

## Fertilisation azotée du blé dur (*Triticum durum* Desf L.) en irrigué dans les Doukkala (Maroc)

Ahmed BOUAZIZ<sup>1</sup> & Brahim SOUDI<sup>2</sup>

(Reçu le 10/04/1997 ; Révisé le 04/11/1997 ; Accepté le 19/12/1997)

### التسميد الأزوتي للقمح الصلب المسقي بديكالة (المغرب)

تهدف هذه الدراسة إلى إرساء قواعد التسميد الأزوتي لزراعة القمح الصلب المسقي بمنطقة ديكالة. استعملنا صنف "مرزاق" في جميع التجارب. خلال موسم 1992-93، أجريت التجارب على ثمان بقع وكانت كميات المواد الأزوتية كما يلي : 180, 120, 60, 0 كغ في الهكتار. أما في موسم 1993-94 فقد تم استعمال كثافتين للزرع و كميات متفاوتة من الأزوت حسب خصوبة البقعة. ترمز النتائج المحصل عليها سنة 1992-93 إلى أن الإجابة لكميات الأزوت تختلف حسب البقع. أما بالنسبة لسنة 1993-94، فلا تختلف أجوبة المردود كثيرا من بقعة إلى أخرى. ويزداد المردود بازدياد كثافة الزرع. من خلال هذه التجارب تم وضع معادلة لتوقع و حساب كمية الأزوت التي يجب جلبها وتأخذ بعين الاعتبار أولا الفرق بين المردود المرغوب فيه و مردود الشاهد الغير المسمد ثانيا كمية الأزوت لإنتاج قنطار واحد ثالثا نسبة الأسمدة المستعملة. استنبطنا بعد ذلك علاقات بين مردود الشاهد الغير المسمد و خصوصيات التربة مثل نسبة الأزوت المعدني و المادة العضوية و نسبة الأزوت المحصل عليه دون تهوية وفي 40 درجة مئوية. و تنخفض نسبة الأسمدة المستعملة بارتفاع كميات التسميد الأزوتي أما كمية الأزوت لإنتاج قنطار واحد فهي مستقرة بمعدل 3,5 كغ للقنطار.

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب المسقي - الأزوت - التسميد - ديكالة - المغرب

### Fertilisation azotée du blé dur (*Triticum durum* Desf L.) en irrigué dans les Doukkala (Maroc)

Cette étude multi-site a pour objet de déterminer les équations nécessaires au raisonnement de la fertilisation azotée du blé dur en irrigué dans les Doukkala. La variété "Marzak" a été utilisée. En 1992-93, huit essais dose d'azote ont été conduits (0, 60, 120, 180 kgN/ha). En 1993-94, trois essais combinant les densités de semis et les niveaux d'azote ont été réalisés. Les résultats ont montré que les réponses aux apports d'azote dépendaient de la fertilité initiale du sol. En 1993-94, l'augmentation de la densité de semis aboutit à une amélioration du rendement grain. Une équation de calcul de la dose d'azote à apporter qui tient compte de la différence entre le rendement visé et celui du témoin sans azote, l'efficacité de l'azote absorbé (ENA) et le taux de recouvrement apparent de l'engrais (TR) a été établie. Le rendement du témoin sans azote a été hautement corrélé à la teneur en azote nitrique initiale, au taux de matière organique et à la teneur en azote obtenue en conditions d'anaérobiose à 40°C. Le TR diminue avec l'augmentation de la quantité d'azote apportée, l'ENA est constant avec une moyenne de 3.5 kgN/100 kg de grain.

**Mots clés :** Blé dur (*Triticum durum* L.) - Azote - Fertilisation - Irrigué - Doukkala

### Nitrogen supply for irrigated Durum Wheat (*Triticum durum* Desf L.) in Doukkala (Morocco)

This multilocation study was conducted in Doukkala to determine the relationships to be used in the prediction of fertilizer nitrogen supply on irrigated Durum Wheat. The hard spring wheat "Marzak" was used in the different experiments. On 1992-93, eight trials were conducted to determine the effect of nitrogen levels (0, 60, 120, 180 kg/ha). In 1993-94, three experiments combining plant densities and nitrogen levels were realised. The results showed that responses to nitrogen application were site specific. In 1993-94, the plant density had a positive effect on grain yields. A relationship which takes into account the difference between the objective grain yield and the yield of the control without nitrogen, the absorbed nitrogen efficiency (ANE) and the nitrogen recovery rate (NRR) was established in order to calculate the amount of nitrogen to be supplied. The grain yield of the control without nitrogen was highly correlated to  $\text{NO}_3\text{-N}$ , organic matter rate and nitrogen obtained in anaerobic conditions at 40°C. The NRR decreased with the increase of nitrogen rate and the ANE was a constant (3.5 kgN/100 kg of grain).

**Key words :** Durum wheat (*Triticum durum* L.) - Nitrogen - Fertilizer - Irrigated - Doukkala

<sup>1</sup> Département d'Agronomie et d'Amélioration des Plantes, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202 Instituts, 10101 Rabat, Maroc

<sup>2</sup> Département des Sciences du Sol, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202 Rabat-Instituts, Rabat, Maroc

□ Auteur correspondant

## INTRODUCTION

Les apports de fertilisants azotés sont des facteurs clés de l'évolution de l'agriculture moderne. Le raisonnement de la dose d'azote à apporter vise la satisfaction des besoins des cultures permet d'éviter la pollution des nappes phréatiques. Certes, il est difficile de déterminer les besoins de la plante en cet élément ; mais pour raisonner les apports, l'analyse du sol est la méthode la plus utilisée dans différents pays (Rémy & Hebert, 1977; Harmsen, 1986 ; Meynard & Geneviève, 1992; Mohamed *et al.*, 1990). À ce propos, la libération de l'azote à partir de la matière organique pourrait être évaluée par des méthodes biologiques ou chimiques basées sur l'incubation ou l'hydrolyse des échantillons du sol (Keeney, 1982). La mesure de l'azote nitrique initial est utilisée pour la prédiction des doses optimales d'azote dans les régions arides (Keeney, 1982 ; Archer, 1988; Badraoui *et al.*, 1993). Au Maroc, Mosseddaq (1990) a montré que les meilleurs rendements du blé sont obtenus avec un fractionnement de l'apport azoté: le 1/3 au stade début tallage et les 2/3 en début montaison. Le choix du blé dur découle du regain d'intérêt que connaît cette espèce à l'échelle nationale, en général, et auprès des agriculteurs du périmètre des Doukkala en particulier. En effet, les progrès génétiques réalisés sur le blé dur, les prix pratiqués, incitent les agriculteurs à en cultiver davantage chaque année au détriment du blé tendre.

