. P.P=poids de la paille. Rend=rendement en grains. T.P=taux de protéines. Niveau de probabilité: ***= très hautement significative p<0.001. **= hautement significative p<0.01. n.s= non significative.

Le tableau 11 indique les corrélations trouvées entre les différents paramètres, les résultats pertinents révèlent que le rendement a une très forte corrélation avec le nombre de grains/m² ($r=0.99^{***}$), et le PMG ($r=0.86$). Le second résultat est le lien entre le rendement en grains et le taux de protéines. En effet, ces deux critères importants du produit final du blé. La corrélation indique une valeur négative et très hautement significative entre eux ($r= -0.51^{***}$).

Le lien entre le taux de protéines et le taux de mitadinage indique un coefficient de corrélation significative (-0.39^*) dans l'année sèche. Ce sont deux critères divergents dans la qualité des grains. Le mitadinage est apprécié à des valeurs inférieures à 5%.

À partir de la figure 16, il résulte que la régression obtenue entre le rendement en grains et le nombre des épis présente un coefficient de détermination ($R^2=0.87$). Le nombre des épis peut expliquer à 87% la variation au niveau de rendement en grains.

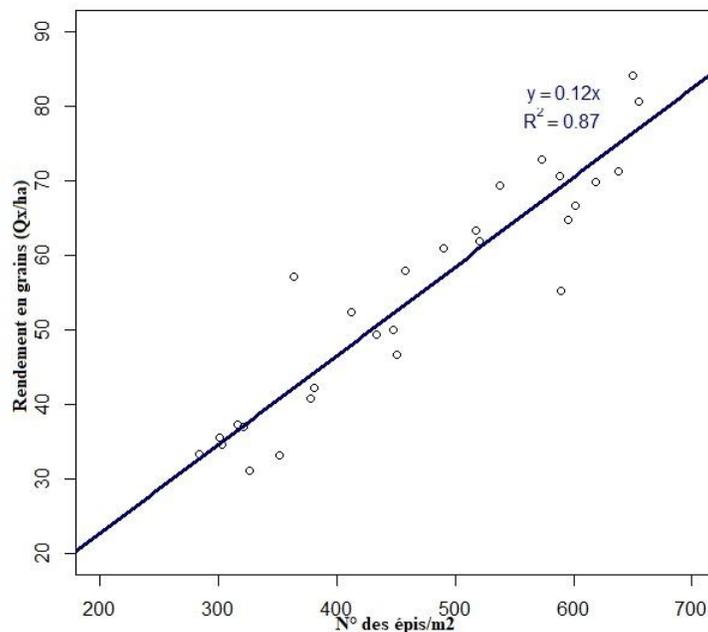


Figure 16: Rendement en grains en fonction du nombre des épis

Le test de la régression simple entre le nombre des grains/m² et le rendement en grains (figure 17) présente un coefficient de détermination de R²=0.97.

Le modèle ajusté avec le set de données d'année sèche suit une courbe de régression linéaire (figure 17) avec un coefficient de détermination R²=0.24. L'ajustement du modèle donne un coefficient de détermination R²=0.98. Ceci explique que le rendement est déterminé à 98% par le nombre de grains à l'unité de surface. Le RMSE calculé a donné un résultat de 9.71%, confirmant la bonne qualité du modèle de prédiction du rendement en fonction du nombre des grains (figure 17).

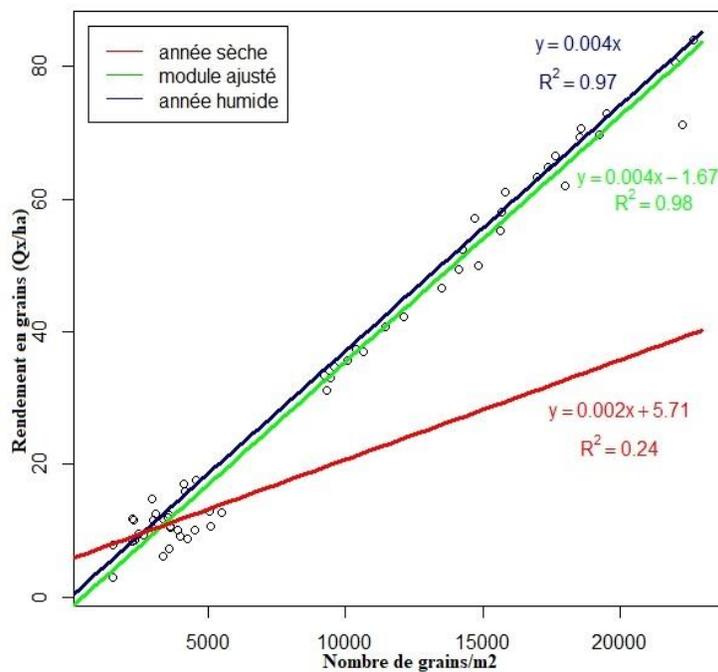


Figure 17:Rendement en grains en fonction du nombre de grains/m²

Le test de la régression entre le rendement et le PMG pour l'année sèche est indiqué dans la figure 18. Le coefficient de détermination obtenu est de R²=0.46. L'ajustement de ce modèle avec le jeu de données de l'année humide présente une équation indiquée dans la figure 18. Son coefficient de détermination est R²=0.75. Il apparaît que le PMG a contribué avec 75% dans la variation du rendement. Mais ce module de prédiction a une RMSE=37.59% ça permet de dire que

ce module est de mauvaise qualité pour l'utilisation dans les prédictions, le non présentation de la courbe de régression de l'année humide à cause de non signification des paramètres de modèle et le coefficient de détermination c'est-à-dire égale à zéro (figure 18).

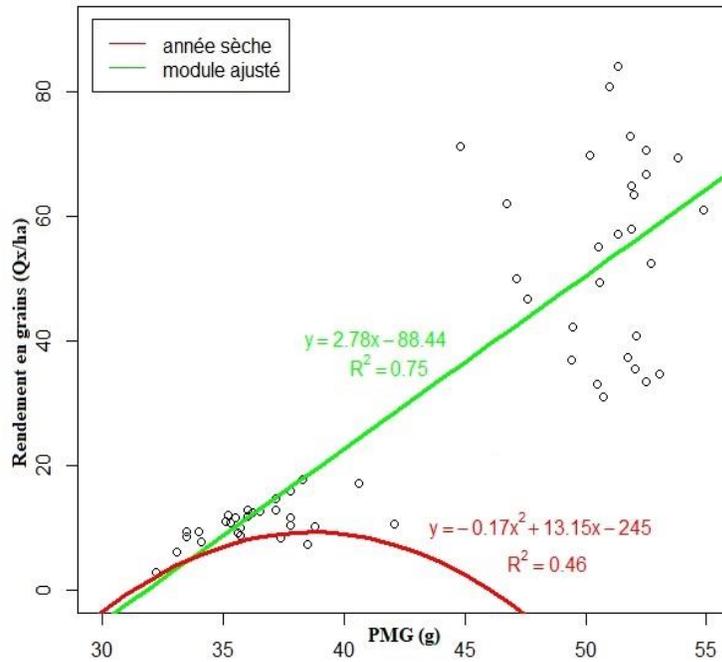


Figure 18:Rendement en grains en fonction du PMG

Le résultat du test de la régression linéaire entre le rendement en grains et le taux de protéines est présenté dans la figure 19. Le coefficient de détermination est de $R^2=0.27$. Ceci permet de dire que le taux de protéines à une contribution de 27% dans la diminution du rendement. La qualité du modèle exprimé par le critère du $RMSE=67\%$. Ce modèle est de mauvaise qualité pour les prédictions.

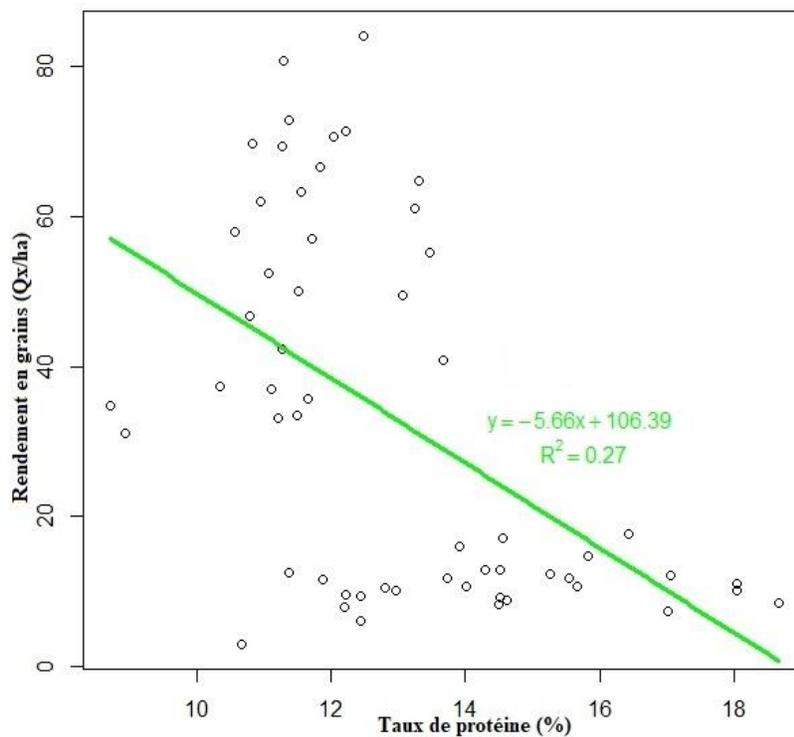


Figure 19:Rendement en grains en fonction du taux de protéines

Le test de la régression non linéaire entre le taux de protéines et le taux de mitadinage a présenté un une équation avec un coefficient de détermination $R^2=0.27$ (figure 20). Ces deux paramètres sont agis de manière opposée : Plus la teneur en protéines augmente, plus le taux de mitadinage est faible. Ceci permet d'obtenir un grain de grain de qualité.

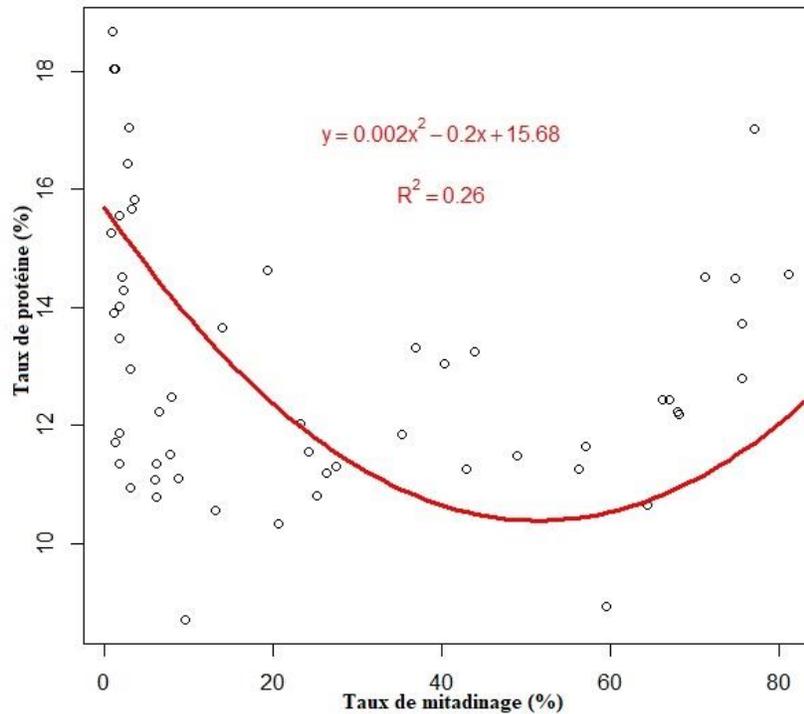


Figure 20: Taux de protéines en fonction de taux de nitridage

10. Étude du coefficient de piste causale "path coefficient" sur le rendement, ses composants et le taux de protéines

L'ensemble des résultats de corrélation a été soumis à une analyse de piste causale. L'objectif est de déceler l'effet direct et indirect de chacune des variables sur le rendement en grains, ensuite sur le taux de protéines pour les deux années d'essai. Une autre analyse a été réalisée pour l'ensemble des essais étudiés (2ans).

