

**Tableau 1: Types et caractéristiques des engrais minéraux commercialisés au Maroc**

Engrais	Formule chimique	Teneur en %				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	S
<b>Engrais simples</b>						
Ammonitrate	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33,5				
Sulfate d'ammonium	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21				24
Urée	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	46				
Superphosphate simple (SSP)	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O, CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O		18		18-21	12
Superphosphate triple (TSP)	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O		45		3-14	1
Sulfate de potasse	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			48-50		17
Chlorure de potasse	KCl			60		
<b>Engrais composés</b>						
Mono-Ammonium Phosphate (MAP)	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	11	55		2	1-3
Di-Ammonium phosphate (DAP)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18	46			
Ammonium Sulfo-Phosphate (ASP)	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	19	38			3-14
Nitrate de potassium	KNO <sub>3</sub>	13		44	0,5	0,2
Nitrate de calcium	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	16			34	
14-28-14 C		14	28	14		
13-26-13 S		13	26	13		
<b>Formules régionales</b>						
20-10-10 (Blé en bour/Chaouia)			20	10	10	
13-11-17 S (Pomme de terre)			13	11	17	
16-11-5-20 S (Blé irrigué/Doukkala)			16	11,5	20	

C: Potassium sous forme de KCl, S: Potassium sous forme de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**Tableau 2: Compatibilité chimique des engrais**

Urée	Sulfate d'ammoniaque	Superphosphate triple	Superphosphate simple	DAP	MAP	Chlorure de potasse	Sulfate de potasse	
Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Ammonitrate
	Oui	Peu	Peu	Oui	Oui	Oui	Oui	Urée
		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Sulfate d'ammoniaque
			Oui	Peu	Oui	Oui	Oui	Superphosphate triple
				Peu	Oui	Oui	Oui	Superphosphate simple
					Oui	Oui	Oui	DAP
						Oui	Oui	MAP
							Oui	Chlorure de potasse

**Tableau 3: Effets des engrais sur la salinité et sur le pH du sol**

Engrais	Effet sur la salinité du sol			Effet à long terme sur le pH du sol
	Teneur en élément nutritifs	Indice global de salinité	Indice partiel de salinité	
	A	B	C = B/A	
Ammonitrate	33,5% N	104,7	2,99	Modérément acide
Sulfate d'ammoniaque	21% N	69,0	3,235	Fortement acide
Urée	46% N	75,4	1,618	Modérément acide
Super Phosphate Simple	18% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,8	0,433	Pas d'effet
Super Phosphate Triple	45% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	10,1	0,224	Pas d'effet
Chlorure de potasse	60% K <sub>2</sub> O	116,3	1,936	Pas d'effet
Sulfate de potasse	48-50% K <sub>2</sub> O	46,1	0,853	Pas d'effet
Mono-Ammonium phosphate	11-55-0	34,2	2,453(N);0,485(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Fortement acide
Di-Ammonium Phosphate	18-46-0	29,9	0,614(N);0,637(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Acide
Nitrate de potassium	13-0-44	73,6	5,336(N);1,580(K <sub>2</sub> O)	Basique
Nitrate de calcium	15,5% N	52,5	4,409	Basique

*NaNO<sub>3</sub> est pris comme référence avec un indice global de salinité de 100*

même proportion des éléments nutritifs et on parle alors de complexes. C'est le cas du 14-28-14 C qui est le résultat du mélange du superphosphate, de l'ammoniac et du chlorure de potassium.

● par le biais de mélanges physiques d'engrais simples ou binaires. Ceci permet de mettre au point la formule souhaitée pour une culture et un sol donnés. C'est le cas de grandes exploitations qui, après analyse du sol, peuvent commander la formule convenable, ou le cas de formule d'engrais développée pour une région donnée. Cependant, les mélanges ne sont pas toujours possibles du fait que les engrais utilisés pour faire ces mélanges doivent être chimiquement et physiquement compatibles (Tableau 2):

■ **chimiquement** pour qu'il n'y ait pas de perte de gaz ou de diminution de la disponibilité des éléments nutritifs ou de prise en masse dues aux réactions chimiques entre les engrais mélangés.

