



TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MADRPM/DERD

● N° 62 ● Novembre 1999 ●

PNTTA

Fertilisation azotée des céréales

Cas des blés en Bour et en irrigué

Introduction

Du fait du rôle critique de l'azote et sa disponibilité limitée, la conduite de la fertilisation azotée est un aspect extrêmement important de la production des plantes. Plusieurs méthodes ont été développées pour le raisonnement de la fertilisation azotée des cultures. L'élaboration de normes d'interprétation de la fertilité azotée des sols (N soil test Calibration) est basée sur les relations observées entre un indice de fertilité des sols (N Minéral, $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$, indice de disponibilité de l'azote) et la réponse de la plante. Une autre méthode est celle du bilan prévisionnel de l'azote qui tient compte des besoins de la plante et des fournitures en azote du sol. Une méthode plus élaborée pour le développement des recommandations en matière de fertilisation azotée est l'utilisation d'un modèle qui prédit les besoins et les fournitures quotidiens en azote à partir de différentes sources durant le cycle de développement de la plante. Il s'agit de décrire les effets de l'azote ou sa déficience en terme de processus de croissance qui déterminent le rendement et de prédire sur cette base les quantités requises pour un rendement objectif. L'élaboration de références régionales constitue une étape nécessaire, quelle que soit la méthode adoptée. Dans ce qui suit, nous avons revu les travaux de recherche sur la fertilisation et nutrition azotées au Maroc afin de faire ressortir ces relations et références utiles en vue de l'élaboration de recommandations en matière de fertilisation azotée en Bour et en irrigué.

Fertilisation azotée des blés en Bour favorable

Production de matière sèche

La production de matière sèche correspond au produit de la durée de la période de production et du taux moyen d'accumulation de matière sèche durant cette période.

Phénologie

Le développement des plantes est déterminé par le génotype et par l'environnement, notamment la longueur du jour et la température. N n'a pas d'effets directs sur la phénologie de la plante. Mais une déficience en N peut causer la fermeture des stomates à des potentiels hydriques plus élevés ou une réduction de prélèvement de l'eau du fait d'une résistance racinaire plus importante et donc une diminution de la transpiration. Ceci se traduit par des températures plus élevées de la plante qui

résultent en un développement plus accéléré, en d'autres termes des durées de phases plus courtes.

Accumulation de la matière sèche

Les quantités d'azote apportées affectent très fortement la production de matière sèche. L'augmentation de la matière sèche totale (MST) est proportionnelle à la dose d'azote appliquée. Cependant, les doses supérieures à 120 kg N/ha n'ont pas amélioré la production de MS en Bour. La date d'application s'est avérée également importante, les apports en début de cycle (jusqu'au stade B) se sont traduits par de plus grandes productions de MS comparés aux apports tardifs (Figure 1). Les taux d'accumulation de la MS durant la phase linéaire (B-anthèse) ont varié de 68 à 290 kg/ha jour. Au Gharb, ce taux a été en moyenne de 150 kg/ha/j comparé à 35 kg/ha/j durant la phase A-B.

Tout au long du cycle, la MST s'est avérée fortement corrélée à l'azote absorbé (figure 2). Ces résultats montrent que les différences en matière d'absorption de l'azote se traduisent sur les processus de croissance et de développement et causent des variations en MS produite.

Les traitements avec des apports en début de cycle ont développé une surface foliaire plus importante par rapport aux traitements sans apport ou à apport tardif (Figure 3). La surface foliaire s'est avérée fortement corrélée à l'absorption de N, et aussi au rendement grain indiquant le rôle des surfaces assimilatrices dans l'absorption et la production de grain.

Assimilation de l'azote Concentration

L'absorption de l'azote dépend de la demande par la plante et de la disponibilité de N dans le sol. Au fur et à mesure que l'accumulation d'hydrates de carbone progresse, le ratio N/biomasse totale dans les différentes parties de la plante diminue, même lorsque l'N est présent en surplus. La teneur en azote de la plante entière diminue progressivement durant le cycle de la plante, en moyenne, de 45,2 g/kg au stade A à 13,0 g/kg à la maturité, durant les campagnes 1987 et 88 au Gharb.

L'effet de l'azote sur les teneurs en N a été hautement significatif, augmentant la teneur proportionnellement à la quantité d'azote apportée en début de cycle. La concentration en azote des feuilles diminue de 14,3 à l'anthesis à 7,5 g/kg à la maturité, les valeurs correspondantes dans les tiges sont 12,7 à l'anthesis et 5,5 g/kg à la maturité.