1.1 Effet direct et indirect des variables étudiées sur le rendement

L'analyse du coefficient de piste causale pour l'extraction des paramètres qui a un effet sur le rendement donne des coefficients de détermination entre le rendement et l'ensemble de ces paramètres: $R^2=0.99$ pour l'année humide et l'ensemble des deux années et $R^2=0.67$ pour l'année sèche.

A. Taux de protéines:

L'analyse du coefficient de piste causale a montré que, pour les deux années séparément le taux de protéines à un effet direct sur le rendement négatif est nul à l'année humide (-0.01) et sèche (-0.05). Les corrélations positives, indiquées dans les tableaux précédents (année sèche) entre le taux de protéines et le rendement peuvent être expliquées, par l'effet indirect du taux de protéines sur le rendement via autres variables; le nombre des grains (0.33) pour l'année sèche et (0.34) pour l'année humide, le poids de la biomasse totale (0.41) pour l'année sèche et (0.39) pour l'année humide.

Au niveau d'analyse d'ensemble des deux ans, l'effet direct du taux de protéines sur le rendement est nul (0.00). Le coefficient de corrélation négatif mentionnée dans le tableau 11 peut être expliqué par l'effet indirect via multiple variable; le poids de la biomasse totale (-0.51), le nombre des épis (-0.44), le nombre des grains (-0.51) et le poids de mille grains (-0.60).

B. Composantes de rendement

D'après l'analyse du coefficient de piste causale pour (2ans) séparément et collecté, on trouve que le nombre des grains a un effet positive et élevé sur le rendement en grains (0.77) pour l'année humide, (0.45) pour l'ensemble des deux années. Pour l'année sèche un effet négative a été enregistré (-0.30) mais avec un effet indirect positive via le nombre de épis (0.37) et le poids de la biomasse totale (0.80), et via le PMG (0.60).

Pour le poids de la biomasse totale, l'analyse du coefficient de piste causale montre que l'effet direct de ce paramètre sur le rendement positive et varié d'une année à l'autre en trouve (0.28) pour l'année humide contrairement à l'année sèche (0.55), et de (0.40) pour l'ensemble des années. La valeur élevée de la corrélation mentionnée, dans les tableaux précédents, entre le poids de la biomasse totale et le rendement peuvent expliquer par l'effet indirect sur le rendement via: le nombre des grains (0.96) pour l'année humide et (0.99) pour les deux années, et via le PMG et le nombre des épis dans l'année sèche (0.60) (0.25) et (0.88) (0.94) pour les deux années, de manière respective.

Pour le poids de mille grains, l'analyse du coefficient de piste causale montre que l'effet direct de ce paramètre sur le rendement est positif et faible pour les deux années. Il a enregistré une valeur (0.23) à l'année sèche et (0.12) à l'année humide. Pour l'ensemble des deux années, l'effet direct de ce paramètre est très faible (0.07). Pour l'année humide, l'effet indirecte de ce paramètre sur le

rendement via les autres paramètres est toujours négatif et à des valeurs très faibles (-0.14) via le nombre des épis, (-0.16) à partir de nombre des grains. Pour l'année sèche et l'ensemble des deux années les effets indirects de PMG sur le rendement est via : le nombre des épis (0.21) à l'année sèche et (0.76) pour les deux années, le nombre des grains (0.60) pour l'année sèche et (0.85) pour l'année humide.

Pour le nombre des épis, l'analyse du coefficient de piste causale montre que l'effet direct de ce paramètre sur le rendement est négatif et très faible (-0.03) pour l'année humide, (0.32) pour l'année sèche, (0.08) pour les deux années. Le coefficient de corrélation le plus élevé a été mentionné précédemment peut être expliqué par l'effet indirecte du nombre d'épis sur le rendement via: le nombre de grains (0.95) pour l'année humide et (0.96) pour l'ensemble des années et (0.37) pour l'année sèche.

C. Apport d'azote:

L'analyse du coefficient de piste causale à montrer que l'effet direct d'apports azotés sur le rendement est négative et très faible pour l'année humide (-0.01) contrairement à l'année sèche qui a une effet positive (0.30) et (0.02) pour l'ensemble des deux années.

Les corrélations mentionnées précédemment entre l'apport d'azote et le rendement en grains peuvent être expliquées par l'effet indirect d'azote via d'autre paramètre; le nombre des épis (0.23) à l'année sèche (0.71) à l'année humide et (0.32) pour l'ensemble des années, via le nombre des grains (0.39) à l'année sèche (0.68) à l'année humide et (0.24) à l'ensemble des années, via le poids de la biomasse totale (0.71) à l'année humide (0.53) à l'année sèche et (0.24) pour l'ensemble des années.

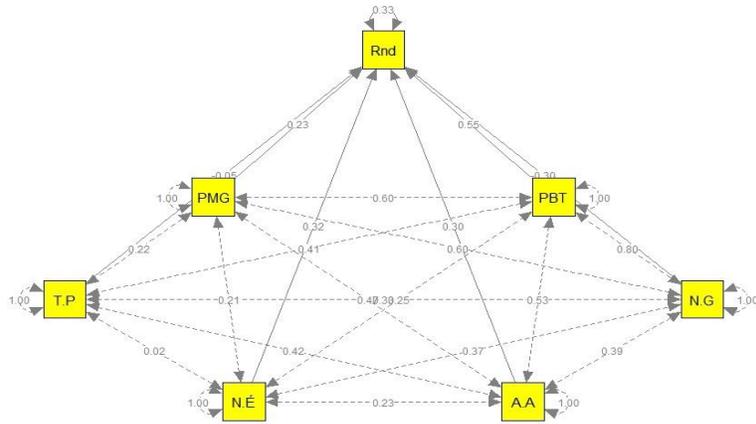


Figure 21:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendente "rendement en grains" pour l'année sèche

Rend= rendement en grains. T.P= taux de protéines. PBT= poids de la biomasse totale. N.É= nombre des épis. N.G= nombre des grains. A.A= apport d'azote. PMG=poids de mille grains.

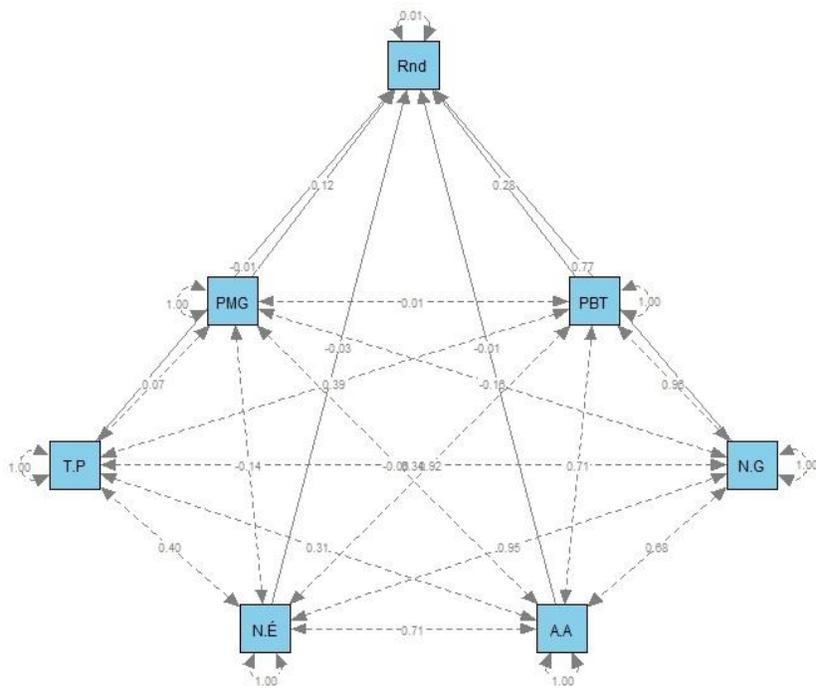


Figure 22:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendente "rendement en grains" pour l'année humide

Rend= rendement en grains. T.P= taux de protéines. PBT= poids de la biomasse totale. N.É= nombre des épis. N.G= nombre des grains. A.A= apport d'azote. PMG=poids de mille grains.

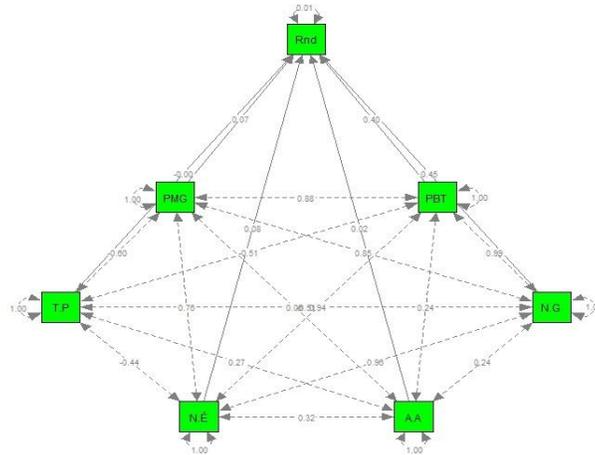


Figure 23:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendente "rendement en grains" , des deux années

Rend= rendement en grains. T.P= taux de protéines. PBT= poids de la biomasse totale. N.É= nombre des épis. N.G= nombre des grains. A.A= apport d'azote. PMG=poids de mille grains.

1.2 Effet direct et indirect des variables étudiées sur le taux de protéines:

Pour les deux années séparément le coefficient de détermination entre le taux de protéines et l'ensemble des autres paramètres est d'une valeur faible ($R^2= 0.26$, en année humide et $R^2= 0.23$, en année sèche). Suite à cela, l'analyse du coefficient de piste causale sur les deux années séparément ne peut être réalisée. En regroupant les deux années d'études, le coefficient de détermination est de $R^2= 0.48$), a favoriser l'analyse du coefficient de piste causale.

A. Rendement

L'analyse du coefficient de piste causale a montré que, l'effet direct de rendement sur le taux de protéines est négatif mais a une faible valeur (-0.09), le coefficient de corrélation négative mentionné précédemment (-0.51) entre le rendement et le taux de protéines peuvent être expliquées, par l'effet indirect de rendement via d'autres paramètres qui ont un effet négatif direct sur les protéines; via le PMG (0.87), via le nombre des grains/m² (0.99), ainsi que le nombre des épis (0.95).