■ **physiquement**: les granules des engrais mélangés doivent être de taille similaire afin d'éviter une ségrégation entre les particules durant le transport et l'épandage. Il en est de même pour la densité des particules (exemple: le mélange de l'urée avec certains engrais peut créer des problèmes d'hétérogénéité lors de l'application à cause du poids faible de ses particules, comparées aux autres engrais).

Afin d'assurer une qualité des engrais utilisés au Maroc, une commission permanente met au point les normes marocaines des engrais. Ces normes concernent tous les aspects de dénomination, d'étiquetage, de marquage, d'analyses des différents engrais. Actuellement près de 26 normes ont déjà été publiées au Bulletin Officiel.

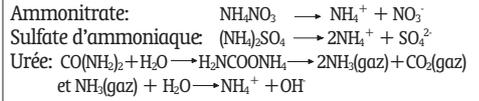
### Que deviennent les engrais dans le sol ?

Quand un engrais est apporté au sol, il subit des transformations chimiques et biologiques qui finissent par libérer dans la solution du sol (une certaine humidité du sol est nécessaire), selon sa composition, l'azote sous forme de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et/ou NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, le phosphore sous forme de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ou HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et le potassium sous forme de K<sup>+</sup>. Ces éléments nutritifs peuvent soit être absorbés par les racines des plantes, soit s'accumuler dans le sol soit perdus par différents processus. La compréhension de ces transformations permet de faire le choix judicieux de l'engrais à utiliser, comme nous allons le voir par la suite. Nous allons présenter brièvement les réactions que subissent les engrais simples les plus utilisés au Maroc après leur apport au sol. Les réactions que les engrais

composés subissent dans le sol peuvent être déduites à partir de leur composition.

### Engrais azotés

Apportés au sol, et en présence d'une certaine humidité du sol, les trois principaux engrais azotés subissent les réactions suivantes:



L'ammonitrate et le sulfate d'ammoniaque produisent du nitrate et de l'ammonium. Les nitrates sont immédiatement absorbés par les plantes en cas de besoin, sinon ils peuvent être entraînés en profondeur par les pluies ou l'eau d'irrigation, puisque leur charge électrique négative ne leur permet pas d'être retenus par les colloïdes du sol. Les nitrates du sol peuvent aussi être perdus sous forme de gaz d'oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>, ...) par dénitrification, en cas d'excès d'eau.

Les ions ammonium peuvent être soit absorbés, mais à moindre degré que les nitrates par les plantes, soit transformés en nitrates par la nitrification, soit fixés par

les charges électriques négatives des colloïdes du sol. Sous certaines conditions, l'ammonium peut se transformer en ammoniac et se volatiliser.

La nature organique de l'urée fait que sa transformation nécessite l'intervention d'une enzyme, capable de briser les liaisons C-O. Celle-ci est fournie par une large gamme de microorganismes présents dans le sol. L'azote est d'abord libéré sous forme d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), qui peut soit se volatiliser sous forme de gaz soit dissous dans l'eau du sol, pour donner de l'ammonium qui va suivre les mêmes étapes que l'ammonium libéré par le sulfate d'ammonium ou l'ammonitrate.

Les pertes de l'ammonium sous forme d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) dans le cas du sulfate d'ammoniac, et à moindre degré dans le cas de l'ammonitrate et de l'ammoniac provenant de l'urée, peuvent être importantes:

- sur des sols basiques et surtout calcaires, cas de la majorité des sols du Maroc,
- quand l'apport est fait sous des températures élevées, cas des apports de couverture printaniers,
- des humidités de sol très faibles, cas du bour,
- des conditions ventées.