Dans le périmètre irrigué des Doukkala, le diagnostic agronomique réalisé par Bouaziz & Maddahi (1992) en vue de définir une conduite optimale du blé dans la région a révélé que les agriculteurs ne tiennent compte ni du précédent cultural ni de la nature du sol ni de sa fertilité dans le raisonnement de la fertilisation azotée du blé. Les agriculteurs et les conseillers agricoles de cette région ne disposent pas de références adaptées à leur situation en matière de conduite de la fertilisation minérale, en général, et azotée en particulier.

Le but de cette étude est, d'une part, d'établir des références régionales en matière de raisonnement de la fertilisation azotée du blé et, d'autre part, d'élaborer une méthode de détermination de la dose d'azote à apporter pour atteindre un objectif de rendement prédéterminé à partir d'expérimentations conduites pendant deux années sur des parcelles d'agriculteurs.

## MATÉRIEL & MÉTHODES

### 1. Dispositif expérimental

Un dispositif en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions a été utilisé dans le cas de la première année d'expérimentation alors que pour la seconde année, un split-plot à trois répétitions a été adopté, avec les densités de semis en grandes parcelles (200 et 400 graines/m<sup>2</sup>) et les doses d'azote en petites parcelles.

### 2. Sites de l'étude

Le choix des sites s'est basé sur le mode d'irrigation: gravitaire pour le casier de Sidi Bennour et par aspersion pour les Zemamra. À l'intérieur de chaque casier, on a sélectionné les sols les plus représentés en terme de superficie dans la zone. La teneur initiale en azote minéral a été également prise en considération dans le choix définitif des parcelles de façon à retenir des situations contrastées. Huit sites ont été ainsi choisis pendant la première année d'expérimentation et seulement trois pendant la seconde année (Tableau 1). Les propriétés physico-chimiques des sols retenus ont été résumées dans le tableau 2.

Le choix de la betterave à sucre, ou du maraîchage en dérobé après betterave, comme précédents culturaux découle de leurs fréquences dans ce périmètre irrigué : 41 et 32% respectivement (Bouaziz & Maddahi, 1992).

La caractérisation physico-chimique des sites choisis montre que d'après la granulométrie, on

**Tableau 1 . Caractérisation des sites retenus**

Année	Site	Casier	Précédent *	Type de sol
1992-93	I	K. Zemamra	BAS/PDT	Tirs
	II		BAS	Tirs
	III		BAS	Rmel
	IV		BAS/Navet	Rmel
	V	S. Bennour	BAS	Faïd
	VI		BAS/Maïs	Faïd
	VII		BAS	Hamri
	VIII		BAS/Soja	Hamri
1993-94	IX	S. Bennour	BAS	Faïd
	X		BAS	Hamri
	XI	K. Zemamra	BAS	Tirs

\* BAS: betterave à sucre comme culture principale à cycle centré sur l'hiver et PDT : pomme de terre comme culture d'été en dérobé la même année

**Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques des sites choisis**

Site	Horizon	Texture	MO%	N.tot%	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	Nom local
I	1	A	2.3	1.22	38.2	23.9	37.9	Tirs
	2		1.5	0.96	41.9	20.0	38.1	
	3		1.3	0.81	43.2	18.7	38.1	
II	1	A	1.3	0.81	40.7	17.4	41.9	Tirs
	2		1.2	0.55	45.9	16.1	37.9	
	3		1.3	0.49	46.3	16.0	37.7	
III	1	S	0.4	0.36	3.8	1.9	94.4	Rmel
	2		0.3	0.62	6.9	1.8	91.3	
	3		0.3	0.37	4.5	2.4	93.1	
IV	1	AS	1.6	0.70	26.8	12.4	60.8	Rmel
	2		1.6	0.43	35.6	12.2	52.1	
	3		1.4	0.43	39.4	11.5	49.2	
V	1	LS	1.7	0.65	12.5	10.1	77.4	Faid
	2		1.3	0.63	15.3	11.9	72.7	
	3		0.9	0.52	14.8	12.7	72.5	
VI	1	LS	1.3	0.84	15.4	13.3	71.3	Faid
	2		1.3	0.46	17.8	13.2	81.9	
	3		0.8	0.52	20.2	9.4	70.5	
VII	1	LS	1.7	0.49	10.5	3.4	86.1	Hamri
	2		1.4	0.52	13.3	4.8	81.9	
	3		0.9	0.43	16.4	7.8	75.8	
VIII	1	LS	1.3	0.52	9.4	4.7	85.8	Hamri
	2		0.9	0.50	18.4	5.8	75.8	
	3		0.8	0.49	28.1	7.5	64.4	
IX	1	AS	1.6	0.11	42.6	9.5	47.9	Faid
	2		0.6	0.09	43.4	9.8	46.8	
	3		0.5	0.09	45.9	7.7	46.4	
X	1	LS	0.9	0.10	9.5	4.7	85.8	Hamri
	2		0.9	0.10	18.4	5.8	75.8	
	3		0.9	0.11	28.1	7.5	64.4	
XI	1	A	1.2	0.13	40.7	17.4	41.9	Tirs
	2		1.3	0.12	45.9	16.1	38.0	
	3		0.8	0.15	46.3	16.0	37.7	

Les sites XIII et X sont deux parcelles voisines chez le même agriculteur

1 : couche 0 - 20 cm ; 2 : couche 20 - 40 cm ; 3 : couche 40- 60 cm

peut distinguer quatre classes texturales selon le triangle américain de l'U.S.D.A. : argileuse, argilo-sableuse, sableuse et limono-sableuse (Tableau 2). Les sols "Hamri" (fersialitiques) montrent, avec la profondeur, un enrichissement en argile au dépens du sable. La teneur en limon, généralement faible, reste constante pour les trois horizons. Les sols "Tirs" (Vertisols) sont caractérisés par une texture fine, les "Faid" (Peu évolués modaux) par une texture équilibrée et les "Hamri" par une texture grossière en surface et équilibrée en profondeur. Les sols "Rmel" (Peu évolués éolisés) ont une texture très grossière et sablonneuse.