SOMMAIRE

n° 62

Fertilisation azotée

- Fertilisation azotée du blé en Bour favorable..... p. 1
- Recommandations pour la fertilisation azotée du blé en Bour..... p. 2
- Fertilisation azotée du blé en irrigué..... p. 3
- Recommandations pour la fertilisation azotée du blé en irrigué..... p. 4

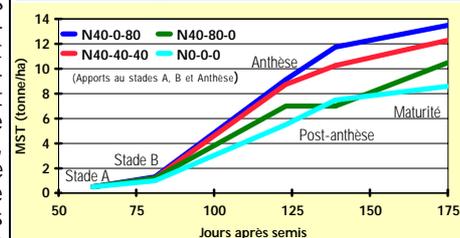


Figure 1: Evolution de la matière sèche totale (MST) du blé en fonction du régime de fertilisation azotée

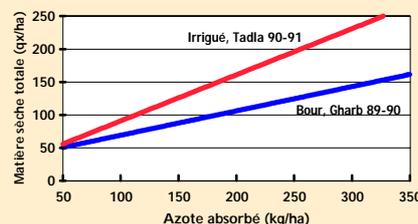


Figure 2: Relation entre la matière sèche totale (MST) du blé et l'azote absorbé, en bour et en irrigué

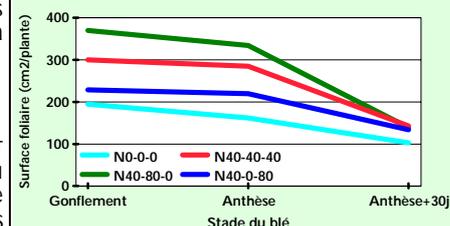


Figure 3: Evolution de la surface foliaire du blé en fonction du régime de fertilisation azotée



La concentration en azote des grains (GNG) varie grossièrement entre 14 et 35 g/kg. Cette variation est associée plus à des variations environnementales que génétiques. Au Gharb, la GNG a varié entre 16,5 pour le témoin et 24,5 g/kg pour 120 kg N/ha, montrant l'effet positif de l'azote. L'application tardive de l'azote améliore surtout la CNG. L'application de 80 kg N/ha à l'anthesis a augmenté la CNG de 25 à 36 g/kg. Les CNG observées au Maroc, en bour, sont généralement assez élevées par rapport à ce qui a été rapporté ailleurs. Les limitations qui s'exercent sur la synthèse et/ou le transport des hydrates de carbone dans le grain ne semblent pas opérer sur le transport de l'azote au grain ce qui se traduit par une faible dilution de l'azote du grain.

Absorption de l'azote

Emergence - Stade A

Durant cette phase les prélèvements de l'azote sont généralement faibles, mais largement dépendants des conditions de l'environnement. Au Gharb, durant la campagne 1986-87, la culture de blé a prélevé 12 à 15 kg N/ha durant cette phase, alors qu'à Meknès l'absorption de N durant la même période a atteint 30 kg/ha. Il ressort donc, que les besoins en N durant cette phase sont généralement faibles et peuvent être satisfaits à partir de l'azote du sol.

Stade A - Stade B

La quantité maximale prélevée durant cette phase a été de 120 kg/ha à Merchouch durant un cycle pluvieux et pour un sol initialement riche en N. Dans la même région, on a trouvé 30 kg/ha à cause d'une sécheresse en début de cycle et 90 kg/ha en année moyenne. L'absorption durant cette période est fonction des conditions du milieu et est plus élevée pour les semis précoces.

Stade B - Anthèse

Cette période correspond à la phase linéaire de prélèvement de N. Les taux journaliers de prélèvement enregistrés à Meknès varient de 1,5 à 2,7 kg N/ha/jour. A Merchouch, les taux observés sont de 1,25 ; 2,3 et 3,4. Des résultats comparables ont été rapportés en France, 2,0 à 2,5 kg N/ha/jour. En conditions arides, les taux d'accumulation de N sont plus faibles et ne dépassent pas 1 kg/ha/jour.

Anthèse-Maturité

Les quelques études qui ont suivi l'absorption de N durant cette phase montrent que celle-ci continue durant cette période. La quantité maximale absorbée a été observée au stade pâteux à Meknès. Au Gharb, l'absorption de N a continué jusqu'à 15 jours après anthèse (JAA) et même jusqu'à 30 JAA.