### Les engrais phosphatés

Les engrais phosphatés apportés au sol libèrent le phosphore sous forme de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ou HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, selon le pH du sol. Une partie de ces anions sont absorbés par les racines. Une autre partie va réagir avec des cations tels que le calcium en sol basique (cas de la quasi-totalité des sols marocains), et le fer et l'aluminium en sol acide pour former des minéraux qui sont peu solubles et donc moins disponibles pour les plantes. Ces réactions sont à l'origine de la très faible mobilité du phosphore dans le sol. Ainsi, pour améliorer l'efficacité des engrais phosphatés, ils doivent être bien répartis dans le sol afin d'augmenter les chances de contact avec les racines.

### Les engrais potassiques

Dans le sol, les engrais potassiques libèrent du K<sup>+</sup> qui peut être absorbé par les plantes en cas de besoin ou fixé par les colloïdes du sol et devient ainsi stocké pour une utilisation ultérieure. Il peut aussi être transporté en profondeur du sol en cas d'apports de doses élevées de potassium sur un sol sableux.

### Effets des engrais sur le sol

La dissolution des engrais minéraux dans le sol a plusieurs effets sur les propriétés du sol, parmi lesquels la salinité et le pH du sol sont les plus apparents. Ces effets varient avec les engrais. Le tableau 3 donne l'indice global et partiel de salinité de différents engrais. L'indice de salinité global de chaque engrais est une valeur relative à l'indice de salinité du nitrate de soude pris comme référence avec un indice global de salinité égal à 100. Pour comparer les effets salinisants des engrais, il est préférable d'utiliser l'indice partiel de salinité qui correspond à la salinisation qui est générée par l'apport de 1 kg de l'élément nutritif sous forme de l'engrais considéré. Par exemple, pour un apport d'une même dose d'azote, le sulfate d'ammoniac est plus salinisant que l'ammonitrate et l'urée est le moins salinisant des engrais azotés simples.

Le tableau 3 présente également l'effet d'une utilisation continue de différents engrais sur le pH du sol. L'effet de l'engrais sur le pH du sol est déterminé par la capacité de cet engrais à générer des ions H<sup>+</sup> ou OH<sup>-</sup> par leurs réactions dans le sol. L'effet acidifiant peut réduire la productivité des cultures dans les sols acides. Par contre, dans les sols calcaires (cas de la majorité des sols du Maroc), cette acidification peut contribuer à améliorer la disponibilité de certains éléments nutritifs tels que le phosphore, le fer, le manganèse et le zinc.



**Tableau 4: Prix des engrais les plus vendus chez un revendeur à Skhirate (Octobre 2000)**

Engrais	Teneur en azote (%N)	Teneur en phosphore (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Teneur en potassium (%K <sub>2</sub> O)	Prix de l'engrais (Dh/quintal)	Prix de l'élément
Urée	46			180	3,91 Dh/kg N
Ammonitrate	33,5			130	3,88 Dh/kg N
Sulfate d'ammoniac	21			100	4,76 Dh/kg N
Superphosphate simple		18		100	5,56 Dh/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Superphosphate triple		45		180	4,00 Dh/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Chlorure de potassium granulé			60	190	3,17 Dh/kg K <sub>2</sub> O
Sulfate de potassium pulvérulent			48-50	260	5,31 Dh/kg K <sub>2</sub> O
Sulfate de potassium granulé			48-50	310	6,33 Dh/kg K <sub>2</sub> O
ASP	19	38		256	4,49 Dh/kg
MAP	11	55		250	3,79 Dh/kg
DAP	18	46		220	3,44 Dh/kg
14-28-14 C	14	28	14	230	4,11 Dh/kg
Nitrate de potasse	13		44	550	9,65 Dh/kg

**Tableau 5: Compatibilité chimique des engrais en solution mère**

Sulfate d'ammoniac	Nitrate de calcium	Nitrate de soude	Nitrate de potasse	Sulfate de potasse	Sulfate de magnésium	
-	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Sulfate d'ammoniac
Non	-	Oui	Oui	Non	Non	Nitrate de calcium
Oui	Oui	Oui	-	Oui	Oui	Nitrate de potasse
Oui	Non	Oui	Oui	-	Oui	Sulfate de potasse
Oui	Non	Oui	Oui	Oui	-	Sulfate de magnésium
Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Phosphate d'ammoniac