B. Composantes de rendement:

L'analyse du coefficient de piste causale montre que, tous les composantes de rendement et le poids de la paille a une effet direct et négatif sur le taux de protéines; le PMG (-0.53), le nombre des grains (-0.77), le nombre des épis (-0.03), sauf le poids de la biomasse totale qui a un effet direct positive et élevé (0.75). Le coefficient de corrélation négatif obtenu entre le poids de la

biomasse totale et le taux de protéines peut être expliqué par l'effet indirect via l'ensemble des autres paramètres (figure 27).

C. Apport d'azote

L'analyse du coefficient de piste causale a montré que, l'apport d'azote a un effet direct et positive sur le taux de protéines (0.34), l'autre effet positive est de façon indirect via l'augmentation du poids de la biomasse totale (0.24). Les autres effets indirects sont négatifs via sur le taux de protéines; via le PMG (0.06), le rendement (0.25), le nombre des grains (0.24), et via le nombre des épis (0.32).

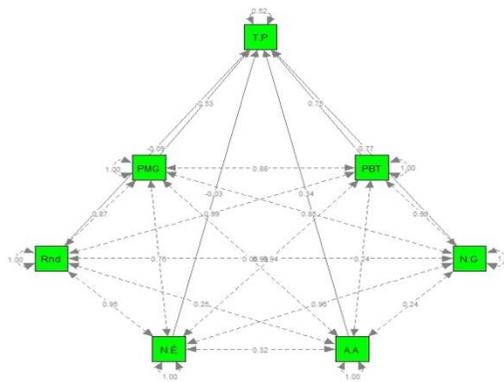


Figure 24:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendante "taux de protéines" pour les deux années

Rend= rendement en grains. T.P= taux de protéines. PBT= poids de la biomasse totale. N.É= nombre des épis. N.G= nombre des grains. A.A= apport d'azote. PMG=poids de mille grains.

Discussion partielle:

Au niveau des composantes de rendement "nombre des épis, nombre des grains et le poids de la paille, ainsi que le poids de la biomasse totale", l'apport d'azote dans l'année sèche n'a montré aucun effet. Ces résultats peuvent être expliqués par un déficit hydrique critique, au moment de d'application de la fertilisation (mois d'avril=5.6mm). Ce déficit ne permet pas une bonne assimilation d'azote par la plante (ARVALIS, 2012). Par contre, en année humide, l'effet des apports s'est bien exprimé sur l'ensemble des composantes du rendement, par la bonne assimilation de l'azote, tels trouvés par d'autres travaux (Giambalvo et al., 2010; He, 2016; Muhammad Ibrahim et al., 2018). L'année sèche, l'analyse d'ANOVA montre qu'une différence significative des apports azotés sur le PMG avec augmentation de façon positive, qui corrobore aux résultats trouvés par (Gweyi-Onyango, 2018) sur la culture de riz. Par contre, mais l'étude de Giambalvo et al., (2010)

sur le blé dur a montré un effet significatif mais de façon décroissante. En année humide, un effet des apports azotés sur le PMG est non significatif, il peut être expliqué par l'effet environnement, au cours du stade de formation et de remplissage des grains (Benbelkacem A et Kellou K, 2000). le PMG moyen égale à 51 g qui est une valeur moindre comparée, aux performances variétale de Bousselam (PMG=60g).

Pour le rendement, on trouve une différence significative entre les différents traitements cette résultats est similaire a les résultats de (Belete et al., 2018; Gauer et al., 1992) mais l'analyse de coefficient de piste causale montre que l'effet d'azote est indirect et le principale déterminant de rendement c'est le nombre de grains par m². Ce résultat est similaire à ceux trouvés par Bouzerzour dans la même région d'étude.

Pour le taux de protéines, l'effet d'azote est significatif. Il confirme les résultats de (Gauer et al., 1992). la teneur élevée à l'année sèche est à cause de non absorption d'azote à le moment d'application à cause des faibles précipitations et rendre comme des apports tardifs est ce dernier causé une augmentation du taux de protéines (Brown B.D et Petrie S,2006), le coefficient de piste causale montre un effet négative de nombre des grains qui est le paramètre essentiel déterminant du rendement sur le taux de protéines cette est résultats est similaire a les résultats de (Feil, 1997) en fonction de type d'accumulation des protéines dans les grains soit en protéines de réserve (glutamines et prolamine) soit en protéines fonctionnelle (albumine) (Osaki et al., 1990; Triboi et Triboi-Blondel, 2002) Ce dernier dépend à la quantité de la matière sèche (Przulj et Momcilovic, 2001); lorsque le rendement est faible le protéines est accumulé de façon de protéines de réserve.

Au niveau de taux de mitadinage l'analyse de comparaison donne un effet des apports azotés sur ce paramètre de façon décroissantes à l'année sèche et aucun effet pour l'année humide c'est-à-dire que les apports d'azote tardifs à une contribution sur la diminution de taux de mitadinage (ARVALIS, 2014)). Par contre, l'année humide avec sa pluviométrie suffisante a favorisé l'assimilation d'azote au bon moment, des besoins de la culture. Les précipitations au cours du remplissage de grain (année sèche 41.91 contre 39.37mm, en année humide) ont favorisé l'augmentation du taux de mitadinage

Partie 2: Analyse de l'efficacité de l'utilisation d'azote et ses indicateurs:

1. Efficacité de l'utilisation d'azote agronomique

La comparaison entre les différentes doses d'azote appliqué par le test ANOVA a indiqué une absence de différence significative ($F=1.79$, $Pr>0.165$) pour l'année humide et ($F=0.33$, $Pr>0.89$) à l'année sèche.

Le T. Test donne ($t=5.82$, $df=25.83$, $Pr(>F) < 0.001$) ce qui permet de rejeter l'hypothèse nul et accepte l'hypothèse alternative qui dit qu'il y a une différence très hautement significative entre les deux années avec la valeur maximale pour l'année humide.

2. Efficacité de l'utilisation d'azote agro-physiologique

Ce paramètre étudié pour objectif de déterminé la capacité de transformation d'azote absorbé en matière sèche grains, la comparaison fait entre les différentes doses appliqué montre que n'a aucune différence significative entre aux (Kruskal-Wallis chi-squared = 1.31, p-value = 0.9339) pour l'année humide avec une valeur moyenne de 29.29 kgG/kgN et (Kruskal-Wallis chi-squared = 9.47, p-value = 0.09172) à l'année sèche avec une moyenne de 29.08 kgG/kgN, aussi pour l'étude commune des deux années a indiqué que n'a aucune effet de la variation entre-annuel (p-value = 0.2951) (table 12), ce qui permet de conclure que l'efficacité d'utilisation d'azote agro-physiologique et indépendants à les condition de milieu extérieur de la plante soit la disponibilité d'azote dans le sol soit les condition climatique.

3. Coefficient apparent d'utilisation d'azote

La comparaison entre les différentes doses d'azote appliqué par le test ANOVA donne ($F=3.09$, $Pr=0.0347$) pour l'année humide, une présence de différence significative entre les doses appliquées au niveau de ce paramètre. En année sèche aucune différence significative n'a été enregistrée entre les doses appliquées (F value=1.376, $Pr>0.279$). Le test de corrélation montre un coefficient de corrélation = 0,59**, en année humide. (Table 12).

Le test de la régression pour l'année humide indique un modèle avec un coefficient de détermination $R^2=0.35$. La part de variation du CAU est expliquée par l'apport d'azote avec une valeur de 35% (figure 25).

Le test de la régression pour l'étude l'année sèche n'est pas fiable à cause de non corrélation entre l'apports d'azote et le CAU dans l'année sèche.

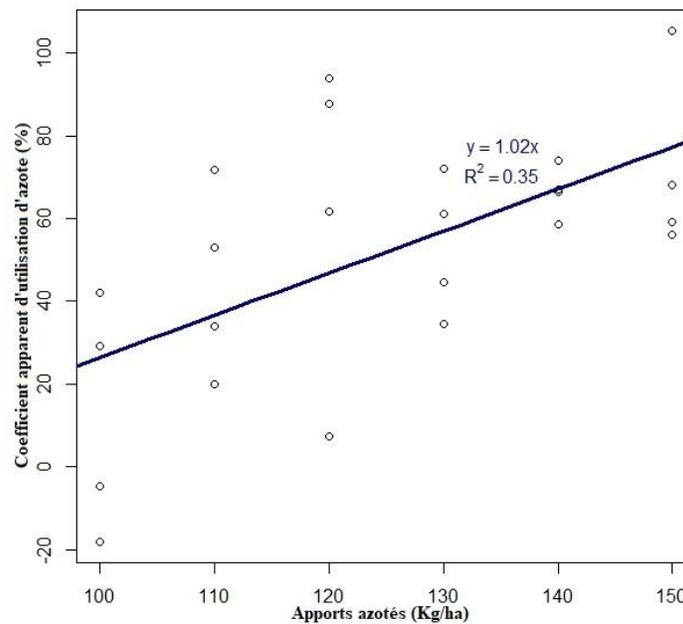


Figure 25: Coefficient apparent d'utilisation d'azote (CAU) en fonction des apports azotés

4. L'indice de récolte azotées

La comparaison entre les différentes doses d'azote appliqué, pour ce paramètre, par le test ANOVA donne un effet non significatif pour les deux années d'études ($F=2.14$, $Pr>0.0912$ en année humide et $F=2.14$, $Pr>0.0914$, en année sèche) (table 12).

Table II : Analyse d'ANOVA, corrélation et T.TEST sur l'efficacité d'utilisation d'azote et ses composants pour les deux années.

paramètre		NUE _A (kg/kgN _{apporté})		NUE _{AP} (kg/kgN _{absorbé})		CAU (%)		NHI (%)			
		2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018		
Apports Azotées (Kg/ha)	0 N	-	-	-	-	-	-	81.54 a	83.14 a		
	100 N	2.66 a	6.33 a	31.93 a	16.96 a	6.95 a	12.14 a	88.29 a	76.19 a		
	110 N	4.73 a	13.34 a	34.84 a	28.08 a	13.97 a	44.70 ab	90.05 a	77.62 a		
	120 N	4.71 a	23.21 a	20.51 a	32.06 a	24.43 a	62.67 ab	79.89 a	79.40 a		
	130 N	4.72 a	17.83 a	36.83 a	32.41 a	12.36 a	52.98 ab	83.05 a	79.40 a		
	140 N	3.83 a	23.03 a	26.18 a	34.67 a	15.75 a	66.51 ab	84.96 a	81.45 a		
	150 N	4.00 a	7.99 a	24.20 a	31.56 a	16.59 a	72.24 b	77.83 a	79.15 a		
P value		n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	<0.05	n.s	n.s		
C.Corrélation		n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	0.59**	n.s	n.s		
T. Test	17VS18	↓	<0.001	↑	n.s	↓	<0.001	↑	↑	<0.05	↓

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à un risque d'erreur $\alpha=0.05$. Niveau de probabilité: **= hautement significative $p<0.01$. *= significative $p<0.05$. n.s= non significative. ↑ = l'année qui a les valeurs les plus élevées à partir de T. Test. ↓ = l'année qui a les valeurs les plus faibles à partir de T. Test. NUE_A (kg/kgN_{apporté}) = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. NUE_{AP} (kg/kgN_{absorbé}) = l'efficacité l'utilisation d'azote agro-physiologique. CAU (%): coefficient apparent d'utilisation d'azote. NHI (%): l'indice de récolte azotées.

