
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche Scientifique

Université EL HADJ LAKHDAR de Batna
Faculté des sciences
Département d'agronomie

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de MAGISTER
en Sciences Agronomiques

Option : Pédologie

Présenté par :
M^{elle} GHOUAR Wassila

EFFET DU CUMUL DE PLUIE HIVERNALE SUR LA
REPONSE DU CULTIVAR WAHA (*Triticum durum* Desf.)
A LA FERTILISATION AZOTEE

Soutenu le :

Devant la commission d'examen :

M^r. T. Saadoun

Prof. Université de Batna

Président

M^r. H. Bouzerzour

Prof. Université de Sétif

Rapporteur

M^r. R. Bensaid

M.C. Université de Batna

Examineur

M^r. B. Oudjhih

M.C. Université de Batna

Examineur

Année 2005 - 2006

REMERCIEMENT

- *Au terme de cette étude, je remercie avant, Dieu tout puissant de m'avoir guidé durant toutes mes années de formation et m'avoir permis la réalisation de ce présent travail*
- *Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à M^r. BOUZERZOUR H., mon encadreur, qui a bien voulu, par son aimable bienveillance, diriger ce travail qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect*
- *Mes remerciements les plus profonds à mon enseignant M^r. SAADOUN T., professeur à l'institut d'agronomie de Batna pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury.*
- *Mes plus grands respects à Mr. BENSAID R. et M^r. OUDJHIH B., qui ont bien voulu faire part de jury pour examiner mon travail.*
- *Je tiens aussi à adresser mes remerciements à monsieur M^r. KHENFOUSSI, M^r. TIMAGOULT, pour ses précieux conseils et ces encouragements.*
- *Enfin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.*

Wassila G.

SOMMAIRE

Introduction

Chapitre I : Revue bibliographique

1- Le blé, sa nutrition azotée et hydrique	2
1-1- Les stades de développement du blé	2
1-1-1- La germination levée	2
1-1-2- Le tallage	2
1-1-3- La montaison	2
1-1-4- L'épiaison et la floraison	3
1-1-5- Le remplissage du grain et la maturation	3
1-2- La nutrition azotée de la plante	3
1-2-1- Importance et rôle de l'azote dans le végétal	3
1-2-2- L'assimilation de l'azote par la plante	4
1-2-3- Variation des besoins azotés du blé au cours du cycle	4
1-3- La dynamique de l'azote	5
1-3-1- Cycle de l'azote dans le sol	5
A- L'ammonification	6
B- La nitrification	6
1-3-2- Les voies de pertes de l'azote minéral du sol	7
1-3-2-1- Les pertes par lessivage	7
1-3-2-2- Les pertes par voie gazeuses	7
1-3-2-3- La réorganisation	7
2- La fertilisation azotée du blé	8
2-1- Les engrais azotés	8
2-2- L'effet de l'azote selon les stades végétatifs	8
2-3- Principes de raisonnement de la fertilisation azotée	10
3- L'alimentation hydrique du blé	11
3-1- Importance et rôle de l'eau	11
3-2- Circulation de l'eau dans la plante	12

Liste des figures

Figure -1- Evolution des besoins azotés du blé et stades repères des apports fractionnés (REMY et MACHET, 1978).	9
Figure -2- Evolution des exigences en eau des céréales (GOLUSIC, 1971).	14
Figure -3- Précipitations et températures moyennes mensuelles de la campagne agricole 2004/2005 sur le site expérimental ITGC de Sétif.	23
Figure -4- Dispositif expérimental (SPLIT-PLOT).	28
Figure -5- Variation de la hauteur chaume due à l'eau et l'azote.	31
Figure -6- Variation du nombre de grains/épi et de l'augmentation des épis m ⁻² en % relativement au témoin pluvial sous l'effet de l'eau et l'azote.	34
Figure -7- Interaction de l'eau et de l'azote sur l'expression de la biomasse aérienne et le rendement en grains du cultivar Waha.	36
Figure -8- Réponse du rendement en grains du blé dur variété Waha à la fertilisation azotée en fonction des pluies hivernales (Octobre-Février).	39

Liste des tableaux

Tableau -1- Relation entre les besoins azotés et les quantités d'azote fournis par le sol (VIAUX, 1983).	10
Tableau -2- Coefficients culturaux des céréales.	14
Tableau -3- Précipitations et températures moyennes mensuelles de la campagne 2004/2005 du site expérimental de Sétif (ONM, 2005).	24
Tableau -4- Analyse physicochimique du sol de la station ITGC de Sétif.	25
Tableau -5- Valeurs moyennes de variables mesurées.	32
Tableau -6- Corrélation entre les différentes variables mesurées.	37
Tableau -7- Teneur des grains et de la paille en azote (%MS).	42
Tableau -8- Evolution des exportations de l'azote par les grains et la paille (kg/ha).	43
Tableau -9- Coefficient d'utilisation de l'azote par la plante (%).	45

INTRODUCTION

L'utilisation croissante des engrais, en particulier les engrais azotés et leur application fractionnée, est un des facteurs explicatifs des grands progrès en matière de rendements. Ainsi la notion attribuée à l'azote, comme étant le pivot de la fumure, se justifie à plus d'un titre. Son action positive sur les rendements des céréales fait de lui un facteur limitant quand il vient à manquer même si les autres facteurs tels que l'eau, les éléments P et K, la variété, les dates et densités de semis sont à leur optimum (HALILAT, 1993).

Malgré les nombreux travaux qui ont été effectués dans divers pays, sur la fertilisation minérale, les études réalisées en Algérie sur ce sujet restent insuffisantes, bien que la contribution de la fertilisation azotée à l'intensification agricole nationale n'est plus à démontrer (SAURAT, 1988). Les facteurs qui déterminent une production optimale ne sont pas toujours réunis sous certaines conditions pédoclimatiques. Ils sont ainsi la cause des variations des rendements.

Après l'eau, la fertilisation azotée est un des principaux éléments de l'intensification de la production des céréales. La variabilité climatique et notamment celle des pluies enregistrées par cycle de culture fait que la fertilisation azotée des céréales reste très délicate. De faibles doses d'azote sont sous employées par la plante qui n'exprime pas son potentiel productif. Des apports supra optimaux induisent par contre une forte consommation d'eau, tôt au cours du cycle, et la phase de remplissage se réalise alors sous stress hydrique.

L'épandage de l'azote se fait, sous conditions semi-arides, en un seul apport juste au moment de la reprise de la végétation, vers la mi-mars. La pluie accumulée au cours de l'hiver ne peut elle pas être prise comme un indicateur pour estimer la dose d'azote à apporter? La présente expérimentation se fixe l'objectif d'étudier l'effet de la variation du cumul de pluie hivernal sur l'efficacité d'utilisation de l'azote par la céréale.

CHAPITRE -I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1- LE BLE, SA NUTRITION AZOTEE ET HYDRIQUE

1-1- LES STADES DE DEVELOPPEMENT DU BLE

1-1-1- LA GERMINATION LEVEE

Elle correspond à la reprise d'une activité physiologique importante du germe et se traduit par une croissance rapide des méristèmes embryonnaires. Les conditions du milieu, telles que la température, l'humidité et l'aération du sol doivent être, pour cela favorables. La teneur en eau du sol optimale est comprise entre 30 - 40% de la capacité du champ et la température dans l'intervalle 15° - 22°C. La levée se distingue par l'apparition, hors de la surface du sol, de la coléoptile.

1-1-2- LE TALLAGE

Le stade tallage est caractérisé par la manifestation et le développement des tiges secondaires (talles) correspondant aux entre- nœuds situés au niveau de la couronne. Le stade tallage dépend de plusieurs facteurs dont la variété qui intervient par sa longueur de la phase de formation des ébauches des épillets. Les conditions du milieu et en particulier la température agissent directement sur la durée de la phase tallage.

La nutrition azotée induit généralement la profusion des talles herbacées (BENJAMAA, 1977). La profondeur du semis, lorsqu'elle est importante, réduit de la capacité de tallage de la plante. BELAID (1987) mentionne qu'un tallage excessif est cependant peu intéressant, car il augmente les besoins en eau de la plante, et sous conditions de déficit hydrique une part importante de ces talles ne monte en épis.

1-1-3- LA MONTAISON

Elle se distingue par la montée de l'épi sous l'effet de l'élongation des entre-nœuds qui constituent le chaume. Les talles montantes entrent en compétitions pour les facteurs du milieu avec les talles herbacées qui de ce fait n'arrivent pas à monter en épis à leur tour. Ces dernières régressent et meurent (MASLE, 1982). Ce phénomène se manifeste chez les jeunes talles par une diminution de la croissance puis par un arrêt de celle-ci (MASLE-MEYNARD, 1981).

1-1-4- L'EPIAISON ET LA FLORAISON

L'épiaison se caractérise par l'émission de l'épi hors de la gaine de la feuille étandard (GATE, 1987). Les épis sortis de leur gaine, fleurissent, généralement, 4 à 8 jours après l'épiaison. Le nombre de grains par épi est fixé, à ce stade. Les facteurs du milieu qui agissent sur le nombre de grains par épi sont la lumière, la température, l'eau et l'azote disponible pour la plante.

1-1-5- L E REMPLISSAGE DU GRAIN ET LA MATURATION

GESLIN et JONARD (1948) mentionnent que cette phase se compose de trois étapes successives. Il y a augmentation rapide du volume et du poids du grain en eau et en matière sèche, au cours de la première étape. Le grain atteint sa forme définitive au delà de 20 jours après épiaison. Le contenu en eau du grain se stabilise au cours de la seconde étape, si aucune contrainte hydrique ou thermique ne se manifeste. C'est le pallier hydrique.

C'est une étape qui est sensible aux effets de la variation environnementale, qui se répercute sur le rendement grains (GRIGNAC, 1964; LELIEVRE et NOLOT, 1977). La troisième étape correspond à la dessiccation du grain, ce dernier perd de son humidité et s'assèche rapidement.

1-2- LA NUTRITION AZOTEE DE LA PLANTE

1-2-1- IMPORTANCE ET ROLE DE L'AZOTE DANS LE VEGETAL

La teneur en azote des plantes est de l'ordre de 2 à 4 pour cent par rapport au poids sec (MENGEL et KERKBY, 1982). Il intervient dans l'élaboration des protéines (JUSSIAUX, 1980). Le maximum de production de chacun des organes du végétal ne correspond pas à une même concentration en azote dans le milieu (BLANC, 1971). L'effet de l'azote sur la plante varie selon l'organe considéré, c'est ainsi que la production des parties aériennes est étroitement liée à la teneur en nitrates du milieu, tandis que le développement racinaire y est peu sensible.

Une plante qui est approvisionnée suffisamment en azote se développe rapidement et donne beaucoup de feuilles et de tiges. L'excès d'azote prolonge, par contre, le développement végétatif et retarde la maturité, ce qui provoque l'échaudage.

1-2-2- L'ASSIMILATION DE L'AZOTE PAR LA PLANTE

L'absorption de l'azote par les plantes se réalise sous forme ammoniacal et nitrique. Ce dernier est directement assimilable et il subit dans le végétal une série de transformation :

Nitrate → Nitrite → Hypo nitrite → Hydroxylamine → Ammonium.

BLANC (1971) a rapporté des informations plus précise sur les enzymes responsables de ces réductions. L'enzyme nitrate réductase assure la réduction des nitrates en nitrites et sous l'action du nitrite réductase ces derniers se transforment en hypo nitrites. Une hydroxylamine réductase transforme l'hydroxylamine en ammonium. Les basses températures influent défavorablement sur l'assimilation de l'azote chez les plantes. Cette réaction n'est toutefois pas irréversible. COTTIGNIES (1977) confirme que les racines ne sont pas les seuls organes d'absorption d'azote. Les feuilles possèdent également la capacité d'absorption à travers leurs tissus superficiels.

1-2-3- VARIATION DES BESOINS AZOTES DU BLE AU COURS DE CYCLE

L'azote contenu dans la plante au stade maturité est estimé à 94 mg. Environ de 80% de l'azote présent dans toute la plante à la maturité ont été prélevés au stade floraison. Presque 2/3 de l'azote qui constitue les feuilles, les tiges et les épis sont transférés vers le grain. A la récolte, plus de 75% de l'azote total de la culture se trouve au niveau du grain.

Les besoins de la plante en azote sont relativement modestes soit environ 40 à 50 kg/ha avant la montaison (REMY et VIAUX, 1980). Il est nécessaire d'approvisionner la culture au début de cette phase de la quantité suffisante à sa croissance (Figure1). Selon HEBERT (1975) les besoins en azote deviennent très importants à partir de la montaison. Au cours de cette phase la croissance devient très importante et qui détermine le nombre d'épis, le nombre de grain par épi et le poids maximal du grain. A cette époque le blé peut absorber jusqu'à 3 kg N/ha/jour (REMY et MACHET, 1978). Le blé à la fin de son cycle (maturation) ralentit l'absorption et la totalité de la quantité d'azote des organes verts s'accumule dans les grains.

1-3- LA DYNAMIQUE DE L'AZOTE

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

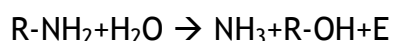
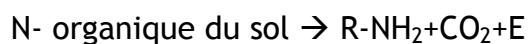
1-3-1- CYCLE DE L'AZOTE DANS LE SOL

L'azote organique représente plus de 95% de l'azote total dans la plupart des sols (DUCHAUFFOUR, 1979). La forme minérale, assimilable pour la plante, représente moins de 2%. Les plantes s'adaptent à cette insuffisance de la forme assimilable en puisant l'azote, contrairement aux autres éléments nutritifs, tout le long du cycle (BAEYENS, 1967). Ceci justifie les applications tardives de la fumure azotée sur les graminées.

Le cycle de l'azote représente l'ensemble de transformation de l'azote dans la biosphère. Les micro-organismes (bactéries fixatrices d'azote, de l'ammonisation, de putréfaction et de nitrification), jouent un rôle essentiel dans l'élaboration de ce cycle. Le taux de minéralisation de l'azote, contenu dans l'humus stable, est de l'ordre de 1 à 2% par an (GROS, 1974; DUTHIL, 1981). La matière organique fraîche se minéralise plus rapidement. La minéralisation de l'azote réorganisé est en moyenne de 5 à 8% (REMY et HEBERT, 1977; CALLOT, 1983). Le passage de l'azote de la forme organique à la forme minérale par les microorganismes se réalise en deux étapes

A- L'AMMONIFICATION

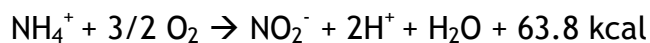
DUCHAUFFOUR (1979) et DUTHIL (1983) affirment que l'ammonification se réalise à des conditions écologiques extrêmement diverses, parce qu'elle demande un nombre élevé de bactéries et de champignons. Cette diversité des familles de bactéries et de champignons assure l'opération quelque soit les conditions écologiques même en sols fortement desséchés. Les diverses ressources de matière organique sous les différentes transformations par la microflore donne l'ammoniac selon les processus suivants :



B-LA NITRIFICATION

Les bactéries qui interviennent à cette étape sont de type nitrobacter et nitrosomonas à exigences écologiques bien précises de pH voisin de la neutralité, de quantité suffisante de CO₂, bonne aération du sol et une humidité légèrement en dessous des 2/3 de la capacité de rétention du sol.