**Tableau 6: Caractéristiques de quelques engrais minéraux**

Engrais	Avantages	Inconvénients
Ammonitrate	NO <sub>3</sub> est immédiatement disponible. Parmi les engrais solides, second après l'urée en teneur en azote.	NO <sub>3</sub> (1/2 de sa teneur en azote) est lessivable, et soumis à la dénitrification dans des sols chauds et humides. Stockage difficile: Absorbe l'eau de l'air et durcit après exposition à l'air.
Sulfate d'ammonium	Effet acidifiant désirable pour les sols basiques. Apporte du soufre.	Teneur faible en azote. Acidité résiduelle élevée pour sol acide. Risque de perte de NH <sub>3</sub> par volatilisation si pas incorporé dans le sol par un travail du sol ou eau d'irrigation ou pluie.
Urée	Solubilité élevée. Non lessivable après sa conversion sous forme de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> . Moins de risque de brûlure des feuilles en cas de pulvérisation foliaire.	Lessivable par les pluies ou irrigation juste après l'apport. Risque de perte de NH <sub>3</sub> par volatilisation si pas incorporé dans le sol par un travail du sol ou eau d'irrigation ou pluie.
Nitrate de potassium	Bonne source d'azote et de potassium	Cher
Nitrate de calcium	Bonne source d'azote et de calcium.	
Superphosphate simple (SSP)	Apporte du soufre et du calcium.	Moins riche en phosphore. Forme pulvérulente moins pratique à épandre.
Superphosphate triple (TSP)	Riche en phosphore	
Mono-Ammonium Phosphate (MAP)	Phosphore complètement soluble dans l'eau. Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Effet acidifiant désirable pour les sols basiques.	Acidité résiduelle élevée pour sol acide.
Di-Ammonium phosphate (DAP)	Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Pas cher.	Eviter le contact avec les semences.
Ammonium Sulfo-Phosphate (ASP)	Bon engrais de fond spécialement quand pas besoin de potassium. Apporte du soufre.	
Sulfate de potasse	Apporte du soufre.	Plus cher que le chlorure de potasse.
Chlorure de potasse	Moins cher que le sulfate de potasse	Effet salinisant. A éviter pour les cultures sensibles à la salinité

### Comment choisir un engrais ?

Différentes formules d'engrais sont fabriquées car différentes cultures exigent des quantités différentes de chaque élément nutritif. L'efficacité de ces engrais varie avec les sols, les cultures et les conditions d'application. Le choix de l'engrais à utiliser dépend de plusieurs facteurs et la prise de décision doit tenir compte des conditions spécifiques dans lesquelles on se trouve:

#### La richesse du sol

Une analyse de sol faite avant l'installation de la culture permet de connaître les quantités d'éléments nutritifs à apporter pour réaliser le rendement escompté. Si le sol est moyennement riche ou riche en un élément nutritif, il suffit d'apporter un peu ou pas du tout. Dans les deux cas, le choix doit porter sur un engrais qui contient peu ou pas du tout de cet élément.

#### Le prix de l'unité fertilisante

La fertilisation est un investissement qui doit être rationalisé. Ce qui nous intéresse dans les engrais c'est leur teneur en éléments nutritifs.

Le coût de l'unité fertilisante (N ou P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou K<sub>2</sub>O) est déterminée en divisant le prix de l'engrais par sa teneur en éléments nutritifs. A cause des grandes fluctuations des prix des engrais dans le marché international, la comparaison des prix doit être faite avant tout achat d'engrais.

Par exemple, d'après le tableau des prix actuels (Tableau 4), l'ammonitrate est le moins cher des engrais azotés. Il en est de même du chlorure de potassium qui est presque 50% moins cher que le sulfate de potassium.

#### La culture

Le tableau 3 présente l'effet des engrais sur la salinité du sol. Les engrais à faible indices de salinité partiels doivent être choisis si la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation sont élevées et/ou si la culture est sensible à la salinité.