Pour la matière organique (méthode de Walkley-Black *et al.*, 1982), et selon les normes marocaines du Ministère de l'Agriculture (Direction de l'Équipement Rural), les sols des parcelles choisies sont comme la majorité des sols cultivés en irrigué

moyennement pauvres à très pauvres. En effet, la teneur en matière organique varie pour l'horizon superficiel (0-20 cm) de 0.39 à 2.31%. Cette pauvreté des sols serait due, d'une part, aux conditions climatiques favorables à la minéralisation de la matière organique (irrigation et températures clémentes) et, d'autre part, à l'exportation des résidus de récoltes hors des parcelles (Badraoui *et al.*, 1993).

### 3. Traitements

La fertilisation azotée a été raisonnée comme suit:  
 - Pour la première année d'expérimentation (1992-93), les traitements ont comporté un témoin non fertilisé pour évaluer les fournitures en azote du sol, et trois autres doses qui sont de 60, 120 et 180 kg d'azote/ha sous forme d'ammonitrate 33.5 % N.  
 - Pour la seconde année (1993-94), et en se basant

sur le travail réalisé l'année précédente, on a défini une dose "optimale" qu'on a encadrée de 40 unités et un témoin non fertilisé (Tableau 3). La diversité des doses appliquées reflète une première tentative d'adaptation des doses apportées à la richesse initiale du sol en azote minéral et en matière organique. Les rendements objectifs étaient de 40 et 80 q/ha et correspondent ici respectivement aux semis clair et dru. Notons que certaines doses d'azote se confondent avec le témoin au niveau des deux sites présumés les plus riches (IX et XI, Tableau 3).

Pour le fractionnement des doses retenues, on a opté pour la modalité 1/3 de la dose au début tallage et les 2/3 restant en début montaison (Mosseddaq, 1990) et ce pour les deux campagnes agricoles. En effet, mis à part les cas extrêmes (sol sableux très pauvre en matière organique), il n'est pas nécessaire d'apporter l'azote avant le stade 4 feuilles du blé, étant donné les besoins faibles de la

culture en cet élément pendant la phase "levée - 4 feuilles". Ceux-ci peuvent être satisfaits uniquement à partir de l'azote fourni par le sol suite au phénomène de surminéralisation (flush effect) qui surgit après les premières humectations par les pluies ou l'irrigation (Soudi, 1988 ; Soudiet al., 1990). En outre, le tallage est une phase de faible besoin en azote, alors que la montaison est une période de croissance active et donc de grand besoin en azote (Mossaddaq, 1990). Par ailleurs, un épandage de 120 unités/ha de phosphore sous forme de supertriple et de 90 unités/ha de potassium sous forme de sulfate de potassium a également été effectué sur les différents sites.

#### 4. Matériel végétal

La variété "Marzak" a été retenue en tant que matériel végétal en raison de sa productivité, son adaptabilité aux conditions climatiques de la région. Les essais variétaux préliminaires réalisés dans la station des Zemamra ont montré que cette variété est classée parmi les meilleures avec "Karim". Elle est également appréciée par les agriculteurs.

#### 5. Contrôles et observations

Pour le milieu, les contrôles ont concerné surtout les indices de disponibilité de l'azote : un échantillon composite par site a été prélevé avant l'arrivée des premières pluies en septembre sur l'horizon superficiel pour la détermination de la richesse initiale du sol en azote minéral à travers trois indices:

- l'azote minéral initial: dosé par la méthode de distillation classique (Bremner, 1965);
- l'indice d'incubation anaérobie: qui correspond à la production d'ammonium sous des conditions d'engorgement à 40°C pendant sept jours (Keeney, 1982). Il renseigne sur le potentiel de minéralisation du sol, autrement dit c'est une estimation de sa fourniture probable d'azote au cours du cycle de la culture ;
- l'azote extrait par une solution de permanganate acide (Stanford & Smith, 1978) modifiée par Hussain & Malik (1985) ; c'est une méthode chimique utilisant le permanganate acide comme agent d'oxydation partielle de la matière organique.

Pour la végétation, les observations ont concernés:

- la matière sèche aérienne du blé et des mauvaises herbes: des placettes de trois lignes contiguës de 0.5 m linéaire ont été récoltées à chaque stade de

**Tableau 3. Doses et modalités d'apport de l'azote (1993-1994)**

Site	Densité de semis	Traitement azoté	Dose d'azote	Fractionnement	
				4 feuilles	Montaison
				..... Kg/ha .....	
Faïd	Semis	Optimale	136	45	91
Site IX	dru	Optimale+ 40U	176	59	117
		Optimale- 40U	96	32	64
		Témoin	0	0	0
		Semis	Optimale	0	0
	clair	Optimale+ 40U	40	13	27
		Optimale- 40U	0	0	0
		Témoin	0	0	0
		Hamri	dru	Optimale	204
Optimale+ 40U	244			81	163
Optimale- 40U	164			55	109
Témoin	0			0	0
Semi	Optimale		68	23	45
	Optimale+ 40U		108	36	72
	Optimale- 40U		28	9	19
	Témoin		0	0	0
Tirs	dru	Optimale	170	57	113
		Optimale+ 40U	210	70	140
		Optimale- 40U	130	43	87
		Témoin	0	0	0
	Semis	Optimale	34	11	23
		Optimale+ 40U	74	25	49
		Optimale- 40U	0	0	0
		Témoin	0	0	0

U = kg d'Azote

développement (4 feuilles, début montaison, anthère et maturité). Les échantillons prélevés ont été séchés à 70°C pendant 48 h et leur poids sec a été déterminé. Les valeurs obtenues ont été rapportées à l'hectare et exprimées en quintaux (q/ha) ;

- la teneur en azote de la matière sèche aérienne du blé et des mauvaises herbes: l'azote total a été déterminé par la méthode Kjeldahl (Bremner et Mulvaney, 1982) sur les broyats des échantillons ayant servi à l'estimation de la matière sèche aux stades A, B, anthèse et maturité ;
- le rendement-grain a été estimé sur une parcelle de 2 m<sup>2</sup> de surface ;
- l'azote minéralisé au cours du cycle a été calculé par la méthode des bilans, en considérant l'azote minéral du sol au semis et à la récolte, l'azote absorbé par les plantes, les apports par fertilisation et en négligeant les pertes par lessivage et par volatilisation.

