

---

## **Fertilisation minérale rationnelle des cultures et bases d'élaboration de fiches éco-conseil: cas de la betterave à sucre**

Lhoussaine MOUGHLI<sup>1</sup> & Fatima Zohra CHERKAOUI<sup>1</sup>

### **1. INTRODUCTION**

L'utilisation des engrais a permis d'améliorer la production agricole mais le préjugé selon lequel "si une petite quantité est bonne, alors une plus grande quantité serait encore meilleure" a entraîné une utilisation intensive dont les effets sur l'environnement sont devenus préoccupants. Le périmètre du Tadla est une illustration classique de cette situation. Une enquête menée au niveau du périmètre a révélé que la betterave à sucre reçoit en moyenne 340 kg N/ha (Mosseddaq, 1997). Les apports en excès de l'azote pour cette culture au niveau de ce périmètre ont été estimés à 1300 tonnes d'azote par campagne agricole (Moughli & Parish, 1996). Ceci constitue un gaspillage des ressources et une source de pollution des eaux souterraines en nitrate, considéré comme très nuisible pour l'environnement.

Ces excès d'azote, associés à des apports tardifs dans la saison, pénalisent aussi les industriels qui se plaignent de la mauvaise qualité technologique de la betterave à sucre traitée au niveau de l'usine. Mosseddaq (1995) a rapporté que la fertilisation représente 39,5% des charges totales de la culture, avec 18,5% pour la fertilisation de fond et 21% pour la fertilisation de couverture. De meilleures pratiques de fertilisation sont nécessaires vu le coût élevé de la fertilisation minérale, surtout azotée et vu la nécessité de protéger l'environnement. Pour ces raisons, l'Agence Internationale de Développement Agricole, en accord avec les services techniques de l'ORMVA du Tadla ont, dans le cadre du projet Management des Ressources de Tadla (MRT), mis au point des actions visant à réduire les effets négatifs d'une forte utilisation des engrais sur le sol et sur les ressources en eau du périmètre.

---

<sup>1</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202 Madinate Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc  
E-mail: l.moughli@iav.ac.ma

Ce travail s'insère dans ce cadre et veut démontrer que l'utilisation des engrais peut être réduite sans pour autant provoquer des pertes de gains pour les agriculteurs. Cette démonstration est essentielle pour motiver les agriculteurs à changer la façon dont ils utilisent les engrais. Le programme s'est intéressé en 1996/97 et 1988/99 aux cultures de blé et de betteraves sucrières pour lesquelles les doses recommandées sont fréquemment dépassées (Moughli & Parish, 1997 & Mosseddaq, 1995). Nous présenterons la démarche et les résultats relatifs à la betterave à sucre.

Les objectifs de ce programme sont :

- De tester, sur des parcelles d'agriculteurs, un programme de réduction des doses d'engrais apportés à la betterave à sucre.
- De comparer techniquement et économiquement ce programme avec les pratiques actuelles des agriculteurs.
- De travailler avec les agents d'encadrement dans le but d'améliorer le taux d'adoption des nouvelles stratégies de fertilisation de la betterave à sucre.
- D'évaluer les degrés d'adoption des ces stratégies de fertilisation et le taux de réduction des excès d'azote par rapport à l'année 1995/96, année de base du projet.
- De développer une approche d'amélioration des programmes de fertilisation des cultures à l'échelle régionale.

## **2. MÉTHODOLOGIE**

Le programme, d'une durée de trois années, 1996 à 1999 a débuté par des démonstrations sur des parcelles d'agriculteurs, puis il y a eu dissémination partielle des résultats avant de généraliser le nouveau programme de fertilisation à tout le périmètre. Dans ce qui suit, nous allons résumer ces trois étapes.

### **2.1. Démonstrations sur la fertilisation de la betterave à sucre**

En 1996/97 avec l'aide des agents de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla, neuf parcelles d'agriculteurs destinées à la betterave à sucre ont été choisies. La superficie totale des parcelles variait de 0,4 à 1 ha. Dans chacune de ces parcelles, une surface de 0,2 ha a été retenue pour la démonstration et le reste de la parcelle fertilisé par l'agriculteur constitue le témoin, toutes autres opérations culturales étant égales pour les deux parties.