#### Le moment d'apport

Les apports d'engrais se font en deux types d'apports. Les engrais de fond sont apportés avant le semis pour les cultures annuelles et avant la reprise de végétation pour les cultures pérennes. Les engrais de couverture,

généralement azotés, sont appliqués en pleine végétation en un ou plusieurs apports.

### Les apports de fond

Les engrais phosphatés sont rapidement immobilisés dans la sol après application. Ainsi, la réponse de la culture à un apport de phosphore et/ou de potassium avant le semis est meilleure par rapport à celui effectué en couverture. Seule une partie de l'azote est apportée en fond.

### Applications en couverture

Parce que le besoin en azote varie avec la phénologie de la culture et qu'il y a risque de lessivage de l'azote, on préfère fractionner les apports pour les faire coïncider avec la période de grand besoin. Ces apports sont généralement faits sous forme d'engrais azotés simples. Plusieurs facteurs influencent la décision d'apport d'engrais de couverture:

● **La texture du sol:** Une fois qu'on connaît la quantité d'engrais de couverture à apporter, le nombre d'apports et la dose de chaque apport doivent tenir compte de la texture du sol. En sol léger, plusieurs applications de N sont nécessaires pour réduire les pertes d'azote par lessivage et pour maximiser le rendement. En sol lourd, moins d'applications de N sont souhaitables.

● **Le pH du sol:** La volatilisation de l'ammoniac est plus importante à partir du sulfate d'ammoniaque et de l'urée en sol basique et surtout calcaire. Afin d'éviter ces pertes, il est recommandé d'irriguer juste après l'apport ou bien de choisir un engrais azoté à base de nitrate, tel que l'ammonitrate.

Les engrais apportés au sol ont des effets sur le pH du sol (Tableau 3). Les engrais acidifiants sont à éviter sur des sols acides car la diminution de pH dans ces sols va entraîner une concentration excessive de l'aluminium, du fer et du manganèse à des niveaux toxiques pour les plantes. Ces engrais, par contre, améliorent la disponibilité de certains éléments nutritifs tels que le phosphore, le fer, le manganèse, le zinc et le cuivre dans les sols basiques qui représentent la grande majorité des sols marocains.

● **Le climat:** Le choix de l'engrais de couverture est aussi influencé par les précipitations et la température. L'entraînement de l'azote par de fortes précipitations (ou irrigation) nécessite des apports fréquents de faibles doses.

Les températures élevées favorisent la volatilisation de l'ammonium ( $NH_4^+$ ) sous forme d'ammoniac ( $NH_3$ ).

### Méthodes d'application des engrais

Les engrais peuvent être apportés au sol, en pulvérisation foliaire et dans l'eau d'irrigation (fertigation).

● Les applications des engrais sur le sol sont les plus fréquentes. La plupart des engrais utilisés sont suffisamment solubles dans l'eau du sol.

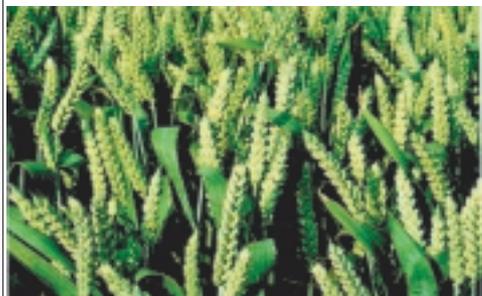
● Les produits utilisés dans la fertigation peuvent être des produits fertilisants solides facilement solubles ou des produits liquides. Les caractéristiques de ces produits doivent être:

Une grande solubilité dans l'eau,

■ Une pureté de la solution fertilisante: les impuretés peuvent provenir de la solubilisation d'un des produits utilisés ou de la réaction de plusieurs produits. Elles provoquent l'obstruction du réseau d'irrigation (tuyaux, émetteurs, ...). Ces problèmes peuvent être aggravés par la présence d'algues et de microorganismes variés dans l'eau d'irrigation.

■ Une compatibilité entre les produits utilisés de sorte à éviter la formation de composés insolubles. Le tableau 5 donne des exemples d'engrais pouvant ou non être mélangés en solution mère.