Les analyses de variance des différents résultats obtenus ont été effectuées par le biais du logiciel statistique SAS (1988). Le test de Newman et Keuls a été retenu pour la comparaison multiple des moyennes. Un seuil de probabilité de 5% a été choisi pour accepter ou refuser l'hypothèse d'égalité des moyennes.

## RÉSULTATS & DISCUSSION

### Données climatiques

Les essais ont été menés au cours de deux années climatiques contrastées:

- la campagne 1992-93, s'est déroulée en conditions très sèches (Tableau 4). Les pluies ont été tardives et peu importantes, on a reçu environ 150 et 200 mm pendant tout le cycle de la culture (Novembre à mai) dont 19.2 et 24.7 mm avant le semis respectivement à Sidi Bennour et Khemis Zemamra).

- En 1993-94, par contre, le régime pluviométrique était particulièrement favorable que ce soit du point de vue quantité ou répartition des précipitations au cours de l'année. Les quantités enregistrées étaient de 316.3 et 351.1 mm respectivement à Sidi Bennour et Khemis Zemamra dont 137 et 219 mm avant le semis.

Pour s'affranchir de la contrainte hydrique et pallier au déficit pluviométrique, quatre irrigations d'environ 90 mm ont été appliquées la première année à différents moments du cycle de la culture (Décembre, janvier, mars et avril). Pour la deuxième année, seuls trois arrosages ont été nécessaires (Mars, avril et mai).

Les températures ont été plus élevées pendant la première campagne d'expérimentation par rapport à la seconde (Tableau 4). Les amplitudes thermiques étaient beaucoup plus accentuées à S. Bennour qu'à K. Zemamra, marquant un gradient de continentalité décroissant. Néanmoins, sur aucun des sites, le zéro de croissance n'a été atteint. Ce qui permet de conclure que pour un cycle normal (semis de novembre et récolte en fin mai), globalement, les conditions thermiques ont été favorables à la réalisation de rendements suffisamment élevés.

Tableau 4. Températures et pluviométries des deux années d'expérimentation

Mois		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	Total
Station des Zemamra													
Tmax.	1	-	24.5	23.6	19.7	18.6	19.2	21.0	23.1	22.5	28.6	-	
(°C)	2	23.8	22.7	18.3	18.2	16.7	18.6	21.1	23.2	24.7	30.0	29.5	
Tmin.	1	-	14.2	8.9	8.3	4.3	7.5	10.4	8.9	9.8	16.5	-	
(°C)	2	15.4	13.8	10.7	7.2	5.7	7.3	8.8	9.3	10.0	17.3	18.0	
Pluie	1	-	18.7	6.0	4.0	22.3	42.3	67.5	22.7	16.3	0	-	199.8
(mm)	2	2.5	55.8	99.5	6.4	61.9	62.7	44.2	2.5	15.6	0	0	351.1
Station de S. Bennour													
Tmax.	1	35.8	27.4	27.3	22.7	20.9	24.8	26.4	27.9	27.1	26.8	-	
(°C)	2	29.7	28.0	20.0	17.9	17.1	19.0	22.1	26.3	29.0	27.4	40.4	
Tmin.	1	14.1	10.4	7.8	5.0	2.2	5.3	6.6	6.3	10.0	14.8	-	
(°C)	2	12.3	10.4	8.7	7.1	6.3	8.0	8.5	10.6	13.4	14.6	22.2	
Pluie	1	1.8	14.7	4.5	3.0	16.4	31.1	49.7	16.7	12.0	0	0	149.9
(mm)	2	1.8	46.7	125.5	12.8	45.4	55.7	12.6	0.4	15.4	0	0	316.3

## Réponse du blé à la fertilisation azotée

Pour comprendre l'effet de la fertilisation azotée, il est nécessaire en plus de la présentation des courbes de réponse à l'azote d'analyser les relations "rendement - azote absorbé" et "azote apporté - azote absorbé". La réponse à la fertilisation azotée dépend beaucoup du site (Figures 1 & 2). En 1992-93, trois types de réponse ont été observés: (i) Pas de réponse, sur le site 1, argileux et riche en matière organique et en azote minéral initial ; (ii) Réponse linéaire, sur le site 3, sablonneux et pauvre en matière organique et (iii) Réponse positive et intermédiaire pour les autres sites.

En 1993-94, les réponses ne sont pas aussi contrastées qu'en 1992-93. Les témoins sans apport d'azote aboutissent à des rendements compris entre 40 et 50 quintaux/ha. Les autres traitements répondent positivement à l'azote avec de légères différences entre sites : Faïd, Hamri et Tirs (Figure 2).