Distribution de N dans la plante

L'azote absorbé est réparti entre les feuilles, les tiges, les racines et les grains en proportion à leur demande respective. En Moyenne, l'azote des feuilles et tiges à l'anthesis a représenté respectivement 30 et 42 % de l'N total de la plante au Gharb. Lorsque les feuilles vieillissent, une partie de leur N peut être transférée à d'autres tissus qui présentent une demande en N non satisfaite. En 1987, La quantité de N dans les feuilles et tiges a diminué respectivement de 42,5 et 67,2 kg/ha à l'anthesis à 23,7 et 20,2 kg/ha à la maturité pour Nasma, ce qui indique une remobilisation de l'N vers les grains.



Composantes du rendement

La formation des composantes du rendement (talles, épis, épillets, fleurs et grains) est déterminée par la fourniture d'assimilats nécessaires pour la création d'organes viables. L'effet de N sur les composantes de rendement se fait donc largement à travers son effet sur l'assimilation carbonée. Cependant, le tallage est directement affecté par N et par la fourniture d'assimilats. La surface foliaire et le tallage sont importants à considérer en réponse à N du fait qu'ils résultent en une augmentation des capacités des sources et sites.

Le rendement grain peut être subdivisé en ses deux principales composantes: nombre de grains par unité de surface (NG/m²) et poids moyen d'un grain (PMG). La variation du rendement grain peut être largement associée à la variation du NG/m² à Meknès et au Gharb. Le nombre de grain par unité de surface est fonction du nombre de talles/m² qui a été augmenté par l'application de N en début de cycle.

Une dose de 40 à 50 kg N/ha semble suffisante pour la phase de tallage. Aussi NG/m² est largement dépendant de MST au stade B, les coefficients de corrélation moyens à Merchouch et au Gharb sont respectivement de 0,75 et 0,63. Les applications précoces de N ont un effet favorable sur la monté des talles en épi et sur le nombre d'épillets par épi et la fertilité de l'épi a été améliorée par l'apport au stade B.

Les applications précoces d'azote ont un effet négatif sur PMG. Peu ou pas d'application d'azote en début de cycle résulte en moins de NG/m² et donc moins de compétition entre grains. L'apport tardif de N a significativement augmenté le PMG par rapport à l'apport précoce.

Relation Rendement - Absorption

L'efficacité d'utilisation de N (EUN), exprimée en kg de grain produits par kg de N absorbé, est définie comme étant la quantité de grains produite par unité d'azote absorbé. Les recherches conduites au Maroc ont montré une grande variabilité de EUN avec les conditions environnementales. En moyenne, 16,5 kg de grain ont été produits par kg d'azote absorbé à Merchouch; 20,0 à Meknès et 30 au Gharb. EUN est plus élevée pour le témoin au Gharb indiquant que l'apport d'azote augmente plus l'absorption de N que le rendement grain. EUN est plutôt faible dans nos conditions comparée à 33 à 55 kg grain/kg N enregistrés ailleurs aux faibles taux d'absorption. A des taux de prélèvement plus élevés, la concentration de N augmente dans l'organe récolté mais l'EUN diminue (Figure 4). Enfin, un plafond est atteint où une absorption plus élevée ne se traduit pas par une augmentation du rendement parce que N n'est plus le facteur limitant la croissance. EUN est intimement liée au métabolisme du carbone et est largement affectée par les conditions de milieu.

Relation Absorption-Apport

L'absorption de N a été proportionnelle à la quantité apportée pour toute la gamme de traitements utilisés (Figure 4). Le coefficient d'utilisation apparent de l'engrais est défini comme suit:

$$CUA = (Nf - Nt) / X \times 100$$

Nf: quantité d'azote absorbée par la culture fertilisée (kg/ha)

Nt: quantité d'azote absorbée par la culture témoin non fertilisée (kg/ha)

X: dose d'azote apportée (kg/ha).

Recommandations

Fertilisation azotée du blé en Bour Favorable

Dose

Calculer la dose selon la formule suivante:

$$\text{Dose de N à apporter (kgN/ha)} = G \times (R - r) / CUA$$

G (Quantité de N requise pour produire 1 quintal de grain) = 3,5 à 4 kg de N par quintal de grain

R = Rendement objectif en q/ha

r = Rendement permis par la fertilité propre du sol (témoin sans N) en q/ha

CUA (Coefficient d'utilisation apparent de N de l'engrais) = 50%

Exemple: Pour un rendement objectif de 30 q/ha et un rendement témoin de 15 q/ha, la dose est de 120 kg de N/ha

- Ajuster la dose selon le précédent cultural et selon un éventuel apport de fumier
- Ajuster la dose si le rendement objectif est significativement différent, ajouter 7 kg de N par quintal supplémentaire

Date

Faire coïncider les apports avec les périodes de grand besoin du blé pour une meilleure efficacité de N