● Les apports d'engrais en pulvérisation foliaire servent à corriger des carences aiguës en azote et/ou en oligo-éléments. Afin d'éviter les brûlures des feuilles, il est recommandé d'utiliser des concentrations faibles



## Exemple d'optimisation de l'utilisation des engrais

### Fertilisation de la betterave à sucre dans le Tadla

#### Problème: Résultats de l'enquête de 200 exploitations (1995-96)

- Apport moyen d'azote pour la betterave à sucre: 340 kg N/ha.
- Excès d'azote apportés à cette culture au niveau du périmètre: 1300 tonnes d'azote (près de 5 millions Dh), donc gaspillage des ressources et risque de pollution nitrique des eaux souterraines.
- Les apports d'azote sont faits à des moments qui ne coïncident pas avec les besoins de la culture:
  - Engrais de fond: 5 qx/ha de 26-21-0, soit près de 130 kg N/ha,
  - Engrais de couverture: presque exclusivement, apports d'urée qui s'étalent jusqu'à des moments très tardifs dans le cycle de la culture.

#### Méthode de travail

##### 1<sup>ère</sup> étape: Démonstrations sur des parcelles d'agriculteurs (1996-97)

9 champs d'agriculteurs répartis à travers le périmètre ont été divisés en deux parcelles:

- Parcelle démonstration:
  - Apport de 40 kg N/ha et 40 kg  $P_2O_5$ /ha au semis,
  - 100 kg N/ha au démarrage et 100 kg N/ha à la mi-saison.
- La deuxième parcelle a été fertilisée par l'agriculteur selon sa pratique.

##### 2<sup>ème</sup> étape: Dissémination partielle des résultats (1997-98)

● En collaboration avec le Comité Technique Régional du Sucre du Tadla, apport total de 218 kg N/ha:

- 3 qx/ha de 19-38-0 (ASP) au semis,
- 2 qx/ha d'urée au démarrage et
- 1,5 qx/ha d'urée entre 90 et 120 jours après le semis.
- Application de cette formule chez 1.048 agriculteurs du périmètre.

#### Comparaison des résultats du programme avec ceux de 95/96 à l'échelle du périmètre betteravier du Tadla

Campagne	Etape du programme	Formule d'engrais utilisée	Coût engrais total (Dh/ha)	Réduction du coût des engrais par rapport à 95-96	Rendement racines (t/ha)	Polarisation (%)	Valeur de la production (Dh/ha)
1995-96	Enquête (Année de référence)	26-21-0	1 683		55,1	15,3	18.910
Conduite des démonstrations							
1996-97							
1997-98	Dissémination partielle	ASP	1 590	5,5 %	57,5	17,4	21.750
1998-99	Généralisation des résultats	DAP	1 356	19,4 %	51,8	16,1	18.610
1999-2000	Suivi	DAP	1 123	32,3 %	50,8	17,47	20.553

d'urée ayant des teneurs en biurets (composés proches de l'urée produits pendant la fabrication de cet engrais et toxiques pour les plantes) inférieures à 2%.

Le tableau 6 résume les propriétés les plus importantes des principaux engrais utilisés au Maroc.

### Et les effets des engrais sur l'environnement ?

L'utilisation des engrais pour augmenter les rendements des cultures a récemment été l'objet de préoccupations environnementales. Parmi les effets négatifs attribués aux engrais, on peut citer:

- Ils polluent le sol par des métaux lourds toxiques, tel que le cadmium;
  - Ils polluent les eaux souterraines, ce qui affecte la potabilité de l'eau et augmente les dangers de santé;
  - Ils polluent les rivières et les eaux côtières, ce qui peut entraîner l'eutrophisation et affecter la vie des poissons et autres vies aquatiques;
  - Ils polluent l'atmosphère à travers la dénitrification et la volatilisation de l'ammoniac et contribuent ainsi au réchauffement global de la terre.
- Ces effets négatifs des engrais sont le résultat de leur mauvaise utilisation plutôt que des propriétés intrinsèques de ces produits. Actuellement, ces problèmes se posent surtout dans les pays industrialisés à forte utilisation des engrais.