La relation azote apporté - azote absorbé peut être approchée par le taux de recouvrement (T.R. en %) apparent de l'engrais qui s'exprime comme suit :

$$TR (\%) = \frac{((Nabs (TF) - Nabs (t \text{ moins})))}{Dose \text{ d'azote apportée}} \times 100$$

où :

Nabs (TF) est l'Azote absorbé par le traitement fertilisé

Nabs (témoin) est l'azote absorbé par le témoin

Ce taux diminue avec l'apport de l'azote (Figure 3 et Tableau 5). Une corrélation très hautement significative a été établie entre ces deux variables, ce qui permet une estimation plus précise de ce coefficient à travers la formule suivante :

$$TR (\%) = \frac{46.6 + 1978}{Dose \text{ d'azote apportée}}$$

$$r^2 = 0.40 *** \text{ (Relation 1)}$$

Ce taux a connu une variabilité plus importante pendant la deuxième année d'expérimentation (1993-94) comparativement à la première (1992-93). Les coefficients de variation ont été respectivement de 17 et 45%. Ce constat pourrait être expliqué par la disparité des doses d'azote apportées plus faible au niveau de la première année d'étude. Pour les deux années d'expérimentation, le taux de recouvrement moyen sur les différents traitements est de 68.4 %. Les valeurs enregistrées à l'échelle nationale, paraissent très variables. Ainsi à Merchouch, sur

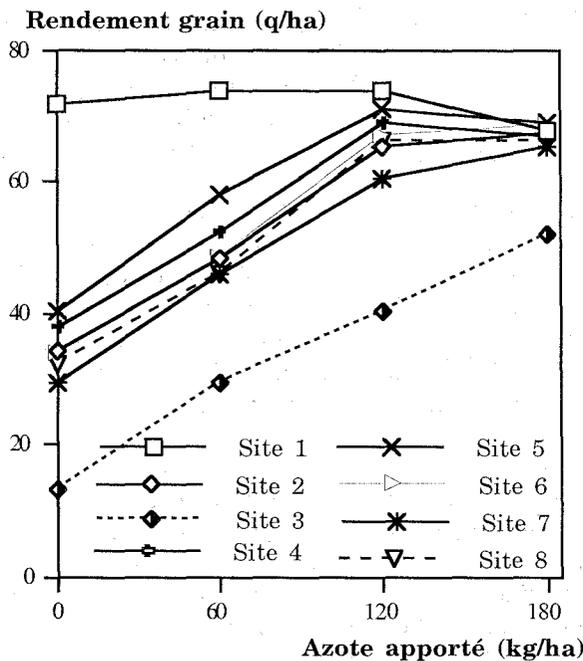


Figure 1. Réponse du blé à la fertilisation azotée sur les huit sites

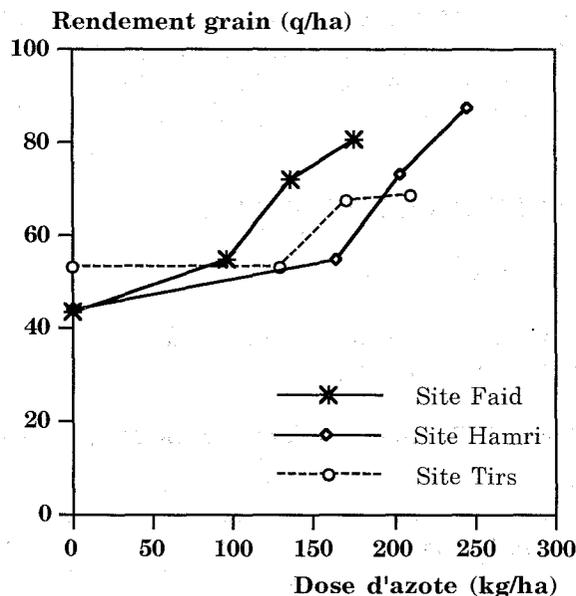
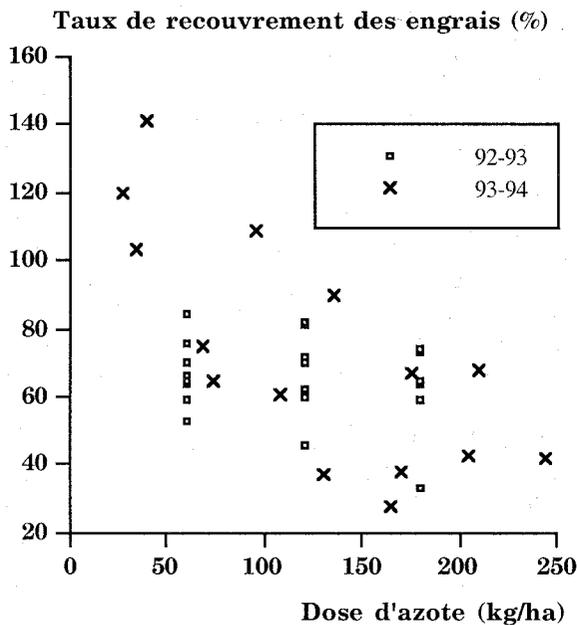


Figure 2. Réponse du blé aux apports d'azote sur les trois sites

le plateau des Zaers, Kaddouri (1978) a trouvé un taux de recouvrement relativement plus élevé (82,3%) grâce à des conditions hydriques favorables qui ont entraîné une utilisation plus efficace de la quantité d'azote apportée. Il en est de même pour les essais de Mosseddaq (1980) et de Mnaili (1981) avec des valeurs respectivement de l'ordre de 73,2% et 65,8 %. Dans le cas de Rachad (1979), toujours à Merchouch, la sécheresse prolongée, pendant une longue période du cycle de la culture, a réduit ce taux à 44%. Pour la même



**Figure 3. Taux de recouvrement des engrais en fonction de la dose d'azote**

raison Eddahani (1983), dans un autre site (sol sableux de Témara), a rapporté des valeurs encore plus faibles qui ne dépassent pas 25%. Des valeurs similaires, à cette dernière, découlent également de quelques travaux effectués à Meknès (Maarad & Merzouki, 1985 ; Hamdaoui & Akodad, 1987) dont le taux de recouvrement a été respectivement de 23 et 32% .

La variabilité du taux de recouvrement, sous les conditions agroclimatiques marocaines, confirme les résultats de Harmsen (1986). Cet auteur a montré à partir de 172 expérimentations faisant partie d'un programme de recherche réalisé par l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) dans des pays d'Afrique, d'Europe, d'Asie et d'Amérique latine, que presque 50% des valeurs relatives à ce taux varient de 25 à 45%, alors que 75% des cas se situent entre 20 et 60%, avec une valeur moyenne de 43,8%. Cette dernière valeur s'approche du taux de recouvrement moyen dans les conditions pluviales du Maroc que nous avons calculé sur sept cas représentant les résultats de Merchouch et de Meknès, qui est de 49,3 % . La valeur moyenne trouvée en irrigué (68,4%) se rapproche toutefois de celles rapportées pour les années pluvieuses et sans déficit hydrique notable en conditions pluviales.