L'ammoniac se transforme en nitrate à l'effet de deux groupes de microorganismes, les nitrosomonas qui sont responsables de l'oxydation de l'azote ammoniacal en azote nitreux c'est-à-dire la nitratation selon la réaction:



Les nitrobacters sont responsables de l'oxydation de l'azote nitreux en azote nitrique, c'est la nitratation: $\text{NO}_2^- + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 17.5 \text{ kcal}$

1-3-2- LES VOIES DE PERTES DE L'AZOTE MINERAL DU SOL

Les quantités d'azote minéral du sol non assimilais par les plantes peuvent être perdues par trois chemins; le lessivage par la dénitrification de NO₃⁻ en NO₂ puis elle dirige vers la profondeur, par volatilisation ou la perte de NH₄⁺, et par l'immobilisation ou réorganisation dont l'azote est utilisé par les microorganismes. L'azote immobilisé pourra être ultérieurement utilisé par la plante.

1-3-2-1-LES PERTES PAR LESSIVAGE

L'entraînement des nitrates (NO₃⁻) en profondeur à cause de leur grande solubilité dans l'eau, est dit lixiviation. Elle est généralement difficilement contrôlable par l'homme. D'après GUIOT (1986) les conséquences peuvent être fortement atténuées en évitant les longues périodes de nudité du sol.

Ces pertes dépendent de la pluviométrie, de la texture du sol et de la profondeur d'enracinement de la culture, ainsi que la forme d'engrais apportée. L'évaluation de ces pertes dépende de la nature des lieux étudiés. REMY et HEBERT (1977) estiment que les pertes sous une culture intensive de blé tendre est de 15 à 35 kg. NEYROUD et VEZ (1981) confirment que les pertes peuvent augmenter dans le système sol - plante, ce qui provoque la contamination des nappes phréatiques dont le cas où les apports de fumures sont abusifs et inadaptées.

1-3-2-2-LES PERTES PAR VOIE GAZEUSE

La concentration de NH_3 dans la solution du sol, de sa solubilisation et de sa diffusion dans le sol fait limité l'importance de ce type de pertes. Certaines conditions telles que une faible humidité, l'alternance entre humectation et de dessiccation; le pH et la teneur en CaCO_3 jouent sur l'équilibre NH_4/NH_3 . Tous ces facteurs pédoclimatiques favorisent la volatilisation (RECOUS, 1987).

La forme d'engrais a un effet sur la volatilisation. Les pertes sont plus remarquées pour les engrais uréique ou le phosphate d'ammoniaque. Elles sont, par contre, moins importantes pour le nitrate d'ammonium (GERMON, 1982; REMY et VIAUX, 1983) où la forme nitrique se trouve à faible concentration dans le milieu.

1-3-2-3-LA REORGANISATION

C'est l'ensemble de processus par lequel les microorganismes du sol assimilent l'azote pour satisfaire leurs besoins de croissance et de multiplication. La réorganisation affecte préférentiellement la forme ammoniacale que la forme nitrique. Elle est temporaire du fait que l'azote est restitué au sol. Le niveau de réorganisation est essentiellement déterminé par la quantité de carbone facilement assimilable disponible dans le sol.

Selon MULLER (1982) l'immobilisation de l'azote pour les pailles des céréales dont le rapport C/N est voisin de 60, est de 10 Kg/tonne de paille enfouie. D'après RECOUS (1987) elle débute juste après l'apport d'azote, elle peut affecter 10 à 40 % de l'apport et entre directement en concurrence avec la nitrification.

2- LA FERTILISATION AZOTEE DU BLE

2-1-LES ENGRAIS AZOTES

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

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

2-2-L'EFFET DE L'AZOTE SELON LES STADES VEGETATIFS

D'après TOUTAIN (1979), les apports d'azote doivent être fractionnés suivant les stades du cycle végétatif du blé (Figure 1). Au stade tallage, l'influence de l'azote se manifeste sur la première composante du rendement à se former: l'augmentation du nombre de talles par mètre carré.

Une carence à ce stade là provoque une diminution du nombre de talles herbacées formées. Selon COIC (1956) un apport d'azote sur blé, au stade tallage, peut créer ultérieurement un besoin supplémentaire d'azote. Le seuil au dessous duquel il y'a un arrêt du tallage est estimé à 5 % de l'azote totale contenu dans la plante (SEBILOTE, 1985).

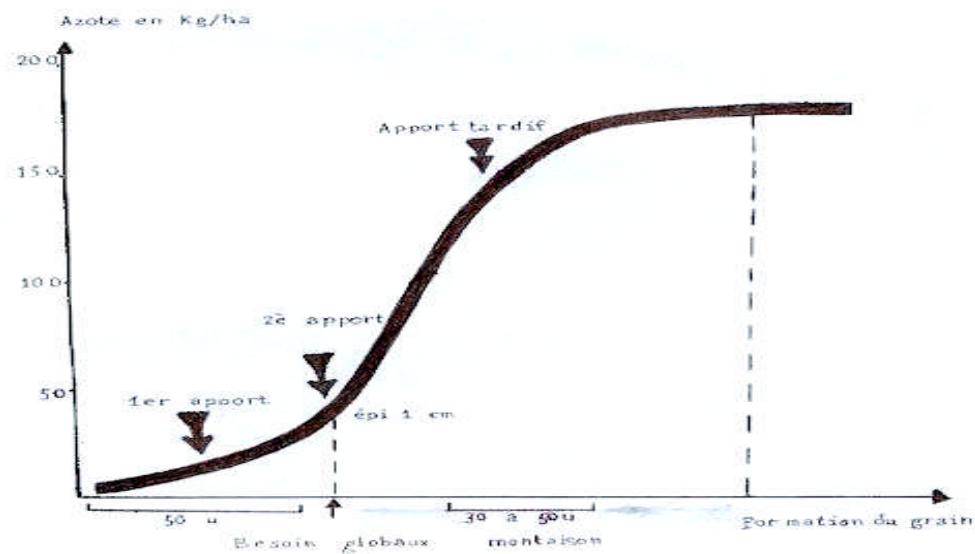


Figure-1- Evolution des besoins azotés du blé et stades repères des apports fractionnés (REMY et MACHET, 1978)

NEYROUD et VEZ (1981) mentionnent, qu'au stade montaison, le blé a besoin de grandes quantités d'azote. En présence de suffisamment d'eau, le blé absorbe 3 kg/ha/jour (MASSE et VIAUX, 1983). L'apport d'azote réduit la stérilité des épillets de la base de l'épi (VEZ, 1975). Un manque d'azote, à ce stade de forte demande, entraîne généralement des baisses de rendements grains conséquentes (TAUREAU, 1987).

Au stade épiaison, les besoins de la plante sont importants et la demande en azote s'accroît, en liaison avec l'activité de croissance. A la floraison, le blé peut absorbé 80 unités/ha d'azote. Selon HEBERT (1975), la teneur en matière azotée du grain est un signe d'une bonne alimentation azotée en post anthèse. Elle agit aussi sur le poids de 1000 grains.

TAUREAU (1988), affirme qu'un apport tardif permet de corriger tout manque d'azote à la suite des conditions climatiques particulières. L'azote qui s'accumule dans le grain provient de la re-mobilisation à partir des tiges et des feuilles et de l'assimilation directe de l'azote nitrique (ANONYME, 1988).

2-3-PRINCIPES DE RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION AZOTEE

Les méthodes de raisonnement d'une fumure azotée reposent sur l'établissement du bilan de l'azote minéral. Cette technique permet de prévoir la quantité économique et adéquate d'azote à apporter à la culture (VIAUX, 1983). Le principe de la méthode des bilans est très simple (Tableau 1).

Tableau -1- Relation entre les besoins azotés et les quantités d'azote fournies par le sol (VIAUX, 1983).

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

-

Il s'agit de couvrir les besoins de la plante en azote par des fournitures conséquentes. La fiabilité de la méthode se base sur la bonne appréciation des différents termes du bilan. Selon (REMY et VIAUX, 1983) cette méthode est applicable à toutes les cultures. L'équation de la quantité absorbée s'écrit :

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

avec $N_{\text{absorbé}}$: quantité d'azote qui doit être absorbée.

FS: fourniture du sol.

E: dose d'engrais à apporter.

K: coefficient d'efficacité de l'azote.

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

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

$$FS = Rh + Mh + Mr + Aeff \text{ (Kg/N/ha)}$$

Avec:

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

- Mh : minéralisation de l'humus du sol (REMY et VIAUX, 1984)

- Mr : effet de la décomposition des résidus du précédent.

- Aeff : arrière effet des retournements de prairies et/ou des apports réguliers de fumier et de lisier.

-

-

3- L'ALIMENTATION HYDRIQUE DU BLE

3-1- IMPORTANCE ET ROLE DE L'EAU

L'eau est le constituant essentiel des végétaux, elle représente 70 à 80% de leur poids frais. Son rôle est multiple; sert de véhicule des substances élaborées, assure à la fois, un rôle mécanique: maintient l'hydratation et la turgescence des cellules, et un rôle physiologique : intervient de façon directe dans les réactions métaboliques (respiration, photosynthèse). Une teneur suffisante en eau est un facteur essentiel de la survie de la croissance et du développement du végétal.

CHAMPAGNAT *et al.*, (1969) mentionnent que l'excès aussi bien que le manque d'eau modifie la morphologie et les structures de la plante, Il existe une nette corrélation entre l'activité physiologique et la teneur en eau de la plante (HELLER, 1969). Selon

BINET et BRUNEL (1967), la déshydratation réduit et arrête toute activité vitale à l'échelle des cellules : la plasmolyse, le ralentissement des échanges et de l'activité métabolique. A l'échelle de l'organisme, elle induit le flétrissement et l'arrêt des grandes fonctions physiologiques : absorption, transpiration, photosynthèse, respiration et la croissance. L'eau intervient dans la croissance de la plante en trois ordres de fait: multiplication cellulaire, grandissement cellulaire, puis différenciation des cellules.

3-2- CIRCULATION DE L'EAU DANS LA PLANTE

L'absorption est essentiellement dans le sol que les plantes terrestres puisent l'eau qui leur est nécessaire. Plusieurs facteurs réagissent l'absorption de l'eau par la plante. Les facteurs pédologiques jouent un grand rôle dans le contrôle de la quantité d'eau absorbée par une plante, MAZLIAK (1974) mentionne que cette quantité est d'autant plus grande que les forces de rétention de l'eau dans le sol sont plus faibles. Dans le cas contraire, l'eau sort vers le milieu et la cellule entre en plasmolyse, c'est ce qui se produit dans les sols desséchés au-delà du point de flétrissement des végétaux.

Les facteurs climatiques (température, humidité de l'air) agissent indirectement sur l'absorption d'eau en modifiant les quantités perdues par transpiration, les pertes d'eau se font par les stomates sous forme gazeuse (BARNIER, 1978). Les facteurs métaboliques interviennent, enfin, dans ce phénomène. Plusieurs faits confirment la relation entre l'absorption de l'eau et le métabolisme (HELLER, 1977).

La transpiration est un mouvement de l'eau dans la plante se terminant par la transpiration, vaporisation de l'eau dans les lacunes des tissus, puis dans l'atmosphère, en conditions de non saturation. La plante rejette, pratiquement, la quasi-totalité de l'eau qu'elle absorbe (environ 98%). Chez les plantes annuelles, où la poussée racinaire n'a qu'une très faible importance, la transpiration constitue l'élément moteur du déplacement de l'eau dans la plante (VILAIN, 1987).

3-3- LES BESOINS EN EAU DU BLE

Les besoins des céréales en eau sont, compris entre 450 et 650 mm par an (BALDY, 1974). SOLTNER (1986) estime que pour une production de 50 q/ha, il faut environ 580 mm/an. La répartition des précipitations dans le temps est plus importante que leur quantité en elle-même, un léger déficit hydrique favorise le développement en profondeur de système séminal à la levée. Après le tallage, la croissance des racines adventices est réduite dès qu'un déficit hydrique apparaît (BALDY, 1974).

Pendant le tallage, le déficit hydrique accompagné d'une température supérieure à 25°C réduit le nombre de talles. Cette réduction est défavorable chez les variétés à faible capacité de tallage (ZENAGUI, 1991). Une alimentation en eau déficiente avant le stade laiteux entraîne la formation de petits grains pleins, tandis qu'au-delà du stade laiteux, on obtient des grains mal remplis et échaudés.

Quelque soit le potentiel hydrique présent avant la floraison, le rendement est une fonction de l'eau disponible en fin de cycle (BELAID, 1987). Ainsi, les exigences du blé, telles que schématisées par GOLUSIC (1971) sont proportionnelles à la masse végétale (Figure 2).

Selon FAO (1992), les besoins en eau d'une culture représentent la quantité d'eau nécessaire pour couvrir les pertes en eau par évaporation directe du sol et par transpiration à travers la plante, ce qui représente l'évapotranspiration d'une culture réalisant son potentiel de production.

Cette définition correspond à l'évapotranspiration maximale (ETM) qui dépend du pouvoir d'évaporation de l'air ou demande climatique (ETP), et du coefficient cultural (K_c). L'évapotranspiration maximale est proportionnelle à l'évapotranspiration potentielle : $ETM = K_c \cdot ETP$. Le coefficient K_c varie de 0 à 1.2 selon le stade de la culture. Une série de valeurs K_c permet l'évaluation des besoins hydriques des céréales en fonction des différents stades évolutifs (Tableau 2).

Tableau -2- Coefficients culturaux des céréales

Phases	Initiale	Développement	Mi-saison	Fin saison	Récolte	Durée totale
K_c	0.3 - 0.4	0.7 - 0.8	1.05- 1.2	0.6-0.75	0.2 - 0.25	0.8 - 0.9

Ces phases de développement correspondent à des changements successifs des états de la culture. En se référant aux stades repères du cycle évolutif des céréales, déjà mentionnés, nous admettrons comme:

- phase initiale : la phase semis levée.
- Phase de développement : la phase levée début montaison.
- Phase de mi-saison : la phase montaison début maturation.
- Phase d'arrière-saison : la fin maturation (englobant les phases successives de fin saison récolte).

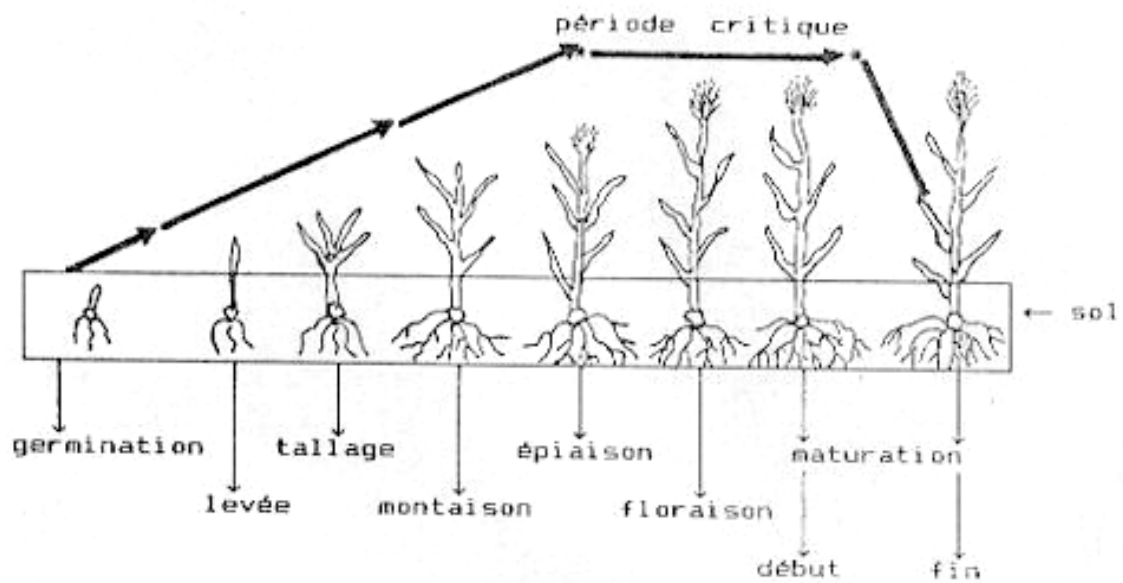


Figure-2- Evolution des exigences en eau des céréales (GOLUSIC, 1971).