Le programme de fertilisation d'usage dans la région se présentait comme suit :

- Engrais de fond : 5 qx/ha de 26,3-21,4-0, soit près de 130 kg N/ha,
- Engrais de couverture : doses d'azote variables, presque exclusivement sous forme d'urée qui s'échelonnent jusqu'à des moments très tardifs dans le cycle de la culture.

En se basant sur les résultats de recherche réalisés dans la région concernant la cinétique d'absorption de l'azote, la dose d'azote de la démonstration a été fixée à 240 kg N/ha, (Figure 1), à raison de :

- 40 kg N/ha au semis sous forme de sulfate d'ammoniaque (21%),
- 100 kg N/ha après démariage sous forme de sulfate d'ammoniaque,
- 100 kg N/ha à la mi-saison sous forme d'ammonitrate (33,5%).

Le phosphore a été apporté à raison de 40 kg de  $P_2O_5$ /ha sous forme de superphosphate triple (45%  $P_2O_5$ ). Pour le potassium, l'analyse des sols et les résultats des travaux menés dans la région ont démontré un niveau de richesse suffisant des sols.

Les doses d'engrais utilisées par les agriculteurs ont été variables et seront analysées ultérieurement.

Au niveau de chaque parcelle, les sols ont été analysés avant l'apport d'engrais. Le suivi de l'état nutritionnel azoté de la plante a été fait par l'analyse du pétiole des feuilles les plus mûres. La fréquence de ces prélèvements a été d'une quinzaine de jours et les analyses ont porté sur les nitrates, le phosphore et le potassium.

Les rendements en racines et en feuilles ont été déterminés au niveau de chaque parcelle élémentaire. La râpura a servi pour la détermination de la teneur en sucre et de l'azote total.

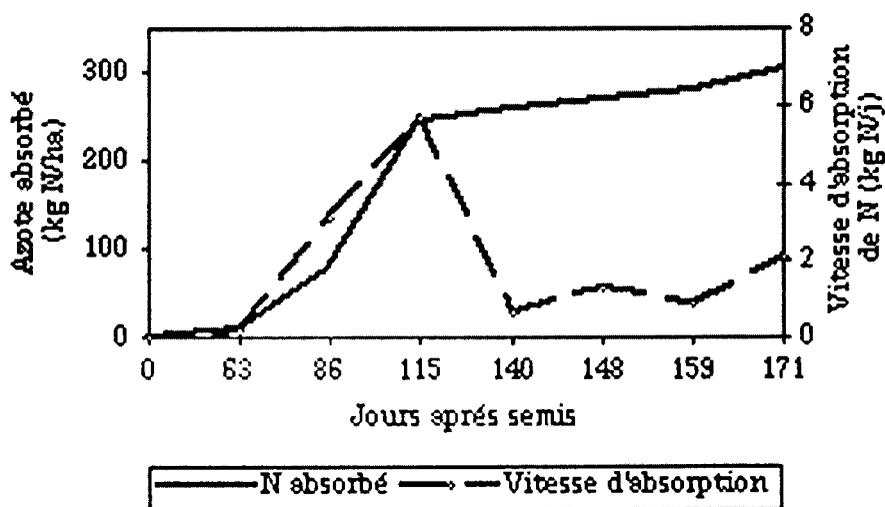


Figure 1. Cinétique d'absorption de l'azote par la betterave à sucre dans le Tadla

## 2.2. Dissémination partielle des résultats

En 1997/98 et sur la base des résultats des démonstrations et en collaboration avec le comité technique régional du sucre du Tadla, un nouveau programme de fertilisation de la betterave a été mis au point. Puisque les engrais sont distribués par les sucreries à tous les agriculteurs, il a fallu trouver une formule complexe facile à transporter pour l'engrais de fond et des formules azotées simples qui apportent les quantités d'éléments nutritifs qui correspondent à ce qui a été utilisé dans les démonstrations :

- 3 qx/ha de 19-38-0 (ASP) au semis,
- 2 qx/ha d'urée au démariage et
- 1,5 qx/ha d'urée entre 90 et 120 jours après le semis.