La relation azote absorbé - rendement peut être appréciée par la quantité de grain produite par

**Tableau 5. Taux de recouvrement (TR) et efficacité de l'azote absorbé (ENA)**

Année	Site	Densité de semis	Dose d'azote (kg/ha)	TR (%)	ENA (kg/q)
1992-93	I		0	-	3,11
			60	53	3,46
			120	46	3,90
			180	33	3,18
	II		0	-	3,38
			60	76	3,39
			120	81	3,27
			180	73	3,68
	III		0	-	3,47
			60	64	2,88
			120	62	2,99
			180	59	2,84
	IV		0	-	3,36
			60	84	3,39
			120	82	3,29
			180	74	3,93
	V		0	-	3,49
			60	66	3,11
		120	60	3,00	
		180	64	3,75	
VI		0	-	3,28	
		60	59	3,05	
		120	70	2,92	
		180	65	3,35	
VII		0	-	3,62	
		60	70	3,21	
		120	72	3,18	
		180	64	3,39	
VIII		0	-	3,31	
		60	65	3,18	
		120	72	2,92	
		180	65	3,40	
1993-94	IX	1	40	141	4,10
		1	0	-	3,39
		2	136	90	3,87
		2	176	67	3,43
		2	96	109	4,51
		2	0	-	2,88
	X	1	68	75	4,12
		1	108	61	4,34
		1	28	120	4,33
		1	0	-	3,70
		2	204	43	4,29
		2	244	42	3,78
	XI	2	164	28	4,31
		2	0	-	4,32
		1	34	103	3,13
		1	74	65	2,90
		1	0	-	2,96
		2	170	38	3,24
	2	210	68	4,45	
	2	130	37	3,43	
	2	0	-	2,71	

(\*) 1. Semis clair ; 2. Semis dur

unité d'azote absorbée, ou bien par le rapport inverse, c'est-à-dire la quantité d'azote absorbée nécessaire pour produire un quintal de grain. Elle est également appelée efficacité physiologique du fait qu'elle n'intègre que les paramètres propres à la plante cultivée.

L'efficacité de l'azote absorbé (ENA) ne varie pas beaucoup avec l'augmentation de la dose (Figure 4). Elle est en moyenne sur les deux années de 3,48 kg d'azote par quintal de grain. La deuxième campagne enregistre cependant une plus grande variabilité par rapport à la première.

Pour l'année 1992-93, les meilleures ENA, c'est-à-dire les valeurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau du site ayant la texture la plus grossière (III), alors que les moins bonnes étaient observées au niveau du site le plus riche (I) (Tableau 5). Par contre, pour l'année 1993-94, les meilleures ENA ont été enregistrées au niveau des sols à texture lourde à moyenne (XI et IX), alors qu'au niveau du site X, à texture plus légère, un éventuel phénomène de saturation ou une tranlocation forte de l'azote de la partie végétative au grain (Papakosta & Gagianas, 1991) expliquerait probablement les valeurs élevées observées (en moyenne 4,19 kgN/q grain).

En outre, le tableau 5 montre que les témoins enregistrent toujours des valeurs plus faibles donc utiliseraient l'azote de manière plus efficiente. En conditions pluviales marocaines, les essais réalisés sur blé tendre dans différentes régions ont mis en évidence une grande variabilité de cette efficacité

selon l'année climatique, les sites et les situations culturales. Ainsi, les expérimentations conduites ont abouti à Merchouch à 7,1 (Kaddouri, 1978) ; 3,1 (Rachad, 1979) ; 6,1 (Mosseddaq, 1980) ; 7,64 (Mnaili, 1981) et 6,4 kgN/q de grain (Babou, 1982).

Les travaux réalisés à Meknès notamment par Zaoui & Alami (1984), Maarad & Merzouki (1985) sont parvenus à des résultats similaires s'approchant de 5 kgN/q de grain. Sous les conditions de la région du Gharb, il semble que cette efficacité est aussi variable. En effet, Birama (1982) a trouvé une valeur de 4,4 kgN/q de grain. Belaouja (1988), dans un essai conduit en irrigué, a rapporté une efficacité de 5 kgN/q de grain. Ghazzali (1988) conduisant le même essai en conditions sèches, a obtenu une efficacité de 3,8 kgN/q de grain.

Il paraît que l'efficacité de l'azote absorbé est faible dans le contexte agroclimatique marocain par rapport à la norme d'Hebert (1969) et Mchet (1984) qui est de 3 kgN/q de grain. Il semble, au niveau des expérimentations, que le rendement grain soit limité par une efficacité faible de l'azote absorbé par la plante. Plusieurs facteurs sont à l'origine de cette faiblesse, en particulier ceux qui agissent sur la formation des sites d'accumulation (nombre de grains/m<sup>2</sup>) et pendant la phase de remplissage du grain. Dans les conditions pluviales, le déficit hydrique constitue le facteur primordial dans la mesure où il affecte l'activité photosynthétique et, par conséquent, la fourniture des carbohydrates au grain ; il en résulte un faible rendement et une forte teneur en azote au niveau du grain (Kaddouri, 1978; Mnaili, 1981; Maarad & Merzouki, 1985). La verse, la concurrence des mauvaises herbes et l'attaque parasitaire sont aussi à prendre en considération puisqu'elles entravent aussi bien la photosynthèse que la remobilisation des assimilats des parties végétatives vers le grain. Cette hypothèse a été confirmée par plusieurs auteurs (Kaddouri, 1978; Belaouja, 1988; Ghazzali, 1988; Meynard, 1990; Bouhache *et al.*, 1993; Tanjiet *et al.*, 1988 et Ezzahiri, 1994).