4- EFFET DE LA SECHERESSE SUR LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES

Le concept de la sécheresse diffère d'une zone géographique donnée avec une échelle donnée. Selon CHOISNEL et NOILHUM (1995) la sécheresse est un phénomène insidieux, et les conséquences sur la production agricole n'apparaissent que lorsque la réduction des pluies concerne une ou plusieurs régions et qu'elle est induite par une anomalie persistante de la circulation générale de l'atmosphère. Le déficit hydrique est considéré d'après TURK (1978) lorsque l'humidité du sol est inférieure à la capacité au champ.

L'incidence du manque d'eau sur le rendement est variable, conduisant à des baisses de rendements dus à l'affectation d'une ou plusieurs composantes de rendement. Le stress hydrique s'installe quand il se produit un déséquilibre entre la vitesse d'absorption de l'eau et la transpiration. Chez le blé les stades levée, montaison et remplissage du grain sont considérés comme des stades clés d'élaboration des composantes principales de rendement : le nombre de grains /m² et le poids de mille grains.

BARABIER et MAYER (1995) rapportent que le nombre d'épis, le nombre de grains par épi et le poids de mille grains déterminent le rendement en grains. Selon son apparition le déficit hydrique affecte l'une ou l'autre de ces composantes. Tout déficit hydrique qui affecte la fonction d'une ou plusieurs composantes affecte le rendement à des degrés divers.

En cas de manque d'eau la chute du rendement de certains génotypes de blé dur peut atteindre 31 % (ALI et *al*, 1992). L'importance de la chute de rendement en grains est variable selon l'intensité et la durée de la contrainte hydrique (BENSALEM, 1984).

4-1- EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU

SINCLAIR et *al.*, (1984) mentionnent que l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) est définie comme étant le ratio entre la production de matière sèche et l'eau consommée pour produire cette biomasse. Elle peut se calculer à plusieurs échelles

de temps et de niveaux d'analyse. Pour un physiologiste, cette notion traduit l'efficacité des feuilles à échanger l'eau contre le gaz carbonique, ou en d'autres termes le ratio entre la photosynthèse et la transpiration. Pour un agronome, l'EUE est le ratio entre la production de matière sèche (ou le rendement) et la consommation en eau (ETR) (ANONYME, 1998).

$$\text{EUE (kg/ha/mm)} = \text{Matière sèche produite / eau consommée}$$

ou

$$\text{EUE} = \text{Rendement en grains / eau utilisée}$$

L'eau consommée est soit évaluée dans le cas d'un système irrigué soit estimée comme étant l'évapotranspiration réelle représentée par les précipitations plus les apports d'appoints d'eau. Par définition, l'ETR est composé de la somme de deux quantités qui sont la transpiration (T) et l'évaporation du sol (Es): $\text{ETR} = \text{T} + \text{Es}$.

Par ailleurs, la matière sèche produite par la culture peut être exprimée par : $\text{MS} = \text{T} (\text{MS/T})$. On peut donc déduire l'EUE par la relation suivante:

$\text{EUE} = (\text{MS/T}) / [1 + \text{Es/T}]$ dont les composantes ont été définis ci- dessus. Le rapport MS/T traduit la quantité de matière sèche produit par unité de transpiration et de ce fait il est appelé "efficacité de transpiration".

L'EUE peut être améliorée en augmentant l'efficacité de transpiration (MS/T) et en réduisant le rapport Es/T . En effet, ces deux stratégies figurent parmi les principaux moyens utilisés pour améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau dans les zones arides et semi-arides. D'après ANONYME(1998) l'exploitation de la variabilité génétique de la durée du cycle des cultures est un moyen important pour 'ajuster le cycle à la saison pluviométrique. La superposition de la saison de croissance à la saison pluvieuse permet de profiter des disponibilités en eau pour la transpiration et faire échapper la culture au stress hydrique durant sa période reproductive.

La durée de la saison des pluies est limitée à l'automne et l'hiver, elle dure généralement de 4 à 5 mois dans le semi-aride méditerranéen. Elle est d'autant plus

courte que le climat est aride. L'utilisation de variétés précoces a permis une augmentation et une stabilisation des rendements dans les zones arides et semi-aride.

L'utilisation de génotypes présentant des caractères de résistance à la sécheresse, telles que l'insensibilité à la photopériode, la plasticité de développement, la capacité d'ajustement osmotique, contribue à l'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau.

4-2- INTERACTION HUMIDITE DU SOL X FERTILISATION AZOTEE

Le rendement du blé est dépendant non seulement des disponibilités en eau, mais également de la fertilisation et en particulier la fertilisation azotée. Lorsque les précipitations sont suffisantes et bien distribuées, l'azote devient le facteur majeur limitant le rendement en grains (STOUT et *al.*, 1988; ZERARGUA, 1991). En règle générale, la réponse du rendement à l'azote est largement déterminée par la quantité d'eau disponible pour la plante (SINGH et *al.*, 1975). L'interaction eau × azote peut avoir des effets positifs sur l'EUE. PRIHAR et *al.* (1989) ont montré que, pour une même quantité d'eau disponible, le rendement en grains augmente en fonction de l'EUE jusqu'à atteindre un optimum.

Sous climat méditerranéen et en culture pluviale, le problème de base, en ce qui concerne la nutrition minérale, est celui d'ajuster les apports d'engrais au régime pluviométrique sous lequel la culture est censée croître. Même sous conditions de stress hydrique, le déficit en éléments fertilisants conduit à une sous utilisation de l'eau. Des apports adéquats de fertilisants, ajustés selon l'humidité du sol peuvent donc accroître l'efficacité d'utilisation de l'eau.

Cependant, si l'apport d'engrais minéral augmente l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante, tôt en début du cycle, et que le déficit hydrique vient à être plus marqué en fin de cycle, on est conduit au résultat inverse. Il y aura une réduction de la production comparativement à celle obtenue en absence d'apport d'engrais minéral.

Le problème se ramène donc à celui de l'interaction entre l'engrais azoté apporté et l'humidité du sol (stock d'eau du sol). Aux extrêmes, lors des années

sèches, il est nécessaire de limiter les apports d'engrais azotés pour permettre à la plante de finir son cycle avec le peu d'eau du sol disponible.

Lors des années favorables, il faut assurer à la plante une fertilisation qui puisse lui donner la capacité de produire au potentiel permis par le milieu. L'humidité du sol affecte l'efficacité d'utilisation des engrais de deux manières, en améliorant l'absorption des éléments minéraux et en augmentant la production de la biomasse végétative.

Sous conditions favorables, l'application de l'azote augmente le rendement et augmente aussi la quantité d'eau utilisée par la culture. Sans fertilisation azotée, la culture utilise l'eau à une profondeur de 90cm mais avec l'apport de l'azote la profondeur du sol exploitée est double, ce qui conduit à une meilleure utilisation de l'eau et donc à un meilleur rendement économique (VANHERWAARDEEN *et al.*, 1997).

Le minimum de pluie nécessaire pour assurer une augmentation de rendement satisfaisant et économique en réponse à la fertilisation azotée dépend de plusieurs facteurs tel que l'efficacité de la pluie, la réserve d'eau du sol, le précédent cultural, la température, l'évaporation et les techniques mises en jeu lors de l'intra et de l'inter cultures.

VANHERWAARDEN *et al.*, (1997) étudièrent la réponse de la culture du blé aux apports de l'azote sur trois sites qui diffèrent du point de vue quantité et distribution de la pluviométrie. Sur le site favorable (non stressé) le rendement en grains augmente de 607 g/m² chez le témoin faiblement fertilisé à 798 g/m² pour le traitement fortement fertilisé.

Par contre sur le site défavorable (stressé) le rendement diminue de 24%, de 374 g/m² chez le témoin à 284 g/m² chez le traitement fortement fertilisé. Ce dernier traitement produit un excès de végétation lors de la phase végétative, ce qui a

conduit à une utilisation excessive du stock d'humidité du sol avant l'avènement de l'anthèse, induisant un remplissage sous stress.

L'apport de l'azote augmente généralement le nombre de grains/m², le nombre d'épis/m² et la fertilité mais le poids de 1000 grains ne varie pas ou est réduit de près de 40% sur les sites et traitements montrant un dessèchement végétatif. Le pourcentage de protéines augmente sur tous les sites et traitements en réponse à l'apport de l'azote de 9 à 18%. L'indice de récolte augmente lui aussi en réponse à l'apport de l'azote mais sur les sites les plus pluvieux et diminue sur les sites les plus stressés.

A l'anthèse la culture, fortement fertilisée, utilise plus d'eau que celle qui a été faiblement fertilisée. A maturité le traitement qui a montré le plus de dessèchement utilise 10mm d'eau en moins que le traitement faiblement fertilisé, mais sur le site plus pluvieux la culture fortement fertilisée extrait du sol 20 mm d'eau en plus que le traitement faiblement fertilisé.

Selon ces auteurs le dessèchement végétatif précoce résulte de trois processus qui sont (1) une réduction de l'assimilation post anthèse en réponse au déficit hydrique du sol. Le déficit hydrique du sol est engendré par une croissance végétative luxuriante en pré- anthèse, stimulée par l'azote apporté à des niveaux élevés ; (2) les traitements montrant un dessèchement précoce étaient incapables d'extraire plus d'eau du sol au cours de la période de remplissage, ce qui affaiblit le taux et la durée de remplissage du grain ; et (3) il était apparent que la translocation des assimilats de la pré anthèse se faisait difficilement pour compenser la faible assimilation de la post-anthèse.

La teneur en azote ou le rapport carbone/azote (C/N) est un critère qui permet de prédire globalement l'effet net de l'incorporation des résidus sur la dynamique de l'azote minéral du sol (minéralisation, et réorganisation). La disponibilité en azote minéral du sol agit aussi sur la dynamique et la décomposition des résidus. En effet le manque d'azote du sol restreint la croissance des micro-organismes hétérotrophes est fini par réduire la vitesse de décomposition des matières organiques et de la quantité d'azote minéral libéré.

Dans les conditions de climat semi-aride, à saisons très contrastées, la dynamique de l'azote dans le sol dépend des conditions pédoclimatiques qui sont très variables. Selon SANAA et CLEEMPUT (1997) la distribution de la forme NH_4^+-N de l'azote est relativement homogène dans les différents horizons du sol. Par contre la forme NO_3^--H est plus mobile et montre des variations saisonnières très importantes.

Au cours de deux années très sèches les nitrates étaient concentrées en surface dans la couche arable et n'ont pas subi de migration suite à l'absence de l'eau. Le déficit hydrique a entraîné un développement superficiel des racines et une très faible croissance végétative qui a engendré un très faible rendement grain et par conséquent, un prélèvement d'azote très limité. L'apport de l'azote n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement en grain de la culture du blé vu que l'eau était le principal facteur limitant.

Au cours des années plus favorables il y a une importante migration des nitrates en profondeur (60-80 cm), suivant les flux de l'eau (drainage). Les rendements obtenus sont très élevés, dus à la pluie et aux apports de l'azote. Le reliquat de l'azote après la récolte est dans ce cas très faible.

Selon GARABET *et al.*, (1998), l'humidité du sol est le principal facteur limitant le rendement potentiel de la céréale et la réponse aux apports de l'azote, sous conditions méditerranéennes. Étudiés au cours de deux campagnes avec une pluviométrie variant de 275 à 325mm, en plus des apports d'eau d'irrigation, le rendement répondait aux apports d'eau et d'azote. La plus grande utilisation de l'azote s'est produite entre les stades tallage et l'épiaison. Comparativement au témoin pluvial. Il y a eu une plus grande utilisation de l'azote du sol et apporté sous forme d'engrais par la culture irriguée.

PAPATRYLIANOU (1995) trouve que les apports élevés de fertilisants azotés induisent un développement végétatif excessif qui réduit du rendement grain lors des années avec une fin de cycle sèche. Cet excès de production de fourrage consomme le stock d'eau du sol, laissant peu pour la phase de remplissage du grain, résultant en une réduction de l'indice de récolte et donc du rendement.

Selon DELOGU *et al.*, (1998) l'apport de l'azote affecte l'accumulation de la biomasse jusqu'à l'épiaison chez le blé et l'orge. Par contre l'absorption de l'azote au cours du remplissage du grain ne montre aucune corrélation avec les apports de l'azote appliqués sur orge, mais l'était chez le blé. L'efficacité d'utilisation de l'azote était de 8.7 et 9.2 kg grain/kg N appliqué respectivement chez l'orge et le blé.

CHAPITRE II- MATERIEL ET METHODES

1- DESCRIPTION DU SITE EXPERIMENTAL

L'essai mené a été réalisé sur le site de la Ferme Expérimentale Agricole de Sétif. Cette Ferme relève de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), elle est située à 5km au sud -ouest de la ville, à une altitude de 1081 m (KRIBAA, 2002). La latitude est de 36° 9 Nord et 5° 21 de longitude. Elle est spécialisée dans l'expérimentation des céréales, des légumineuses alimentaires et fourragères. Elle possède 213 ha de terre dont l'essentiel est réservé à la multiplication des semences de base.

1-1- LE CLIMAT

La région d'étude se caractérise par un climat de type méditerranéen, semi-aride, à hiver froid et été chaud et sec. La période pluviale débute au mois d'octobre et devient plus rare après le mois de mars, pouvant s'étendre jusqu'au mois de mai. Elle est limitée aux mois de l'automne et de l'hiver qui reçoivent plus de 70% du total des précipitations. Le cumul des précipitations enregistrées de septembre 2004 à juin 2005 est de 374.4 mm. Il est proche de la moyenne calculée sur plus de 20 années (Tableau 3). Les pluies atteignent leur maximum pendant le mois de décembre avec 101.2 mm et leur minimum au cours du mois de mai avec 2.2mm.

BALDY (1974) mentionne, que de manière générale, seules les quantités de pluies mensuelles supérieures à 20mm contribuent effectivement à la recharge de la réserve d'eau du sol. Au cours de la campagne 2004/05, les mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février, avril et juin se sont caractérisés par des pluie permettant d'alimenter la réserve d'eau du sol. Les périodes de montaison et remplissage du grain se sont déroulées en plein déficit hydrique (Tableau 3, Figure 3).