5. Corrélations entre l'efficacité de l'utilisation d'azote, ses indicateurs, le rendement en grains et le taux en protéines

Les corrélations entre les différentes variables étudiées sont indiquées dans les tableaux 13, 14 et 15 pour respectivement l'année humide, l'année sèche et les données des deux années.

D'après les tableaux 13 et 14, le lien entre le CAU et le NUE_{AP} en année humide, la corrélation est hautement significative ($r=0.56^{**}$) contrairement à l'année sèche ($r=-0.42NS$), pour le lien entre le CAU et le NUE_A , on trouve que la capacité d'absorption d'azote augmente l'efficacité d'utilisation d'azote pour les deux conditions climatiques extrême la matrice montre une corrélation positive et hautement significative (0.94) pour l'année humide et (0.86) pour l'année sèche

Pour le lien entre le rendement et les efficacités on trouve que seulement le CAU à une corrélation positive et de manière hautement significative pour l'année humide (0.95) et (0.68) l'année sèche. le lien entre le rendement et la capacité de remobilisation d'azote vers les grains qui vient depuis de capacité de rétention d'azote dans la paille faible à partir le stade post-floraison est hautement significative et de manière positive seulement à l'année humide (0.56) pour l'année sèche l'effet est négatif mais non significatif, au niveau de lien de rendement avec le NUE_A le lien est positif et très hautement significatif pour les deux années (0.97) pour l'année humide et (0.69) à l'année sèche, au contraire de NUE_{AP} , le lien est positif et hautement significatif pour l'année humide seulement (0.59).

Au niveau des corrélations entre le taux de protéines et les efficacités, la matrice montre que le CAU à un lien positif hautement significatif à l'année humide (0.54) et significatif pour l'année sèche (0.40). Pour la corrélation avec le NHI on trouve que la capacité de remobilisation d'azote vers les grains à une corrélation hautement significative et de manière positive dans l'année humide seulement (0.62), pour le NUE_{AP} est corrélé négativement et de manière très hautement significative dans l'année sèche seulement.

Table 12: Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année humide

	CAU	NHI	NUEA	NUE AP	Protéines	Rendement
CAU	1,00					
NHI	0,59**	1,00				
NUEA	0,94***	0,55**	1,00			
NUEAP	0,56**	0,55**	0,62**	1,00		
protéines	0,54**	0,62**	0,26	0,22	1,00	
Rendement	0,95***	0,56**	0,97***	0,59**	0,35	1,00

. NUE_A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. NUE_{AP} = l'efficacité l'utilisation d'azote agro-physiologique. CAU: coefficient apparent d'utilisation d'azote. NHI: l'indice de récolte azotées.

Table 13: Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'année sèche

	CAU	NHI	NUEA	NUE AP	Protéines	rendement
CAU	1,00					
NHI	-0,52**	1,00				
NUEA	0,86***	-0,23	1,00			
NUEAP	-0,42*	0,40*	-0,09	1,00		
protéines	0,40*	-0,18	0	-0,65***	1,00	
Rendement	0,68***	-0,30	0,69***	0	-0,04	1,00

NUE_A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. NUE_{AP} = l'efficacité l'utilisation d'azote agro-physiologique. CAU: coefficient apparent d'utilisation d'azote. NHI: l'indice de récolte azotées.

Table 14: Matrice de corrélation des variables étudiées dans l'ensemble des deux années

	CAU	NHI	NUEA	NUE AP	Protéines	rendement
CAU	1,00					
NHI	-0,21	1,00				
NUEA	0,96***	-0,15	1,00			
NUEAP	0,03	0,45**	0,12	1,00		
protéines	-0,24	0,32*	-0,39**	-0,21	1,00	
Rendement	0,87***	-0,33*	0,89***	0	-0,59***	1,00

NUE_A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. NUE_{AP} = l'efficacité l'utilisation d'azote agro-physiologique. CAU: coefficient apparent d'utilisation d'azote. NHI: l'indice de récolte azotées.

D'après le tableau 15 qui a obtenu à partir de cet de donnée de deux année, le CAU à une très forte corrélation très hautement significative et de manière positive avec le NUE_A (0.96) et le rendement en grains (0.87). Des corrélations significatives avec la protéine de manière positive (0.32) mais pour le rendement de manière négative (-0.33). Pour le NUE_A le lien avec le taux de protéines et hautement significative et de manière négative (-0.39) contrairement au lien avec le rendement qui est très hautement significative et de manière positive (0.89).

L'application des tests des régressions entre les différents liens mentionnés précédemment montre que:

Au niveau de l'année humide l'application de test de régression non linéaire pour le taux de protéines en fonction de CAU donne un modèle avec un coefficient de détermination $R^2=0.42$. Pour la régression entre le taux de protéines et le NHI de même année donne un modèle linéaire, avec un coefficient de détermination $R^2= 0.38$. Le taux de protéines est déterminé à 42% par la capacité d'absorption d'azote et de 38% par la capacité de la plante de remobilisation d'azote vers les grains. La figure 26 indique que la dose la plus performante est la dose 150 UN/ha qui assure un taux de protéine élevé, coefficient apparent d'utilisation d'azote maximale et un indice de récolte azotée élevé ce dernier (NHI) qui peut diminuer les pertes d'azote dans le sol qui vient depuis la minéralisation de la matière sèche paille à partir de post-récolte.

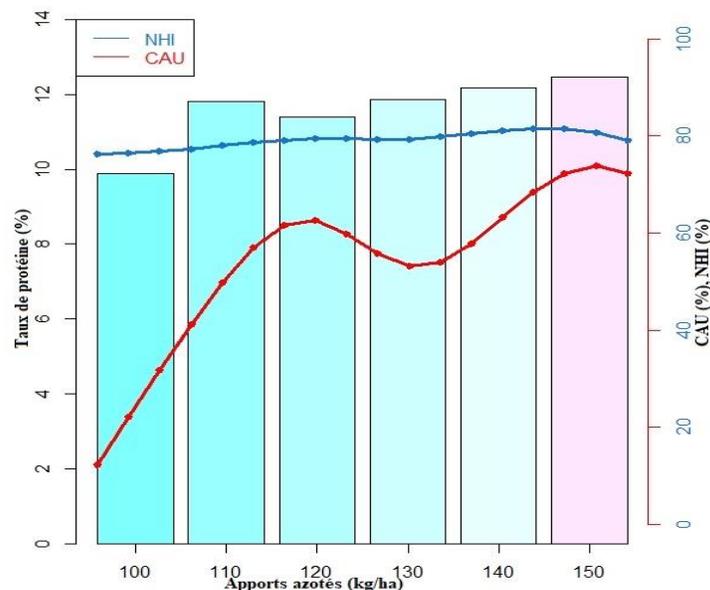


Figure 26: Taux de protéines en fonction d'apports azotés, CAU et le NHI pour l'année humide

Au niveau de l'année sèche, le test de la régression entre le taux de protéines et le CAU pour l'obtention d'équation de prédiction n'a pas fiabilité à cause de non signification de leur paramètre.

Pour la régression non linéaire entre le taux de protéines et le NUE_{AP} a présenté un coefficient de détermination ($R^2=0.62$). Le NUE_{AP} a une contribution de 62.36% dans la diminution de taux de protéines (figure 27).

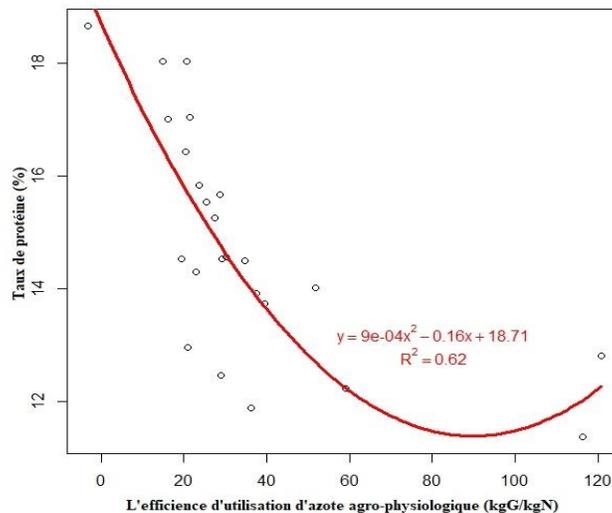


Figure 27: Taux de protéines en fonction de NUE_{AP}

Pour l'ensemble des deux années, le test de la régression linéaire entre le taux de protéines et le NHI et le taux de protéines et le NUE_A ont obtenu des coefficients de détermination faibles ($R^2=0.10$, $R^2=0.14$), qui ne peuvent être pris en considération.

Au niveau de l'année humide le test de la régression linéaire entre le rendement en grains et le NHI avec un coefficient de détermination $R^2=0.32$. La deuxième régression linéaire appliquée est entre le rendement et le NUE_{AP} , où le coefficient de détermination est de $R^2=0.35$, ce qui permet de conclure que le NUE_{AP} présente une contribution de 35% dans l'augmentation du rendement. La présentation graphique de ces trois paramètres montre qu'au niveau de l'apport $T6=140$ kgN/ha qui donne le maximum de NUE_{AP} et un rendement élevé (figure 28).

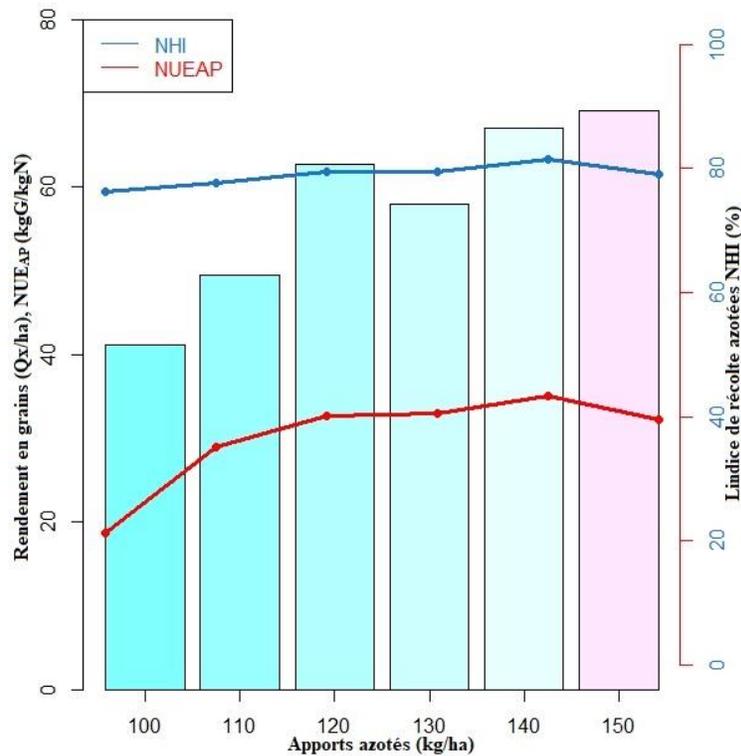


Figure 28: Rendement en grains en fonction d'apports azotés, NUE_{AP} et NHI à l'année humide

Au même année l'application de test de régression linéaire entre le rendement et le NUE_A présente un modèle avec un coefficient de détermination $R^2=0.93$. La deuxième application de test de régression entre le rendement et le CAU a présenté un modèle avec un coefficient de détermination de $R^2=0.90$, ce qui permet de dire que le rendement est déterminé à 90% par la capacité d'absorption d'azote. En présentant les trois paramètres sur un seul graphique l'apport $T7=150UN/ha$ donne le minimum des pertes d'azote avec un rendement élevé (figure 29).