Au Maroc, le niveau d'utilisation des engrais est encore faible avec près de 330.000 tonnes d'éléments nutritifs par année, soit un apport moyen de 45 kg/ha. Bien que les doses moyennes soient faibles, l'utilisation de ces engrais dans certaines zones, surtout les zones irriguées, est excessive. Afin de continuer à tirer profit de l'amélioration de la productivité des cultures que permet l'utilisation des engrais, sans pour autant détériorer la qualité de l'environnement, il est nécessaire d'adopter un code de bonnes pratiques agricoles qui sera basé sur:

- **L'analyse de sol:** réalisée avant l'installation de la culture, elle permet de déterminer ses besoins en

#### 3<sup>ème</sup> étape: Généralisation des résultats (1998/99) sur 18.000 ha

Pour améliorer la rentabilité de betterave à sucre, apport de 214 kg N/ha:

- 2,5 qx/ha de 18-46-0 (DAP) avant le semis (disponible et moins cher que l'ASP),
- 1,5 qx/ha d'urée au démarrage et
- 3 qx/ha d'ammonitrate entre 90 et 120 jours après le semis.

#### Résultats du programme

- Réduction des apports d'azote de 30% par rapport à la pratique des agriculteurs.
- Réductions plus importantes de l'azote apporté au semis: en accord avec la cinétique d'absorption de l'azote par la betterave à sucre.
- Productivité améliorée de la culture.
- Réduction du coût des engrais sans détérioration de la productivité de la betterave à sucre.
- Réduction très importante de plus de 54% des excès d'azote et donc préservation de l'environnement ■ .

(Résultats obtenus dans le cadre du Projet "Management des Ressources du Tadla" de l'ORMVA du Tadla et USAID)

#### Comparaison des résultats des démonstrations avec ceux obtenus par les agriculteurs (campagne 1996/97)

Paramètre	Moyenne des parcelles des agriculteurs	Moyenne des parcelles de démonstration
Azote de fond (kg N/ha)	130	40
Azote de couverture (kg N/ha)	268	200
Azote total apporté (kg N/ha)	398	240
Rendement racines (t/ha)	72	75
Polarisation (%)	15,5	16,4
EUN (tonnes de racines produit par kg de N apporté)	0,19	0,28

éléments nutritifs. Puisque actuellement la majorité des agriculteurs ne font ou ne peuvent pas faire les analyses de sol, un autre moyen serait de mettre au point des formules régionales qui tiennent compte de la fertilité des sols et des techniques de conduite des cultures au niveau de chaque région.

Basés sur ces analyses ou sur la formule régionale, les apports de phosphore et de potassium sont plus efficaces quand ils sont apportés juste avant le semis. L'azote par contre doit être fractionné.

#### ● Un bon raisonnement de la fertilisation azotée:

Prise en considération des autres sources d'azote telles que l'eau d'irrigation et les apports sous forme de résidus organiques.

● **Moment de l'apport:** L'apport des engrais azotés peut être effectué avant ou après l'installation de la culture. En général, un apport avant le semis sera moins efficace à cause du temps de latence entre cet apport et la période de grand besoin de la culture, ce qui va entraîner des pertes. L'azote ammoniacal à une dose appropriée avant le semis est généralement recommandé du fait que les formes mobiles d'azote (nitrate et urée) peuvent être facilement lessivées au-dessous de la zone racinaire des plantules. Aussi, l'azote ammoniacal sera adsorbé et moins sujet au lessivage pour quelques semaines.

■ **Fractionnement des apports d'azote:** Idéalement, l'azote doit être mis à la disposition de la culture à une vitesse qui est égale à celle avec laquelle la plante absorbe cet élément. Les risques de perte d'azote sont assez réduits avec le fractionnement.

■ **Analyses végétales:** La détermination des nitrates dans le végétal évalue ponctuellement le statut azoté de la plante. Elle permet d'apporter d'éventuelles corrections ■ .

Par  
**Dr. Lhoussaine MOUGHLI**

Professeur à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II