- 1/3 de la dose au semis, pour moins de risque de lessivage
- 2/3 de la dose au stade A (3-4 feuilles), risque de pertes par insolubilisation si l'apport est fait plus tardivement

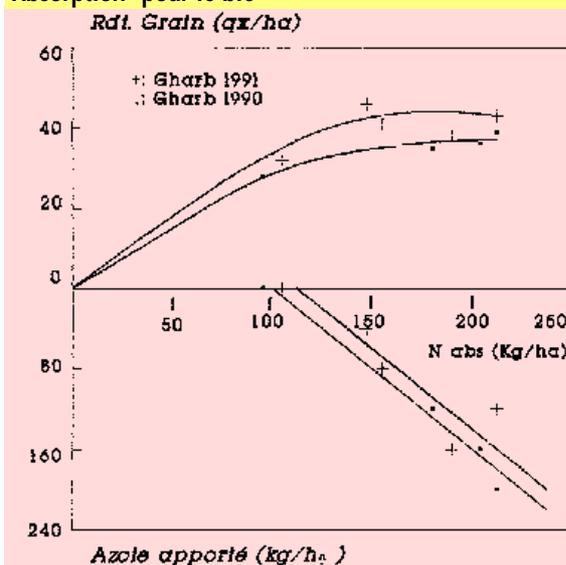
Forme

- Sulfate d'ammonium au semis
- Ammonitrate ou Urée au stade A

Cette définition suppose que l'efficacité d'absorption de l'azote par la plante soit identique aussi bien pour les parcelles fertilisées que pour celles non fertilisées.

Le CUA est assez variable en Bour. A Merchouch, des valeurs de l'ordre de 44 à 92 % ont été observées, alors que la moyenne au Gharb a été de 65 %. Ceci est conforme aux résultats trouvés ailleurs. Parmi 72 expérimentations conduites par ICARDA, 50 % des CUA étaient entre 25 et 45 % alors que 75 % étaient entre 20 et 60 % avec une moyenne de 43,8% ■.

Figure 4: Relation "Absorption-Rendement" et "Apport-Absorption" pour le blé



Fertilisation azotée des blés en irrigué

Fertilisation en culture irriguée

- La pratique de l'irrigation implique des rendements plus élevés, donc des exportations plus importantes ce qui peut conduire plus rapidement à l'apparition de carences nouvelles auxquelles il faudra veiller.
- Le teneur des eaux d'irrigation peut modifier également l'équilibre de la nutrition minérale de la plante (eau riche en Mg par exemple).
- Elle implique souvent des pertes plus importantes par lixiviation.
- Elle accroît la minéralisation de la matière organique (minéralisation moins tributaires des fluctuations saisonnières du climat).
- Elle régularise l'absorption des éléments en maintenant des conditions hydriques favorables et justifie, dans le cas de l'azote surtout, le fractionnement des apports.
- Elle permet de modifier la pratique de la fertilisation par l'emploi d'engrais liquides.

Production de matière sèche

La production de la matière sèche du blé est affectée d'une manière hautement significative par l'apport de l'azote, elle a varié entre 80 et 160 qx/ha (Figure 5). Elle augmente de façon proportionnelle à la quantité d'azote appliquée tant que les conditions ou facteurs du milieu restent favorables. En irrigué au Tadla, un apport supérieur à 160 kgN/ha n'a pas engendré des augmentations nettes de la biomasse aérienne sur les variétés Tegzey 32 et Marchouch 8. L'élaboration de la matière sèche est aussi très dépendante de la date d'apport de l'azote. Les études menées dans ce sens ont montré que les apports précoces permettent l'obtention d'un rendement élevé en matière sèche totale. C'est ainsi que, généralement, l'apport bloqué au stade A (120 à 160 Kg N/ha) a produit une quantité de matière sèche significativement supérieure à celle produite par la même dose fractionnée en deux apports (au stade A et au stade B). La matière sèche totale est étroitement corrélée aux quantités d'azote apportées jusqu'au stade B. Les coefficients de corrélation sont très hautement significatifs, aussi bien pour Nasma 149 que Tegzey 32. En irrigué au Gharb, l'apport tardif d'azote n'a pas amélioré le rendement en matière sèche totale. Aussi, la production de la matière sèche totale est très dépendante de la quantité d'azote absorbée, le métabolisme de l'azote et celui du carbone étant deux processus interdépendants. Ceci peut être confirmé par des corrélations hautement significatives entre l'azote absorbé à la maturité et la matière sèche totale (Figure 2).