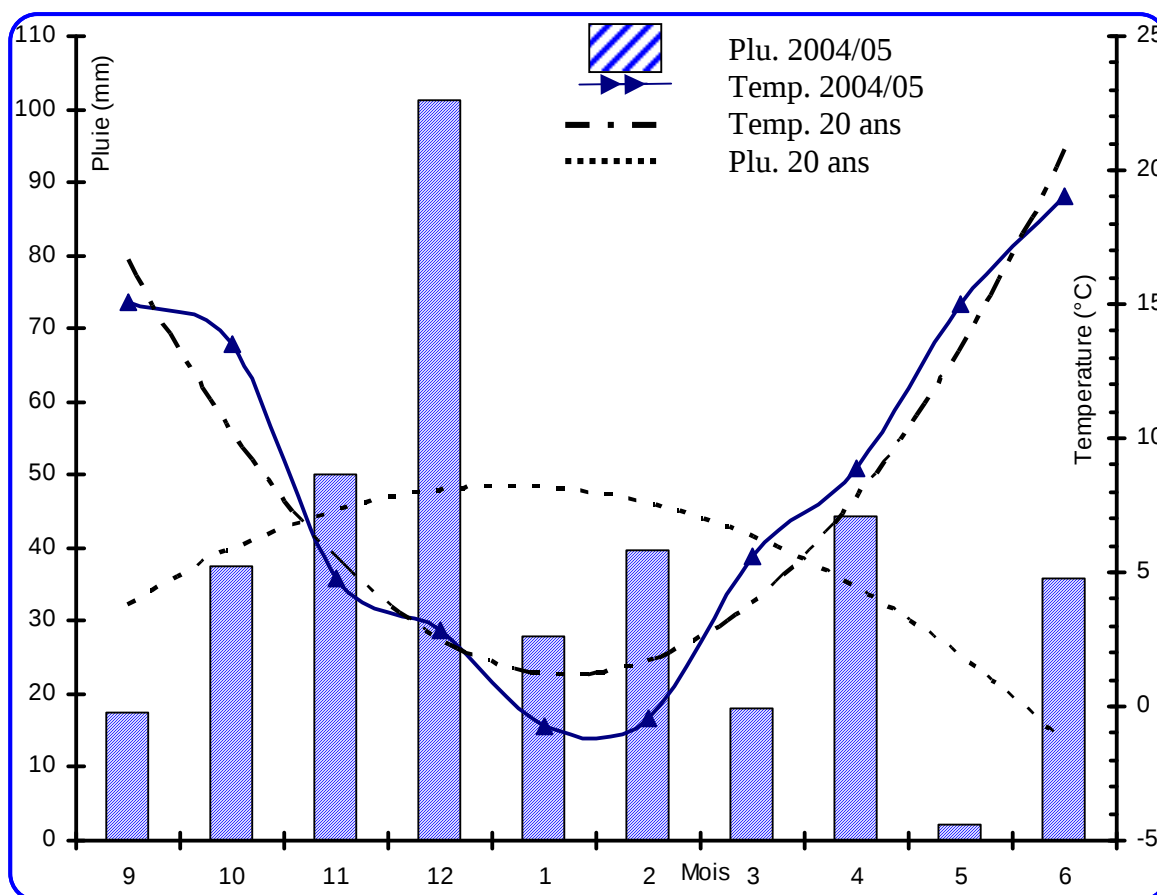


Figure-3- Précipitations et températures moyennes mensuelles de la campagne agricole 2004/2005 sur le site expérimental ITGC de Sétif.

L'évolution de la température moyenne mensuelle est bimodale, très basse en hiver pour devenir moyennement élevée en été. Le stress hydrique de fin de cycle est accentué par l'élévation concomitante de la température (Tableau 3, Figure 3). Une période avec une pluie égale ou inférieure à deux fois la température ($P \text{ mm} \leq 2 T^{\circ}\text{C} \Rightarrow P/2T \leq 0,5$) est une période sèche. Pour la campagne d'étude, les mois de septembre et mai sont des mois secs, selon cette définition.

1.2. LE SOL

Le sol a substratum géologique majoritairement calcaire; il est dans la plupart des cas carbonaté, avec souvent des individualisations calcaires continus; encroûtements et dalles (BATOUCHE et LABIOD, 1990). Il est moyennement pourvu en matière organique sur une faible profondeur des horizons humifères qui sont en voie de dégradation. Dans le cadre de la fertilisation de ces types de sols les essais menés

par la station I.T.G.C de Sétif (1985-1990) montre que le dessèchement rapide des horizons de surface est l'impact principal de inefficacité des engrais.

Tableau 3 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la campagne 2004/05 du site expérimental de Sétif (ONM, 2005)

Mois	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
PLUIE (mm)	17.4	37.4	50.2	101.2	28	39.8	18	44.3	2.2	35.9
TEMPS (°C)	15.0	13.5	4.7	2.8	-0.8	-0.5	5.6	8.6	15	19
RATIO P/2T	0.6	1.3	5.2	17.7	-18.6	-42.3	1.6	2.9	0.1	1.1

Le sol de notre expérimentation est peu évolué d'apport alluvial à caractère vertique xerofluent et à texture fine prédominante, les fontes de trait peuvent atteindre jusqu'à 100 cm de profondeur. Selon KRIBAA (2003), la description morphologique des profils de la parcelle expérimentale portant l'essai est comme suit:

Horizon 0 - 27 cm Brun jaunâtre à l'état frais (10 YR 4/4) ; argilo limoneux; massif et motteux; moyennement poreux; nombreuse racines; beaucoup de graviers calcaires et fragment silex, présence de débris de coquilles d'escargots et de la matière organique non décomposée ; effervescent à l'HCl ; la transition avec l'horizon sous -jacent est nette et régulière.

Horizon 27 - 40 cm Brun foncé à l'état frais (7.5 YR 3/4) ; structure polyédrique fine et très nette ; texture limono-argileuse ; vive effervescent à l'HCl; gravier de croûte calcaire émoussés, et du silex; débris de coquilles d'escargots, turricules; transition distincte régulière.

Horizon 40 - 55cm Brun jaunâtre foncé à l'état frais (10 YR 4/6) ; structure polyédrique fine très nette, texture limono argileuse; vive effervescence à l'HCl; poreux; cailloux de croûte émoussés et du silex; transition distincte à nette et régulière.

Horizon 55 - 75cm jaune brunâtre à l'état frais (10 YR 6/6) ; massif et polyédrique fin net ; limoneux- argileux ; revêtements calcaires blanchâtres autour des agrégats; vive effervescent à l'HCl; généralisée; très peu poreux; transition distincte régulière .

Horizon + 75cm jaune brunâtre (10 YR 6/6) ; massif à éclats et polyédriques, limoneux ; nombreux ; revêtements carbonatés liés aux pores.

Tableau 4 : Analyse physico-chimique du sol de la station ITGC de Sétif

Nature	Horizons		
	0-20	20-40	40-60cm
Analyse physique			
Argile (%)	51.9	37.1	37.1
Limon (%)	36.0	37.1	37.1
Sable (%)	12.1	25.7	6.3
M.O (%)	2.5	1.3	1.3
pH (KCl)	7.4	7.4	7.5
pH (H ₂ O)	8.1	8.2	8.3
Da (g/cm ³)	1.21	1.3	1.3
Analyse chimique			
C (%)	1.7	0.8	0.76
N (%)	0.11	--	0.14
C/N	15.45	--	5.42
Calcaire actif (%)	26	29	25
Calcaire total (%)	36	42	41
K assimilable (ppm)	180	144	140

Le sol est de texture à prédominance argileuse qui est moyennement riche en matière organique dans les horizons superficiels (2.5%) pour revenir à un faible taux de 1. 5% en profondeur. Le pH est alcalin sur tout le profil du sol qui est pauvre en carbone organique et en azote total, avec un taux de calcaire, l'actif ou total, élevé. Le sol de l'essai est de type alluvial localisé le long du réseau hydrographique représenté par le Boussalam et ses affluents. Les accumulations calcaires, gypseuses et chlorurées ainsi que le vertisme et l'hydromorphie sont plus moins observées.

1.3. LE VEGETAL

La variété de blé dur utilisée est Waha, d'origine Syrienne, elle a les caractéristiques suivantes:

-Caractéristiques morphologiques: Epi demi- lâche, à compact, roussâtre ; paille courte, demi pleine ; grain moyen, clair ambré à roux.

-Caractéristiques culturales: Cycle végétatif précoce ; tallage moyen à fort.

-Comportement à l'égard des maladies: Modérément tolérante aux rouilles, à la fusariose et à la séptoriose ; Sensible au piétin - échaudage.

-Caractéristiques technologiques: Bonne résistance à la moucheture et au mitadinage ; PMG Moyen ; qualité semoulière assez bonne et de bonne productivité.

2 - Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est le split- plot. Les grandes parcelles, espacées de 1 m, représentent les régimes hydriques, et les parcelles élémentaires les doses d'azotes. La parcelle élémentaire est constituée de 6 rangs de 5 m de long. Les rangs sont espacés de 20 cm, soit une largeur de la parcelle élémentaire de 1.20 m (Figure 4).

Le précédent cultural de la culture de l'essai est une jachère. Les techniques culturales appliquées à l'expérimentation sont un labour profond suivi de deux passages du cover crop. Le semis est effectué le 23/11/2004 à une densité de 250 grains/m². La récolte a été réalisée le 16 juin 2005.

Le système d'irrigation appliqué à l'essai est la submersion, en deux périodes et selon trois modalités. Ces modalités sont 60mm dont la moitié est apporté les 10 janvier et l'autre le 23 janvier, la végétation étant au stade plein tallage. La dose de 90 mm est fractionnée en trois apports dont deux sont appliquées aux mêmes dates précédentes et la dernière à été apportée le 7 février, alors que la végétation aborde le stade début montaison. La troisième modalité est le témoin pluvial. Les modalités hydriques sont combinées à trois doses d'azote: zéro, 100 et 200kg/ha. Le premier apport est fait au stade pleine montaison, le 2 mars et le second apport de la dose 200 est effectué 14 jours plus tard. La forme de l'engrais azoté utilisé est l'urée 46%.

3- ANALYSE DU SOL ET DE LA VEGETATION

- Carbone organique : méthode ANNE ($M.O\% = \%C \times 1.72$).
- Azote total du sol et du végétal : KJELDAHL.
- Azote minéral du sol : par extraction au KCl (2N) plus une agitation pendant deux heures, suivi par une distillation en présence de NaOH plus alliage de DEWARDA pour le dosage de 2 formes simultanément.

Les échantillons du sol sont prélevés à une profondeur de 0-30 et 30-60 cm. Les trois échantillons de chaque parcelle ont été mélangés pour constituer l'échantillon moyen analysé. Les échantillons de la végétation sont prélevés sur un mètre linéaire par parcelle élémentaire. Après séchage pendant 24 heures à 105°C, les analyses sont réalisées sur la matière sèche broyée.

4- LES NOTATIONS DE PLEIN CHAMP

La date d'épiaison est notée lorsque 50% des épis apparaissent nettement hors de la gaine de la feuille étendard. Cette date sert à déterminer la durée de la phase allant du semis au stade épiaison comptée en jours calendaires. La hauteur des plantes est mesurée du sol jusqu'au sommet des épis de la strate moyenne, barbes non incluses, à maturité. Le nombre d'épis/m² est déterminé à partir du bottillon de végétation récolté pour déterminer la biomasse aérienne produite à maturité.

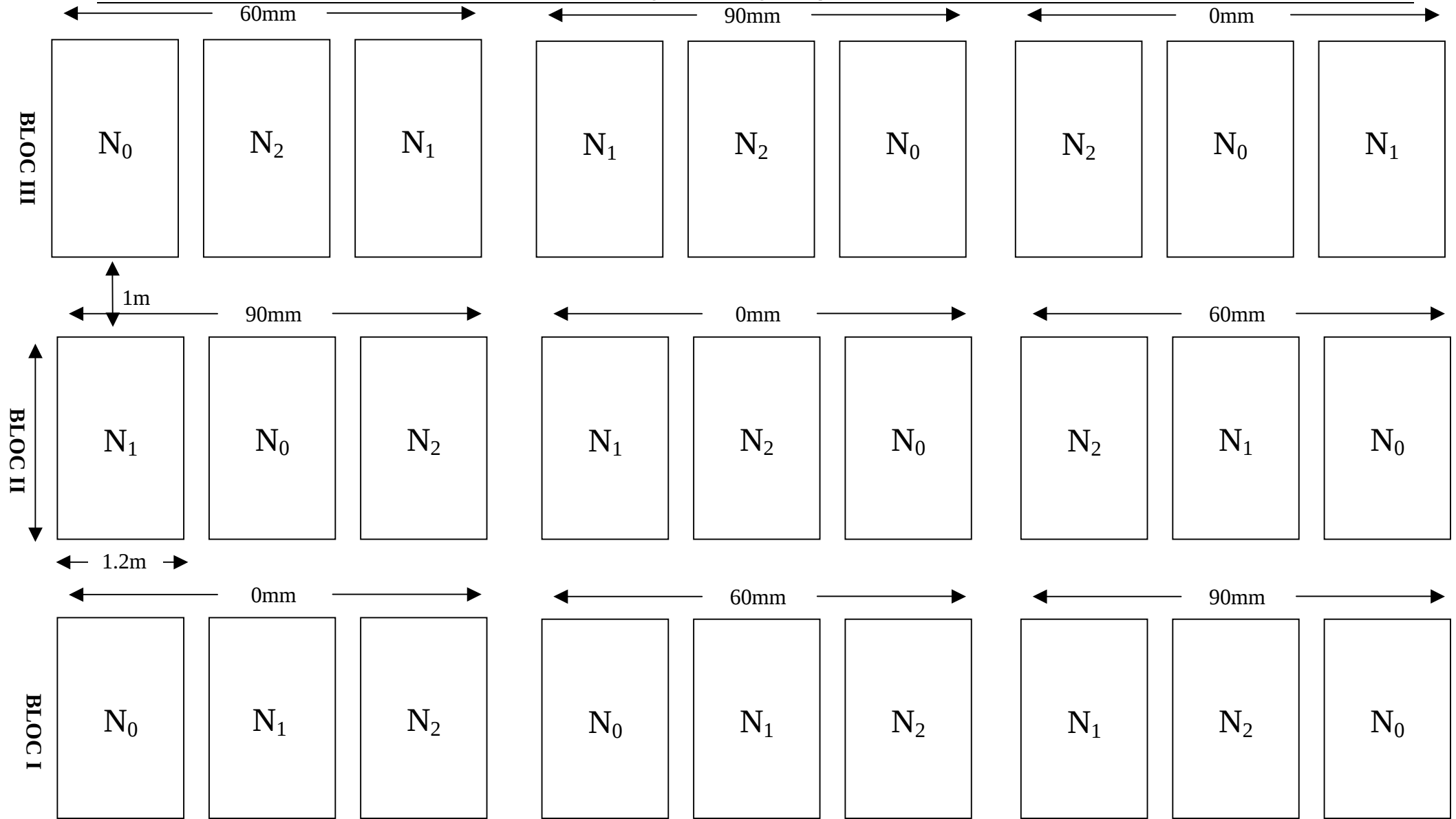


Figure -4- DISPOSITIF EXPERIMENTAL (SPLIT-SPLOT)

N₀: 0kgN/ha

N₁: 100kgN/ha

N₂: 200kgN/ha

Le rendement en grains est déterminé à partir de cet échantillon et après la récolte de l'essai à la moissonneuse batteuse. Le poids de 1000 grains est dérivé du comptage et pesage d'un échantillon de 250 graines par parcelle élémentaire. Le nombre de grains par épi est calculé à partir des moyennes parcellaires du nombre d'épis/m², du poids de mille grains et du rendement en grains:

$$\text{Nombre de grains/épi} = 1000 [\text{RDT}/(\text{NE} \times \text{PMG})]$$

où RDT = rendement en grains (g/m²), NE= nombre d'épis/ m², PMG = poids de 1000 grains (g).

Le bilan hydrique comptabilise les apports et les pertes modifiant la réserve en eau du sol. Les entrées et sorties du bilan sont représentées par les précipitations plus l'irrigation et l'évapotranspiration. Dans le cas de la présente étude, il est calculé de manière simplifiée. L'évapotranspiration réelle qui représente la quantité d'eau consommée au cours du cycle de la culture est approchée par la relation:

$$\text{ETR (mm)} = \text{variation du stock d'eau du sol} + \text{pluie} + \text{irrigation}$$

La variation du stock d'eau du sol est estimée par la quantité d'eau présente dans le profil au semis déduite de celle présente à la récolte. La capacité de stockage du sol pour l'eau (CSE) est estimée par la relation:

$$\text{CSE} = \text{He} \times \text{E} \times \text{da} \quad \text{où}$$

He = humidité équivalente (%) représentée par l'humidité à la capacité au champ (H_{cc}), E= profondeur du profil du sol considéré en décimètre et Da = densité apparente du sol.