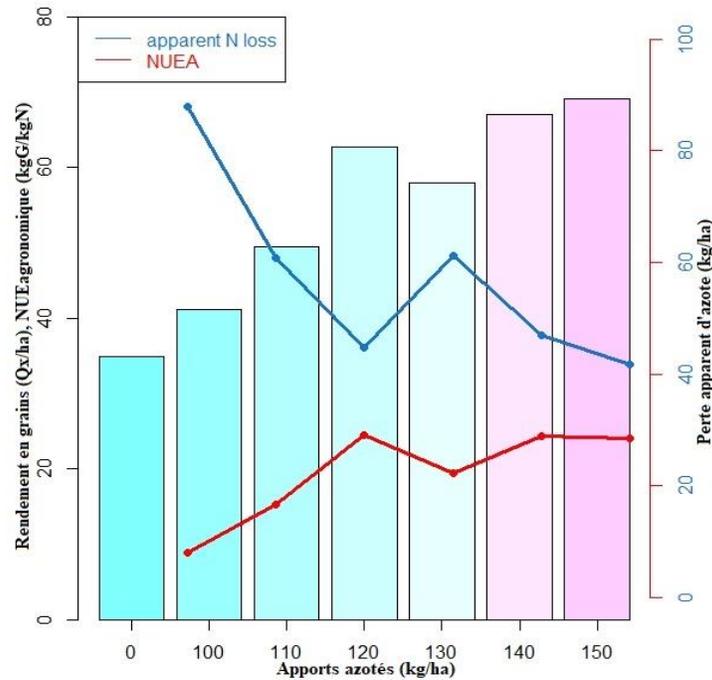


Figure 29:Rendement en fonction des apports azotés,NUE_A et les pertes apparent d'azote à l'année humide

Pour l'année sèche le test de la régression linéaire entre le rendement et le NUE_A donne le modèle a présenté un coefficient de détermination $R^2=0.48$. Entre le rendement et le CAU, le modèle obtenu a présenté un coefficient de détermination $R^2=0.46$. La capacité d'absorption d'azote a donc une contribution de 46% dans l'augmentation du rendement.

Pour la présentation graphique de ces trois paramètres et transformant le CAU en perte apparent d'azote, il est indiqué que malgré les faibles rendements en grains et en CAU, l'apport T4=120kgN/ha reste le meilleur apport qui donne moins de perte d'azote la plus faible, un NUE_A élevé avec un rendement supérieur à 12 Qx/ha (figure 30).

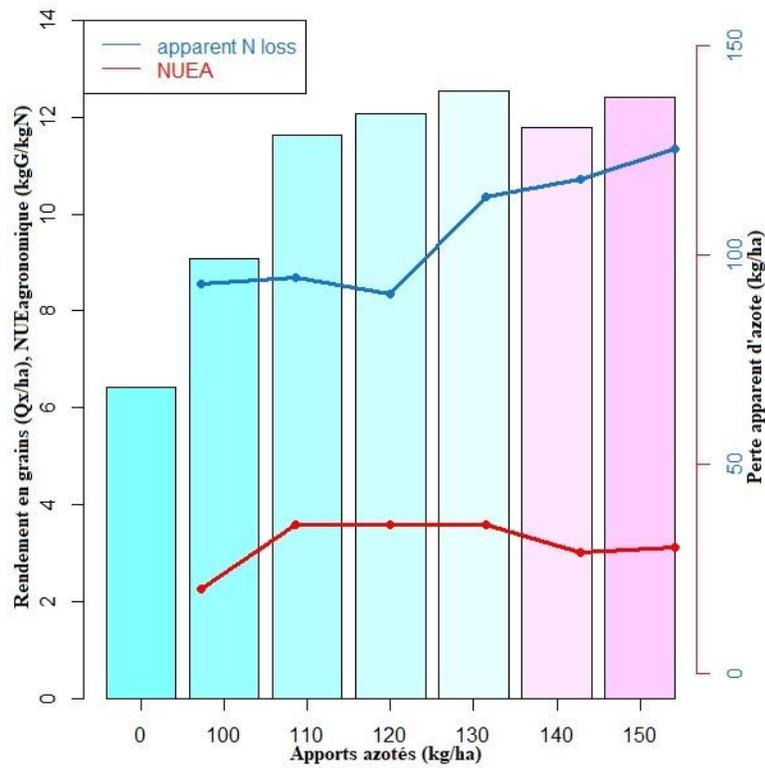


Figure 30: Rendement en fonction des apports azotés, NUEA et les pertes apparent d'azote à l'année sèche

Le test de régression des deux années, le modèle entre le rendement en grains et le CAU a présenté un coefficient de détermination $R^2=0.76$. Ceci explique que 76 % du rendement est déterminé par le CAU, ce modèle a présenté un RMSE=35.57% ce qui permet de conclure que ce modèle est de mauvaise qualité pour utiliser à la prédiction (figure 31).

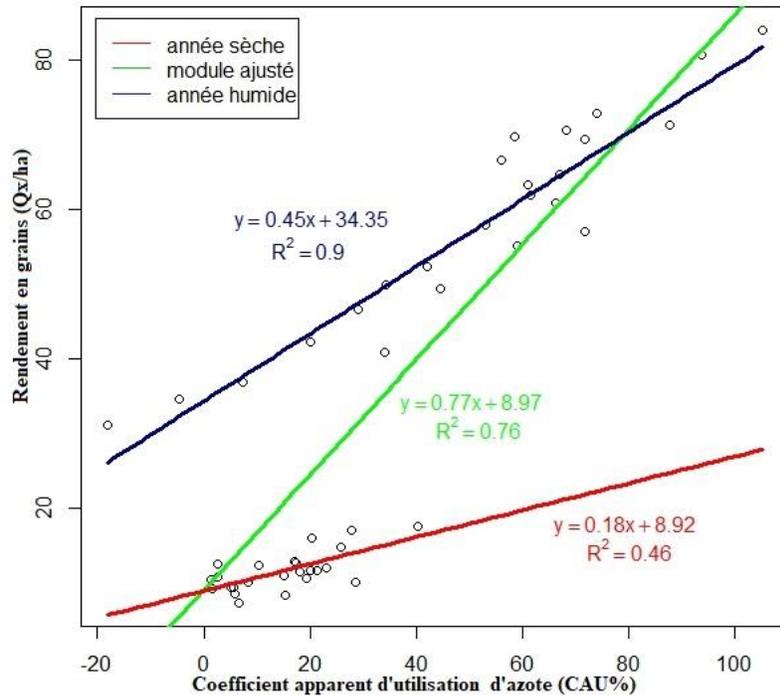


Figure 31:Rendement en grains en fonction de CAU

Le deuxième ajustement sur l'interaction rendement et NUE_A , le test de la régression linéaire donne le modèle présenté dans la figure 32, avec un coefficient de détermination $R^2=0.79$. Ce modèle à un RMSE= 33.37% qui détermine que le modèle obtenu est de mauvaise qualité à la prédiction (figure 32).

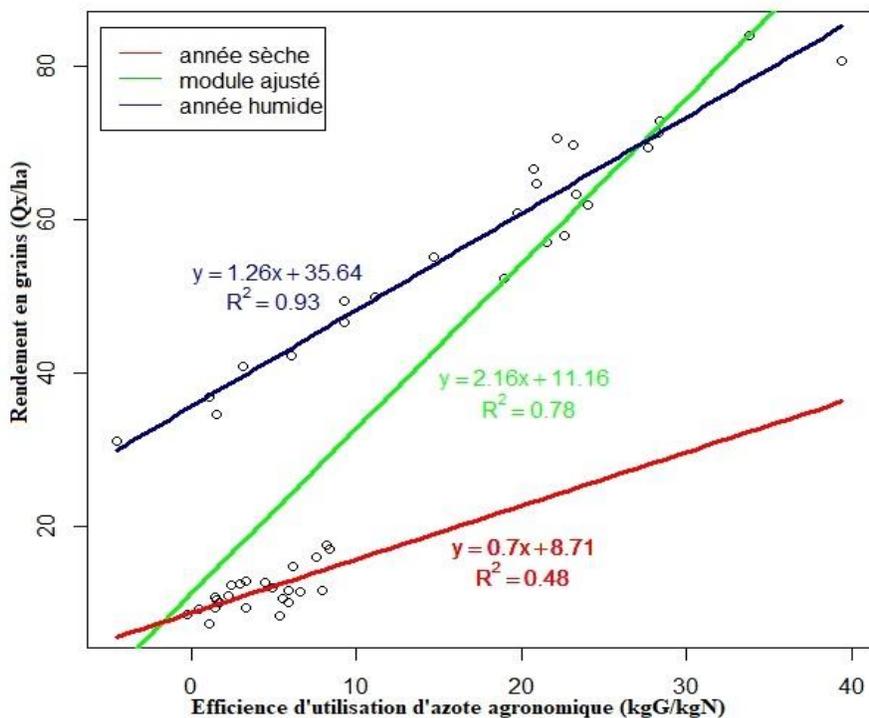


Figure 32: Rendement en grains en fonction de NUE_A

Le graphique n 33 présente le rendement en grains en fonction des apports azotée et le NUE_A , pour le CAU est transformé on perte apparent d'azote "*apparent N loss*". Il apparait que l'apport d'azote optimale est $T4 = 120 \text{ kgN/ha}$.

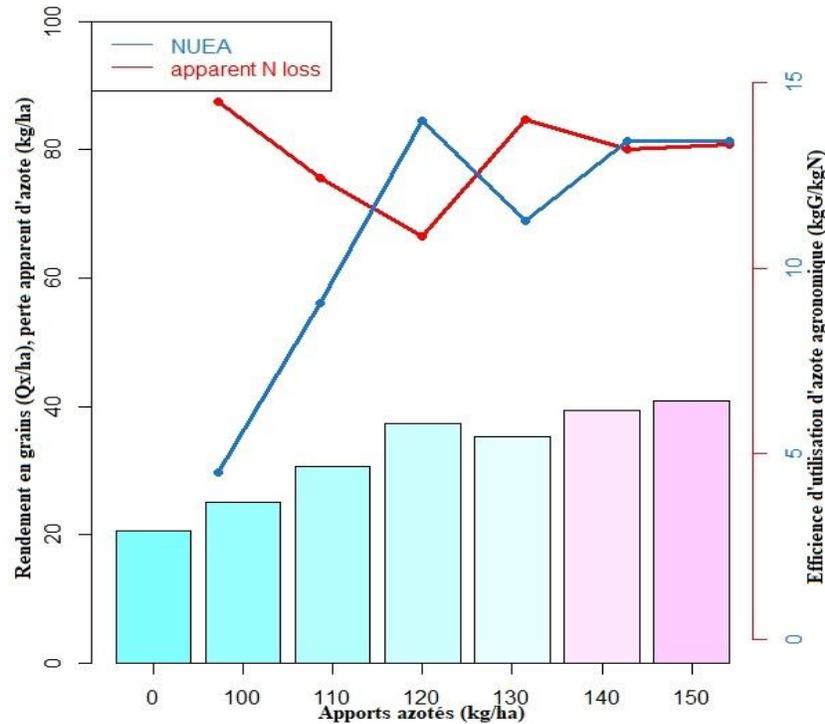


Figure 33: Rendement en fonction des apports azotés, NUE_A , perte apparent d'azote pour l'ensemble des deux années

6. Étude du coefficient de piste causale "path coefficient" sur le rendement, l'efficacité d'utilisation d'azote ses composants et le taux de protéines

L'ensemble des résultats de corrélation a été soumis à une analyse de piste causale, afin de déceler l'effet directe et indirecte de chacune des variables sur le rendement en grains pour la première analyse et le taux de protéines dans la deuxième analyse et enfin en regroupant les deux années.