Ainsi, la détermination de la dose d'azote à apporter (kgN/ha) pour l'obtention d'un rendement objectif peut être faite moyennant la relation suivante :

Dose à apporter (kg/ha) = (Rdt visé - Rdt témoin) x (ENA/TR) (Relation 2)

Avec :

\* Rdt visé : rendement-grain objectif (qx/ha).

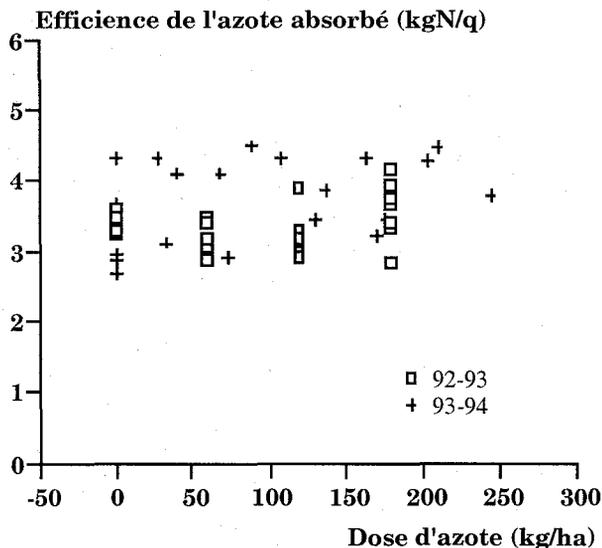


Figure 4. Efficace de l'azote absorbé (kgN/100kg de grain)

- climatiques considérées. C'est le cas également de la prédiction de l'azote absorbé ou prélevé par le témoin à partir de l'azote nitrique initial ;
- la prédiction de l'azote minéralisé au cours du cycle calculé par la méthode du bilan à partir de l'indice de permanganate acide ou de la teneur en matière organique du sol a été statistiquement améliorée en regroupant les valeurs des deux années d'expérimentation ;
  - une diminution de la valeur de la prédiction de l'azote prélevé par le témoin à partir de l'indice d'incubation anaérobie a été constatée. Néanmoins, la corrélation est restée significative.

L'azote nitrique initial serait un bon indice pour l'estimation et du rendement grain du témoin et de l'azote prélevé par celui-ci. L'appréciation de la minéralisation au cours du cycle de la culture par la méthode des bilans serait mieux faite par le biais de l'indice de permanganate acide.

Du point de vue pratique, pour qu'un indice de disponibilité de l'azote soit opérationnel, sa détermination doit être simple, rapide, reproductible et insensible aux traitements de l'échantillon du sol avant analyse. Ceci disqualifierait les méthodes biologiques (dont l'indice d'incubation anaérobie) qui nécessitent une durée minimale d'une semaine avant tout pronostic (Keeney, 1982). L'azote nitrique initial, quant à lui, pose des problèmes au niveau du moment d'échantillonnage et du nombre de répétitions à même de donner une appréciation relativement fiable de cet indice. La teneur en matière organique ainsi que l'indice de permanganate acide offrent des possibilités intéressantes puisqu'ils répondent parfaitement à la définition d'un bon indice de disponibilité évoqué par Keeney (1982).

Le choix du trait agronomique à utiliser pour l'appréciation des fournitures du sol reste délicat. L'azote minéralisé au cours du cycle, calculé par la méthode du bilan ne donne aucune idée ni de la dynamique de minéralisation ni du rythme d'absorption de l'azote par la plante. L'azote prélevé par le témoin serait plus aléatoire que le rendement grain, à n'en juger que par les coefficients de corrélations obtenus aussi bien avec l'indice d'incubation anaérobie qu'avec l'azote nitrique initial. Aussi, le rendement grain du témoin nous semble être un meilleur indicateur de la richesse du sol en azote. Ce rendement peut être estimé à partir de l'azote nitrique initial si les limitations relatives à cet indice sont levées. Sinon,

la teneur en matière organique, dont la détermination est plus rapide que l'indice de disponibilité de l'azote, pourrait être un bon estimateur de ce rendement.

Pour la pratique, en partant des relations 1 et 2 précédemment établies, on peut procéder au calcul de la dose d'azote à apporter de la manière suivante:

$$\text{Dose} = \left( \frac{((\text{Rdt vis} - \text{Rdt t moïn}) \times \text{ENA})}{46.6} \right) - 42.5 \quad [3]$$

Le rendement grain du témoin peut être estimé à partir des droites de régression mentionnées dans le tableau 7. Par ailleurs, le fractionnement adopté (1/3 au "stade A" et 2/3 au "stade B") reste, en général, satisfaisant dans la gamme des sols étudiés. Mais il est apparu évident que dans le cas des sols légers (sablonneux et pauvres en matière organique) l'apport de l'azote au semis devient nécessaire sinon des chloroses foliaires se manifestent dès le stade 2 à 3 feuilles du blé indiquant une déficience azotée.

## CONCLUSION

Cette étude a essayé d'apporter des éléments de réponse à la problématique de la fertilisation azotée du blé dur dans les périmètres irrigués du bassin méditerranéen à travers le cas des Doukkala. Les résultats obtenus devraient contribuer à l'amélioration de la productivité pour une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau dans ces milieux en évitant de polluer les nappes phréatiques par les nitrates.