La réserve utile (Ru) est estimée par la relation:

$$\text{RU (mm)} = [(\text{HCC}-\text{HPF}) \times \text{H} \times \text{da}]/100,$$

où H_{CC} = Humidité à la capacité au champs, elle est égale à 24% pour le sol portant l'expérimentation.

H_{PF} = Humidité à la capacité au point de flétrissement, elle est égale à 12% pour le sol portant l'expérimentation.

H = profondeur d'enracinement, en mm.

5- ANALYSES DES DONNEES

Les données collectées à partir de l'expérimentation ont été traitées par l'analyse de la variance à deux facteurs de classification. Les relations entre variables sont étudiées par l'analyse des corrélations.

CHAPITRE -III- RESULTATS ET DISCUSSION

1-L'EFFET EAU ET AZOTE SUR LES VALEURS MOYENNES DES VARIABLES MESUREES

1-1 LA HAUTEUR DU CHAUME ET LA PRECOCITE A L'EPIAISON

La hauteur du chaume augmente en fonction des apports d'eau d'irrigation. La valeur moyenne change de 53.3 à 66.5cm entre le pluvial et la dose de 90mm/ha, soit une augmentation relative de 24.8%. L'effet moyen azoté induit une augmentation de ce caractère dont la moyenne passe de 58.3 à 61.6cm entre les doses 0 et 200 kg N/ha, soit une amélioration de l'expression de la hauteur de 5.7% par rapport au témoin non fertilisé (Tableau 5).

Ces résultats confirment ceux de BENABBAS (1993) qui rapporte une amélioration de la hauteur de 3.62% avec la dose de 60kg N/ha chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). L'interaction irrigation x azote de la hauteur n'est pas significative. Elle indique que ces deux facteurs agissent indépendamment (Figure 5).

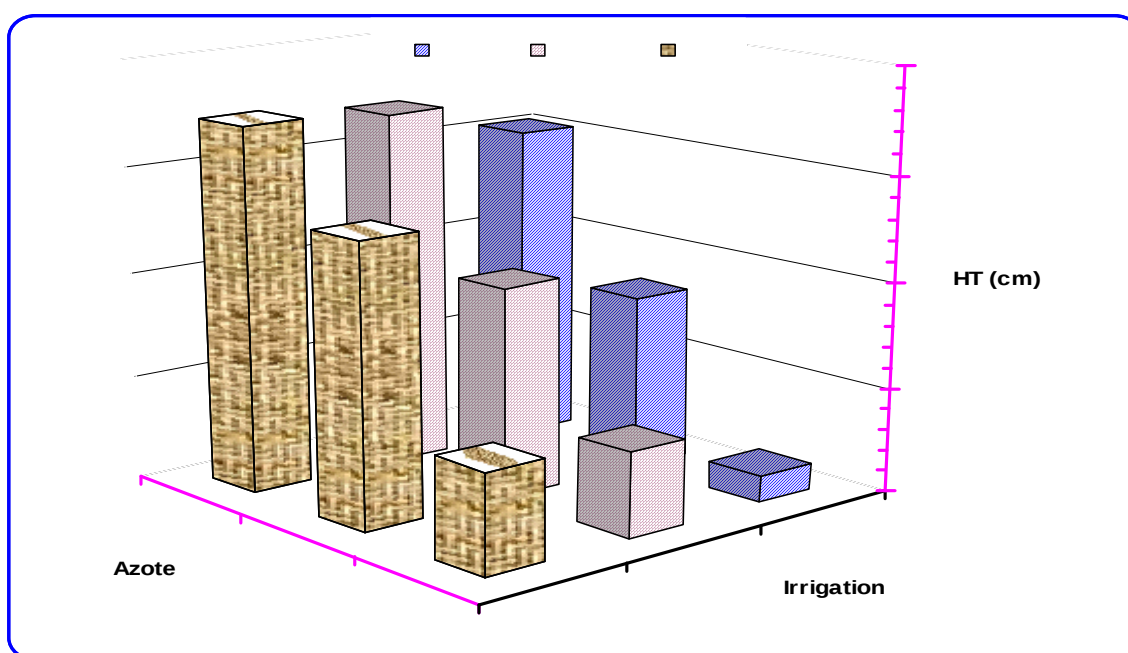


Figure-5- Variation de la hauteur du chaume due à l'eau et l'azote

L'analyse de la variance montre un effet significatif de l'irrigation sur la durée de la phase végétative estimée du semis à la date d'épiaison qui a été traduit par un retard de 0.6 à 1.8 jours respectivement pour les quantités de 60 et 80 mm/ha comparativement au témoin. Il n'existe pas d'effet significatif ni de l'azote

ni de l'interaction sur la durée d'épiaison. Les valeurs moyennes de la durée à l'épiaison sont données au tableau 5.

Tableau -5- Valeurs moyennes des variables mesurées

Facteur	HT	Prec	PMG	NGE	NE	RDT	BIO	PLL
Effet moyen irrigation								
0	53.3	157.6	44.19	10.7	254.6	12.1	35.9	23.8
60	63.0	158.2	41.87	12.9	312.2	17.0	47.5	30.4
90	66.5	160.0	39.48	20.2	336.7	26.9	57.3	30.5
Ppds5% _a	2.0	0.67	1.25	1.6	8.1	2.0	1.1	2.3
Effet moyen azote								
0	58.3	158.8	42.17	12.7	293.3	15.8	43.7	27.9
100	60.3	158.4	41.72	14.4	302.3	18.3	46.2	27.9
200	61.7	158.7	41.64	16.9	307.8	21.8	50.7	28.7
Ppds5% _b	1.7	0.5	0.73	0.9	7.4	1.0	0.9	1.5
Interaction irrigation x azote								
0-0	51.3	157.5	44.0	9.4	248.3	10.4	33.8	23.5
0-100	54.0	157.3	44.07	11.2	260.7	12.9	36.7	23.8
0-200	54.7	158.0	44.50	11.5	255.0	13.1	37.2	24.1
60-0	58.3	158.8	42.67	11.4	310.0	15.1	45.9	30.8
60-100	60.0	157.7	41.60	13.5	306.3	17.3	47.6	30.3
60-200	63.0	158.3	41.33	14.0	320.0	18.6	48.8	30.2
90-0	65.3	160.0	39.83	17.2	321.7	22.0	51.4	29.4
90-100	67.0	160.3	39.50	18.5	340.0	24.7	54.4	29.7
90-200	67.3	159.7	39.10	25.1	348.3	34.2	66.2	32.0
Ppds5% _c	2.9	1.0	1.26	1.6	12.9	1.7	1.6	2.6

Ppds5% = basée sur les variances a,b et c du dispositif split plot : HT= hauteur du chaume (cm); Précocité d'épiaison (jour); PMG = poids de 1000 grains (g); NGE = nombre de grains par épi ; NE= nombre d'épis/ m² ; RDT = rendement en grains (q/ha) ; BIO - biomasse aérienne (q/ha); PLL = paille produite (q/ha).

1.2. LES COMPOSANTES DU RENDEMENT EN GRAINS

Le poids de 1000 grains diminue significativement en fonction des doses d'irrigation. La moyenne du poids de 1000 grains baisse de 44.1 valeur mesurée chez le témoin non irrigué à 39.4g valeur notée chez le traitement ayant reçu une

irrigation de 90 mm/ha (Tableau 5). Cette baisse correspond à une perte relative de 10.6%.

L'hypothèse explicative avancée est que le facteur de production eau agit surtout sur l'augmentation du nombre de grains produits par unité de surface. Cette augmentation induit par compensation une réduction corrélative du poids individuel du grain. Ce résultat corrobore celui de BAHLOULI *et al.*, (2005) qui mentionnent que l'augmentation du nombre de grains m^{-2} induit une réduction du poids de 1000 grains.

Le facteur azote a un effet non significatif comparativement à l'eau sur l'augmentation du poids du grain. MEYNARD (1987) trouve que le poids du grain diminue sous les conditions de fumure azoté et de densité de semis élevées. L'interaction eau x azote n'est pas non plus significative.

Le nombre de grains par épi augmente significativement à mesure que les quantités de pluies hivernales sont importantes. La moyenne du nombre de grains par épi varie 10.7 grains /épi valeur mesurée sous le traitement pluvial à 20.2 grains par épi chez le traitement ayant reçu 90mm d'eau. L'azote affecte aussi significativement le nombre de grains par épi, dont l'effet moyen varie de 12.7, à 16.9 grains/épi (Tableau 5).

L'interaction eau x azote étant significative, elle indique que les différentes combinaisons eau x azote affectent différemment le nombre de grains/épi (Figure 6). En effet sous conditions pluvial et avec 60 mm d'apport d'eau, l'augmentation du nombre de grains/épi est sensible la même avec 0, 100 et 200kg/ha d'azote, mais le meilleur nombre de grains par épi est obtenu avec la combinaison 90 mm plus 200kg/ha (Tableau 5, Figure 5). Ces résultats rejoignent ceux de MEKLICHE (1983) et de BELAID (1987) qui rapportent que le nombre de grains par épi varient en fonction des quantités d'eau en combinaison avec l'azote apporté.

Le nombre d'épis m^{-2} répond positivement aux apports d'eau et à la fertilisation azotée. Les moyennes prises par cette variable varient de 254.6 sous conditions pluvial à 336.6 épi m^{-2} pour l'apport de 90mm, soit une augmentation due

à l'effet moyen de l'eau de 32.2% relativement au nombre d'épis m^{-2} produit sous conditions pluviales (Tableau 5).

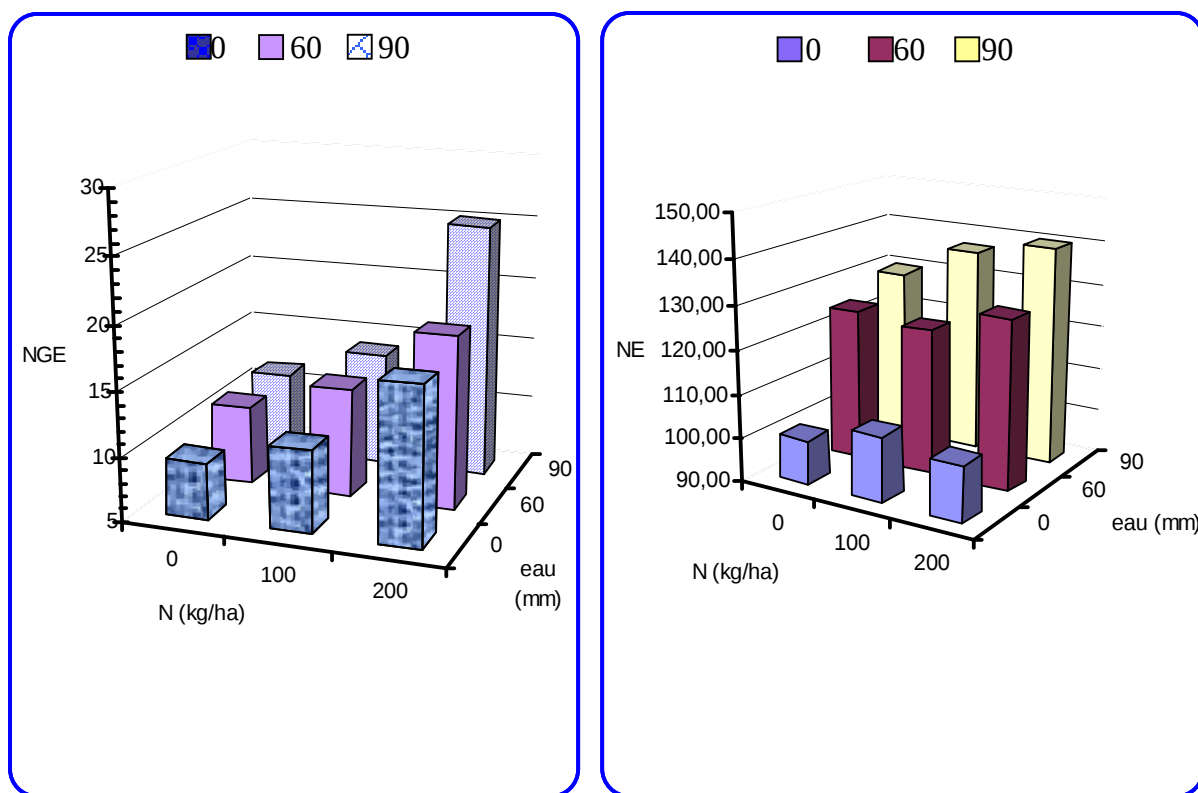


Figure-6- Variation du nombre de grains/épi et de l'augmentation des épis m^{-2} en % relativement au témoin pluviale sous l'effet de l'eau et l'azote

L'effet moyen de l'azote est relativement moins important que celui de l'eau. Ceci indique que l'eau est le facteur le plus limitant de la production sous conditions pluviales dans l'étage bioclimatique semi-aride. L'effet moyen azote engendre une augmentation relative du nombre d'épis m^{-2} de 9 et 14,5% respectivement pour les apports de 100 et 200 kg/ha (Tableau 5).

L'interaction eau x azote montre qu'en pluviale la réponse à la fertilisation azotée est faible à nulle. Par contre cette réponse devient plus significativement en présence d'eau. En effet l'ajout de 60 et 90 mm d'eau induisent des augmentations de la population des épis par unité de surface conséquentes, situées entre 20 et 45% (Figure 6). Le nombre d'épis par unité de surface est donc une composante qui est sensible à la fertilisation azotée en combinaison avec l'alimentation hydrique de la culture installée.

Ces résultats concordent avec ceux de KRIBAA (1992) qui mentionne qu'une bonne nutrition hydrique et azotée de blé dur conduit à la réalisation d'un bon peuplement épis atteignant des seuils de 423.2 épis/m², en zone semi-aride. BOUTFIRASS (1990) et REDDY et BHARDWAY (1984) rapportent aussi des résultats similaires.

1.3. LA BIOMASSE AERIENNE ET LES RENDEMENTS EN PAILLE ET EN GRAINS

L'analyse de la variance inique des effets moyens eau et azote et une interaction eau x azote significative pour ces la biomasse arienne, le rendement en paie et celui en grains. Sous l'effet des apports d'eau, équivalent à 60 et 90mm, la biomasse aérienne augmente respectivement de 31.8 et 59.6% relativement au pluvial dont la moyenne est de 35.9q/ha (Tableau 5).

Le rendement en paille augmente de 27.7% et le rendement en grains de 40.8 et 122.3% (Tableau 5). Il faut remarquer que l'augmentation de la paille a été négligeable sous irrigation de 90mm comparativement à l'augmentation sous apport de 60mm, et que toute l'amélioration de la production s'est faite sous forme de grains. L'apport d'eau a donc affecté surtout la répartition de la matière sèche produite entre les deux puits essentiels qui sont représentés par les tiges et les grains.

L'effet moyen de l'azote s'est manifesté surtout sur la biomasse aérienne et le rendement en grains avec un effet négligeable sur le rendement en paille (Tableau 5). Les apports d'azote, équivalents à 100 et 200 kg/ha, ont engendré respectivement une augmentation de la biomasse estimée à 5.7 et 16.0% relativement au traitement non fertilisé dont la moyenne est de 43.7q/ha. Le rendement en grains a augmenté de 15.8 et 37.9% respectivement pour les deux apports d'azote (Tableau 5).

L'étude des combinaisons eau x azote monte que la biomasse aérienne au même titre que le rendement en grains réagissent à l'eau et à l'azote ; vu que les meilleures valeurs moyennes sont obtenues sous les apports les plus élevés (Tableau 5, Figure 7).