1.1 Effet direct et indirect d'efficacité d'utilisation d'azote, ses indicateurs et le taux de protéines sur le rendement

L'analyse du coefficient de piste causale pour paramètres étudiés de l'efficacité a un effet sur le rendement donne des coefficients de détermination entre le rendement et l'ensemble de ces paramètres: $R^2=0.96$ pour l'année humide, et $R^2=0.92$ l'ensemble des deux années et $R^2=0.65$ pour l'année sèche.

L'analyse du coefficient de piste causale montre que pour les deux années séparément et l'ensemble des années le CAU qui a un effet direct élevé sur le rendement (0.62) à l'année humide (2.02) à l'année sèche et (0.86) pour l'ensemble des deux années. Le résultat du coefficient de piste causale du NHI montre un effet direct positif mais reste faible par rapport à CAU (0.10) à l'année humide (0.32) pour l'année sèche et (0.03) pour l'ensemble des deux années.

La corrélation positive moyenne mentionnée entre le NHI et le rendement ($r=0.56$) en année humide peut être expliquée par l'effet indirect de NHI via d'autres paramètres; via le CAU (0.59) et via l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique (0.55) mais, les corrélations négatives mentionnées précédemment dans le tableau 14 et 15 peuvent être expliquées par l'effet indirect négatif via le CAU (-0.21) pour l'ensemble des deux années et (-0.52) de l'année sèche.

Au niveau de l'année humide le NUE_A a un effet direct sur le rendement de (0.40). La forte corrélation qui a été mentionnée dans le tableau 13 peut être expliquée par l'effet direct via d'autres paramètres; via le CAU (0.94) et le NHI (0.55). À l'année sèche et l'ensemble des deux années l'analyse du coefficient de piste causale montre que l'effet direct de ce paramètre sur le rendement est négatif (-0.95) à l'année sèche et (-0.10) pour l'ensemble des deux années, la corrélation positive citée dans la matrice de corrélation peut être expliquée par l'effet indirect de NUE_A sur le rendement via d'autres paramètres; via le CAU pour l'année sèche (0.86), pour l'ensemble des deux années l'effet indirect via le CAU (0.96) et via l'effet négatif sur le taux de protéines (-0.39).

Pour le NUE_{AP} à l'année humide l'analyse du coefficient de piste causale montre que l'effet direct de ce paramètre sur le rendement est négatif (-0.04) contrairement à la matrice de corrélation qui montre un lien positif, on peut expliquer ce résultat par l'effet indirect via d'autres paramètres; via le CAU et NHI (0.59) (0.55) et via l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique (0.62).

Au niveau de ce même paramètre la matrice montre dans l'année sèche le lien de ce paramètre avec le rendement est nul mais l'analyse de piste causale montre que l'effet direct est positif (0.22) qui peut être expliqué par l'effet indirect positif via le NHI (0.40) en parallèle un effet indirect négatif via le CAU (-0.42), un autre effet indirect négatif a été enregistré via le taux de protéines (-0.65) qui a un effet direct négatif sur le rendement (-0.64). Pour l'ensemble des deux années le NUE_{AP} a un effet direct négatif sur le rendement (-0.12), l'autre effet négatif de ce paramètre sur le rendement a été enregistré via l'effet positif sur le NUE_A (0.12), aussi des effets de

manière indirect et positive via le CAU (0.02), via le NHI (0.45) et via la diminution d'effet négative du taux de protéines (-0.21).

Pour le taux de protéines, l'analyse du coefficient de piste causale montre que l'effet direct de protéines sur le rendement est toujours négatif (-0.14) en année humide (-0.64) et en année sèche, et de (-0.46) pour l'ensemble des deux années, le coefficient de corrélation positive indiqué dans l'année humide peut être expliqué par l'effet indirect via CAU (0.54), via le NHI (0.62) et le NUE_A (0.26).

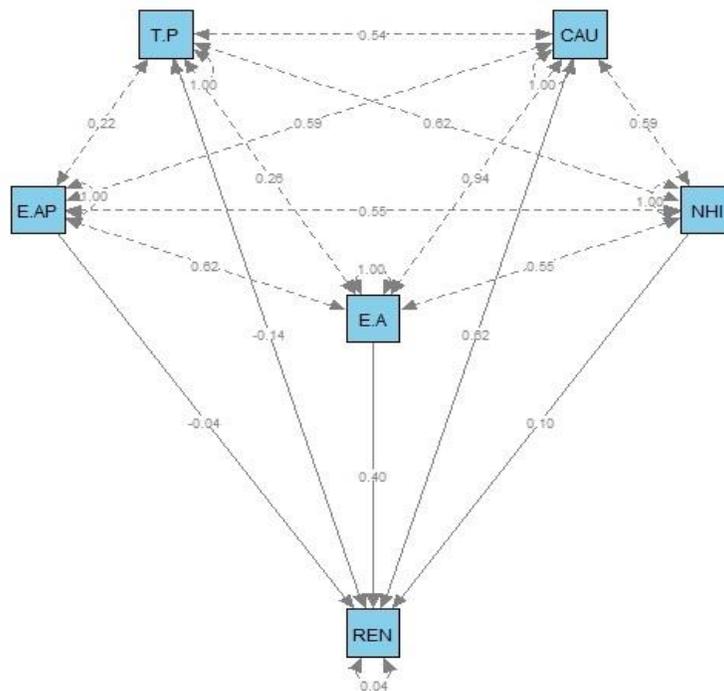


Figure 34: Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "rendement en grains" et des variables indépendants "taux de protéines, efficacité d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année humide

E.A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. *E.AP* = l'efficacité l'utilisation d'azote agrophysiologique. *CAU*: coefficient apparent d'utilisation d'azote. *NHI*: l'indice de récolte azotées. *T.P*: Taux de protéines. *REN*: rendement en grains.

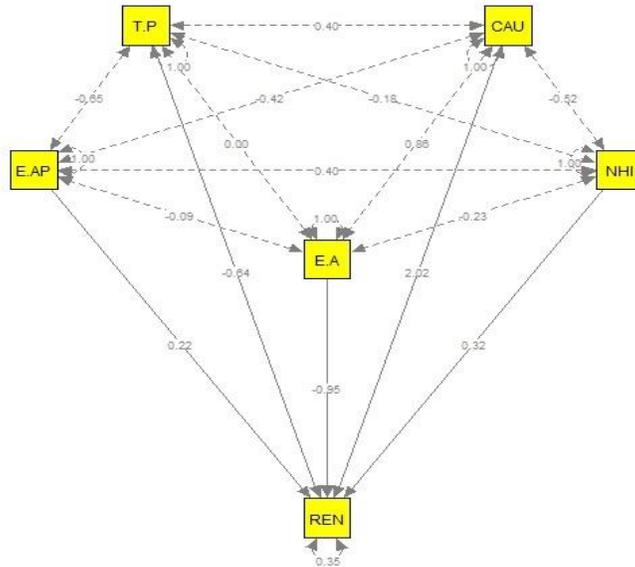


Figure 35: Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "rendement en grains" et des variables indépendants "taux de protéines, efficacité d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année sèche

E.A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. *E.AP* = l'efficacité l'utilisation d'azote agrophysiologique. *CAU*: coefficient apparent d'utilisation d'azote. *NHI*: l'indice de récolte azotées. *T.P*: Taux de protéines. *REN*: rendement en grains.

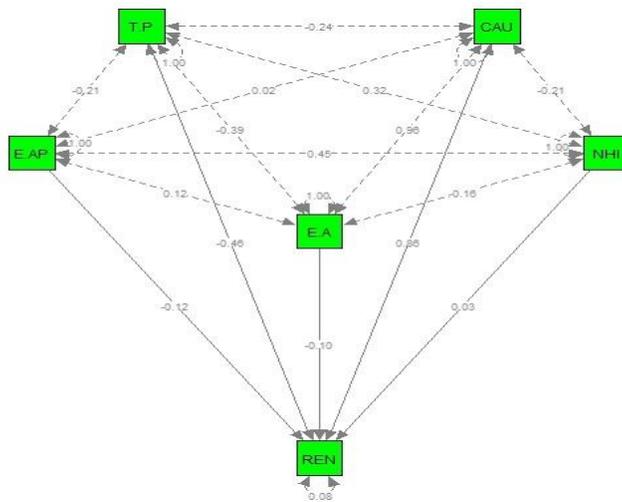


Figure 36: Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "rendement en grains" et des variables indépendants "taux de protéines, efficacité d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'ensemble des deux années

E.A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. *E.AP* = l'efficacité l'utilisation d'azote agrophysiologique. *CAU*: coefficient apparent d'utilisation d'azote. *NHI*: l'indice de récolte azotées. *T.P*: Taux de protéines. *REN*: rendement en grains.

1.2 Effet direct et indirect d'efficacité d'utilisation d'azote, ses indicateurs et le taux rendement sur le taux de protéines

L'analyse du coefficient de piste causale pour l'extraction des paramètres qui a un effet sur le taux de protéines donne des coefficients de détermination entre le taux de protéines et l'ensemble de ces paramètres: $R^2=0.95$ pour l'année humide et (0.80) à l'ensemble des deux années et $R^2=0.85$ pour l'année sèche.

Pour les deux essais étudiés séparément et en commun, l'analyse du coefficient de piste causale montre que seulement le CAU et le NHI ont toujours un effet direct et positive sur le taux de protéines; (2.29) (0.48) à l'année humide, (2.19) (0.55) à l'année sèche et de (1.85) (0.26) pour l'ensemble des deux années. Le lien négatif entre le NHI et le taux de protéines mentionnée dans la matrice peuvent être expliquée par l'effet indirect de ce paramètre via d'autre paramètres; via le CAU (-0.52) et le NUE_{AP} (0.40). Un autre lien a été enregistré dans l'ensemble des deux années entre le CAU et le taux de protéines peuvent aussi expliquer par l'effet de façon indirect via le rendement (0.87), via le NHI (-0.21) et aussi via l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique (0.96).

Pour le NUE_A l'analyse du coefficient de piste causale montre toujours un effet direct et négatif sur le taux de protéines (-1.96) à l'année humide, (-1.58) à l'année sèche et de (-1.03) pour l'ensemble des deux années. La corrélation positive mentionné précédemment au niveau d'essai de l'année humide peut être expliqué par l'effet indirect via le CAU (0.96).