Le présent programme vise à améliorer la productivité de la betterave à sucre en raisonnant mieux la fertilisation, ce qui rejoint les objectifs du programme de vulgarisation individuelle mis au point par l'ORMVAT. Les agriculteurs concernés sont au nombre de 1048 et les superficies sont de 1424 ha de betterave à sucre.

Deux sessions de formation sur la fertilité du sol et la fertilisation des cultures de 2,5 jours chacune, ont été organisées au profit de 60 agents d'encadrement. L'accent a été mis sur les meilleures techniques de conduite de la fertilisation des cultures et en particulier sur les nouvelles recommandations des engrais azotés pour la betterave à sucre. Dans le but d'améliorer la capacité des agents d'encadrement dans le diagnostic de l'état nutritionnel des cultures au champ, des bouteilles de diphénylamine permettant de tester l'état nutritionnel azoté de la betterave à sucre au champ ont été mises à leur disposition.

Pour déterminer les changements survenus dans la conduite de la fertilisation de la betterave à sucre suite aux nouvelles recommandations, une fiche de suivi a été préparée et distribuée aux agents d'encadrement. Elle concerne la conduite de la fertilisation de la betterave faite par l'agriculteur pendant les campagnes 1996/97 et 1997/98. La comparaison des deux campagnes a permis de dégager les modifications survenues dans la conduite de la fertilisation azotée suite aux nouvelles recommandations et les effets de ces modifications sur les performances de la culture.

Une fois que les informations techniques et les fiches de suivi nécessaires à la réalisation du programme ont été mises à la disposition des agents d'encadrement, un programme de visites a été mis au point. Son objectif est de suivre le travail des agents d'encadrement sur le terrain et d'observer l'état des cultures des parcelles des agriculteurs.

À la fin de la campagne, les rendements et les teneurs en sucre de la betterave ont été obtenus auprès du bureau des cultures sucrières de l'ORMVAT.

### 2.3. Généralisation des résultats

En 1997/98, le nouveau programme de fertilisation de la betterave recommandé pour l'ensemble des betteraviers du périmètre du Tadla était:

- 2,5 qx/ha de 18-46-0 (DAP) avant le semis,
- 1,5 qx/ha d'urée au démariage et
- 3 qx/ha d'ammonitrate entre 90 et 120 jours après le semis.

À partir de cette campagne, le DAP a été utilisé au lieu de l'ASP car il est plus disponible et surtout moins cher, ce qui permet d'améliorer la rentabilité de betterave à sucre.

Le suivi a été fait à l'identique en sélectionnant cinq agriculteurs pour le suivi détaillé par l'intermédiaire du Centre de Développement Agricole CDA, sur la totalité des 114 agriculteurs occupant une superficie de 156 ha de betterave à sucre.

## 3. RÉSULTATS DU PROGRAMME

### 3.1. Caractérisation des sols des parcelles utilisées

La texture des sols est limono-argileuse à argilo-limoneuse (Tableau 1). Ces sols calcaires ont un pH basique proche de 8, caractéristique de la région. La salinité mesurée en dS/m est un peu élevée surtout dans certaines zones des Béni Amir (maximum de 8,3 dS/m et minimum de 0,8 dS/m, pour une moyenne de 2,6, dénotant un grand écart type. Les teneurs en matière organique sont faibles à moyennes. Par rapport aux exigences de la betterave à sucre, ces sols sont généralement riches en phosphore et en potassium.

**Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des sols des parcelles**

Analyses	Minimum	Maximum	Moyenne
Argile (%)	30,6	53,4	40,6
Limon (%)	35,7	48,4	41,9
Sable (%)	7,7	24,6	17,8
Conductivité électrique (dS/m)	0,8	8,3	2,6
Matière organique (%)	1,3	2,2	1,8
Ammonium (ppm)	5,3	23,1	11,2
Nitrate (ppm)	5,3	42,0	13,7
Azote minéral (ppm)	11,6	65,1	24,9
Phosphore assimilable (ppm P)	6,8	32,7	19,0
Potassium échangeable (ppm K)	207,0	752,0	467,9

### 3.2. Conduite de la fertilisation dans les démonstrations et par les agriculteurs

Les quantités d'azote apportées par les agriculteurs varient de 244 à 671 kg N/ha avec une moyenne de 398 kg N/ha (Tableau 2). Les démonstrations ont permis une réduction de la quantité d'azote apportée par les agriculteurs de 2% à 64% avec une moyenne de 33%. La plus grande partie de cet azote a été apportée en engrais de couverture.