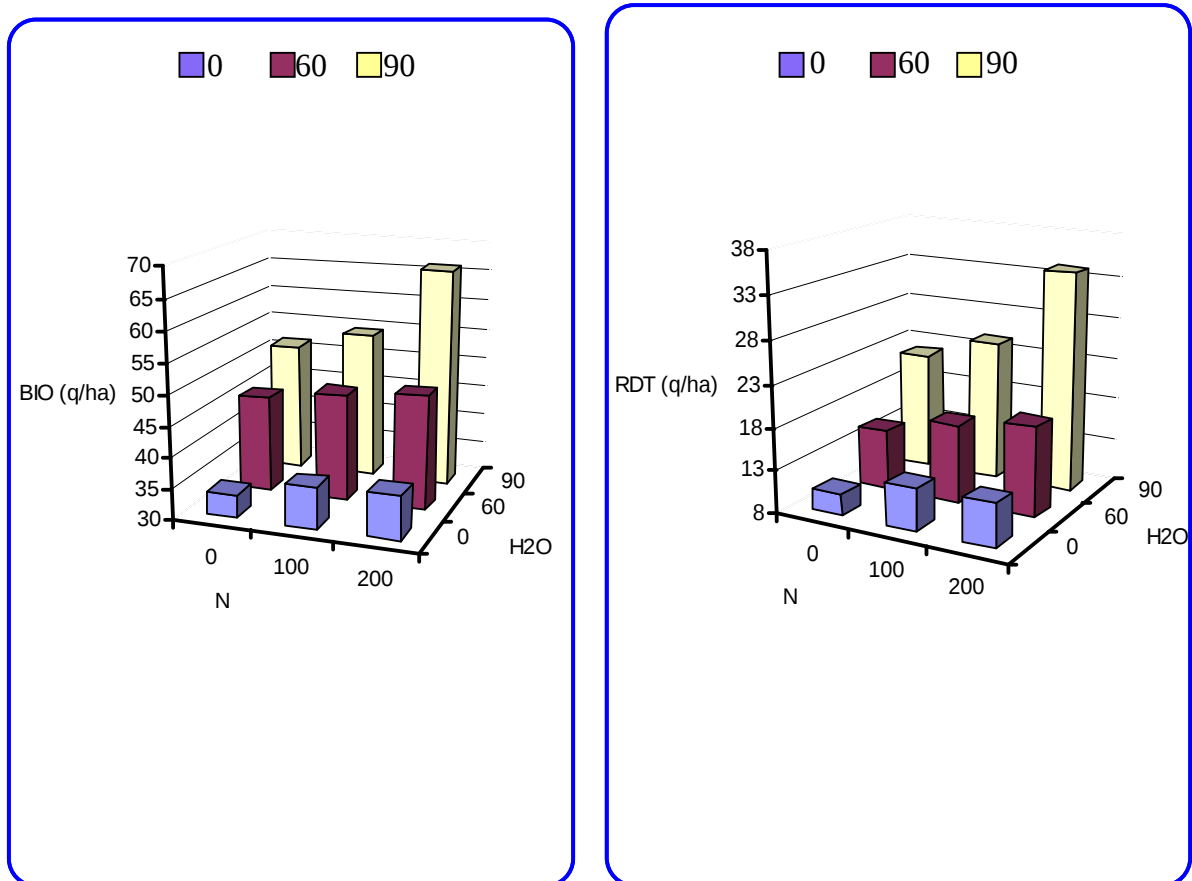


Figure-7- Interaction de l'eau et de l'azote sur l'expression de la biomasse aérienne et le rendement en grains du cultivar Waha.

Ces résultats rejoignent ceux de DROUINEAU (1979) qui a trouvé que le rendement en grains augmente en fonction des quantités d'azote apportées. SAURAT (1987) mentionne que le rendement en grains peut être modifié par l'interaction entre deux ou plusieurs éléments dont l'eau et l'azote.

2-ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES MOYENNES DES VARIABLES MEASUREES

Tableau-6- Corrélations entre les différentes variables mesurées

	HT	Prec	NE	BIO	PMG	PLL	NGE	RDT
HT	1.00				r5% =0.656			
Prec	0.48ns	1.00						
NE	0.96*	0.29ns	1.00					
BIO	0.98*	0.39ns	0.99*	1.00				
PMG	-0.97*	0.54ns	0.86*	0.90*	1.00			
PLL	0.36ns	-0.21ns	0.45ns	0.40ns	-0.31ns	1.00		
NGE	0.86*	0.56ns	0.81*	0.85*	-0.88*	-0.12ns	1.00	
RDT	0.90*	-0.54ns	0.86*	0.90*	-0.91*	-0.04ns	0.99*	1.00

ns et * = coefficient de corrélation non significatif et significatif au seuil de 5%.

La fertilisation azotée et l'eau ajoutées n'ont pas affectées significativement la durée à l'épiaison, qui a de ce fait peu de liaison avec la variation du rendement en grains induit par l'apport de ces deux facteurs de production. En effet la corrélation du rendement en grains avec la durée à l'épiaison est non significative.

Le rendement en grains est cependant fortement dépendant de la hauteur du chaume, de la production des épis, de la fertilité des épis, de la biomasse aérienne accumulée à maturité et du poids moyen du grain (Tableau 6). La relation entre le rendement en grains et le poids du grain est négative. L'augmentation du rendement en grains sous conditions des apports d'eau et de fertilisation azotée se fait au détriment du poids moyen du grain qui a tendance à diminuer.

La production de paille présente peu de liaisons avec les variables mesurées. Les facteurs de production déployés induisent une plus forte augmentation de la biomasse aérienne, du rendement en grains de la hauteur du chaume et des composantes du rendement en grains que de la paille (Tableau 6). Le fait marquant est que le nombre d'épis est positivement corrélé avec le nombre de grains par épi.

Dans les conditions de la présente étude ces deux composantes du rendement en grains n'entrent pas en compétition l'un l'autre.

La région de Sétif comme toutes les régions des hautes plaines septentrionales appartenant au semi aride se caractérise par un climat de type méditerranéen. La pluviométrie est concentrée aux mois de l'hiver et la sécheresse peut durer 4 à 5 mois avec une demande climatique dépassant les 5mm/j (PERIER, 1970). Dans ces conditions la fertilisation azotée des céréales conduites en pluviale est très délicate à raisonner.

En effet l'azote est connu, en présence de l'humidité du sol, d'encourager le développement végétatif excessif de la plante, conduisant à une production fourragère souvent plus importante que le milieu de production ne le permet (ANDERSON, 1985). Cette surproduction de fourrage conduit le plus souvent à un épuisement de l'eau du sol avant le début de la phase de remplissage.

La phase de remplissage du grain se fait donc sous contrainte hydrique. L'indice de récolte est fortement réduit et par la même le rendement en grains. Pour éviter ce risque les agriculteurs ont tendance à sous utiliser ce facteur de production difficile à utiliser sous climat variable.

Cette pratique agricole se présente comme une stratégie adoptée pour minimiser le risque de forte réduction du rendement en grains, si l'année vient à être peu pluvieuse. Elle est souvent complétée par le fractionnement de facteur de production entre le semis et le stade tallage ou encore entre des deux stades végétatifs et le stade gonflement (GIUNTA *et al.*, 1995).

Dans toutes les situations la réponse de la culture à cet élément reste fortement dépendante de l'humidité du sol et de la pluviométrie. La réponse à la fertilisation azotée est meilleure lorsque la plante ne souffre pas de stress hydrique. En plus cette réponse est le plus souvent associée à des pertes de cet élément par lessivage.

Sous climat variable, la quantité de pluie enregistrée avant l'application de la fertilisation azotée devient un critère d'appréciation des quantités à apporter. Les résultats de la présente étude, discutés jusqu'ici, montrent que sous certaines conditions il est possible d'augmenter les doses d'azote à apporter à la culture et par conséquent les rendements en grains de la culture de céréale au cours des campagnes agricoles où les pluies hivernales sont plus conséquentes (Figure 8).

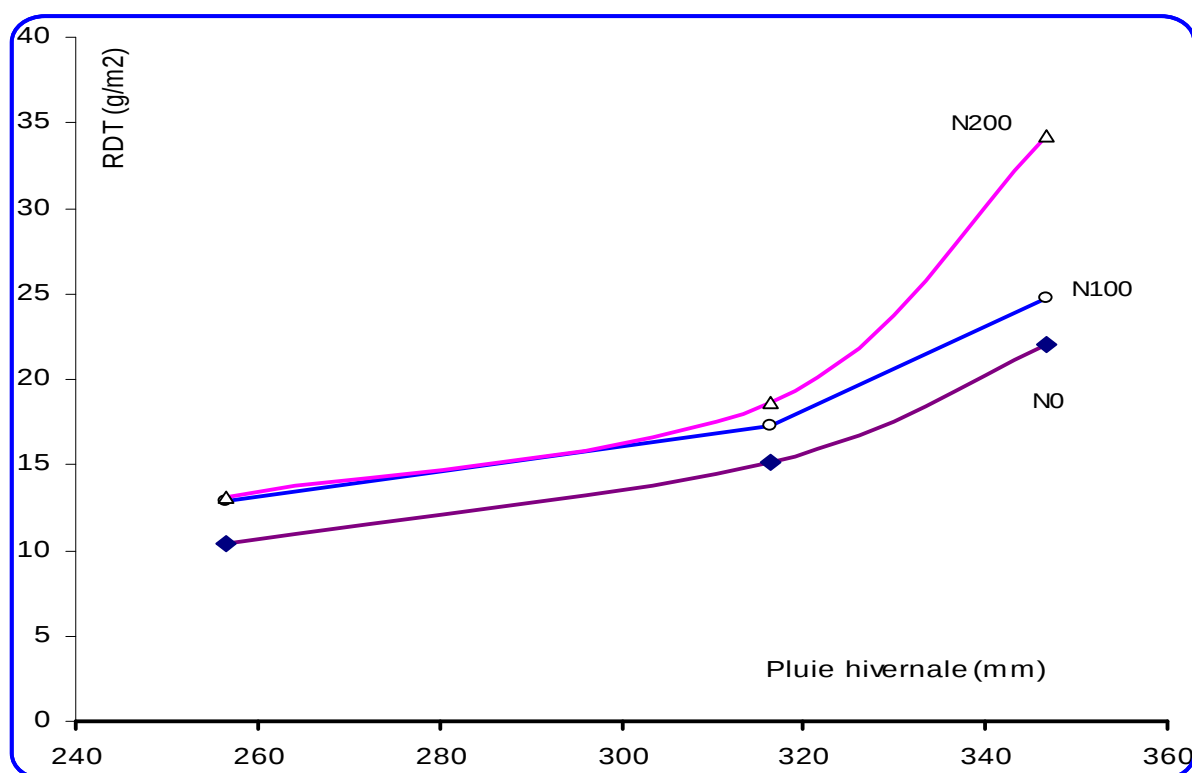


Figure-8- Réponse du rendement en grains du blé dur variété Waha à la fertilisation azotée en fonction des pluies hivernales (octobre- février).

Une grande partie des terres de la région des hauts plateaux réservée à la céréaliculture se caractérise par des sols superficiels, une pluviométrie faible et irrégulière. Sous ces conditions pédo-climatique le rendement en grains est des plus faibles. Il est fonction de la distribution et de la quantité de pluie enregistrée. Le manque d'eau à certains stades du cycle de la plante est plus dépressif qu'à d'autres stades végétatifs (CHENAFFI *et al.*, 2005).

Le manque d'eau entre les stades gonflement et épiaison réduit le nombre de grains/m², suite à l'avortement des talles fertiles et la sénescence précoce du feuillage. DAY et INTALAP (1982) mentionnent que la période la plus critique pour l'eau débute avec la montaison. Tout manque d'eau sévère lors de cette phase réduit du nombre d'épis, de la taille des organes, de la durée du cycle et finalement du rendement en grains attendu.

HANG et MILLER (1982) font remarquer que la céréale peut supporter des manques d'eau lors de certains stades végétatifs sans souffrir des baisses significatives de rendement en grains. OWEIS et ZHANG (1998) montrent que des apports de quantités limitées d'eau au cours des phases critiques de la céréale minimisent les baisses de rendement en grains souvent notées sous contraintes hydriques en régions semi-arides et valorisent mieux les apports de la fertilisation azotée. Ces quantités limitées sont souvent inférieures aux besoins de la plante d'où le terme d'irrigation déficitaire.

CHENAFFI *et al.*, (2005) trouvent que le rendement en grains de la culture pluviale du blé dur varie de 106.3 à 256.3 g/m², selon les campagnes. Les écarts de rendement par rapport au rendement maximal obtenu sous ces conditions liés au cumul pluviométrique des mois d'octobre à février inclus ($r = 0.6562$, $P < 0.05$). Sous conditions pluviales, la recharge du sol est limitée à la période hivernale, suite à la nature méditerranéenne du climat.

A la sortie de l'hiver, l'élévation de la température active la croissance végétative. Cette dernière ne devient possible, en l'absence de pluies printanières suffisantes, que si le stock en eau du sol est à même de la soutenir et donc de valoriser les apports d'azote effectués.

L'effet de la pluie n'est, cependant, pas toujours prépondérant. Le régime thermique intervient, en effet, en interaction pour permettre ou non la valorisation de l'eau mise à la disposition de la plante et par conséquent de l'azote apporté.

3- EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU POUR PRODUIRE DU GRAINS ET DE LA BIOMASSE

La réserve utile d'eau du sol du site expérimental est estimée à 91.4mm. L'humidité relative du sol mesuré au semis et à la récolte était respectivement de 17.3% et 10.6% sur un profil de 60 cm; profondeur correspondant à celle utilisée par l'essentiel du système acinaire de la culture. L'évaporation transpiration réelle (ETR) cumulée au cours du cycle de la culture est estimée à par le total des pluies enregistrées entre les mois d'octobre à la mi juin, soit 324.9 mm. Les apports d'eau représentent un plus équivalents à 18.4 et 27.2% respectivement par rapport au cumul pluviométrique du pluvial.

Estimée en kg/mm/ha, l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain et de la biomasse augmente avec les quantités de pluie enregistrée (pluie + eau d'apport). Ces moyennes varient de 3.18, 3.92 et 5.30kg/mm/ha pour le grain et de 10.4, 11.9 à 12.4 kg/mm/ha pour la biomasse aérienne, en fonction des traitements pluviale et irrigué avec 60 et 90 mm respectivement.

Ces résultats rejoignent ceux de BOUTFIRASS (1990) et KRIBAA (1992) qui rapportent des valeurs d'utilisation de l'eau variant entre les limites de 5 et 14.57 kg/mm/ha. Une meilleure alimentation hydrique de la culture, sous les conditions de la présente expérimentation, conduit donc à une meilleure utilisation de l'eau et une meilleure production de grains et de biomasse aérienne.

CHENAFFI et al., (2005) rapportent aussi des valeurs de l'efficacité d'utilisation de l'eau variant 3.92 à 15.99 kg /ha/mm, suite à une meilleure utilisation des eaux de pluie et des apports d'irrigation. Ces auteurs trouvent aussi des efficacités élevées associées à des quantités d'eau plus faibles, ce qui indique que la distribution des eaux de pluie au cours du cycle contribue à une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau.

Ces résultats corroborant aussi ceux de RASMUSSEN *et al.*, (2003) qui rapportent qu'une bonne répartition de la pluie au cours du cycle et la recharge en eau du sol au cours de l'hiver conduisent à un faible effet du stress hydrique en fin de cycle et améliorent l'utilisation de l'eau et de l'azote par la culture.