Pour le NUE_{AP} l'effet direct sur le taux de protéines est toujours de façon négative (-0.10) à l'année humide, (-0.09) à l'année sèche et (-0.24) pour l'ensemble des deux années, la corrélation positive dans le tableau 13 peuvent explique par l'effet indirect sur le rendement via le CAU (0.59) et via le NHI (0.55).

Au niveau de rendement l'analyse du coefficient de piste causale montre que l'effet direct de ce paramètre sur le rendement est toujours négatif (-0.14) à l'année humide, (-0.28) à l'année sèche et un effet négative très élevé pour l'ensemble des deux années (-1.03). La corrélation positive mentionnée dans le tableau 13 peut être expliquée par l'effet indirect via le CAU (0.95) et via le NHI (0.57).

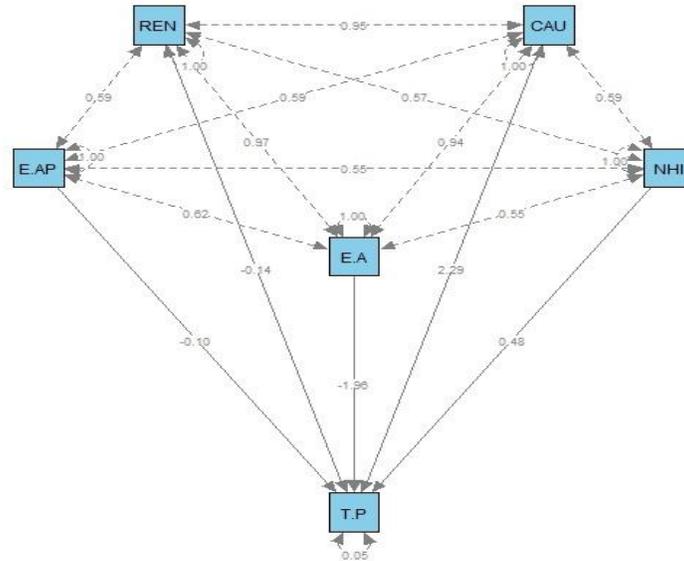


Figure 37: Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "Taux de protéines" et des variables indépendants "rendement en grains, efficacité d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année humide

E.A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. *E.AP* = l'efficacité l'utilisation d'azote agro-physiologique. *CAU*: coefficient apparent d'utilisation d'azote. *NHI*: l'indice de récolte azotées. *T.P*: Taux de protéines. *REN*: rendement en grains.

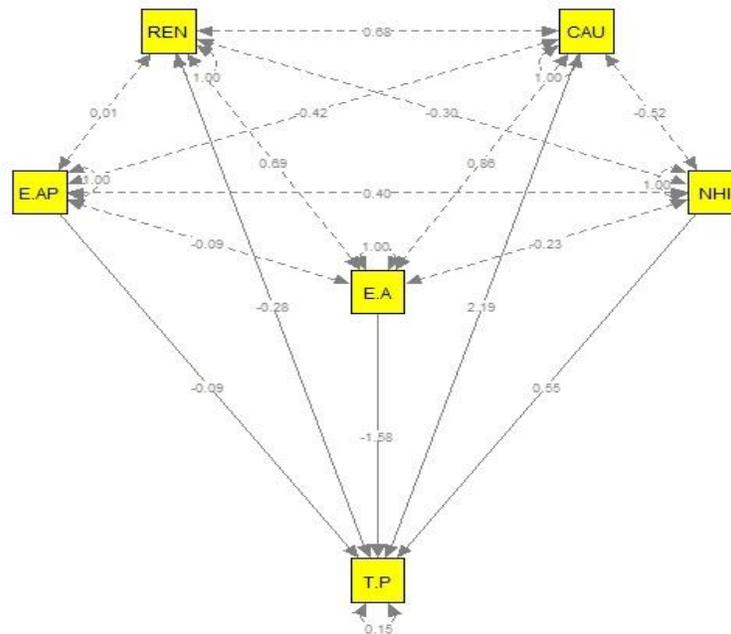


Figure 38: Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "Taux de protéines" et des variables indépendants "rendement en grains, efficacité d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'essai de l'année sèche

E.A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. *E.AP* = l'efficacité l'utilisation d'azote agro-physiologique. *CAU*: coefficient apparent d'utilisation d'azote. *NHI*: l'indice de récolte azotées. *T.P*:Taux de protéines. *REN*: rendement en grains

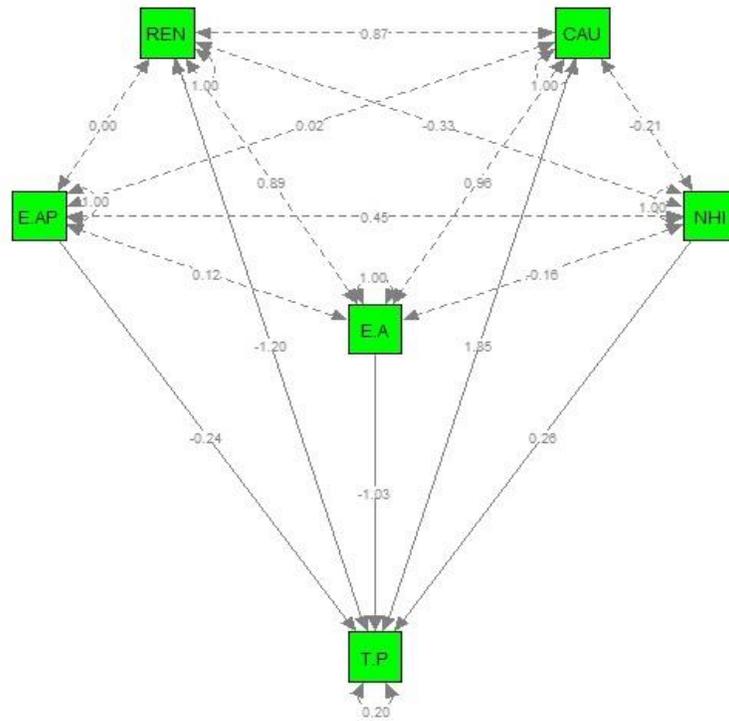


Figure 39:Analyse du coefficient de piste causale de la variable dépendent "Taux de protéines" et des variables indépendants "rendement en grains, efficacité d'utilisation d'azote et ses indicateurs" pour l'ensemble des deux années

E.A = l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique. *E.AP* = l'efficacité l'utilisation d'azote agro-physiologique. *CAU*: coefficient apparent d'utilisation d'azote. *NHI*: l'indice de récolte azotées. *T.P*: Taux de protéines. *REN*: rendement en grains.

Discussion partielle

Au niveau de NUE_A , NUE_{AP} , NHI , l'effet des apports azotés est non significatif. Ces résultats sont similaires à ceux de (Haile et al., 2012) et différentes aux résultats de (Belete et al., 2018; Gauer et al., 1992). Ces derniers précisent que l'apport d'azote à un effet significatif sur ces paramètres. Dans notre étude, l'effet d'azote est de façon indirect via l'augmentation de CAU .

Néanmoins le non assimilation d'azote dans le stade tallage cause une diminution de la production en talles avec une absorption tardive qui augmente le PMG, la quantité de la paille faible contribue

à un niveau de NHI élevé plus que à l'année humide, mais l'absorption d'azote dans le moment adéquat qui favorise l'extension des talles à un effet négatif sur le NHI et ses résultats similaire aux résultats de (Gweyi-Onyango, 2018) on peut interpréter cette résultats à cause de le NHI est un caractère variétale (Fageria, 2009) c'est-à-dire que chaque grains de variété à un capacité d'accumulation d'azote bien déterminé et le reste déterminants de NHI est le poids de la paille et leur capacité de retenir d'azote

Pour le lien entre le rendement et les efficacités on trouve des relations positive et significative dans l'année humide, ces résultats s'accordent aux (Fageria et Baligar, 2005). En année sèche le lien significatif entre le CAU et le NUE_A , avec des niveaux plus faibles par rapports à l'année humide

Dans les deux années séparément et commune le taux de protéines est relié à la capacité d'absorption d'azote, CAU et la capacité de remobilisation d'azote vers les grains qui a relié principalement à la quantité d'azote retenir par la paille. Lorsque le poids de la paille et faible la quantité d'azote disponible dans les grains et élevé et sa due à des taux de protéines très élevé, en effet lorsque le poids de la paille et élevé sa indique un nombre des talles élevé et par conséquence d'une part une quantité élevé d'azote reste retenir dans la paille qui diminué la quantité d'azote disponible dans les grains et dû à un taux de protéine faible dans l'autre par le nombre des talle élevé indique un nombre des grains élevé qui caractérise le rendement élevé, l'ensemble des ces deux dernier confirme les résultats de (Feil, 1997) qui détermine l'effet négative du rendement sur le protéine, mais d'après notre résultats l'augmentation du rendement par le PMG a aussi un effet négative sur la protéines.

Conclusion

Conclusion

L'objectif de ce travail est l'analyse de l'effet de la fertilisation azotée et son efficacité d'utilisation sur le rendement et ses composantes, ainsi que le taux de protéines, de la culture de blé dur, cultivée à Sétif, sur deux ans.

L'essai réalisé en année humide (2018), le rendement a atteint 69Qx/ha pour la dose 150 UN/ha. L'accroissement des doses d'engrais azoté ont eu un effet significatif sur les différentes composantes du rendement, sauf le PMG avec une moyenne de 51 g et le taux de mitadinage 23.58%.

Un effet positif sur le taux de protéines avec une valeur maximale de 12% enregistré pour l'apport 150 UN/ha.

L'essai réalisé en année sèche (2017), la fertilisation azotée a influencé uniquement la composante PMG. La valeur obtenue est de 38.6g enregistré, sous la dose 110 UN. Le rendement a enregistré seulement 12.5 Qx/ha, sous la dose 130 UN. Le taux de protéines a atteint 17,5%, avec la dose 120 UN/ha, avec un taux de mitadinage faible (2%).

On peut conclure que dans les années humides, la dose optimale est de 150 UN/ha. Par contre en année sèche, la dose à appliquer est située autour de 120 UN/ha.

Les analyses de corrélation suivies par l'analyse du coefficient de piste causale indiquent que le paramètre déterminant du rendement est le nombre des grains par unité de surface.

L'analyse de l'efficacité de l'utilisation d'azote est non significative pour les deux années sauf pour le CAU, en année humide pour la dose 110 UN avec une valeur de 59.82%.

Pour les années humides lorsque l'absorption d'azote est adéquate tous les efficacités ont un effet positif sur l'augmentation du rendement et sur le taux de protéines. En année sèche, seulement le CAU et le NUE_A ont présenté un effet positif sur le rendement. Le CAU et NHI a eu un effet positif sur le taux de protéines.

Comme perspective, un des critères de choix variétal est le NHI ainsi que le NUE_{AP} . Il a un rôle important sur le rendement et le taux de protéines. Il peut favoriser l'augmentation de la densité racinaire pour une capacité d'absorption d'azote élevée et par conséquent une CAU élevée, d'où le

choix des variétés à forte capacité de transformation d'azote absorbé en rendement (NUE_{AP}). Ce critère va influencer le rendement en grain et le NHI et le taux de protéines.