La dose moyenne de phosphore apportée par les agriculteurs est de 116 kg  $P_2O_5$ /ha, pas loin de la dose distribuée par les sucreries qui est de 120 kg  $P_2O_5$ /ha, alors que, dans les démonstrations, l'apport a été de 40 kg  $P_2O_5$ /ha.

Pour le potassium, seuls deux agriculteurs ont apporté respectivement 70 kg  $K_2O$ /ha, avec 35 kg  $K_2O$ /ha en fond et 35 kg  $K_2O$ /ha en couverture, et 23 kg  $K_2O$ /ha en couverture.

En pratique, les sucreries recommandent aux agriculteurs d'utiliser 5 qx/ha d'une formule de 26,3 N -21,4 P- 0 K en engrais de fond, ce qui équivaut à 130 kg N/ha. Ceci peut être à l'origine de pertes d'azote par lixiviation car la betterave à sucre est incapable d'absorber des quantités importantes au stade plantule. Aussi n'avons-nous apporté que 40 kg N/ha en engrais de fond dans les démonstrations.

L'examen du fractionnement d'azote montre que le cas le plus fréquent observé est l'application de l'azote en 3 apports. En moyenne, l'azote de couverture au niveau de 268 kg N/ha chez les agriculteurs, a représenté 67% de l'azote total apporté par ceux-ci alors qu'il a représenté 86% de l'azote total dans les démonstrations.

**Tableau 2. Comparaison des doses d'azote apportées par les agriculteurs et dans les démonstrations**

Apports	.....Agriculteurs...			Démonstrations
	Min	Max	Moy	
Azote de fond (kg N/ha)	35	263	132	40
Azote de couverture (kg N/ha)	112	408	268	200
Azote total apporté (kg N/ha)	244	670	398	240
Réduction relative de l'azote apporté dans les démonstrations par rapport aux agriculteurs (%)	2	64	39	
Phosphore apporté (kg $P_2O_5$ /ha)	107	214	118	40
Potassium apporté (kg $K_2O$ /ha)	0	70	10	0

### 3.3. Performances comparées des démonstrations et des agriculteurs

Le rendement en feuilles et collets a été de 18,5 t/ha, en moyenne, aussi bien dans les parcelles des démonstrations que dans les parcelles des agriculteurs. Ces derniers ont obtenu un rendement en racines allant de 51 à 98 t/ha avec une moyenne de 71,5 t/ha en comparaison d'un rendement de 63 à 99 t/ha avec une moyenne de 74,5 t/ha dans les parcelles démonstratives (Tableau 3). Les doses supplémentaires d'azote apportées par les agriculteurs ne se sont donc pas traduites par une augmentation du rendement en racines. Des résultats similaires ont été rapportés par Chekkouri (1991) et par Ouhcine (1992) qui ont trouvé que le taux d'augmentation du rendement en racines est relativement faible au-delà de la dose de 200 kg N/ha. D'autres études menées au Tadla par l'ISERF (1992) ont montré que le rendement en racines se stabilise à partir de la dose 240 kg N/ha.

Dans les parcelles des agriculteurs, la polarisation a varié entre 12,7 et 17% avec une moyenne de 15,5%. Dans les démonstrations, elle était de 14 à 18,2% avec une moyenne de 16,4% (Tableau 3). L'effet dépressif des apports excessifs et tardifs d'azote sur la richesse en saccharine a été observé par plusieurs auteurs.