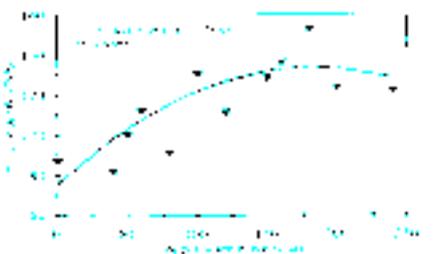


Figure 5: Effet de l'apport d'azote sur la production de matière sèche totale (MST) en irrigué

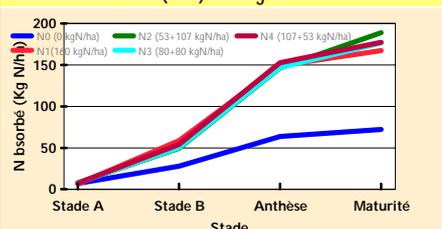


Figure 6: Courbe d'absorption de l'azote par le blé irrigué (moyenne de 4 sites)

Assimilation de l'azote

Durant la phase "levée-stade A", l'absorption de l'azote est faible et dépend des conditions de l'environnement et du niveau de fertilité du sol. A partir du début tallage, les besoins augmentent. La phase "stade B-anthèse" est une phase à grand besoin du fait de l'existence d'une certaine compétition entre la croissance reproductive (élaboration des composantes de l'épi) et la croissance végétative (production de matière sèche). Le taux d'accumulation de l'azote durant cette phase est 1,7 à 2,6 Kg N/ha/j pour Marzak et Marchouch 8. La quantité d'azote absorbée avant l'anthèse représente 70% à 80% de l'azote total assimilé (Figure 6).

Les quantités d'azote absorbées sont proportionnelles aux quantités d'azote apportées. La quantité absorbée en irrigué est en moyenne de 150 kg N/ha, elle varie pour le témoin entre 36 et 129 kg N/ha alors que pour les traitements fertilisés, elle est de 62 à 267 kg N/ha. Les quantités moyennes d'azote assimilées sont comparables pour Marzak et Marchouch, soit respectivement 153,9 et 155,5 kg/ha. Quant à l'effet fractionnement de l'azote, la supériorité de l'apport bloqué au stade A par rapport à la même dose fractionnée en deux apports au stade A et au stade B a été confirmée. Les faibles absorptions réalisées par la dose fractionnée sont dues à la réduction relative de la surface foliaire en début de cycle par rapport à la dose non fractionnée. Des conditions climatiques favorables en fin de cycle s'avèrent déterminantes pour l'assimilation tardive de l'azote par le blé; dans de tels cas, les quantités absorbées pour les fractionnements sont au moins comparables à celles de l'apport bloqué au stade A.

La production de matière sèche plus importante en irrigué fait que la dilution de l'azote des grains est plus grande. Il en résulte des teneurs en N des grains généralement plus faibles en irrigué par rapport à ce qui a été obtenu dans le Bour. Celles-ci ont varié entre 18,0 g/kg au Gharb et 20,2 à 22,0 g/kg au Tadla. En irrigué, la teneur en azote du grain varie proportionnellement aux doses d'azote apportées, les teneurs les plus faibles ont été observées pour les témoins sans azote. La teneur en azote des grains dépend aussi de la date d'apport d'azote, il y a une supériorité de la dose fractionnée (stade A et stade B) par rapport à l'apport bloqué au stade A en matière de teneur en azote des grains.

Effet de l'azote sur l'élaboration du rendement

Les rendements grain moyens en irrigué au Tadla ont varié de 38,5 à 65,8 qx/ha pour le blé tendre (Marchouch 8) et de 42,1 à 65,9 qx/ha pour le blé dur (Marzak). L'effet de l'azote est hautement significatif sur le rendement grain (Figure 7), les témoins ont réalisé les rendements grain les plus faibles. La comparaison des résultats sur plusieurs années dans les conditions de Tadla fait ressortir une variabilité inter et intra-annuelle notable. C'est ainsi que la dose (160 kg N/ha) fractionnée en deux apports (40 et 120 kg N/ha), a permis un rendement moyen de 44,6 qx/ha pour la variété Marchouch 8 en 1992; alors qu'en 1993 et 1994, les rendements moyens obtenus avec la même dose (160 kg N/ha) (53 et 107 kg N/ha) sont de 62,0 et 64,0 qx/ha, respectivement, pour Marchouch 8 et Marzak. Mais en cas de coupures