À la fin de ce travail, la durabilité des exploitations agricoles et des cultures céréalières, dans cette région d'étude (Sétif), un apport azoté de 120UN/ha est à préconiser au cours des années mais lorsque les prédictions climatologiques signalé une compagne humide on peut appliquer la dose 150UN/ha. Elle enregistré un rendement et un NUA élevés, et une baisse des pertes en quantités d'azote. Cette stratégie d'optimisation de la fertilisation azotée, permettrait à l'agriculteur d'atteindre un gain économique rentable à son exploitation. Il minimisera les pertes d'engrais azoté apportés et participera au respect de l'environnement.

Liste bibliographique

- Allinne, C., 2009. Modélisation écophysiological et analyse génétique pour la recherche de génotypes de tournesol adaptés aux basses températures causées par des semis précoces 166.
- Arregui, L.M., Quemada, M., 2008. Strategies to Improve Nitrogen Use Efficiency in Winter Cereal Crops under Rainfed Conditions. *Agron. J.* 100, 9.
- ARVALIS, 2014. Blé dur. Variétés et interventions d'automne (No. ISBN n° 978-2-8179-0257-9). ARVALIS –Institut du végétal.
- ARVALIS, 2012. Adapter la stratégie de fertilisation azotée aux conditions climatiques [WWW Document]. URL <https://www.arvalis-infos.fr/adapter-la-strategie-de-fertilisation-azotee-aux-conditions-climatiques-@/view-9789-arvarticle.html> (accessed 6.2.19).
- Ayadi, S., Karmous, C., Hammami, Z., Tamani, N., Trifa, Y., Esposito, S., Rezgui, S., 2016. Genetic variability of Nitrogen Use Efficiency components in Tunisian improved genotypes and landraces of durum wheat. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.4907.2401>
- Beaudoin, N., Tournebize, J., Ruiz, L., Constantin, J., Justes, E., 2012. 4. Nitrate et eau en période d'interculture, in: Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires. p. 84.
- Belay, M., Dessalegn, T., Bayu, W., 2017. Genetic variation in Durum wheat in N-use efficiency and heritability of traits at different N fertilizer levels of application. RUFORUM Working Document Series 2, 389–395.
- Belete, F., Dechassa, N., Molla, A., Tana, T., 2018. Effect of nitrogen fertilizer rates on grain yield and nitrogen uptake and use efficiency of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties on the Vertisols of central highlands of Ethiopia. *Agric. Food Secur.* 7. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0231-z>
- Benbelkacem, A., Kellou, K., 2000. Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie 7.
- Candido, V., Miccolis, V., Rivelli, A.R., 2009. Yield Traits and Water and Nitrogen Use Efficiencies of Bell Pepper Grown in Plastic-Greenhouse. *Ital. J. Agron.* 91–100. <https://doi.org/10.4081/ija.2009.3.91>
- Cassman, K.G., Dobermann, A.R., Walters, D.T., 2002. Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management 31, 10.
- Crews, T.E., Peoples, M., 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: Ecological tradeoffs and human needs. *Agric. Ecosyst. Environ.* 102, 279–297. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.018>

- Dejoux, J.-F., Recous, S., Meynard, J.-M., Trinsoutrot, I., Leterme, P., 2000. The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring 17.
- Desai, R.M., Bhatia, C.R., 1978. Nitrogen uptake and nitrogen harvest index in durum wheat cultivars varying in their grain protein concentration. *Euphytica* 27, 561–566.
<https://doi.org/10.1007/BF00043182>
- Djennadi, F., 2013. Le fractionnement de l'azote. *ITGC, Bulletin des grandes cultures* 8.
- Djermoun, A., 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques 9.
- Eickhout, B., Bouwman, A., Vanzeijts, H., 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 116, 4–14.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.009>
- Fageria, N.K., 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC Press, Boca Raton.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 97–185. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6)
- FAOSTAT [WWW Document], 2019a. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 3.21.19).
- FAOSTAT [WWW Document], 2019b. URL <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/RFN> (accessed 3.21.19).
- Gauer, L.E., Grant, C.A., Bailey, L.D., Gehl, D.T., 1992. Effects of nitrogen fertilization on grain protein content, nitrogen uptake, and nitrogen use efficiency of six spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, in relation to estimated moisture supply. *Can. J. Plant Sci.* 72, 235–241.
<https://doi.org/10.4141/cjps92-026>
- Gweyi-Onyango, J.P., 2018. EFFECTS OF NITROGEN LEVELS ON YIELD AND NITROGEN UTILIZATION EFFICIENCIES OF TWO RICE VARIETIES IN KIRINYAGA COUNTY, KENYA 12.
- Haile, D., Nigussie, D., Ayana, A., 2012. Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162012005000002>
- Ladha, J.K., Pathak, H., J. Krupnik, T., Six, J., van Kessel, C., 2005. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 85–156.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)87003-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)87003-8)

- Lemaire, G., Gastal, F., 2016. L'efficience de l'utilisation de l'azote par les cultures. 19.
- MAAF, 2016. Recensement et analyse des outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée, Rapport du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. France.
- Melki, M., Samaali, S., Mechri, M., Saidi, W., 2015. Étude qualitative et quantitative de la production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) conduit sous différentes modalités de fractionnement de nitrate d'ammonium 20, 9.
- Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2016. Recensement et analyse des outils de raisonnement dynamique et de pilotage de la fertilisation azotée (No. 150420). Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, France.
- Moll, R.H., Kamprath, E.J., Jackson, W.A., n.d. Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization' 562–564.
- Oenema O, Brentrup F, Lammel J, Bascou P, Billen G, Dobermann A, Erismann J W, Garnett T, Hammel M, Haniotis T, Hillier J, Hoxha A, Jensen LS, Oleszek W, Pallière C, Powlson D, Quemada M, Schulman M, Sutton MA, Winiwarter W, 2015. Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems Prepared by the EU Nitrogen Expert Panel.
- Ramdane, B., Christine, A., 2012. Farm diversity and crop growing practices in semi-arid regions: A case study of the Setif high plains in Algeria. *Afr. J. Agric. Res.* 7, 6363–6375.
<https://doi.org/10.5897/AJAR09.603>
- Raun, W.R., Solie, J.B., Johnson, G.V., Stone, M.L., Mullen, R.W., Freeman, K.W., Thomason, W.E., Lukina, E.V., 2002. Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application. *Agron. J.* 94, 6.
- Smil, V., 2001. Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production. MIT, Cambridge, Mass. London.
- Souissi, A., Bahri, H., Chikh m'hamed, H., Annabi, M., 2018. Une méta-analyse sur les effets de la fertilisation azotée sur le rendement et l'efficience de l'utilisation de l'azote chez le blé dur en Tunisie 91, 25.
- Tanaskovik, V., Cukaliev, O., S. Kanwar, R., Heng, L.K., Markoski, M., Spalevic, V., 2016. Nitrogen Fertilizer Use Efficiency of Pepper as Affected by Irrigation and Fertilization Regime. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca* 44, 525. <https://doi.org/10.15835/nbha44210415>

Résumé

L'objectif de ce travail est l'analyse de l'effet de la fertilisation azotée et son efficacité d'utilisation sur le rendement et ses composantes, ainsi que le taux de protéines, de la culture de blé dur. L'étude a été menée sur une variété locale de blé dur (**Bousselam**) cultivée en zone semi-aride (Sétif). Les essais ont été réalisés sur deux années (2017 et 2018). La culture du blé a été soumise à sept régimes azotés croissants (0- 100-110- 120-130-140 et 150UN/ha), appliqués en deux fractions. Les analyses statistiques montrent un effet d'azote sur le rendement, ses composantes et le taux de protéines. Au cours de l'année humide, la fourchette du rendement était de 34.8 à 69.1Qx/ha et un taux de protéines variant de 11.1 à 12.4%. Les valeurs les plus élevées ont été atteintes avec la dose 150UN/ha. En année sèche, les rendements ont varié de 6.4 à 12.5Qx/ha, enregistrés sous la dose 130UN/ha et un taux de protéines de 12.4 à 17.5% avec la dose 120UN/ha. Le facteur le plus déterminant du rendement est le nombre de grains mais avec un effet négatif sur le taux de protéines. L'effet d'azote sur l'efficacité d'utilisation d'azote agronomique ($NUE_A=15.29\text{kgG/kgN}$) est non significatif sauf sur le coefficient apparent d'utilisation d'azote ($CAU=12.14\text{à}72.24\%$) sous la dose 150UN/ha. Ce dernier qui a affecté les autres indicateurs; il a augmenté le NUE_A est par conséquent a augmenté le rendement. L'indice de récolte azotée (NHI) augmente le taux de protéines mais l'efficacité d'utilisation d'azote agro-physiologique (NUE_{AP}) diminue le NHI et par conséquent diminue le taux de protéines.

Mots clés: Blé dur, efficacité d'utilisation d'azote agronomique, coefficient apparent d'utilisation d'azote, dose d'azote, zone semi-aride, rendement.

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تحليل تأثير التسميد النيتروجيني وكفاءة استخدامه على محصول الحبوب ومكوناته ، وكذلك محتوى البروتين صنف محلي من القمح الصلب (بوسالم) ، المزروع في المنطقة شبه جافة (سطيف). أجريت التجربة على مدار عامين (2017 و 2018). تعرض محصول القمح إلى سبعة جرعات متزايدة من النيتروجين (0-100-110-120-130-140 و 150 كغ/هكتار) المطبقة على جزئين. تظهر التحليلات الإحصائية تأثير النيتروجين على المحصول ومكوناته ومستويات البروتين. خلال السنة الممطرة ، تراوح الإنتاج بين 34.8 و 69.1 ق / هكتار وتراوحت نسبة البروتين من 11.1 إلى 12.4 ٪. ولقد تم تحقيق أعلى القيم مع جرعة 150 كغ / هكتار. في السنة الجافة ، تراوحت الغلات من 6.4 إلى 12.5 ق / هكتار بالنسبة للجرعة 130 كغ/هكتار ومستوى البروتين من 12.4 إلى 17.5 ٪ للجرعة 120 كغ/هكتار. من أهم العوامل المحددة للغلة هو عدد البذور ولكن مع تأثير سلبي على مستوى البروتين.

للنيتروجين تأثير ضئيل على كفاءة استخدام النيتروجين الزراعي ($NUE_A = 15.29\text{kgG} / \text{kgN}$) باستثناء فعاليته على استرداد النيتروجين التقديرية ($CAU = 12.14\%$ إلى $CAU = 72.24\%$) تحت جرعة 150 كغ / هكتار. هذا الأخير الذي أثر على المؤشرات الأخرى ؛ لقد زاد NUE_A وبالتالي زيادة محصول الحبوب. يزيد مؤشر حصاد النيتروجين (NHI) من مستوى البروتين ولكن كفاءة استخدام النيتروجين الزراعي (NUE_{AP}) تقلل من NHI وبالتالي تنخفض مستوى البروتينات.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب ، كفاءة استخدام النيتروجين الزراعي ، كفاءة استرداد النيتروجين التقديرية ، جرعة النيتروجين ، المنطقة شبه الجافة ، محصول الحبوب.