L'approche utilisée a besoin d'affinements supplémentaires afin de tenir compte de la diversité des situations dans la pratique. Sur un plan plus fondamental, d'autres investigations sont nécessaires pour mieux adapter l'offre en azote minéral du sol aux besoins instantanés de la culture. Il semble indispensable de s'orienter vers une modélisation dynamique de l'offre et de la demande en azote au cours du cycle de la culture.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Archer J. (1988) Crop nutrition and fertilizer use. 2nd ed. Farming Press.
- Babou B. (1982) Test d'un modèle prévisionnel de fertilisation azotée du blé tendre 'Nesma149' dans quatre situations culturales différentes. Mémoire de fin d'études de l'ENA de Meknès

- Badraoui M., Bouaziz A. & Kabbassi M. (1992) Sols des Doukkala., contraintes physiques et potentialités pour une céréaliculture intensive. Vol. I. Projet Développement et amélioration de la production céréalière en irrigué. DPV. MAMVA. Rabat.
- Belaouja H. (1988) Effet de la date d'apport de l'azote sur les rendements grain et en protéines : cas de deux variétés conduites en irrigué. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle Agronomie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassa II, Rabat
- Birama T. (1982) Etude d'un bilan prévisionnel pour la fertilisation azotée du blé par le contrôle de l'absorption de la plante et de l'azote minéral du sol. Mémoire de fin d'étude ENA de Meknès.
- Bouaziz A. & Maddahi M. (1992) Étude agronomique des contraintes à la production céréalière : cas du périmètre des Doukkala. Vol. II., Tome 2. Projet Développement et amélioration de la production céréalière en irrigué. DPV. MAMVA. Rabat
- Bouhache M., Rzoui S.B. & Taleb A. (1993) Bases de raisonnement d'une stratégie de lutte contre les mauvaises herbes dans les cultures céréalières au Maroc. DAAP/DEV, IAV Hassan II, Rabat
- Bremner J. (1965) Inorganic forms of nitrogen. *In* C.A. Black *et al.* (Ed.) Method of soil analysis. Part 2. p: 1179-1237. Agronomy 9. ASA Inc. Madison. Wis.
- Bremner J.M. & Mulvaney C.S. (1982) Total nitrogen. *In* C.A. Blacket *al.* (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. Agron. Inc. Madison. Wis.
- Eddahani M. (1983) Étude du peuplement pied et épi du blé tendre "Nesma 149" sous l'effet de différentes doses d'azote. Mémoire de fin d'études ENA, Meknès
- Ezzahiri B. (1994) Les maladies cryptogamiques des céréales. p:191-200. Vol. III. Projet Développement et amélioration de la production céréalière en irrigué. DPV. MAMVA. Rabat
- Ghazzali S. (1988) Effets des dates d'apport d'azote sur le rendement, l'assimilation et la remobilisation de l'azote dans le cas de deux variétés de blé tendre conduites en sec. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle Agronomie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassa II, Rabat
- Hamdaoui B. & Akodad S. (1987) Réponse d'un groupe de variétés de blé dur et de blé tendre à la date de semis et à la fumure azotée. Mémoire fin d'études, ENA, Meknès
- Harmsen K. (1986) The rôle of soil testing in assessing the nitrogen fertilizer requirements of rainfed cereal crops in the Syrian Arab Republic. p: 9-65. First West Asia and North Africa Soil test calibration workshop. Edited by Soltanpour
- Hebert J. (1969) La fumure azotée du blé tendre d'hiver. *Bull. Tech. Inf.* 244:755-766
- Hussain F. & K.M. Malik (1985) Modification of the acid permanganate method for obtaining an index of soil nitrogen availability. *Plant and Soil* 84:143-146
- Kaddouri L. (1978) Étude de l'élaboration du rendement du blé par le contrôle des états hydriques et azotés du sol et l'évolution de l'absorption de l'azote par la plante. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle Agronomie, IAV Hassan II, Rabat
- Keeney D.R. (1982) Nitrogen availability indexes. *In* C.A. Blacket *al.* (Ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. Agron. Inc. Madison. Wis. 711-730
- Maarad M. & A. Merzouki 1985. Effet du précédent cultural sur le rendement de l'azote sous une culture de blé tendre Nesma 149, Mémoire de fin d'études, ENA, Meknès
- Meynard J.M. (1990) Construction d'itinéraires techniques pour le blé d'hiver: quelques pistes de réflexion. p. 17-26. *In* L. Courbe et D. Picard (ed.) les systèmes de culture. I.N.R.A. France
- Meynard J.M. & Geneviève D. (1992) Diagnostic de l'élaboration du rendement des cultures. *Cahiers Agricultures* 1:9-19
- Mnaili M. (1981) Analyse de l'élaboration du rendement du blé par le contrôle des états hydriques et azotés du sol. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle Agronomie, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassa II, Rabat, Maroc
- Mohamed M. A., Steiner J. J., Wright S. D., Bhangoo M. S. & Milhouse D. E. (1990) Intensive crop management practices on wheat yield and quality. *Agron. J.* 82:701-707
- Mosseddaq F. (1980) Essai d'interaction densité de semis modalités d'apport d'azote sur le blé tendre Nesma 149'. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassa II, Rabat
- Mosseddaq F. (1990) Nitrogen assimilation and remobilisation in relation to grain yield and protein in spring wheats. Ph. D. Thesis. Colorado state university, Fort Collins, Colorado
- Nelson D.W. & Sommers L.E. (1982) Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In* A.L. Page and al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. Agron. Inc. Madison. Wis. 539-580
- Papakosta Despo K. & Gagianas A.A. (1991) Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for mediterranean wheat during grain filling. *Agron. J.* 83:864-870

Rachad M. (1979) Essai d'utilisation de la méthode des bilans prévisionnels dans la conduite de la fertilisation azoté du blé. Mémoire de 3<sup>o</sup> cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassa II, Rabat, Maroc

Rémy J.C. et Hebert J. (1977) Le devenir des engrais azotés dans le sol *CR Séances Acad Agric Fr* 163:700-714

SAS Institute (1988) SAS user's guide. Version 6.03 ed. SAS Inst., Cary. NC

Soudi B. (1988) Étude de la dynamique de l'azote dans les sols marocains: Caractérisation et pouvoir minéralisateur. Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences Agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassa II, Rabat, Maroc

Soudi B., Chiang C.N. & Zraouli M. (1990) Variations saisonnières de l'azote minéral et effet combiné de la température et de l'humidité du sol sur la minéralisation. *Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc)* 10(1):29-38

Stanford G. & Smith. S.J. (1978) Nitrogen mineralisation potentials of soils. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 36 : 465-472

Tanji A., Boulet C. & Regher D.L. (1988) Mauvaises herbes des régions arides et semi-arides du Maroc occidental. INRA, Rabat

Zaoui M. & Alami M. (1984) Effet du précédent cultural sur la nutrition azoté du blé tendre et Nesma 149' Mémoire de fin d'études, ENA de Meknès