4-L'azote du grain et de la paille

L'apport des doses croissantes d'irrigation s'accompagne par des augmentations des valeurs moyennes de la teneur en azote de 1.46 à 2% de matière sèche, soit une amélioration de 0.54% entre 0 et 90 mm d'eau par hectare. L'effet moyen azote induit un changement de la teneur en azote du grain 1.60 à 1.8% de matière sèche respectivement pour 0 et 200 kg N. D'après HEBERT (1969), l'application d'une forte nutrition azotée augmente la teneur du grain en azote.

Les combinaisons (E0, N100) et (E0, N200) ont la même teneur azotée de 1.49% de matière sèche. Cette faible valeur est due à l'effet du stress hydrique qui inhibe plus l'absorption d'azote assimilable du sol et sa translocation vers les sites de la plante où il sera utilisé et stocké comme le grain. La teneur en azote augmente avec l'augmentation de l'eau disponible pour la plante. Elle varie de 1.40 à 2.25% de matière sèche (Tableau 7).

Tableau -7- Teneur du grain et de la paille en azote (%ms)

	Grains	Paille	Effet
Moy générale	1.69	0.55	
E0	1.46	0.28	Effet eau : THS
E60	1.62	0.47	
E90	2.00	0.91	
N0	1.60	0.44	Effet N : THS
N100	1.68	0.54	
N200	1.80	0.68	
E0N0	1.40	0.21	Interaction eau x azote : THS
E0N100	1.49	0.31	
E0N200	1.49	0.31	
E60N0	1.56	0.39	
E60N100	1.63	0.48	
E60N200	1.67	0.53	
E90N0	1.83	0.72	
E90N100	1.92	0.82	
E90N200	2.25	1.19	

La teneur en azote de la paille suit la variation que celle observée pour le grain. Elle passe de 0.28 à 0.91% de matière sèche pour les traitements E0 à E90 et

de 0.44 à 0.68% de matière sèche pour les doses N0 à N200. La variation de la teneur en azote des organes végétatifs est fonction de la quantité d'eau disponible pour la plante et de l'engrais azoté apporté (Tableau 7).

La variation des pluies hivernales (pluie + irrigation) induit une évolution des exportations moyennes d'azote dans le grain. Ces exportations évoluent de 17.6 à 54.9 kg N/ha entre le témoin et le traitement de 90 mm d'eau. L'apport d'eau améliore l'exportation de l'azote de 37.3 kg N/ha (Tableau 8). La variation de la fumure azotée engendre une augmentation des exportations de l'azote par la culture de 16.4 kg N/ha entre les niveaux N0 et N200.

Tableau -8- Evolution des exportations de l'azote par les grains et la paille (kg/ha).

	Grains	Pailles	Effets
Moy générale	33,38	17,12	
E0	17,61	6,66	Effet eau : THS
E60	27,61	15,69	
E90	54,91	29,08	
N0	26,11	12,70	Effet N :THS HS
N100	31,51	16,66	
N200	42,51	22,01	
E0N0	14,48	4,92	eau x N : THS NS
E0N100	18,85	7,41	
E0N200	19,49	7,47	
E60N0	23,55	12,01	
E60N100	28,26	14,54	
E60N200	31,02	20,52	
E90N0	40,31	21,16	
E90N100	47,42	28,04	
E90N200	77,01	38,03	

L'azote prélevé par le grain en kilogramme par quintal de grains est de 1.60, 1.68 et 1.80 respectivement pour les traitements N0, N100 et N200. mentionne que pour produire un quintal de grains de blé, il faut 3 kg d'azote. DINCHEV (1982)

montre que pour la formation d'un rendement de 6 tonnes/ha, la consommation de l'azote est de 149 kg/ha, soit 2,48 kg N/q de grains.

Les exportations de l'azote par le grain varient de 14.4 à 77.0 kg N/ha entre le pluvial non fertilisé et le traitement fertilisé avec 200 kg/ha d'azote et ayant reçu 90 mm d'eau/ha en plus. Les exportations de l'azote par le grain sont fonction de l'humidité du sol disponible pour la plante. Dans le cas présent l'eau augmentation les exportations de l'azote par une moyenne de 62.5 kg N/ha, soit 2.25 kg azote nécessaire à la production d'un quintal de grains pour le traitement E90 N200, comparativement à 1.4 kg N du sol pour le traitement pluvial non fertilisé.

Pour les exportations de l'azote par la paille, l'apport de l'eau s'accompagne par une accumulation progressive d'azote qui varie de 6.6 à 29.0 kg N/ha entre les traitements E0 et E90. La fertilisation azotée favorise les prélèvements de cet élément par la paille, qui varient de 12.7 kg N/ha chez le témoin à 22.0 kg N/ha chez le traitement fertilisé avec 200 kg N/ha (Tableau 8). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par HALILAT (1993).

L'action de l'azote s'améliore en présence de l'eau. Elle passe de 2.55 kg N/ha dans le cas d'une culture en sec à 16.87 kg N/ha dans le cas du traitement irrigué avec 90 mm/ha. Les prélèvements varient de 4.9 à 38.0 kg N/ha entre les traitements extrêmes, soit 1.19 kg N/q de paille pour le traitement E90 N200 et 0.21 kg N chez le témoin (E0, N0).

L'efficience d'utilisation de l'engrais azoté par la culture est déterminée par le coefficient apparent d'utilisation (CAU). Ce coefficient ne permet, cependant pas d'apprécier exactement la quantité d'engrais assimilé par la plante puisque le sol peut offrir comme il peut fixer les ions de la fumure azotée. Les résultats de la présente étude indiquent que le C.A.U dépend des quantités d'eau et d'azote apportées. Ainsi pour le traitement 100 kg N/ha + 60 mm, seulement 23.4 % de l'azote apportés sont effectivement utilisés par la culture contre 56.0 %, pour le traitement 100 kg N/ha + 90mm. Pour la dose 200 kg N/ha, le CAU varie de 16.0 à 47.8% pour les irrigations de 60 et 90mm respectivement (Tableau 9).

Tableau -9- Coefficient d'utilisation de l'azote par la plante (%)

Azote (kg/ha)	Eau apportée	
	60mm	90mm
100	23.4	56,06
200	16,07	47,82

MACHET (1987) affirment que si le C.A.U est supérieur à 50%, il devient généralement plus élevé que le coefficient réel d'utilisation de l'azote, car il ne varie que entre 20 à 35%. Des résultats similaires ont été obtenus par BAHLOUL (1987), qui à trouvé que des valeurs du CAU de 34% pour des dose d'azote de 150kg/ha.

CONCLUSION

Notre expérimentation a été réalisée à fin de déterminer l'influence de l'irrigation et la fertilisation azotée sur le rendement en grains et ses composantes.

L'action des facteurs étudiés pris séparément sur l'élaboration du rendement est significative et positif pour tout les paramètres étudiés à l'exception de la précocité à l'épiaison, du poids de mille grains et le rendement en paille qui ne sont pas influencés par les apports azotés c'est a dire ils ont soit de très faible amélioration c'est le cas du raccourcissement de la période d'épiaison et l'augmentation du rendement en paille, ou soit par une légère régression du poids de 1000 grains.

En ce qui concerne l'influence de l'irrigation combinée à la fertilisation azoté est significative et positive, dont l'amélioration est très importante pour tous les paramètres de l'essai sauf celles qui spécifier la hauteur du chaume, la précocité à l'épiaison, le poids de 1000 grains. Le rendement en grains qui est le but de notre recherche a été influencé de façon significative par les traitements humidité du sol et azote. Le rendement atteint un maximum de 34.2 q/ha soit une augmentation relative de 230.8% par rapport au témoin.

Ces résultats montrent que le facteur eau disponible dans le sol à la sortie de l'hiver est susceptible de modifier significativement la stratégie de la fertilisation des céréales conduite en pluviale dans le semi- aride. En effet l'augmentation du cumul pluviométrique de la période octobre -février de 60 et 90 mm, engendre une augmentation significative du rendement en grains via l'amélioration des valeurs moyennes des composantes du rendement, de la précocité à l'épiaison, de la biomasse aérienne, de la paille produite et de la hauteur du chaume, avec cependant une réduction du poids moyen du grain.

La plus importante efficience d'utilisation d'engrais azotée est enregistré dès l'apport de 100 kg d'urée en combinaison avec 90 mm d'eau avec un taux de 56.06% par contre la plus faible efficience à la part du traitement de 100 kg de fumure et 60 mm d'eau d'ou il est estimé par 23.4%. Les efficacités d'utilisation de l'eau des grains et de la biomasse ont prédominés lors qu'on traite avec la quantité d'irrigation de 90 mm/ha. Donc L'augmentation du cumul de pluie de la période octobre -février de 60 et 90 mm, engendre une amélioration de l'utilisation de l'eau et celle de l'azote exporté par le grain et la paille.

Références bibliographiques

- Ali Dib et Monneveux P, Aranous JL .1992 . Adaptation à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie*, 12: 381-393.
- Anderson W.K 1985. Grain yield responses of barley and durum wheat to split nitrogen applications under rain fed conditions in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 12:191-202.
- Anonyme 1988. Fertilisation azotée des céréales d'hiver. *Perspectives Agricoles*, 43: 10-26.
- Anonyme 1998. Gestion de la contrainte pluviométrique : pour l'amélioration de la production végétale et de l'efficience d'utilisation de l'eau. Bulletin de la liaison du programme nationale de Transfert de technologie en agriculture. Rabat, Maroc 60-66.
- Baeyens G., 1967. Nutrition des plantes de culture. Ed .E. Nauwelarts, 675p.
- Bahloul A, 1987. Contribution à l'étude de la dynamique de l'azote dans le système sol- plante sous culture de blé dur en zone méditerranéenne .Thèse Doctorat ENSA, Montpellier,110 pages.
- Bahlouli F, Bouzerzour H, Benmahammed A. 2005. Selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy* 4:360-365
- Baldy G., 1974. Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques, leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. *Doc. Projet Céréale*, 152 p.
- Barabier S., Mayer H. 1965. The effect of winter in pot trials in relation to soil type and soil moisture. *Field Crop Res.*, 72: 20-1.
- Barnier I., 1978. Eléments pour l'étude du climat et la bioclimatologie. Cours polycopies. Fasicule 2 INA, 80p.

Batouche S., Labiod H. 1990. Les sols des hautes plaines sétifiennes. Inventaire Analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette région de 1965 à 1985. Essai de thématisations. Thèse Ing. Agron. Univ. Sétif.

Belaïd D., 1987. Etude de la fertilisation azotée et phosphate d'une variété de blé dur (Hedba 3) en condition de déficit hydrique. Thèse Magister. INA, 108p.

Benabbas C., 1993. Etude d'une fertilisation azotée et potassique sur une variété d'orge (*Hordeum vulgare*, var. Tichedrett 9265) en zone semi-aride. Thèse Magister, Université de Batna, 166p.

Benjamaa O., 1977. Contribution à l'étude de l'élaboration du rendement de quelques variétés de blé dur en fonction des densités de semis dans les conditions écologiques de la station d'El khroub. Thèse d'ing. INA. Alger, 105p.

Bensalem M., 1984. Effet du manque d'eau appliqué à différentes périodes du cycle de développement sur la croissance et le rendement en grain du blé. Ann. INRA, 57: 3-27.

Binet P., Brunel JP. 1967. Physiologie végétale I. Doin Ed. Paris, 439p.

Blanc D., 1971. L'azote en Agriculture. INA, chaine d'agriculture, Paris, 17p.

Boutfirass M., 1990. Irrigation d'appoint et efficacité d'utilisation de l'eau en zone semi-aride. Cas du blé tendre. Thèse 3ème cycle, I.A.V Hassan II. Rabat.

Callot G., 1983. Les interactions sol-racine, incidence sur la nutrition minérale. INRA. Paris. 120-205.

Champagnat P., Ozenda P., Baullaud D. 1969. Biologie végétale. Tome III - croissance, Morphogénèse, Reproduction - chapitre I. Masson Ed. Paris -510p.

Chenaffi H, Bouzerzour H, Amirouche A, Chenafi A. 2005. L'optimisation des apports d'eau d'appoint sur des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Def.) en milieu semi aride. In proceedings du II^{ème} Congrès Méditerranéen « WATMED », Marrakech, 54-59.

- Choisnel E., Noilham J. 1995. La prévision des sécheresses. La recherche 272, 10-12.
- Coic Y., 1956. La nutrition et la fertilisation du blé d'hiver. Ann. Agro. 7: 16-25.
- Cottignies X., 1977. Potasse et agriculture. Société commerciale des potasses et de l'azote, Mulhouse, 15-37.
- Day A, Intalap D.S.1970. Some effects of soil moisture stress on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.). *Agron.J.* 62, 27-29.
- Delogu G, Cattevilli L, Pecchioni N, Defalas D, Maggiore T, Stanca M.1998. Uptake and agronomic efficiency of N in winter barley and wheat. Euro J. Agro. 9: 11- 20.
- Dinchev D., 1982. Removal and consumption of NP and K by Wheat and maize. Soil science and Agrochemistry, 17:17-21.
- Drouineau G., 1979. Effet du potassium dans les essais de longue durée. Dossier K₂O, SCPA 13: 1-14.
- Duchauffour PH., 1979. Constituants et propriétés du sol. Ed.Masson, 457p.
- Duthil J., 1973. Elements d'écologie et d'agronomie. ED.J-B .BAILLIERE, 654p.
- Duthil P., 1981. Azote. Techniques agricoles, 1230: 15-20.
- FAO. 1992. Besoin en eau des cultures. Bulletin d'irrigation et de drainage, N°24, FAO eds, Rome, 120p.
- Garabet S, Wood M, Ryan J. 1998. Nitrogen and water effects on wheat yield in Mediterranean- type climate. I. Growth, water use and N accumulation. FCR. 57: 309 -318.
- Gate PH., 1987. Détermination des stades de développement des céréales à paille. Document ITCF, 25 p.
- Germon J.C., 1982. Les pertes d'azote par voie gazeuse. Agriculture, 463: 151-152.

Geslin H, Jonard J. 1948. Maturation du blé, et climat. Annales Amélioration des Plantes II: 233-256.

Giunta F, Motzo R, Deidda M. 1995. Effects of drought on leaf area development, biomass production and nitrogen uptake of durum wheat grown in a Mediterranean environment. Aust. J. Agric. Res. 46:99-111.

Golusic A., 1971. Les grandes cultures. Document Projet Algérie 30, 172p.

Grignac P., 1964. Contribution à l'étude de blé dur (*Triticum durum*. Desf). Thèse d'état. Fac. Sc. Univ. Toulouse, 152p.

Gros A., 1974. Engrais guide pratique de la fertilisation. Ed Maison rustique, 382 p.

Guiot J., 1986. Conception de la fumure azotée. Ann. Gembloux. 92: 219-231.

Halilat M., 1993. Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur en zone Saharienne. Thèse Magister, INES d'agronomie de Batna, 108p.

Hang A.N, Miller D.E, 1982. Wheat development as affected by deficit and high frequency sprinkler irrigation. Agron. J., 75, 234-239.

Hebert J., 1969. La fumure azotée du blé tendre d'hiver. BTI, 244: 755-766.

Hebert J., 1975. Techniques nouvelles de production du blé. Document I.T.C.F, 16p.

Heller J., 1969. Biologie végétale. Nutrition et métabolisme II. Ed Masson. 57p.

Heller J., 1977. Abrégé de physiologie végétale. Tome I : Nutrition. Masson Ed. 244p.

Jussiaux G., 1980. Cours d'agriculture moderne. Ed la maison rustique, Paris , 9^{eme} ed, 84-90 .