**Tableau 3. Performances techniques et économiques de la betterave dans les parcelles des agriculteurs et dans les démonstrations**

Paramètres	Moyenne chez les agriculteurs	Moyenne dans les démonstrations
Rendement en feuilles et collets (t/ha)	18,5	18,5
Rendement en racines (t/ha)	71,5	74,5
Polarisation (%)	15,53	16,36
Rendement en sucre brut (t/ha)	11,1	12,2
Efficience d'utilisation de N de l'engrais (t/kg N)	0,19	0,30
Amélioration de l'efficience d'utilisation de N de l'engrais dans les démonstrations (%)		66
Charges des engrais (DH/ha)	2820	2030
Recettes (DH/ha)	21450	23953
Marge brute (DH/ha)	19272	22062
Amélioration de la marge brute dans les démonstrations (%)		14,5

Le rendement en sucre brut est calculé sur la base du rendement en racines et de la polarisation. Ce rendement a varié de 8 à 16 t/ha avec une moyenne de 11 t/ha dans les parcelles des agriculteurs et de 9 à 17 t/ha avec une moyenne de 12 t/ha dans les démonstrations. Le rendement en sucre brut

est plus affecté par le rendement en racines que par la polarisation. Les meilleurs rendements en sucre ont été obtenus dans les parcelles avec les meilleurs rendements en racines. C'est la raison pour laquelle les agriculteurs tentent d'obtenir les meilleurs rendements en forçant sur l'azote et se soucient moins de la polarisation.

L'efficacité d'utilisation de l'azote de l'engrais est représenté par la quantité de betterave produite par kilogramme d'azote apporté. Les valeurs ont varié de 0,12 à 0,36 tonnes de betterave/kg N. Cette efficacité a été améliorée dans les démonstrations par rapport aux champs des agriculteurs d'un taux de 66%.

Les teneurs des pétioles en nitrates mesurées à la fin du cycle sont négativement corrélées aux teneurs en sucre. La figure 2 qui présente la liaison entre la polarisation et les teneurs en nitrate des pétioles à la récolte, montre une tendance à la diminution de la polarisation quand les teneurs des nitrates dans les pétioles augmentent au delà de 1000 ppm.

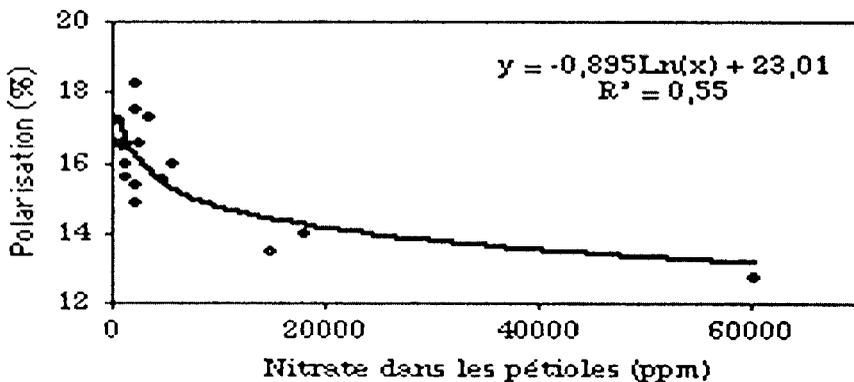


Figure 2. Relation entre polarisation et teneur des pétioles en nitrate à la fin du cycle

On note que les charges des engrais utilisés par les agriculteurs ont coûté 38% de plus par rapport à celle utilisées dans les démonstrations.

La valeur de la production a été en moyenne de 21450 DH pour les parcelles des agriculteurs et de 23953 DH/ha, pour les démonstrations. Dans ces calculs, on n'a pas tenu en compte la valeur des fanes. La marge brute a été améliorée dans les démonstrations de 14,5% par rapport aux agriculteurs.

La valeur de la production est bien corrélée avec le rendement en racines (Figure 3).

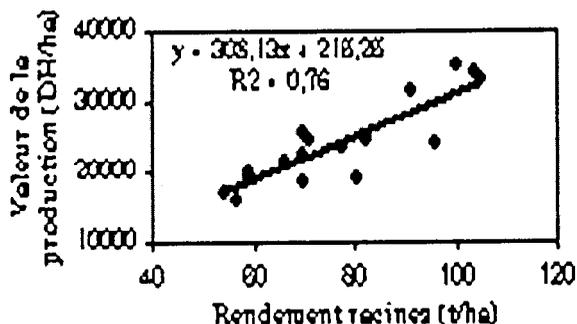


Figure 3. Relation entre la valeur monétaire de la production de la betterave à sucre et le rendement en racines

Cependant la corrélation établie entre la valeur de la production et la polarisation est non significative (Figure 4).