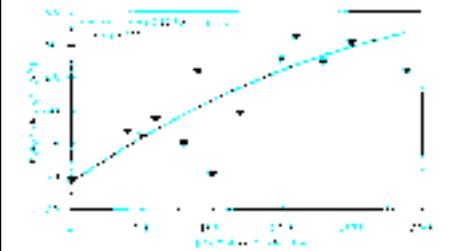


Figure 7: Effet de l'apport d'azote sur le rendement grain en irrigué

d'eau ou de semis tardif (précédent coton), les rendements moyens sont plus faibles (46,8 pour Marchouch et 44,5 pour Marzak). Les fractionnements se sont avérés supérieurs à l'apport bloqué au stade A en matière d'élaboration du rendement. Les meilleurs rendements grain ont été généralement réalisés au niveau des sites à précédent betterave, ils sont de l'ordre de 75,0 qx/ha.

Effet de l'azote sur le nombre de grains par unité de surface

Le NG par unité de surface est la composante principale la plus déterminante du rendement grain. De fortes corrélations ont été trouvées entre le NG/m² et le rendement grain, les coefficients de corrélation sont de 0,8 pour Marchouch 8 et de 0,9 pour Marzak. Cette composante est influencée par la nutrition azotée. En irrigué au Tadla, le nombre de grains par m² augmente avec l'apport de l'azote. Au Gharb, cette composante a été nettement améliorée lorsque les doses apportées au début de la montaison sont élevées. Le nombre de grains par unité de surface dépend aussi de la date d'apport de l'azote, mais aucune différence significative n'a été trouvée entre les fractionnements de l'azote appliqués aux stades A et B.

Tallage herbacé

L'effet de l'azote est hautement significatif sur la production des talles herbacées. En effet, l'apport de 120 kg N/ha au stade A a permis de produire 5,2 contre 4,3 talles par pied pour le témoin sur Tegzey 32 et l'apport de 40 kg N/ha au stade A a permis de produire 4,0 talles par pied contre 3,5 pour le témoin sur Marchouch 8. D'autre part, l'importance des apports précoces (stade A) sur la production des talles herbacées a été mise en évidence; les traitements ayant reçu 160 et 107 Kg N/ha au stade A se sont montrés supérieurs en nombre de talles herbacées à ceux ayant reçu seulement 53 kg N/ha au stade A.

Tallage épi

Le tallage épi peut être apprécié par le coefficient de tallage épi (CTE) (nombre d'épis par pied). Les travaux menés sur la fertilisation azotée montrent que l'apport de l'azote améliore considérablement le CTE, comparativement au témoin non fertilisé. L'application de tout l'azote (120 Kg N/ha) au stade A se traduit par un CTE d'environ 2,6 et un NE/m² significativement plus élevé que ceux des traitements ayant reçu 40 et 0 kg N/ha au stade A. Cependant, des fractionnements avec moins d'azote au stade A peuvent résulter en un tallage herbacé plus faible et donc un taux de survie des talles plus élevé. L'apport de quantités élevées d'azote au stade A a entraîné une production très importante de talles herbacées. Il en résulte des phénomènes de compétition au sein de la population herbacée vis à vis de la lumière, l'eau et les éléments minéraux, et par conséquent des faibles CTE. Par ailleurs, les CTE en 1993 sont dans l'ensemble assez faibles par rapport à ceux obtenus en 1992 à cause principalement des forts peuplements réalisés au niveau des essais conduits dans le Tadla en irrigué lors de la campagne 1992-93.

Nombre de grains par épi (NG/E)

Celui-ci est déterminé par le nombre d'épillet potentiels par épi et la fertilité de l'épi. Pour les variétés Marchouch 8 et Marzak, les niveaux les plus élevés du nombre d'épillet potentiels ont été obtenus avec des traitements ayant reçu des apports élevés d'azote au stade A. Ceci peut être expliqué par le fait que le nombre d'épillet



potentiels par épi se détermine au cours de la phase A-B durant laquelle les besoins en azote de la plante sont élevés. Une meilleure disponibilité de l'azote au début de la montaison entraîne une amélioration de la fertilité de l'épi.