Kribaa M., 1992. Contribution à l'étude de l'irrigation d'appoint et de la fertilisation azotée d'un blé dur (Waha) en zones semi-arides cas des hautes plaines Sétifiennes. Thèse Magister. INA, Alger, 85p.

Kribaa M., 2002. Effects of tillage methods on soil hydraulic conductivity and durum wheat grain yield under semi-arid growth conditions. Soil and tillage 63: 70-77.

Kribaa M., 2003. Effets de la jachère sur les sols en céréaliculture pluvial dans les zones semi-arides méditerranéennes. Cas des hautes plaines Sétifiennes en Algérie : Impact des différentes techniques de travail de la jachère sur les caractéristiques structurales et hydrau- climatique du sol. Thèse Doctorat d'état, INA Alger, 121p.

Lelievre F., Nolot J.M., 1977. Evolution de la matière sèche des grains autour du palier hydrique chez trois variétés de blé dur et tender. CR.Acad. Agric. 63:13 -20.

Machet J.M., 1987. L'apport technique isotopique à la stratégie de fertilisation. Perspectives Agricoles, 115: 39-55.

Masle J., 1982. Mise en évidence d'un stade critique par la montée d'une talle. Agronomie, 1: 623-632.

Masle J., Meynard J. 1981a. Influence du facteur azoté dans l'élaboration du rendement. « Devenir de l'azote dans la fertilisation azotée des blés d'hiver. Influence de l'alimentation hydrique ». Document INRA F., 38p.

Masle J., Meynard J. 1981b. Relation entre croissance et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver, Influence des conditions de nutrition. Agronomie 1: 365-374.

Masse J., Viaux P. 1983. Azote et croissance du blé. Perspectives Agricoles 68: 18-23.

Mazliak P., 1974. Physiologie végétale. Herman Ed. 349p.

Mekliche A .,1983. Contribution à l'établissement de la fumure azotée du blé d'hiver dans le Haut Chellif. Thèse Magister, INA Alger, 120p.

Mengel K., et Kirkeby E.A. 1982. Principals of plant nutrition IPI. Worblan-Berne. 655p.

Meynard J.M.,1987. L'analyse de l'élaboration du rendement sur les essais de fertilisation azotée. Perspectives agricoles, 115:76-86.

- Morot - Gaudry JF. 1997. Source et cycle de l'azote. In Morot- Gaudry J.F (Ed). INRA Edition. 422p.
- Muller J.C., 1982. Devenir de l'azote non utilisé par la plante. *Agriculture*, 463: 150-183.
- Neyroud JA., Vez A, 1981. La fumure azotée du blé. Essai de prevision des doses. *Rev. Suisse Agri.*, 13: 7-13.
- Oweis ThY., Zhang H. 1999. Water use efficiency: index for optimizing supplemental irrigation of wheat in water scarce areas. *J. Applied Irrigation Science*, 33: 321-336.
- Papatrylianou I. 1995. Yield components in relation to grain yield losses of barley fertilized with nitrogen. *Eur. J. Agron.* 4: 55-6.
- Perier A., 1970. Bilan hydrique de l'assolement blé/jachère et évaporation d'un sol nu en région semi-aride. Document INRAA 35 pages.
- Prihar S.S., Sandhu M.S. 1989. Reponse of dryland wheat to small supplemental irrigation and fertilizer nitrogen in submontane. *Punjab fertilizer Res.* 21: 23-28.
- Rasmussen, Chen, C., W. A Payne, R. SW. Smiley, and M. A. Stolz, 2003. Yield and water-use efficiency of eight wheat cultivars planted on seven dates in North-Eastern Oregon. *Agron. J.* 95:836-843
- Recous S., 1987. Les mécanismes de transformation de l'azote dans le sol. *Perspectives Agricoles* 115: 100-105.
- Reddy A.S., Bhardway R.B.L. 1984. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of wheat under limited and adequate irrigation. *Indian. J. Agro.* 29: 505-509.
- Remy J.C., Hebert J. 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol. *C.R.Acad. Agric.* 11,700-714.
- Remy J.C., Machet J.M. 1978. Comment se présente la fertilisation azotée du blé. *Agriculture* 1705: 23-27.

Remy J.C., Viaux PH. 1980. Evolution des engrais azotés dans le sol. Perspectives Agricoles. 43:5-9.

Remy J.C., Viaux PH. 1983. La fertilisation du blé tendre en système intensif en France. Perspectives Agricoles, 67: 18-23.

Sanna M., Cleemput OV. 1997. Dynamique et bilan de l'azote d'un sol calcaire des régions semi-arides de Tunisie. Sécheresse 8: 103-108.

Saurat A., 1988. La fertilisation potassique. Inst. International de la potasse. 21p.

Sebilotte M., 1985. Réflexion sur les approches de l'agronomie. C.R.Acad. Agri. Française., 71: 292-301.

Sinclair T.R., Tanner C.B., Bennett J.M. 1984. Water use efficiency in crop production. Bioscience, 34: 36-40.

Singh R., Prihar Y.S, Singh P., 1975. Effect of N fertilization on yield and water use efficiency of dryland Winter wheat as affected by stored water and rainfall. Agron. J., 67: 599-603.

Soltner D., 1986. Les bases de la production, le sol. 14^{eme} édition Coll.sci. et Tec.Agric. Angers, France, 464p.

Stout W.L., Jung G.A., Shaffer J.A. 1988. Effects of soil nitrogen on water use efficiency of tall fescue and switch grass under humid conditions. Soil Sci. Soc. Amer. J., 52: 429-434.

Taureau J.C., 1987. Les besoins en azote. Perspectives agricoles, 115: 92-96.

Taureau J.C., 1988. Fertilisation azotée. Perspectives Agri. 60: 14-21.

Toutain G., 1979. Elément d'agronomie saharienne de la recherche au développement. Document INRAF, 138p.

Turk L., 1978. Sècheresse du sol. Index physique des réserves d'eau et signification agronomique des déficit d'humidité dans le sol. Bulletin du BRGM:197-202.

Vanherwaarden AF., Farquhar GD., Angus JF., Richards RA. & Howe GN. 1997. Haying-off, the negative grain yield response of dryland wheat to N fertilizer. I. Biomass, grain yield and water use. *Aust J. Agr. Res.* 49: 1067 - 1081.

Vez A., 1975. La fumure azotée du blé d'automne sur la base d'expériences récentes. *Revue suisse d'agri.* 7: 177-188.

Viaux PH., 1983. Fumure azotée des céréales d'hiver. *Perspectives agricoles*, 43, 10-26.

Vilain M., 1987. La production végétale. Volume I : Les composantes de la production. J.B. Ballière Ed, Paris. 416p.

Zenagui K., 1991. Influence de deux précédant culturaux combinés à trois dates de semis, sur la croissance et développement d'un blé dur (Var. Bidi 17) en zone semi-aride (Batna). Thèse d'ingénieur d'état. INA. Batna. 68p.

Zerargua A., 1991. Etude de la fertilisation azotée en relation avec les structures de peuplement d'un blé dur dans les hautes plaines Sétifiennes. Thèse. Ing. Agro. ITA. Mostaganem.

ANNEXE

La distribution de la variation d'azote dans le sol (kg N/ha).

Profondeur (cm)	N kg/ha	N initial + apport	E0	E60	E90
0-30	N0	3993	2707,98	2693,46	2686,2
	N100	4093	2947,56	2943,93	2933,04
	N200	4193	2976,6	2969,34	2954,82
30-60	N0- N100 et N200	5460	3950	3950	3950

L'analyse de la variance des variables mesurées :

1. La hauteur du chaume :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	800.00	8	100.00		
	VAR.FACTEUR 1	788.22	2	394.11	161.23	0.0007
	VAR.BLOCS	2.00	2	1.00	0.41	0.6912
	VAR.RESIDUELLE	9.78	4	2.44		
1.56	2.6%					
	VAR.TOTALE	892.67	26	34.33		
	VAR.FACTEUR 2	50.67	2	25.33	9.06	0.0041
	VAR.INTER F1*2	8.44	4	2.11	0.75	0.5756
	VAR.TOT S-BLOCS	800.00	8	100.00	35.76	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	33.56	12	2.80		
1.67	2.8%					

2. La précocité à l'épiaison :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	31.63	8	3.95		
	VAR.FACTEUR 1	26.74	2	13.37	51.57	0.0026
	VAR.BLOCS	3.85	2	1.93	7.43	0.0465
	VAR.RESIDUELLE	1.04	4	0.26		
0.51	0.3%					
	VAR.TOTALE	38.30	26	1.47		
	VAR.FACTEUR 2	0.52	2	0.26	0.82	0.4653
	VAR.INTER F1*2	2.37	4	0.59	1.88	0.1778
	VAR.TOT S-BLOCS	31.63	8	3.95	12.56	0.0001
	VAR.RESIDUELLE 2	3.78	12	0.31		
0.56	0.4%					

3. Le poids de 1000 grains :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	104.13	8	13.02		
	VAR.FACTEUR 1	99.88	2	49.94	51.69	0.0026
	VAR.BLOCS	0.38	2	0.19	0.20	0.8289
	VAR.RESIDUELLE	3.86	2	0.97		
0.98	2.3%		4			
	VAR.TOTALE	114.39	26	4.40		
	VAR.FACTEUR 2	1.43	2	0.71	1.42	0.2787
	VAR.INTER F1*2	2.81	4	0.70	1.40	0.2923
	VAR.TOT S-BLOCS	104.13	8	13.02	25.94	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	6.02	12	0.50		
0.71	1.7%					

4. Le nombre de grains par épi :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	451.19	8	56.40		
	VAR.FACTEUR 1	444.37	2	222.18	148.31	0.0007
	VAR.BLOCS	0.83	2	0.41	0.28	0.7729
	VAR.RESIDUELLE	5.99	4	1.50		
1.22	8.4%					
	VAR.TOTALE	590.58	26	22.71		
	VAR.FACTEUR 2	81.24	2	40.62	47.35	0.0000
	VAR.INTER F1*2	47.86	4	11.96	13.95	0.0002
	VAR.TOT S-BLOCS	451.19	8	56.40	65.75	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	10.29	12	0.86		
0.93	6.3%					

5. Le nombre d'épi/m² :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	32118.08	8	4014.76		
	VAR.FACTEUR 1	31880.52	2	15940.26	408.35	0.0003
	VAR.BLOCS	81.41	2	40.71	1.04	0.4334
	VAR.RESIDUELLE	156.14	4	39.04		
6.25	2.1%					
	VAR.TOTALE	34395.41	26	1322.90		
	VAR.FACTEUR 2	957.86	2	478.93	9.10	0.0040
	VAR.INTER F1*2	687.70	4	171.93	3.27	0.0496
	VAR.TOT S-BLOCS	32118.08	8	4014.76	76.26	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	631.78	12	52.65		
7.26	2.4%					

6. La biomasse aérienne :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	2074.42	8	259.30		
	VAR.FACTEUR 1	2096.35	2	1034.67	1316	0.0001
	VAR.BLOCS	1.93	2	0.96	1.23	0.3850
	VAR.RESIDUELLE	3.14	4	0.79		
0.89	1.9%					
	VAR.TOTALE	2481.70	26	95.45		
	VAR.FACTEUR 2	225.37	2	112.68	133.25	0.0000
	VAR.INTER F1*2	171.76	4	42.94	50.78	0.0000
	VAR.TOT S-BLOCS	2074.42	8	259.30	306.63	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	10.15	12	0.85		
0.92	2.0%					

7. Le rendement en grains :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
VAR.TOT S-BLOC		1047.25	8	130.91		
VAR.FACTEUR 1 VAR.BLOCS		1035.27	2	517.64	221.72	0.0005
VAR.RESIDUELLE		2.64	2	1.32	0.57	0.6102
1.53	8.2%	9.34	4	2.33		
VAR.TOTALE		1339.56	26	51.52		
VAR.FACTEUR 2		172.55	2	86.27	85.24	0.0000
VAR.INTER F1*2		107.62	4	26.90	26.58	0.0000
VAR.TOT S-BLOCS		1047.25	8	130.91	129.34	0.0000
VAR.RESIDUELLE 2		12.15	12	1.01		
1.01	5.4%					

8. Le rendement en paille :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
VAR.TOT S-BLOC		274.87	8	34.36		
VAR.FACTEUR 1		260.12	2	130.06	40.28	0.0036
VAR.BLOCS		1.84	2	0.92	0.28	
VAR.RESIDUELLE		12.91	4	3.23		0.7675
1.80	6.4%					
VAR.TOTALE		313.99	26	12.08		
VAR.FACTEUR 2		4.08	2	2.04	0.93	0.4232
VAR.INTER F1*2		8.75	4	2.19	1.00	0.4464
VAR.TOT S-BLOCS		274.87	8	34.36	15.69	0.0000
VAR.RESIDUELLE 2		26.29	12	2.19		
1.48	5.2%					

9. La teneur en azote des grains :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
VAR.TOT S-BLOC		1.39	8	0.17		
VAR.FACTEUR 1 VAR.BLOCS		1.38	2	0.69	836.08	0.0002
VAR.RESIDUELLE		0.00	2	0.00	0.01	
0.03	1.7%	0.00	4	0.00		0.9890
VAR.TOTALE		1.72	26	0.07		
VAR.FACTEUR 2		0.19	2	0.10	199.02	0.0000
VAR.INTER F1*2		0.13	4	0.03	68.32	0.0000
VAR.TOT S-BLOCS		1.39	8	0.17	354.91	0.0000
VAR.RESIDUELLE 2		0.01	12	0.00		
0.02	1.3%					

10. La teneur en azote du paille :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	1.91	8	0.24		
	VAR.FACTEUR 1	1.90	2	0.95	2851.85	0.0001
	VAR.BLOCS	0.00	2	0.00	3.60	0.1279
	VAR.RESIDUELLE	0.00	4	0.00		
0.02	3.3%					
	VAR.TOTALE	2.33	26	0.09		
	VAR.FACTEUR 2	0.25	2	0.13	229.38	0.0000
	VAR.INTER F1*2	0.16	4	0.04	73.41	0.0000
	VAR.TOT S-BLOCS	1.91	8	0.24	428.63	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	0.01	12	0.00		
0.02	4.3%					

11. Les exportations en azote des grains :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	6765.74	8	845.72		
	VAR.FACTEUR 1	6711.89	2	3355.95	289.47	0.0004
	VAR.BLOCS	7.48	2	3.74	0.32	0.7430
	VAR.RESIDUELLE	46.37	4	11.59		
3.40	10.2%					
	VAR.TOTALE	9217.76	26	354.53		
	VAR.FACTEUR 2	1256.41	2	628.21	155.74	0.0000
	VAR.INTER F1*2	1147.20	4	286.80	71.10	0.0000
	VAR.TOT S-BLOCS	6765.74	8	845.72	209.66	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	48.41	12	4.03		
2.01	6.0%					

12. Les exportations en azote du paille :

E.T.	C.V.	S.C.E	DDL	CARRES MOYENS	TEST F	PROBA
	VAR.TOT S-BLOC	2384.91	8	298.11		
	VAR.FACTEUR 1	2301.12	2	1150.56	70.05	0.0017
	VAR.BLOCS	18.09	2	9.05	0.55	0.6171
	VAR.RESIDUELLE	65.70	4	16.42		
4.05	23.7%					
	VAR.TOTALE	3148.01	26	121.08		
	VAR.FACTEUR 2	392.89	2	196.45	11.56	0.0017
	VAR.INTER F1*2	166.27	4	41.57	2.45	0.1028
	VAR.TOT S-BLOCS	2384.91	8	298.11	17.54	0.0000
	VAR.RESIDUELLE 2	203.93	12	16.99		
4.12	24.1%					