Ceci explique bien que la valeur de la production est affectée essentiellement par le rendement en racines. C'est pour cela que les agriculteurs essaient d'améliorer le rendement en racines en apportant des doses excessives d'azote et se soucient moins de la polarisation qui affecte peu la valeur de la production.

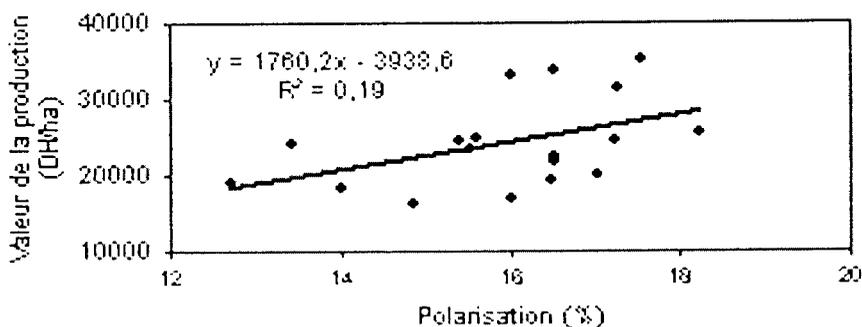


Figure 4. Relation entre la valeur monétaire de la production de la betterave à sucre et la polarisation

### 3.4. Généralisation des résultats

La généralisation des résultats des démonstrations a été faite en deux étapes. Le tableau 4 présente une synthèse des résultats obtenus en 1997/98 avec près de 1000 agriculteurs et ceux obtenus en 1998/99 quand le programme a été généralisé à tout le périmètre. Ces résultats ont été comparés à ceux de l'année de début du programme, 1995/96.

**Tableau 4. Comparaison de l'utilisation de l'azote (kg N/ha) et des performances de la betterave à sucre en 1997/98 et en 1998/99 et comparaison avec l'année de référence (1995/96)**

Paramètre	95/96 (kg N/ha)	1997/98			1998/99		
		Rec**	Apport	Var**	Rec**	Apport	Var**
Azote de fond	130	57	60	- 70 (-54%)*	45	50	- 80 (-62%)*
Azote de couverture	210	161	184	- 26 (-12%)*	169	200	- 10 (-5%)*
Azote total apporté	340	218	244	- 96 (-28%)*	214	250	- 90 (-26%)*

\* les chiffres entre parenthèses représentent les valeurs relatives en%

\*\* Rec = Recommandation; Var = Variation par rapport à 95/96

À partir de ce tableau, on peut tirer les principaux résultats suivants :

- En 1997/98, la dose moyenne apportée par les agriculteurs est de 244 kg N/ha au lieu de 218 kg N/ha, soit un excès de 12% par rapport aux recommandations. Cet excès a concerné en particulier l'azote de couverture. Cet apport excessif a tendance à augmenter en 1998/99.

- Il y a eu réduction de l'azote apporté de 26% en 1998/99, à 28% en 1997/98, par rapport à l'année 1995/96, année de référence du projet.

Le rendement racines a augmenté de 12 t/ha, soit une amélioration 25% et la polarisation a enregistré une augmentation relative de 4%, résultats de différents paramètres, entre autres la conduite de la fertilisation azotée.

Le coût des engrais distribués par les sucreries a connu une évolution (Tableau 5). Le coût total a augmenté en 1997/98 car nous avons utilisé l'ASP (19-38-0), peu disponible et cher au lieu du 26,3-21,4-0, mélange physique. L'utilisation de DAP (18-46-0) les années suivantes a réduit le coût des engrais. Notons qu'avant 1998/99, le DAP était exclusivement destiné à l'exportation.

**Tableau 5. Évaluation du coût des engrais distribués par les sucreries aux agriculteurs pour la betterave à sucre**

Engrais recommandés (DH/ha)	1995/96	1997/98	1998/99
26,3-21,4-0	1278		
19-38-0		910	
18-46-0			632,5
Urée (46%N)	403,5	793,3	273,12
Ammonitrate (33,5% N)			486
Azote total apporté	214	218	214
Coût total des engrais	1682	1703	1392

#### 4. CONCLUSIONS

Le programme présenté ici propose une approche participative de tous les acteurs (agriculteurs, agents d'encadrement, administration, industriels et chercheurs) pour concevoir et appliquer sur le terrain des fiches éco-conseil. Ceci passe par une conception de la fiche basée sur des résultats de recherche, par son adaptation aux conditions de la région et des agriculteurs, par la conduite de démonstrations avec la participation des agriculteurs et par un rôle accru des agents d'encadrement.