Effet de l'azote sur le PMG

Le poids moyen d'un grain se détermine durant la phase de remplissage des grains, après anthesis. L'activité photosynthétique pendant cette période constitue la source principale d'assimilats pour la croissance du grain. Celle-ci dépend beaucoup des conditions du milieu, notamment, les conditions hydriques et la nutrition azotée. En fait, les doses élevées apportées en début de cycle se traduisent par l'élaboration de plus de matière sèche au début du cycle et un faible PMG. Une supériorité significative du témoin non fertilisé (49,2 g pour Marchouch et 59,3 g pour Marzak) par rapport à la dose de 160 Kg N/ha fractionnée différemment entre les stades A et B (soit respectivement en moyenne 43,8 et 54,4 g pour Marchouch et Marzak) a été observée. Ceci peut être expliqué par une certaine compensation du faible nombre de sites (NG/m²) élaborés en début de cycle par un poids de grains plus élevé dans le cas du témoin et par une compétition entre les sites dans le cas des traitements fertilisés. Un apport précoce de l'azote entraîne un grand nombre de grains par unité de surface et donc une forte compétition pour les assimilats entre les grains. Le fractionnement s'est avéré supérieur à l'apport bloqué, mais entre fractionnements azotés (160 Kg N/ha fractionné entre les stades A et B), aucune différence significative n'a été enregistrée.

Efficiency d'utilisation de l'azote (EUN)

En irrigué dans la région de Tadla, l'EUN moyenne a oscillé autour de 35,0 pour Marchouch et 37,5 kg de grains par kg d'azote absorbé pour Marzak (Tableau 1). Cette efficacité se situe dans les normes rapportées dans la littérature, soit 33,0 kg de grains/kg d'azote absorbé.

Plusieurs études ont montré l'effet de l'azote sur ce paramètre, les meilleures efficacités d'utilisation de l'azote correspondent au témoin non fertilisé. Les fortes doses augmentent plus les quantités d'azote absorbé que les rendements grains.

Coefficient d'utilisation apparent de l'azote (CUA)

Dans les conditions du champ, divers facteurs compromettent l'utilisation des engrais, notamment, les facteurs environnementaux et les techniques culturales. En irrigué au Tadla, le coefficient

Tableau 1: Efficacité d'utilisation de l'azote absorbé (EUN) en kg de grains par kg d'azote absorbé

Apport d'azote (kgN/ha)	Précédent					
	Betterave		Coton			
	Marzak	Marchouch 8	Marzak	Marchouch 8		
0	50,2	51,6	45,7	45,4	41,0	42,4
160	35,3	40,5	35,9	47,7	29,5	32,5
53 + 107	31,2	47,5	35,5	43,2	28,3	28,6
80 + 80	43,3	43,6	35,0	47,6	30,5	32,8
107 + 53	36,5	41,3	34,2	44,3	29,5	30,0
Moyenne	37,5	44,9	37,3	45,7	31,8	33,0

Le fractionnement de l'engrais s'est fait en deux apports, l'un au stade A, l'autre au stade B

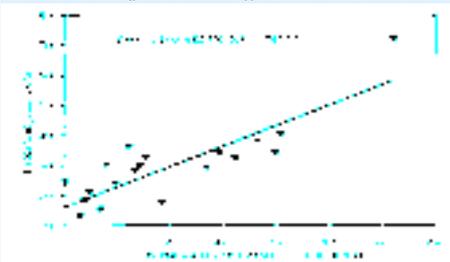


Figure 8: Relation entre la teneur en nitrate dans les 0-60 cm avant le semis et le rendement grain du blé du témoin (sans apport d'azote)

d'utilisation apparent de l'engrais reste faible. Cette faible utilisation par la plante des engrais azotés s'explique soit par la richesse initiale du sol en azote (précédents betterave et maraichage), soit par l'infestation par les mauvaises herbes (autres précédents). Durant la campagne 1993-94, cependant, le CUA a été plus élevé (63% en moyenne), probablement du fait des conditions climatiques favorables (Tableau 2).

Tableau 2: Coefficients d'utilisation apparent des engrais (CUA) en %

Apport d'azote (kgN/ha)	Précédent					
	Betterave		Coton			
	Marzak	Marchouch 8	Marzak	Marchouch 8		
0	93-94	92-93	93-94	92-93	93-94	92-93
160	56,6	56,3	58,3	49,9	47,6	38,4
53 + 107	75,9	37,2	64,2	50,0	60,2	48,2
80 + 80	62,2	38,6	66,9	53,2	51,4	33,6
107 + 53	61,4	58,1	70,4	53,7	50,4	41,1
Moyenne	64,0	47,6	65,0	51,7	52,4	40,3

Le fractionnement de l'engrais s'est fait en deux apports, l'un au stade A, l'autre au stade B

Normes d'interprétation de la fertilité azotée des sols

La prédiction des besoins en azote est un élément clef quant au raisonnement de la fertilisation azotée. Des méthodes plus simples à manipuler autre que la méthode du bilan prévisionnel ont été développées. Il s'agit essentiellement d'établir des corrélations et des régressions entre les niveaux de fertilité naturelle des sols et la réponse des cultures aux apports d'engrais minéraux. L'objectif primordial reste la détermination d'une formule de fertilisation optimale, et par conséquent, la réduction du coût des engrais azotés, tout en assurant un meilleur rendement.

Le niveau de fertilité azotée du sol peut être exprimé par l'azote minéral, nitrique ou ammoniacal initial du sol ainsi que par l'indice d'incubation anaérobie. Des relations édifiantes, hautement significatives ont été trouvées entre le rendement grain du témoin, sans apport de N, et les teneurs du sol en nitrates (Figure 8) et en N minéral (Figure 9).

Détermination des doses optimales de N

Le prix croissant des engrais conduit de plus en plus à alourdir les charges que l'agriculteur est amené à supporter pour obtenir un rendement satisfaisant. D'où la nécessité d'une bonne gestion qui consiste à améliorer les rendements et à maximiser le profit. Il est donc crucial de déterminer une dose économiquement optimale, qui donnera le profit maximum pour l'agriculteur, autrement dit, l'augmentation maximale du gain de l'agriculteur provenant de la dose d'azote appliquée.

Selon le modèle quadratique liant le profit (Y) à la dose d'azote (N):

$$Y = b_1 N + b_2 N^2 \quad (1)$$

(b_1 et b_2 des coefficients de régression, variables selon les sites), la dose optimale est définie comme étant:

$$N \text{ optimale} = -b_1 / 2b_2 \quad (2)$$

Cette dose optimale dépend de plusieurs paramètres à savoir: l'efficacité de l'engrais, les techniques

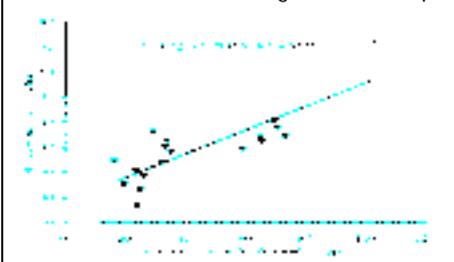


Figure 9: Relation entre la teneur en azote minéral dans les 0-60 cm avant le semis et le rendement grain du blé du témoin (sans apport d'azote)

Recommandations Fertilisation azotée du blé en irrigué

Dose

Calculer la dose selon la formule suivante:

$$\text{Dose de N à apporter (kgN/ha)} = G \times (R - r) / \text{CUA}$$

G (Quantité de N requise pour produire 1 quintal de grain) = 3 kg de N par quintal de grain

R = Rendement objectif en qz/ha

r = Rendement permis par la fertilité propre du sol (témoin sans N) en qz/ha

CUA (Coefficient d'utilisation apparent de N de l'engrais) = 60%

Pour un rendement objectif de 55 qz/ha et un rendement témoin de 25 qz/ha, la dose est de 150 kg de N/ha

● Ajuster la dose selon le précédent cultural et selon un éventuel apport de fumier

● Ajuster la dose si le rendement objectif est significativement différent, ajouter 5 kg de N par quintal supplémentaire

Date

Faire coïncider les apports avec les périodes de grand besoin du blé, pour une meilleure efficacité de N

● Pas d'apport au semis: besoins faibles de la levée au stade A et plus la période entre l'apport et les prélèvements par la plante est longue, plus les risques de perte sont importants

● Apporter la 1/2 de la dose au stade A (3-4 feuilles)

● Apporter la 1/2 de la dose au stade B (début montaison)

Forme

● Ammonitrate ou Urée

culturelles, le coût de l'unité d'azote et enfin le prix du produit récolté. Les doses optimales ainsi calculées varient de 120 à 180 kg N/ha, selon le site.

En conclusion de cette partie sur la fertilisation azotée en irrigué nous pouvons retenir les points suivants:

● Compte tenu des quantités d'azote absorbées par les nouvelles variétés productives, du coefficient d'utilisation apparent faible des engrais azotés, de l'azote fourni par le sol et des risques d'entraînement des nitrates en profondeur; 160 kg N/ha constitue la dose de moindre risque en irrigué, permettant les meilleurs rendements.

● Les apports fractionnés se sont avérés supérieurs à l'apport bloqué au stade A en matière d'élaboration du rendement.

● L'histoire culturale et la richesse initiale du sol en N sont déterminantes quant à la réponse du blé à l'apport d'azote. D'où la nécessité de nuancer les apports selon ces paramètres.

● L'azote nitrique en début de cycle (après les 1^{ères} pluies) et l'azote minéral initial constituent de bons indices de fertilité des sols ■.

Par Dr. F. Mosseddaq et Dr. L. Moughli
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