Cette approche a permis de réduire considérablement les excès d'azote. Mais nous avons constaté qu'il est difficile de convaincre les agriculteurs de réduire l'azote de couverture. En effet, ceux-ci distinguent quatre composantes de rendement de la betterave à sucre dans l'ordre de priorité suivant :

- 1. le rendement en racines,
- 2. la quantité de pulpe sèche livrée par la sucrerie: les agriculteurs récupèrent 2 tonnes de pulpe humide par hectare de betterave et 50 kg de pulpe sèche par tonne de betterave à sucre livrée à la sucrerie. Cette pulpe est très importante pour l'alimentation du bétail. Les résultats de la présente étude indiquent qu'elle a varié entre 2700 et plus de 4300 DH/ha selon le rendement en racines réalisé. Ceci correspond, en moyenne, à 16% de la valeur de la production livrée à l'usine par hectare,
- 3. la production en fanes utilisées pour l'alimentation du bétail,
- 4. la polarisation.

Les trois premières composantes, déterminantes dans la rentabilité de la culture, sont toutes améliorées par l'excès d'azote. Par contre, ces excès réduisent la polarisation laquelle n'est pas très importante dans la rentabilité de la culture mais plutôt gênante pour les industriels.

Afin de réduire davantage les excès d'azote, les voies suivantes sont proposées à la réflexion :

- Étudier la possibilité de donner plus d'importance à la polarisation, facteur important de la qualité technologique de la betterave à sucre dans la formule de paiement.
- Éviter d'indexer la quantité de pulpe, surtout sèche, sur le rendement en racines uniquement et introduire un paramètre de la qualité de la betterave à sucre.
- Faire des efforts pour améliorer le niveau de technicité des agriculteurs en matière d'engrais.
- Utiliser des méthodes scientifiques pour décider de la date d'arrachage et échelonner les récoltes : analyse de pétiole en nitrate avant de décider de la date d'arrachage d'une parcelle ou d'un groupe de parcelles.

**RÉFÉRENCES CITÉES**

- Chekkouri K (1991) Effet de la fertilisation azote et de la fertilisation borate sur le rendement et la qualité technologique de la betterave à sucre dans le Tadla. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Herzenni A & Mosseddaq F (1995) Essai de typologie des exploitations du périmètre irrigué du Tadla. *Projet Management des Ressources du Tadla (608-0213-c-00-4002). Rapport No. 20*
- Mosseddaq F (1995) Diagnostic des exploitations agricole du Tadla : résultats de l'enquête, S.C.E.T. Maroc. *Projet Management des Ressources du Tadla (608-0213-c-00-4002). Rapport No 21*
- Moughli L & Parish D (1996) Development of an action plan to improve farm level fertilizer utilization as part of a strategy to reduce nitrate infiltration into the groundwater. *Tadla Resources Management Project (608-0213-c-00-4002). Report No. 43*
- Moughli L (1997) Démonstrations sur l'amélioration de l'efficience d'utilisation des engrais azotés au Tadla. *Tadla Resources Management Project (608-0213-c-00-4002). Report No. 65*
- Moughli L (1998) Résultats du programme de réduction des excès d'azote apportés à la betterave à sucre et au blé dans le périmètre irrigué du Tadla (Campagne 1997/98). *Tadla Resources Management Project (608-0213-c-00-4002). Report No.73*
- Moughli L (1999) Résultats du programme de réduction des excès d'azote apportés à la betterave à sucre et au blé dans le périmètre irrigué du Tadla (Campagne 1998/99) *Tadla Resources Management Project (608-0213-c-00-4002). Report No.74*
- Ouhcine A (1992) Effet de l'azote et de son fractionnement sur le rendement et la qualité technologique de la betterave à sucre dans le Tadla. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat