

# LES ENGRAIS ET LEURS APPLICATIONS

Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole

Quatrième édition

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION  
ET L'AGRICULTURE  
ASSOCIATION INTERNATIONALE DE L'INDUSTRIE DES ENGRAIS  
INSTITUT MONDIAL DU PHOSPHATE  
Rabat, 2003

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les engrais et leurs applications. Première édition par la FAO, Rome, 1965.

Quatrième édition, version révisée, publiée par la FAO, l'IFA et l'IMPHOS.  
ISBN 92-5-104414-7

IFA  
28, Rue Marbeuf  
75008 Paris, France  
Tél: +33 1 53 93 05 00  
Fax: +33 1 53 93 05 45/546 /547  
Email: [publications@fertilizer.org](mailto:publications@fertilizer.org)  
Internet: [www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org)

IMPHOS  
3, Rue Abdelkader Al Mazini  
B.P. 15963 - Casablanca  
20001, Maroc  
Tél: +212 22 48 41 22/24/25  
Fax: +212 22 48 41 21  
E-mail: [imphos@casanet.net.ma](mailto:imphos@casanet.net.ma)  
Internet: [www.imphos.org](http://www.imphos.org)

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche bibliographique ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit: électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans l'autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation motivées et précisant l'étendue de la reproduction devront être adressées au Directeur de la Division de l'information, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Viale delle Terme di Caracalla, 001000 Rome, Italie.

## Préface

Cette brochure était surtout originellement destinée aux conseillers techniques travaillant pour le Programme Engrais de la FAO. La première édition a été publiée en 1965, la troisième en 1978, et reproduite en 1986.

Pour cette nouvelle édition 2003, une bonne partie du texte de 1978 a été complètement revue et corrigée. De nouvelles connaissances et les récents développements technologiques ont été intégrés au document initial. La brochure explique les besoins en engrais minéraux, leurs rôles dans la croissance des plantes et dans l'amélioration des caractéristiques du sol ayant un rapport avec la fertilisation. Une nouvelle section donne des recommandations générales sur certaines cultures choisies.

La section sur "Comment déterminer les besoins en engrais" comprend des informations sur les symptômes de carence et les analyses de sol et de plantes. Une section donne des explications et des conseils à la fois en matière de la conduite d'une démonstration ou d'un essai d'engrais et plus généralement en techniques de vulgarisation en générale.

Les conseils de fumure pour certaines cultures sont essentiellement tirés du guide pratique de fertilisation de l'IFA: "World Fertilizer Use Manual", publié en 1992. Dans cet ouvrage disponible à l'IFA, Paris\*, on trouvera plus d'informations sur les recommandations. Même si les informations contenues dans cet ouvrage sont plus complètes, l'utilisateur devra y apporter des corrections qui sont nécessaires pour tenir compte des conditions locales de sols et de cultures à partir desquelles ont été tirées les recommandations officielles faites en matière de fertilisation minérale.

---

\* "World Fertilizer Use Manual", 1992, IFA, Paris, 632 p. Site Web, <http://www.fertilizer.org>, aussi disponible sur CD.

**Table des matières**

1. INTRODUCTION	1
2. POURQUOI LES ENGRAIS SONT-ILS NECESSAIRES (POUR AMELIORER LA PRODUCTION AGRICOLE ET LE REVENU DES AGRICULTEURS)	1
Les engrais augmentent les rendements	3
La fumure organique améliore l'efficacité des engrais	4
3. ELEMENTS NUTRITIFS- LEURS ROLES DANS LA PLANTE ET LEURS ORIGINES	6
Éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante	6
Fonctions des éléments nutritifs	7
Photosynthèse	10
4. LE SOL	12
Qu'est-ce qu'un sol?	12
Constituants, texture et structure du sol	13
Rétention et libération des éléments nutritifs	14
Les microorganismes du sol	17
Rhizobium /Fixation biologique de l'azote / Engrais verts/ Mycorrhizes	18
Réaction du sol et chaulage	20
Les sols et les bonnes pratiques agricoles	22
5. RECOMMANDATIONS EN MATIERE DE FERTILISATION DE CERTAINES CULTURES SELON LEURS BESOINS EN ELEMENTS NUTRITIFS	23

---

6. L'IMPORTANCE DE LA FERTILISATION EQUILIBREE	28
7. LES ENGRAIS: PRESENTATION, QUALITE ET ETIQUETAGE	32
Qu'est-ce qu'un engrais?	32
Types d'engrais	35
Engrais retard / Inhibiteurs de la nitrification et de l'uréase	41
8. CALCUL DES DOSES D'ENGRAIS A APPLIQUER	43
9. MODE D'APPLICATION DES ENGRAIS	47
Épandage à la volée	48
Localisation en lignes ou en bandes	49
Épandage en couverture	49
Localisation latérale	50
Application foliaire	50
10. COMMENT DETERMINER LES BESOINS EN ENGRAIS	51
Signes de plantes carencées	51
Analyses de sol	55
Analyse des plantes	58
Démonstrations et essais d'engrais sur le terrain	59
Expérimentations aux champs de longue durée	60
11. AUTRES FACTEURS LIMITANT LES RENDEMENTS	61
12. VULGARISATION EN MATIERE D'ENGRAIS	63
Conduite d'une démonstration ou d'un essais d'engrais	64
Détermination de la surface des parcelles	68
Calcul de la dose d'engrais par parcelle	70
Épandage d'engrais à la volée sur de petites parcelles	71
Évaluation d'une démonstration ou d'un essai d'engrais	72
Conduite des réunions sur les engrais	74
13. CONCLUSIONS	76
ANNEXE: FACTEURS DE CONVERSION	77

## Liste des figures

1. Evolution des rendements de trois cultures aux Etats-Unis d'Amérique, de 1930 à 1998	3
2. La profondeur d'enracinement des plantes avec et sans fertilisation	4
3. Composition élémentaire moyenne des plantes	6
4. Les plantes fabriquent des sucres à partir de la lumière du soleil, de l'air, de l'eau et des éléments nutritifs du sol	10
5. Pour obtenir le rendement le plus élevé possible, aucun élément nutritif ne doit constituer un facteur limitant	11
6. La fertilisation équilibrée et son effet sur le rendement des cultures -Pakistan	32
7. Schéma de filières de production des engrais	33
8. Sources relatives d'éléments nutritifs selon les résultats de l'analyse de sol	55
9. Comment prélever un échantillon de sol	57
10. Importance de la protection phytosanitaire	62
11. Exemple de l'implantation d'un essai de démonstration simple avec une parcelle témoin et deux différents traitements	69
12. Méthode correcte pour l'application d'engrais à la volée sur une petite parcelle	71

**Liste des tableaux**

1. Quantités d'éléments nutritifs prélevées par certaines cultures, en kilogrammes par hectare	24
2. Quelques engrais importants	37
3. Engrais complexes - teneurs en éléments nutritifs	39
4. Quelques importantes sources d'oligo-éléments	41

## **1. Introduction**

En tant qu'agent de vulgarisation, vous êtes un leader dans votre village ou votre communauté. Les agriculteurs attendent de vous des réponses et les moyens d'améliorer leur exploitation. Plus vos réponses seront justes, plus ils auront confiance en vous. Ce manuel vous donnera les informations nécessaires pour vous permettre d'apprendre aux agriculteurs l'utilisation convenable des engrais et de leur montrer comment cette utilisation devrait faire partie d'un programme intégré de bonnes pratiques agricoles, aboutissant à une amélioration de la production agricole et du revenu des agriculteurs.

Les engrais apportent aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elles ont besoin. Ils permettent d'augmenter la production et d'améliorer la qualité des cultures vivrières et celle des cultures de rente. Grâce aux engrais, vous pouvez améliorer la fertilité des sols pauvres qui ne cessent de se dégrader sous l'effet d'une surexploitation. Tous ces éléments permettent d'assurer un meilleur bien-être de votre village, de votre communauté et de votre nation.

## **2. Pourquoi les engrais sont-ils nécessaires (pour améliorer la production agricole et le revenu des agriculteurs)**

Selon les projections de la Banque Mondiale, la population mondiale passera de 6 milliards en 1999 à 7 milliards en 2020. Il se peut que vous viviez dans l'un des pays d'Afrique où se manifeste la croissance la plus élevée de la population, soit en terme de taux relatif soit en terme absolu de croissance en nombre d'habitants. Si c'est le cas, les conséquences de cette croissance seront bien connues par vous: tout ce monde doit être logé et vêtu, mais plus que cela, il doit être nourri. Dans une large mesure, l'augmentation nécessaire de la production agricole doit provenir à 90 pour cent des terrains déjà cultivés.



La FAO estime à 790 millions le nombre de personnes souffrant de sous-alimentation dans les pays en voie de développement entre 1995 et 1997. Ce nombre de personnes qui souffrent de la faim a été réduit en moyenne de 8 millions par an au cours des dernières années. Si on n'accélère pas cette tendance, près de 600 millions de personnes continueraient à souffrir de la faim en 2015.

La majorité des agriculteurs du secteur de la production vivrière dans les pays en voie de développement sont des petits exploitants agricoles qui font partie de la population rurale pauvre. Ainsi, l'introduction de meilleurs systèmes et technologies agricoles est un enjeu particulièrement important pour eux, puisque la meilleure productivité ne signifie pas seulement un volume accru d'aliments, mais aussi une rémunération accrue.

En résumé, l'exploitation agricole en tant qu'activité a deux principaux objectifs:

1. approvisionner la population croissante de votre pays (mais aussi celle des autres pays) en quantités croissantes de produits alimentaires et de fibre dont elle a besoin; et
2. assurer un revenu satisfaisant pour l'agriculteur et sa famille.

Il est difficile d'évaluer exactement la contribution des engrais minéraux à l'amélioration de la production agricole. Ceci est dû en partie à l'interaction de plusieurs autres facteurs importants. Cependant, les engrais continueront à jouer un rôle décisif, indépendamment de l'émergence de nouvelles technologies. Globalement, il est estimé qu'à peu près 40% (de 37% à 43%) des réserves mondiales en protéines alimentaires, au milieu des années 1990, trouvaient leur origine dans la production de l'azote synthétique par le procédé Haber-Bosch, procédé utilisé pour la fixation de l'azote atmosphérique sous forme d'ammoniac<sup>1</sup> (fixation industrielle).

---

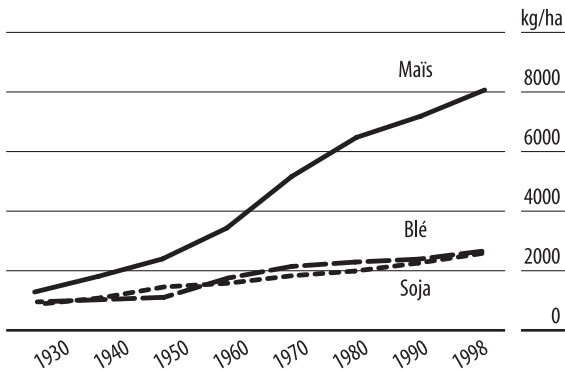
<sup>1</sup> Smil, V. 1999. "Long-range Perspectives in Inorganic Fertilizers in Global Agriculture". 1999 Travis P. Hignett Lecture, IFDC, Alabama, USA.

## LES ENGRAIS AUGMENTENT LES RENDEMENTS

Les éléments nécessaires à la plante viennent de l'air et du sol. Cette brochure ne décrit pas les éléments fournis par l'air, mais ceux fournis par le sol. Si le sol est abondamment pourvu en éléments nutritifs, les plantes poussent bien et donnent des rendements élevés.

Si le sol est pauvre en l'un seulement des éléments indispensables aux plantes, la croissance de celles-ci est limitée et leurs rendements réduits. Si nous voulons obtenir de bons rendements, nous devons fournir aux cultures les éléments dont le sol n'est pas suffisamment pourvu. Les engrais permettent souvent de doubler et même de tripler les rendements. Les résultats de plusieurs milliers d'essais et de démonstrations effectués pendant plus de 25 ans chez les agriculteurs de 40 pays dans le cadre du Programme Engrais de la FAO ont montré que la moyenne pondérée des rendements pour la culture du blé augmente de 60 pour cent environ dans le cas du meilleur traitement. Cette augmentation varie évidemment d'une région à l'autre (due par exemple au manque d'eau), d'une culture à l'autre et d'un pays à l'autre.

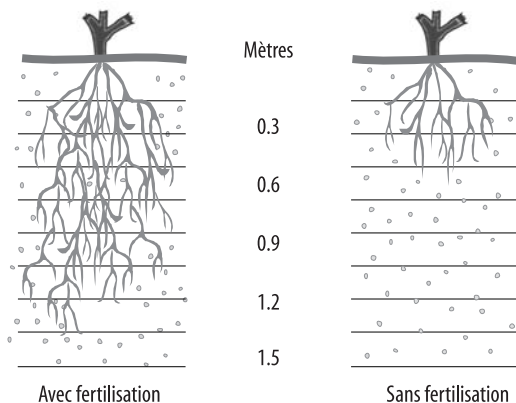
Figure 1. **Evolution du rendement de trois cultures aux Etats-Unis d'Amérique, de 1930 à 1998**



L'efficacité des engrais et la réponse des cultures à la fertilisation sur un sol donné sont des éléments qui peuvent être facilement étudiés par apports de différentes doses d'engrais à des parcelles adjacentes et par mesure et comparaison des rendements culturaux obtenus. (Cf. Section 12). De tels essais peuvent servir aussi à montrer un autre aspect très important de la fertilisation, à savoir que les engrais assurent aussi une utilisation plus efficace de la terre et notamment de l'eau. Ce sont des facteurs importants dans les régions à faibles précipitations ou dans des situations où l'irrigation est nécessaire; tel est le cas où le rendement par unité d'eau utilisée pourrait être plus que doublé (Figure 2).

Figure 2. **La profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation**

En sol pauvre, les engrais augmentent la profondeur des racines.



## LA FUMURE ORGANIQUE AMELIORE L'EFFICACITE DES ENGRAIS

Avant de penser à appliquer les engrais, assurez-vous à utiliser toutes les sources d'éléments nutritifs disponibles: bouses de vache, fumier de porc, fiente de poulet, déchets végétaux, pailles, tiges de maïs (y compris les feuilles et les rafles) et toutes autres matières organiques. Les sources doivent

cependant être bien compostées et bien décomposées avant leur épandage dans les champs. Au cours de la décomposition de la matière organique (paille de maïs, par exemple), certains éléments nutritifs du sol, notamment l'azote, sont temporairement fixés et ainsi deviennent non utilisables par la culture pratiquée.

En dépit de leur faible et variable teneur en éléments nutritifs, les matières organiques sont bénéfiques, parce qu'elles ont un effet favorable sur les caractéristiques du sol en général. La matière organique améliore la structure, diminue l'érosion du sol, a un effet régulateur sur sa température, et permet au sol de stocker davantage d'eau, contribuant ainsi à améliorer significativement la fertilité du sol. En outre, la matière organique est un milieu de culture pour les organismes vivants dans le sol.

Grâce à ces propriétés, les engrais organiques sont souvent à la base de l'obtention de meilleurs effets résultant de l'utilisation des engrais minéraux. La combinaison d'engrais organiques et minéraux (*Systèmes Intégrés de Nutrition des Plantes, SINP*) crée les meilleures conditions de production pour les cultures, car la matière organique / les engrais organiques améliorent les propriétés du sol alors que les engrais minéraux apportent aux plantes les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires.

Cependant, la fumure organique / la matière organique seule ne suffit pas; souvent elle n'est pas disponible en grandes quantités pour assurer le niveau de production agricole escompté par l'agriculteur. Elle doit être complétée par l'application d'engrais minéraux. Même dans les pays où une forte proportion des déchets organiques est employée comme engrais et amendements organiques, les consommations en engrais minéraux augmentent régulièrement.

### 3. Éléments nutritifs - leurs rôles dans la plante et leurs origines

#### ELEMENTS NUTRITIFS NECESSAIRES A LA CROISSANCE DE LA PLANTE

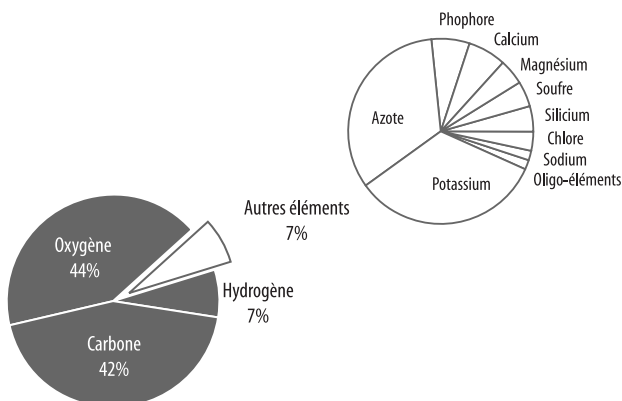
Pour se développer, la grande majorité des plantes ont besoin de 16 éléments nutritifs qui doivent provenir de l'air et du sol. Dans le sol, leur transport se fait à travers la solution du sol.

Les éléments ci-après proviennent:

- de l'air: carbone (C) sous forme de  $\text{CO}_2$  (anhydride carbonique);
- de l'eau: l'hydrogène (H) et l'oxygène (O) sous forme de  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- du sol et des engrais minéraux et organiques: l'azote (N) - les légumineuses utilisent l'azote de l'air avec l'aide de bactéries fixatrices vivant dans les nodules qui se trouvent sur leurs racines (Cf. Section 4, *Rhizobium / fixation biologique de l'azote / application d'engrais verts / mycorrhize*) phosphore (P), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn), cuivre (Cu), bore (B), molybdène (Mo) et chlore (Cl).

Ces éléments nutritifs et leur concentration moyenne dans la matière sèche de la plante sont indiqués dans la Figure 3.

Figure 3. **Composition élémentaire moyenne des plantes**



D'autres éléments chimiques sont également absorbés et peuvent être bénéfiques pour certaines plantes, mais ils ne sont pas indispensables à toutes les plantes pour leur croissance.

Les engrais, le fumier et les résidus de récolte appliqués au sol augmentent l'apport d'éléments nutritifs. Les quantités des principaux éléments nutritifs nécessaires aux cultures les plus importantes sont indiquées en détail à la section 10.

## FONCTIONS DES ELEMENTS NUTRITIFS

À l'exception du carbone (C), qui sera examiné sous la rubrique "Photosynthèse", les éléments nutritifs sont tous prélevés par la plante dans la solution du sol. On les répartit en deux catégories (classification quantitative):

- a) *Les macro-éléments*, répartis en "éléments majeurs" et "éléments secondaires"; et
- b) *Les oligo-éléments* ou *les éléments traces*.

**Les Macro-éléments** sont nécessaires en grandes quantités et des applications importantes peuvent être indispensables si le sol est carencé en un ou plusieurs de ces éléments. Les sols peuvent être pauvres en éléments nutritifs, soit naturellement, soit à cause des prélèvements effectués par les cultures pendant plusieurs années ou encore du fait que l'on cultive des variétés à haut rendement (HYV) qui sont plus exigeantes en éléments nutritifs que les variétés locales.

Contrairement aux macro-éléments, des quantités infimes de *micro-éléments* ou *oligo-éléments* suffisent à une croissance correcte des plantes et ceux-ci doivent être apportés en très petites quantités lorsque le sol n'est pas en mesure de les fournir.

Parmi les *macro-éléments*, dont la plante a besoin en grandes quantités pour sa croissance, les **principaux éléments** sont *l'azote, le phosphore et le potassium*.

*Azote (N)*: Il est le moteur de la croissance végétale. Il représente 1 à 4 pour cent de la matière sèche végétale. Il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique ( $\text{NO}_3^-$ ) soit ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ). Il se combine aux composés du

métabolisme des hydrates de carbone de la plante pour donner des acides aminés et des protéines. Etant le constituant essentiel de protéines, il intervient dans les principaux processus de développement de la plante et de détermination du rendement. Un bon apport d'azote à la plante est aussi important pour l'absorption d'autres éléments nutritifs.

*Phosphore (P)*: Il compte pour 0,1 à 0,4 pour cent de la matière sèche, et joue un rôle déterminant dans le transfert d'énergie. Ainsi il est indispensable à la photosynthèse et aux autres processus chimico-physiologiques de la plante. Il est essentiel à la différenciation cellulaire et au développement des jeunes tissus à partir desquels se fait la croissance de la plante. La plupart des sols cultivés et ceux non cultivés sont carencés en phosphore ou ont une fixation élevée vis-à-vis du phosphore, limitant ainsi sa biodisponibilité.

*Potassium (K)*: Il représente 1 à 4 pour cent de la matière sèche de la plante et ses fonctions sont multiples. Il active plus de 60 enzymes (substances chimiques qui gouvernent la vie). Il joue ainsi un rôle vital dans la synthèse des hydrates de carbone et des protéines. K améliore le régime hydrique de la plante et accroît sa tolérance à la sécheresse, au gel et à la salinité.

Les plantes bien alimentées en potassium sont moins sensibles aux maladies.

Les **éléments secondaires** sont le *magnésium*, le *soufre* et le *calcium*. Ils sont également absorbés par les plantes en grandes quantités.

*Magnésium (Mg)*: Il est le constituant central de la chlorophylle, le pigment vert des feuilles qui capte l'énergie fournie par le soleil: c'est ainsi que 15 à 20 pour cent du magnésium contenu dans la plante se trouvent dans les parties vertes. Mg intervient aussi dans les réactions enzymatiques relatives au transport de l'énergie dans la plante.

*Soufre (S)*: Il est un constituant essentiel des protéines. En outre, il intervient dans la formation de la chlorophylle. Il représente dans la plupart des plantes 0.2 à 0.3 (0.05 à 0.5) pour cent de la matière sèche. Il joue un rôle aussi important que le

phosphore et le magnésium dans la croissance des plantes; mais son rôle est souvent sous-estimé.

*Calcium (Ca)*: Il est indispensable pour la croissance des racines et aussi comme constituant des matériaux de la membrane cellulaire. Bien que la plupart des sols soient abondamment pourvus en calcium assimilable, une carence en Ca peut se produire en sols tropicaux fortement épuisés en calcium. Toutefois, l'application de Ca est généralement considérée comme un chaulage qui vise à corriger l'acidité du sol.

Les **oligo-éléments ou éléments traces** sont le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le molybdène (Mo), le chlore (Cl) et le bore (B). Ils font partie des substances clés de la croissance des plantes et sont comparables aux vitamines dans la nutrition humaine. Comme ils sont absorbés en quantités infimes, leur apport pour obtenir leur seuil optimal se situe à des niveaux très faibles. Leur disponibilité pour les plantes (biodisponibilité) dépend principalement de la réaction du sol. Une application abondante de bore peut avoir un effet défavorable sur la culture suivante dans la rotation.

Certaines cultures peuvent tirer avantage d'autres *éléments nutritifs utiles* tels que le *sodium (Na)* pour la betterave, et la *silice (Si)* pour les céréales, qui renforce leurs tiges et, ainsi, leur résistance à la verse. Le *Cobalt (Co)* joue un rôle important dans le processus de fixation de l'azote par les légumineuses.

Par ailleurs, certains oligo-éléments peuvent être toxiques aux plantes, mais à des concentrations plus ou moins élevées par rapport à la normale. Dans la plupart des cas, cette toxicité se manifeste quand le pH est faible à très faible. Les toxicités aluminiques et manganiques sont les plus courantes. Elles ont une relation directe avec les sols acides.

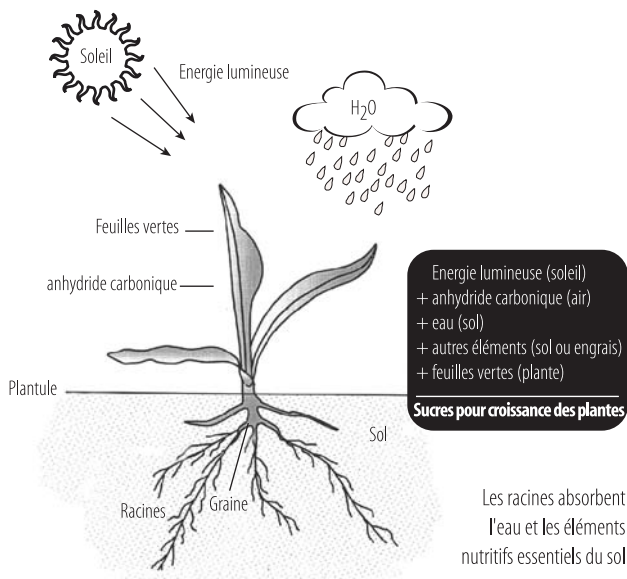
Il est important de savoir que tous les éléments nutritifs, que leurs besoins pour la plante soient importants ou très faibles, jouent chacun un rôle propre pour la croissance des plantes et la production alimentaire - *il ne peut donc y avoir de substitution d'un élément par un autre.*



## PHOTOSYNTHESE

Grâce à l'évaporation de grandes quantités d'eau pendant la journée, les éléments nutritifs prélevés dans le sol sont transportés jusqu'aux feuilles de la plante.

Figure 4. **Les plantes fabriquent des sucres à partir de la lumière du soleil, de l'air, de l'eau et des éléments nutritifs du sol**



C'est dans les feuilles vertes qu'à lieu le phénomène important appelé photosynthèse, c'est le moyen dont se sert la nature pour transformer les éléments inorganiques, prélevés par la plante dans l'air et dans le sol, en matière organique, grâce à l'énergie lumineuse du soleil: l'énergie solaire se transforme en énergie chimique (Figure 4).

Le rôle important de la photosynthèse tient au fait que l'anhydride carbonique et l'eau sont transformés en hydrates de carbone (sucre) qui constituent le matériel de base pour la synthèse de toutes les autres substances organiques produites par la plante. Il n'y aurait pas de vie sur terre sans photosynthèse.

Pour un bon fonctionnement de ce processus, il est important d'assurer un approvisionnement adéquat en éléments nutritifs. En l'absence d'un quelconque des éléments nutritifs indispensables, la photosynthèse est retardée.

Si cet élément est présent, mais en quantité insuffisante, des signes de malnutrition (symptômes de carence) se manifestent sur la plante comme cela nous arrive lorsque notre alimentation est inadéquate. La croissance d'une plante dépend d'un approvisionnement convenable en chacun des éléments nutritifs et le rendement est limité par les éléments en quantité insuffisante (facteur minimum limitant le rendement). C'est ce qu'on observe dans la pratique agricole dans le cas des éléments nutritifs, azote, phosphore, potassium, magnésium et soufre. C'est pourquoi ces éléments nutritifs doivent être apportés sous forme d'engrais minéraux afin d'obtenir des rendements élevés.

Figure 5. **Pour obtenir le rendement le plus élevé possible, aucun élément nutritif ne doit constituer un facteur limitant**

Ces éléments interagissent les uns avec les autres. Aussi, la culture peut tirer le meilleur parti possible d'une bonne utilisation du facteur limitant, lorsque les autres facteurs sont proches de leur niveau optimal.



Le rendement des plantes cultivées ne peut dépasser le niveau permis par l'élément nutritif le plus limitant

## 4. Le Sol

La meilleure réponse culturale à la fertilisation s'obtient sur sol ayant un niveau de fertilité élevé. Les principaux facteurs qui déterminent la fertilité du sol sont: la matière organique du sol (y compris la biomasse microbienne), la texture du sol, sa structure, sa profondeur, sa teneur en éléments nutritifs, sa capacité de stockage (capacité d'adsorption<sup>2</sup>), sa réaction et l'absence d'éléments toxiques (aluminium libre, par exemple). Les sols diffèrent largement en ce qui concerne ces facteurs. Il est impératif que les agriculteurs aient une connaissance de base de leur sol pour savoir comment introduire des améliorations à des sols pauvres ou à fertilité modérée.

### QU'EST-CE QU'UN SOL?

Le sol est un matériau remarquable. C'est la couche la plus superficielle de la terre qui s'est transformée lentement par altération sous l'action du climat, de la végétation et de l'homme. La roche-mère à partir de laquelle s'est formé le sol peut être constituée par la roche sous-jacente ou par des sédiments provenant des rivières et des mers (sols alluviaux) ou de l'action du vent (sols éoliens tels que loess) ou sols de cendres volcaniques.

Le sol supporte la plante en lui fournissant une couche perméable pour ses racines. Il se comporte comme un entrepôt des éléments nutritifs et de l'eau. Les sols ne se ressemblent pas. Selon leur composition, ils ont une aptitude différente à fournir aux plantes les divers éléments nutritifs. Contrairement à une idée répandue, la couleur du sol en dit très peu sur sa fertilité.

---

<sup>2</sup> *L'adsorption* correspond à la propriété d'argile et des particules de la matière organique d'attirer / faire adhérer à leur surface des molécules d'eau et des ions.

*L'absorption* est un processus qui consiste en la pénétration de l'eau et des éléments nutritifs dans la surface des racines dès qu'il y a prélèvement par ces racines.

## CONSTITUANTS, TEXTURE ET STRUCTURE DU SOL

Le sol se compose de particules minérales de différentes dimensions, produits de la décomposition de la roche-mère et de la matière organique (résidus végétaux et animaux), ainsi que de quantités variables d'eau et d'air.

*Les particules solides* sont classées selon leur dimension en gravier et cailloux (diamètre dépassant 2 mm), sable (2,0 à 0,02 mm), limon (0,02 à 0,002 mm) et argile (moins de 0,002 mm).

*La texture du sol* se définit par ses proportions relatives en sable, limon et argile. Selon leur texture, les sols sont décrits comme sableux, sablo-limoneux, limoneux, limono-argileux, argileux, etc. On les nomme aussi sols "légers" (par exemple sols sableux et sablo-limoneux), "moyens" (par exemple sols limoneux) ou "lourds" (par exemple sols limono-argileux et argileux) sur la base de la possibilité de travailler le sol.

*La structure du sol* caractérise l'assemblage des particules les plus fines en agrégats plus gros. Un sol humide ayant une bonne structure contient environ 50 pour cent de matière solide par unité volumique, et 25 pour cent d'eau et d'air chacun.

La texture et la structure du sol sont particulièrement importantes pour la fertilité du sol et par conséquent pour la croissance des plantes. Des sols à texture grossière (ou sableux) ne retiennent pas bien l'eau et les éléments nutritifs. Dans ces conditions les apports d'engrais doivent se faire avec précaution pour éviter le lessivage des éléments nutritifs tels que l'azote et le potassium. Les sols argileux, par contre peuvent stocker l'eau et les éléments nutritifs mais peuvent présenter de mauvaises qualités de drainage et d'aération.

Pour améliorer leur structure, il est conseillé de réduire la prise en masse de ces sols par le chaulage ou par l'apport de matière organique.

Le travail du sol ou le labour facilitent *l'approfondissement du sol* (le volume du sol accessible au système racinaire), mais aussi tendent à détruire la structure du sol. Par contre, la matière organique tend à la reconstituer et à la stabiliser, comme elle améliore la capacité de rétention du sol.

Dans les zones tempérées, à climat frais et humide, où la décomposition des résidus des plantes est lente, les sols peuvent devenir très riches en matière organique (souvent plus de 5 pour cent). Dans les régions subtropicales caractérisées par un climat chaud et aride, les sols sont généralement pauvres en matière organique (parfois 0,1 pour cent), mais leur structure est souvent excellente compte tenu de leur richesse en calcium. Dans les régions tropicales, où la matière organique disparaît rapidement du fait du climat et de l'activité microbienne, les oxydes de fer et d'aluminium confèrent souvent aux sols une grande stabilité.

### **RETENTION ET LIBERATION DES ELEMENTS NUTRITIFS**

L'altération de la roche-mère forme les sols et libère les éléments nutritifs. La teneur initiale en minéraux de la roche-mère et la nature et l'intensité du processus d'altération déterminent la nature et la quantité d'éléments nutritifs libérés. L'argile (minéraux d'argile), la matière organique et dans une moindre mesure certains hydroxydes de fer retiennent les éléments nutritifs sous une forme moins assimilable par les plantes. Ceux-ci sont fixés sur ces constituants du sol (*complexe adsorbant*). L'aptitude d'un sol à retenir une certaine quantité d'éléments nutritifs (*capacité de stockage ou d'adsorption*) détermine sa fertilité naturelle.

Les éléments nutritifs sont attirés par les minéraux argileux et par la matière organique (complexe adsorbant) selon qu'ils ont une charge positive (+) (cations) ou négative (-) (anions), comme une bille de fer est attirée par un aimant.

L'eau du sol contenant les éléments nutritifs sous forme dissoute est appelée *la solution du sol*. Etant donné que les racines de la plante ne peuvent absorber que les éléments dissous, il faut que ceux-ci soient libérés par le complexe adsorbant et passent dans la solution du sol pour devenir effectivement assimilables par la plante.

Il existe dans le sol un équilibre entre les éléments nutritifs adsorbés sur les particules de sol et ceux libérés dans la solution

du sol. Lorsque cet équilibre est rompu, par exemple suite aux prélèvements effectués dans la solution du sol par les racines, de nouveaux éléments nutritifs sont libérés par le complexe adsorbant pour rétablir un nouvel équilibre. Les cations sont alors remplacés par  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  du pool solide (éléments nutritifs non dissous) ou par des ions  $\text{H}^+$ , tandis que les anions sont remplacés par  $\text{OH}^-$  ( $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{eau}$ ). Les éléments nutritifs libérés vont de la solution la plus concentrée, située au voisinage du complexe adsorbant, vers la solution la moins concentrée au voisinage des racines. Ce processus de transport des éléments nutritifs depuis le complexe adsorbant jusqu'à la racine est appelé *diffusion*.

Dans les sols laissés sans culture (en jachère) pendant quelque temps, les éléments nutritifs libérés dans la solution du sol s'accumulent. C'est en particulier le cas de l'azote provenant de la décomposition de la matière organique. En milieu humide, et dans des sols légers, ceci peut induire un effet négatif sur l'environnement du fait que si les sols sont de texture légère et se trouvent sous climat humide, la plupart de l'azote accumulé sera lessivée vers les eaux souterraines (ou perdu par dénitrification<sup>3</sup>); le potassium accumulé peut aussi être perdu par lessivage.

En milieu semi-aride, les éléments nutritifs (par exemple les chlorures et les sulfates de sodium, de calcium et de magnésium) peuvent être amenés vers la surface avec l'évaporation de l'eau et causer des dommages à la culture qui succède à la jachère, et qui résultent de la salinisation du sol.

Cependant, les sols anciens et fortement altérés qui ont perdu la plupart de leurs cations ont des surplus de charges négatives. Les éléments nutritifs à charges positives appliqués à ces sols seront retenus par ceux-ci.

La force d'attraction du complexe adsorbant est fonction des éléments nutritifs, cations ou anions, présents. En présence

<sup>3</sup> La perte de l'azote se fait par sa transformation en anaérobiose par la vie microbienne du sol en oxydes d'azote et en azote gazeux. Cette perte de l'azote est notamment favorisée dans des conditions créées par la submersion du sol:  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$

de cations, cette force est essentiellement influencée par la charge de ceux-ci et leur degré d'hydratation. De tous les cations, c'est l'aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) qui est le plus fortement retenu par le complexe adsorbant, viennent ensuite les micro-éléments métalliques (tels que le fer, le manganèse et le zinc) et le potassium ( $\text{K}^+$ ), l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). En ce qui concerne les anions, l'ion phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), qui a un fort degré d'immobilité, est fortement retenu sur certaines positions à charge positive de minéraux argileux et de constituants du sol tels que le calcium, le fer et l'aluminium. Par contre, l'ion chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) et l'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) ont tendance à rester mobiles dans la solution du sol, et à être entraînés par l'eau du sol qui se déplace vers les racines. Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), comme les nitrates, demeurent relativement mobiles et susceptibles au lessivage.

Lorsque la matière organique, le compost et les engrais sont appliqués à un sol dont les ressources naturelles ne lui permettent pas de fournir aux plantes les éléments nutritifs nécessaires pour une croissance optimale, les engrais appliqués au sol se dissolvent et leurs cations et anions se comportent comme indiqués ci-dessus.

Le processus d'adsorption des éléments nutritifs et de libération dans la solution de sol est très important. En particulier, la différence entre le pouvoir d'adsorption des cations et celui des anions a un effet important sur la méthode et l'époque d'application des engrais (notamment les engrais azotés) afin de leur assurer le meilleur coefficient d'utilisation et d'éviter la pollution par lessivage.

Il faut se rappeler que la matière organique est capable d'adsorber davantage d'éléments nutritifs qu'une quantité comparable d'argile. Aussi est-il important d'élever le niveau de la matière organique dans un sol tropical dégradé où le constituant minéral a une capacité d'adsorption moindre (par exemple sols kaolinitiques).

## LES MICROORGANISMES DU SOL

L'activité des microorganismes du sol est déterminante pour avoir une fertilité élevée du sol et une très bonne production agricole. L'agriculteur tire un grand intérêt de l'activité microbienne du sol dans la mesure où celle-ci permet la décomposition de la matière organique du sol pour former l'humus, favorise l'agrégation des particules du sol et partant améliore sa structure, protège les racines contre les maladies et insectes nuisibles, accroît la rétention des éléments nutritifs, notamment l'azote, produit des hormones de croissance pour les plantes, et chélate la plupart des éléments polluants ou nocifs qui tendent à s'accumuler dans le sol.

L'activité des bactéries du sol transforme l'azote (N), le phosphore (P) et le soufre (S) qui se trouvent sous formes de composés organiques insolubles mélangés au sol et ingérés par les vers de terre, en éléments biodisponibles pour les plantes. En plus de leur action dans l'assimilation par les plantes des éléments nutritifs, les bactéries jouent un important rôle dans le cycle de l'azote du sol, et notamment dans les processus de transformation de l'azote organique en azote ammoniacal<sup>4</sup>, dans la nitrification<sup>5</sup>, la dénitrification et la fixation biologique de l'azote<sup>6</sup>.

La majorité de la faune et de la flore du sol vivent et sont actives en conditions d'aérobies, ce qui veut dire qu'elles ont besoin d'oxygène de l'air. Toutefois, certaines espèces vivent sous conditions anéorobiques (Voir la note 3 de bas de page).

<sup>4</sup> Par exemple, l'ammoniaque issue des aminoacides:  
 $\text{humus} \rightarrow \text{R-NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{R-OH}$

<sup>5</sup> Transformation de l'ammoniac par action bactérienne ( $\text{NH}_4^+$ ) (à partir de l'ammonification ou des engrais) en  $\text{NO}_3^-$ :

$$2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow \text{Nitrosomonas} \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 3 \text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$$

$$2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow \text{Nitrobacter / Nitrosolobus} \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$$

Il est supposé que durant le processus de nitrification, il y a des pertes considérables de l'azote se produisant sous forme de gaz qui revêtent une importance sur le plan environnemental, des gaz comme le  $\text{N}_2\text{O}$  et  $\text{NO}$ .

<sup>6</sup> Voir *Rhizobium* ou la fixation biologique de l'azote.



L'élément chimique qui a une importance primordiale pour la grande majorité des micro-organismes du sol est le carbone (C) (le dioxyde de carbone ou gaz carbonique provient de l'acide carbonique contenu dans la matière organique du sol). Ainsi, le niveau de dioxyde de carbone dans le sol est une mesure de l'activité microbienne du sol.

Une teneur en eau suffisante, un pH se situant entre 5 et 6 (de même qu'une température entre 15° et 35°C) et une teneur suffisante en matière organique (source de carbone et d'énergie) assurent les conditions optimales de vie et d'activité des microorganismes du sol.

L'agriculteur peut contribuer à favoriser leurs activités bénéfiques grâce:

- au maintien d'une bonne aération et d'une bonne capacité de stockage hydrique du sol et aussi d'un bon drainage du sol;
- au maintien du pH du sol à un niveau optimal (pH 5 à 6), moyennant l'application de la chaux à des quantités modérées, en évitant des variations de pH extrêmes;
- à des apports élevés de matière organique au sol;
- à la culture de plantes de couverture ou à la pratique de mulch pour réduire l'érosion et conserver l'humidité du sol; et
- à des interventions culturales permettant d'éviter une utilisation inappropriée de produits chimiques qui peuvent induire un déséquilibre dans le sol et provoquer des dégâts sur les cultures pratiquées.

## **RHIZOBIUM / FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE / ENGRAIS VERTS / MYCORRHIZES**

Les légumineuses (fève, pois, soja, trèfle, luzerne, et vesces) sont d'importantes sources d'azote. Elles vivent en symbiose avec des *rhizobium* qui se trouvent dans les nodules de leurs racines et qui peuvent fixer l'azote de l'air (N<sub>2</sub>).

Les légumineuses fournissent aux microorganismes du sol l'énergie, l'eau et les éléments nutritifs nécessaires à leur

développement et reçoivent d'eux en contrepartie l'azote qu'ils fixent. En conditions favorables, la fixation biologique de l'azote peut apporter 15 à 20 kg N/ha et peut fournir un maximum de 200 kg N/ha. La valeur moyenne de 15 à 20 kg N/ha est très faible mais peut être intéressante pour les petits exploitants qui n'ont pas les moyens d'acheter les quantités d'engrais azotés pour couvrir leurs besoins et n'ont pas, non plus, accès aux crédits.

Les légumineuses préfèrent les sols calcaires et donc ne poussent pas bien sur des sols acides. Dans le cas de sols acides, il est nécessaire de faire un chaulage avant de cultiver une légumineuse. Il est également nécessaire d'avoir un sol bien pourvu en phosphore et en potassium biodisponibles.

Les légumineuses sont des plantes à racines profondes; elles améliorent la structure des sols et remontent en surface des éléments nutritifs qu'elles prélèvent dans les couches profondes des sols.

Pour une première culture aux champs ou une culture faite après plusieurs années de cultures sans légumineuses, les semences de légumineuses doivent être inoculées avec la souche de *rhizobium* adaptée aux conditions du sol cultivé pour assurer une bonne fixation biologique de l'azote. Etant donné que chaque espèce de légumineuse vit en symbiose avec un type spécifique de *rhizobium*, il importe alors de contacter la station de recherche expérimentale régionale concernée pour avoir les informations nécessaires avant de pratiquer l'inoculation. Dans ces conditions, l'apport d'une fertilisation azotée modérée favorisera le développement des rhizobium dans le sol.

Après la récolte ou la coupe, et surtout dans le cas où la culture servirait comme *engrais vert*, ce qui signifie qu'elle sera totalement enfouie dans le sol avant sa maturité, une grande partie de l'azote fixé restera dans la masse racinaire qui va subir une décomposition dans le sol. Dans ces conditions, l'agriculteur est vivement conseillé d'installer rapidement la culture suivante, qui va tirer partie de l'azote qui va être libéré dans la solution du sol, et éviter ainsi le lessivage des nitrates vers la nappe

phréatique ou la volatilisation de l'azote décomposé (voir Section 4 sur *Rétention et libération des éléments nutritifs*). Bien entendu, des cultures autres que des légumineuses peuvent être aussi pratiquées comme engrais verts.

Les cultures qui poussent rapidement, même sur sols pauvres, et qui produisent une biomasse aérienne abondante peuvent être utilisées comme engrais verts ou plantes de couverture. Les plantes de couverture diffèrent des engrais verts en ce sens qu'elles ne sont pas destinées à être enfouies dans le sol mais à servir comme mulch. Elles sont très appropriées dans les régions à faible pluviométrie et fournissent de la matière organique au sol. Les plantes de couverture peuvent aussi présenter un certain intérêt pour les exploitants qui ne disposent que de petites surfaces de cultures.

Les racines de la quasi-totalité des plantes cultivées sont infectées par un autre type de microorganismes du sol, les mycorrhizes. Les mycorrhizes sont des champignons qui forment un réseau de filaments de mycélium sur les racines et augmentent ainsi leur surface racinaire. L'effet bénéfique des mycorrhizes pour la plante est remarquable pour ce qui concerne l'augmentation de ses prélèvements en éléments nutritifs, le phosphore en particulier, et sa protection contre les attaques des parasites du sol et des maladies.

Dans les rizières de bas-fonds, une fougère aquatique, *Azolla* (*Anabaena azolla*), qui vit en association avec des algues bleu-vert fixateurs d'azote, est utilisée comme une source d'azote efficace.

Dans des conditions favorables, un tiers à la moitié de la dose d'azote préconisée peut être économisé si on utilise ce type d'engrais vert.

## **REACTION DU SOL ET CHAULAGE**

*La réaction du sol* est un autre facteur important pour la productivité et la croissance des plantes. Elle est représentée par les unités de pH. Un pH de 7 signifie que le sol est

chimiquement neutre; des valeurs inférieures indiquent qu'il est acide (avec un excès d'ions hydrogène ( $H^+$ ) sur le complexe adsorbant); des valeurs supérieures indiquent qu'il est alcalin (prédominance d'ions calcium ( $Ca^{2+}$ ) et /ou sodium ( $Na^+$ )).

Le pH des sols normaux productifs se situe entre 4 et 8 et doit être considéré comme un caractère spécifique du sol. Son niveau optimal est déterminé par le stade de la pédogenèse et ne doit pas être excessivement modifié.

Dans les régions tropicales humides, le pH du sol tend à être de niveau faible, c.à.d. la réaction du sol tend à être acide du fait de l'effet lessivant des fortes pluies. Dans les régions subtropicales sèches, la réaction du sol est parfois plus élevée que 7, autrement dit alcalin, à cause de l'accumulation d'éléments alcalins tels que le calcium et le sodium.

Les sols acides peuvent être amenés à une moindre acidité ou à la neutralité par le chaulage. Les besoins en chaux d'un sol peuvent être estimés par détermination du pH. Pour corriger l'acidité du sol, le calcaire broyé ( $CaCO_3$ ) est l'un des produits les plus efficaces et les moins chers qui puissent être appliqués.

Le calcaire dolomitique ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ) fournit aussi du magnésium en cas de besoin. On peut aussi utiliser d'autres produits comme la marne ( $CaCO_3$ ), les cendres de bois et la farine d'os [ $Ca_3(PO_4)_2$ ]. Dans les sols acides, les engrais azotés et phosphatés contenant des ions  $Ca^{2+}$  comme cations conviennent très bien et doivent être utilisés de préférence. Le chaulage a un effet positif car il provoque la précipitation de l'aluminium et permet ainsi d'en contrôler la toxicité, mais le chaulage à pH 7 peut causer une carence en micro-éléments (à l'exception du molybdène) dans les sols tropicaux. Le chaulage et l'apport d'engrais (éléments fertilisants majeurs ou oligo-éléments) ne doivent pas être simultanés mais différés dans le temps, chaque fois que cela est possible.

Dans des sols à pH élevé (sols alcalins), des engrais à tendance acide tels que le sulfate d'ammoniaque, le sulfate d'ammoniate, le nitrate d'ammonium ou l'urée sont

préférables pour rectifier l'alcalinité. Dans les sols salins/sodiques, le gypse est utile comme amendement du sol pour remplacer le sodium (Na).

## **LES SOLS ET LES BONNES PRATIQUES AGRICOLES**

Pour une gestion efficace des terres agricoles, l'agriculteur doit améliorer les caractéristiques du sol désirables en adoptant de bonnes pratiques agricoles. Ces pratiques doivent être défendables sur le plan technique, économique, et environnemental, être faisables sur le plan pratique et acceptables sur le plan social, pour qu'elles puissent garantir une productivité agricole élevée et durable. Les composantes importantes des bonnes pratiques agricoles sont les suivantes:

- choisir des semences de qualité représentant des variétés à haut potentiel de rendement;
- choisir le moment propice de semis et la méthode convenable, et la densité optimale qui se traduit par un nombre optimal de plantes à l'hectare;
- utiliser des types d'engrais convenables, apportés au moment propice, et à des doses équilibrées et employer des modes d'application uniformes;
- restituer la matière organique;
- maintenir une réaction du sol appropriée (pH);
- appliquer des mesures de lutte appropriées contre les insectes et les maladies;
- lutter contre les adventices et l'érosion du sol;
- irriguer si possible et évacuer l'eau en excès par drainage; et
- adopter des pratiques de gestion appropriées.

## **5. Recommandations en matière de fertilisation de certaines cultures selon leurs besoins en éléments nutritifs**

Les diverses cultures ont des besoins différents en éléments nutritifs. En outre, ces besoins varient beaucoup selon le rendement obtenu ou escompté. Pour donner une idée de ces différences, on a indiqué au Tableau 1 les quantités d'éléments nutritifs prélevées dans le sol par quelques cultures courantes, dans le cas de rendements moyens à élevés.

Les besoins en éléments nutritifs et la réponse aux engrais varient non seulement d'une culture à l'autre, mais aussi d'une variété à l'autre de la même culture. Une variété locale ne répondra pas aussi bien à l'application d'engrais qu'une variété améliorée. Ainsi, le maïs hybride réagit généralement beaucoup mieux aux engrais et produit des rendements plus élevés que les variétés locales.

Bien que les chiffres dans le Tableau 1 donnent une bonne indication des besoins de la plante en éléments nutritifs selon le rendement obtenu, d'autres facteurs sont à prendre en considération pour déterminer les besoins en engrais. Il faut par exemple tenir compte des éléments nutritifs fournis par le sol. Il arrive aussi qu'une partie des éléments nutritifs appliqués reste inaccessible aux racines des plantes par suite de fixation, lessivage ou autres pertes. Par conséquent, les besoins des cultures en éléments nutritifs sont en général supérieurs aux exportations de ces éléments par ces cultures.

**Table 1. Quantité d'éléments nutritifs prélevée par certaines cultures<sup>1)</sup> en kilogrammes par hectare**

	Rendement kg/ha	Azote N	Phosphore P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P P	Potassium K <sub>2</sub> O	K	Ca	Mg	S
Riz (paddy)	3 000	50	26	11	80	66	-	-	-
	6 000	100	50	22	160	133	19	12	10
Blé	3 000	72	27	12	65	54	-	-	-
	5 000	140	60	26	130	108	24	14	21
Maïs	3 000	72	36	16	54	45	-	-	5
	6 000	120	50	22	120	100	24	25	15
Pommes de terre	20 000	140	39	17	190	158	2	4	6
	40 000	175	80	35	310	257	-	23	16
Patates douces	15 000	70	20	9	110	91	-	-	-
	40 000	190	75	33	390	324	28	9	-
Manioc	25 000	161	39	17	136	113	44	16	-
	40 000	210	70	31	350	291	57	-	-
Canne à sucre	50 000	60	50	22	150	125	-	-	-
	100 000	110	90	39	340	282	-	50	38
Oignon	35 000	120	50	22	160	133	-	-	21
Tomate	40 000	110	30	13	150	125	-	17	54
Concombre	35 000	60	45	20	100	83	-	36	-
Luzerne (foin)	7 000	215 <sup>2</sup>	60	26	130	108	164	19	19
Soja	1 000	160 <sup>2</sup>	35	15	80	66	-	-	-
	2 400	224 <sup>2</sup>	44	19	97	81	-	18	-
Haricot	2 400	155 <sup>2</sup>	50	22	120	100	-	-	-
Arachide	1 500	105 <sup>2</sup>	15	7	42	35	19	11	12
Coton (en graine + coton égrené)	1 700	73	28	12	56	46	6	4	5
	5 000	180	63	27	126	105	-	35	30
Tabac (feuilles sèches)	1 700	90	22	10	129	107	48	6	4

- Données non disponibles

1) Éléments nutritifs contenus dans les parties aériennes de la plante et, lorsqu'il y a lieu, dans la partie souterraine récoltée, aux rendements indiqués. Noter que ces quantités ne sont pas les mêmes que les besoins d'engrais.

2) Les légumineuses sont capables de tirer de l'air la plus grande partie de l'azote dont elles ont besoin.

Source: Fertilizer Industry Advisory Committee, FIAC

Ci-dessous sont données certaines recommandations en matière d'apports d'engrais élaborées en fonction des besoins de la culture, sur la base de l'expérience acquise dans les pays choisis, et ayant fait l'objet de publication à l'échelle internationale<sup>7</sup>.

### **Riz**

Aux Philippines, les doses d'engrais recommandées pour le riz de bas-fonds sont: 80 à 100 kg/ha N, 30 à 50 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 30 kg/ha K<sub>2</sub>O.

En Inde, riz de bas-fonds, variété améliorée à haut rendement: 125 kg/ha N, 30 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 50 kg/ha K<sub>2</sub>O. L'application des engrais azotés doit se faire en deux ou mieux encore en trois fractions: 1/3 en fumure de fond, 1/3 au tallage, 1/3 à l'initiation des panicules.

### **Blé**

En Inde, culture de blé irriguée: 80 à 120 kg/ha N, en fonction de la culture précédente, 40 à 60 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Pour K<sub>2</sub>O, la dose est basée sur les résultats d'analyses de sol (si celles-ci ne sont pas disponibles, il est recommandé d'appliquer 40 kg/ha K<sub>2</sub>O). Avec une irrigation partielle: 60 kg/ha N, 30 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et apport de K<sub>2</sub>O sur la base des résultats d'analyses de sol (si non, il est recommandé d'appliquer 20 à 30 kg/ha K<sub>2</sub>O).

La moitié de la dose d'azote et toute la dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de K<sub>2</sub>O sont à apporter avant le semis; l'autre moitié de la dose d'azote est à apporter en couverture au moment de la première irrigation.

### **Maïs**

En Indonésie, sur hybrides de maïs: 120 à 180 kg/ha N, 45 à 60 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 30 à 60 kg/ha K<sub>2</sub>O. Pour les variétés locales: 45 à 90 kg/ha N, 30 à 45 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et jusqu'à 30 kg/ha K<sub>2</sub>O. La dose de N est à apporter en deux ou trois fractions, les doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de K<sub>2</sub>O sont à appliquer au semis en même temps que le premier apport d'azote.

<sup>7</sup> La quasi-totalité des informations citées ici sont adaptées de "l'IFA World Fertilizer Use Manual", IFA, Paris 1992.



### **Sorgho et Millet**

En conditions hydriques non limitantes et de niveaux de rendements moyens: 20 à 60 kg/ha N, 20 à 40 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 20 à 50 kg/ha K<sub>2</sub>O. En conditions irriguées et de rendements élevés: 50 à 100 kg/ha N, 40 à 60 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 50 à 100 kg/ha K<sub>2</sub>O.

L'épandage d'environ la moitié de la dose d'azote et les doses entières de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de K<sub>2</sub>O sont à faire au moment de semis, l'épandage du reste de la dose de N peut se faire en une seule application ou en deux, au moment du tallage et/ou au début de la floraison.

### **Pommes de terre**

En Colombie, les doses recommandées sont: 85 kg/ha N, 175 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 40 kg/ha K<sub>2</sub>O; en République Dominicaine: 95 kg/ha N, 95 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 95 kg/ha K<sub>2</sub>O; et à l'île Maurice: 78 kg/ha N, 78 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 120 kg/ha K<sub>2</sub>O. Les doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O sont à appliquer de préférence en localisation, en bande (en évitant tout contact avec les tubercules) avant la plantation. Sur sols légers, apporter la moitié de la dose de N à la plantation et l'autre moitié en début de formation des tubercules. Selon les conditions du sol, à la place du chlorure de potassium, l'utilisation du sulfate de potassium ou du sulfate de potassium et de magnésium pourraient être plus bénéfiques.

### **Manioc**

En Thaïlande, les recommandations sont: 90 kg/ha N, 45 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 95 kg/ha K<sub>2</sub>O. En général, cet apport de NPK correspond à une fumure de fond appliquée en bandes étroites à côté du piquet de plantation et à un épandage en couverture de N et de K<sub>2</sub>O fait en une ou deux applications, deux à quatre mois après la plantation.

### **Fève**

Variétés améliorées cultivées sur des sols lourds à moyennement lourds en Egypte: 36 kg/ha N, 72 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; et pour K<sub>2</sub>O, faire deux épandages en couverture après le semis,

de 57 kg/ha  $K_2O$  chacun. Epancre l'azote au semis pour favoriser le démarrage de la culture. Cependant, aucune fertilisation azotée n'est nécessaire dans les sols où existent des *Rhizobium leguminisarum*. Là où ces *rhizobium* ne sont pas présents, les semences doivent être inoculées avant le semis.

### **Concombre**

Au Sénégal, sur des sols légers sableux, dans la région semi-aride: en plus de l'apport de matière organique, appliquer 130 kg/ha N, 95 kg/ha  $P_2O_5$  et 200 kg/ha  $K_2O$ . Apporter le tiers de la dose de N et de celle de  $K_2O$  et appliquer toute la dose de  $P_2O_5$  avant d'effectuer la plantation; pour N et  $K_2O$ , apporter ensuite un tiers de la dose à 30 jours et le tiers restant à 50 jours après la plantation.

### **Oignon**

Sur les acrisols acides au Nigeria, apporter au moins deux semaines avant le repiquage, 2 t/ha CaO. 20 jours après le repiquage, appliquer 75 kg/ha N, 70 kg/ha  $P_2O_5$  et 180 kg/ha  $K_2O$ ; et apporter une autre dose 75 kg N/ha, environ 35 jours après le repiquage.

### **Canne à sucre**

En Inde, la fumure recommandée pour la région subtropicale est: 100 à 250 kg/ha N (en trois applications fractionnées par an effectuées après la plantation), 60 kg/ha  $P_2O_5$  (correspondant à peu près aux besoins de la culture) et 80 kg/ha  $K_2O$ .

### **Banane**

En Côte d'Ivoire, sur sols acides et pour de bons rendements la fumure recommandée en plus du chaulage est: 300 à 500 kg/ha N, 30 à 100 kg/ha  $P_2O_5$  et 600 à 1200 kg/ha  $K_2O$ . Les épandages se font habituellement à la main en plusieurs applications fractionnées à l'intérieur d'un cercle de 1.0 à 1.5 m de diamètre autour de la pseudo-tige.

### **Coton**

Pour les provinces du Delta du Nil en Egypte, la fumure recommandée en plus de la matière organique, est: 145 à 180

kg/ha N, 35 à 70 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et, là où c'est nécessaire, 55 à 60 kg/ha K<sub>2</sub>O. L'épandage de l'azote se fait en deux applications fractionnées, l'une au moment du démariage effectué un mois après le semis, et l'autre un mois plus tard. Les épandages de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O se font avant le semis ou en même temps que l'épandage de la moitié de la dose de l'azote fait au démariage.

Les plantes de coton sont sensibles à l'acidité du sol, un chaulage doit donc être effectué, quelques mois avant le semis (de préférence en utilisant du calcaire dolomitique, qui fournit aussi le magnésium (Mg) nécessaire).

Pour plus d'informations sur les modes d'épandage d'engrais préconisés, voir la section 9.

Les recommandations en matière d'apports d'engrais présentées ci-dessus montrent l'importance du respect des conditions de cultures régionales telles que le type de sol, le climat, la pluviométrie, la pratique de l'irrigation, les variétés utilisées etc... Les meilleures recommandations pour votre région ou votre localité devraient être déterminées en coopération avec la station expérimentale locale et reposer également sur l'expérience des bons agriculteurs de la région. La section 10 explique comment cela peut se faire.

## **6. L'importance de la fertilisation équilibrée**

Etant donné que l'azote est "*le moteur de la croissance végétale*", les effets d'une application azotée sur une culture sont normalement effectifs, rapides, et évidents: les plantes prennent une couleur vert-foncée et montrent une forte croissance. Toutefois, une fumure azotée excessive et déséquilibrée appliquée sur une culture de céréales ou de riz peut augmenter la sensibilité à la verse, intensifier la compétition avec les adventices et les attaques par les insectes et les ravageurs, causant ainsi des pertes substantielles de la production de céréales ou de paddy (pour d'autres cultures, elle

diminuera leur qualité, notamment leur aptitude à la conservation). D'autre part, l'azote qui n'est pas prélevé par la culture se dissipera vraisemblablement dans l'environnement.

Partout où l'agriculteur a des ressources financières limitées ou n'a pas accès au crédit, et si le régime foncier de sa terre est incertain et l'urée sur le marché est offert à des prix à l'unité d'azote relativement attrayants, l'agriculteur préférera utiliser exclusivement de l'azote à cause de ses attentes de revenus immédiats et sûrs. A court terme, sa décision est logique. C'est cette conséquence qui explique dans une large mesure la croissance de la consommation mondiale des engrais azotés à travers l'utilisation de l'urée<sup>8</sup>.

Cette préférence unilatérale ou déséquilibrée pourrait être justifiée dans le cas des sols riches en phosphate et en potasse assimilables ainsi qu'en tous autres oligo-éléments et éléments secondaires nécessaires. Cependant, les rendements élevés passent aussi par des prélèvements plus importants d'éléments nutritifs du sol (notamment phosphore et potassium). Ainsi, si les rendements élevés sont obtenus par un apport uniquement de l'azote, les sols seront épuisés en d'autres éléments nutritifs dont les plantes ont besoin. Les recherches conduites par l'IRRI (Institut International de Recherche sur le riz) indiquent que, pour des systèmes de culture intensive de riz sur riz, les besoins en phosphore et en potassium augmentent avec le temps. Ces recherches ont démontré que, sans apport de phosphore et de potassium, l'efficacité de l'utilisation de l'azote baisse, alors qu'avec un épandage de tous les éléments nutritifs, l'efficacité de l'utilisation du phosphore et du potassium augmente

---

<sup>8</sup> De 1973-74 à 1997-98 la consommation de l'urée est passée de 8,3 millions de tonnes N à 37,6 millions de tonnes N, et sa part dans la consommation totale de l'azote a augmenté de 22% à 46%. L'augmentation de la consommation des engrais phosphatés s'explique largement par celle du phosphate diammonique (DAP). Le chlorure de potassium domine le marché de la potasse. Cette préférence pour les engrais simples très concentrés, en particulier dans le cas de l'azote avec l'urée, a donné lieu, dans de nombreux pays en voie de développement, à une fertilisation déséquilibrée en faveur de l'azote, notamment en Asie: le rapport N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O, à l'échelle mondiale a chuté de 1:0,6:0,5 en 1973-74 à 1:0,4:0,3 en 1998-99 (Source: IFA, 1999).

progressivement, ce qui prouve une interaction entre ces éléments nutritifs<sup>9</sup>. Il est donc suggéré que, pour les sols épuisés en éléments nutritifs, ayant été cultivés depuis longtemps sans apports de tous les éléments nutritifs, sans compter les pertes<sup>10</sup> minérales inévitables, la fertilisation déséquilibrée en faveur de l'azote ne va pas seulement à l'encontre des bonnes pratiques agricoles, mais elle est aussi à l'origine de gaspillage de travail et de capital, nuisible à l'environnement et ne constituent pas une pratique durable.

Par conséquent, pour être efficace, la fertilisation doit être équilibrée. Les plantes ressemblent aux humains: elles ont besoin d'un régime alimentaire équilibrée et ne peuvent se contenter d'un excédent d'un type unique d'aliments. Une nourriture mal composée et déséquilibrée rend les être humains malades. Le même raisonnement s'applique aux plantes. Toutefois, les plantes ont le désavantage de ne pouvoir se déplacer. Aussi, les conditions doivent être rendues aussi favorables que possibles là où les plantes se trouvent et à leurs alentours immédiats. Par le chaulage et l'apport de gypse (sur sols alcalins), le pH du sol doit être maintenu à son optimum; des efforts doivent être déployés pour apporter de la matière organique au sol, pratiquer une fertilisation équilibrée et assurer des disponibilités hydriques suffisantes.

Les autres éléments nutritifs jouent également un rôle essentiel. Il a été démontré que les éléments nutritifs qui sont présents dans le sol en quantités les plus faibles, que ce soit des éléments nutritifs majeurs ou secondaires ou oligo-éléments, limitent le rendement et/ou affectent la qualité des récoltes. Ceux-ci ne peuvent être substitués par quelques autres éléments que se soient. Il faut donc comprendre que, pour les bonnes pratiques agricoles, la fertilisation équilibrée signifie un approvisionnement en azote, en phosphore et en potassium qui

---

<sup>9</sup> S.K. De Datta, 'Sustainable rice production: challenges and opportunities'. In: International Rice Commission Newsletter, Progress assessment and orientation in the 1990s, FAO, Rome 1994.

<sup>10</sup> Outre leur prélèvement par la culture, les éléments nutritifs sont aussi perdus par lessivage, érosion, fixation par le sol, etc.... Les pertes par dénitrification, volatilisation et par lessivage naturel sont inévitables, même si on utilise les meilleures pratiques agricoles, ce qui signifie la pratique d'une agriculture raisonnée.

tient compte des réserves du sol et correspond aux besoins de la plante pour réaliser les rendements escomptés. L'approvisionnement doit aussi concerner, partout où c'est nécessaire, le magnésium, le soufre et les oligo-éléments. La Figure 6, présentant des résultats obtenus au Pakistan, met en évidence l'effet de la fertilisation équilibrée.

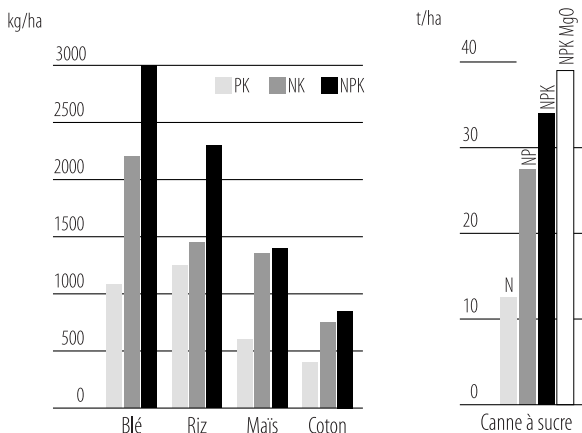
Par ailleurs, l'intégration de l'application des engrais dans un ensemble de bonnes pratiques agricoles permet de subvenir aux besoins des plantes en éléments nutritifs, en quantités suffisantes et dans des proportions équilibrées, sous des formes assimilables et au moment opportun quand les plantes en manifestent le besoin<sup>11</sup>. Pour réaliser cet objectif, la méthode la plus convenable est d'utiliser les engrais complexes NPK qui ont la formule/la composition centésimale garantissant la présence des éléments nutritifs majeurs dans chaque granule. Ces engrais permettent aussi une répartition uniforme des éléments nutritifs lors de chaque application grâce à la qualité stable et le calibre suffisamment uniforme de leurs granules<sup>12</sup>.

Les engrais complexes NPK sont généralement plus chers que les engrais composés ou mélangés. Cependant, le manque à gagner sur le plan qualité et quantité de la récolte peut facilement dépasser de loin l'économie réalisée par l'achat et l'application de produits de qualité inférieure. L'agriculteur doit se rendre compte de ces conséquences, parce que l'argument le plus convaincant pour les agriculteurs, que ce soit dans les pays développés ou en développement, c'est le revenu que l'exploitant agricole recevra en contrepartie de l'application des engrais à sa culture au cours de la même campagne agricole. Aussi, dans toute promotion de la nutrition équilibrée des plantes, faut-il lever le défi en démontrant à l'agriculteur les avantages économiques de la fertilisation équilibrée.

<sup>11</sup> Ceci dépend aussi de l'efficacité et la rentabilité du système utilisé dans la commercialisation et la livraison des engrais, d'où la disponibilité d'entrepôts de stockage et/ou la disponibilité locale des stocks tampon stratégiques!

<sup>12</sup> Les anomalies de distribution des engrais lors de leur épandage signifient que certaines parties du champ reçoivent une surdose (= risque de pollution) et d'autres reçoivent une faible dose (= réduction de rendement).

Figure 6. **La fertilisation équilibrée et son effet sur le rendement des cultures - Pakistan**



**Note**

Le rapport moyen actuel entre éléments nutritifs tels qu'ils sont appliqués au Pakistan  
 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O est 1 : 0.26 : 0.02.

Source: M.I. Bajwa and A. Qidwai, 1986. IFA Regional Agricultural Meeting. New Delhi.

## 7. Les engrais: présentation, qualité et étiquetage

### QU'EST-CE QU'UN ENGRAIS?

Tout produit contenant au moins 5% ou plus de l'un ou plus des trois principaux éléments nutritifs des plantes (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), fabriqué ou d'origine naturelle, peut être appelé engrais. Les engrais issus de fabrication industrielle sont appelés les *engrais minéraux*.

La présentation des engrais minéraux est très variée. Les particules d'engrais peuvent avoir des formes et des dimensions différentes selon le procédé utilisé lors de leur fabrication:

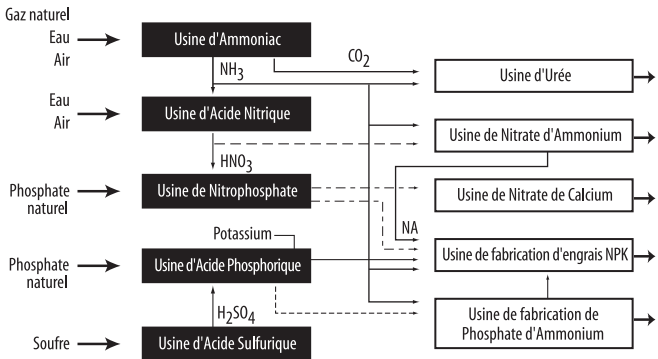
Figure 7: Schéma des filières de production des engrais

L'ammoniac est obtenu par synthèse à partir des hydrocarbures (notamment le gaz naturel, mais aussi le naphta ou le charbon), d'azote de l'air et de la vapeur d'eau. Le dioxyde de de carbone issu de cette synthèse peut être combiné avec l'ammoniac pour produire de l'urée.

L'acide nitrique est produit par oxydation de l'ammoniac avec de l'air.

L'acide sulfurique est produit par combustion du soufre dans l'air.

Les sels potassiques sont extraits de gisements naturels de la potasse.



granules, pastilles, “billes”, cristaux, poudres grossières ou fines (poussière).

Les engrais sont le plus souvent fournis à l'état solide. Les formes liquides ou en suspension sont essentiellement utilisées en Amérique du Nord.

En plus de sa teneur (spécifique) indiquée en éléments nutritifs<sup>13</sup>, la *qualité physique* d'un engrais est déterminée par sa granulométrie, la diversité de calibres de leurs particules (produits calibrés), sa dureté/densité, sa résistance à l'humidité et aux dégâts physiques et sa non-susceptibilité à la prise en masse. Les engrais de qualité très élevée reçoivent un

<sup>13</sup> Les teneurs en éléments nutritifs sont en général garanties. Des déviations de la teneur garantie sont normalement permises dans des limites, étant donné la grande échelle de production et les probables erreurs dans la prise des échantillons.



traitement spécial de surface/enrobage. Concernant le transport, le stockage et l'épandage aux champs, le poids spécifique/la densité est aussi une caractéristique très importante. L'urée a normalement un plus grand volume par unité de poids que la plupart des autres types d'engrais.

Le sac de 50 kg, du fait de la facilité de sa manutention, de sa flexibilité et du moindre risque à être altéré par les conditions climatiques et subir des pertes importantes est la présentation principale sous la quelle l'engrais est distribué aux petits exploitants agricoles<sup>14</sup>.

De nombreux gouvernements ont strictement réglementé, par le biais de leur Ministère de l'Agriculture ou d'autres organismes officiels, les types de sacs (ou d'emballages) dans lesquels sont distribués les engrais aux agriculteurs, de même que les informations à faire figurer sur ceux-ci. Ces informations comprennent les éléments nutritifs (éléments majeurs, secondaires et/ou oligo-éléments) qui les composent (avec, dans la majorité des cas, la forme sous laquelle ils se trouvent) ainsi que leurs teneurs pondérales. Généralement, les éléments nutritifs principaux sont indiqués en pourcentage dans l'ordre N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (avec parfois la mention de leur contenu en Mg-S-oligo-éléments). Ainsi, pour la formule d'engrais 17-17-17, le premier chiffre indique le pourcentage en azote (N), le second celui en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)<sup>15</sup> et le troisième celui en potasse (K<sub>2</sub>O)<sup>15</sup>.

L'étiquetage d'un engrais comprend aussi la mention du poids du sac et souvent également des indications pour sa manutention, son stockage et le nom du fabricant ou du

---

<sup>14</sup> L'économie de prix de revient du sac et de l'ensachage est assurée grâce à la livraison en vrac. Cependant, la livraison en vrac exige un tonnage minimum d'engrais, et doit être bien géré pour éviter des pertes considérables qui peuvent se produire au cours du transport et du stockage.

<sup>15</sup> On donne classiquement la quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et de K<sub>2</sub>O pour exprimer le contenu nutritif en 'phosphate' et 'potasse' des engrais. Il s'agit d'oxydes des éléments P et K (voir l'annexe pour les facteurs de conversion).

distributeur<sup>16</sup>. La plupart des engrais portent aussi une dénomination commerciale imprimée sur l'emballage.

Ainsi deux sacs de 50 kg d'engrais 17-17-17 renferment 17 kg de N, 17 kg de  $P_2O_5$  et 17 kg de  $K_2O$ . Contrairement à sa composition pondérale, l'équilibre entre éléments nutritifs indique les *proportions relatives* de chacun: une formule 17-17-17 veut dire un rapport de 1:1:1 entre N- $P_2O_5$ - $K_2O$ , alors qu'une formule 12-24-12 indique un rapport de 1:2:1.

Il est important de connaître la composition minérale pondérale d'un engrais pour pouvoir déterminer correctement les quantités d'éléments nutritifs à appliquer à l'hectare. Par exemple, un agriculteur a besoin de huit sacs d'engrais de 50 kg chacun (400 kg) de composition 15-15-15 pour pouvoir apporter à l'hectare la dose de 60-60-60 kg/ha N- $P_2O_5$ - $K_2O$ .

## TYPES D'ENGRAIS

Les engrais ne renfermant qu'un seul élément nutritif majeur sont dits engrais simples. Ceux qui en contiennent deux ou trois sont appelés engrais binaires (deux éléments) ou ternaires (trois éléments).

### Les engrais simples

Les engrais simples les plus importants (aussi bien sur un plan régional que mondial) sont indiqués ci-dessous:

L'urée, dont la teneur en azote est de 46 pour cent, est l'engrais azoté le plus utilisé dans le monde grâce à sa forte concentration en azote et de son prix à l'unité d'azote, généralement intéressant. Cependant, son application exige des pratiques agricoles exceptionnellement bonnes afin d'éviter surtout les pertes par volatilisation sous forme d'ammoniaque. L'urée devrait être épandue uniquement dans le cas où l'on peut, après épandage, l'enfuir ou l'incorporer immédiatement dans le

---

<sup>16</sup> Dans le cas du nitrate d'ammonium (33-34.5%), le degré d'intensité de danger est aussi indiqué.

sol ou quand on s'attend à une pluie qui va tomber dans les quelques heures qui suivent son épandage<sup>17</sup>.

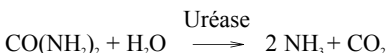
*Le sulfate d'ammonium* (SA) qui contient 21 pour cent d'azote (sous forme ammoniacale) n'est pas aussi concentré que l'urée. Toutefois, il contient en plus de l'azote, 23 pour cent de soufre, un élément nutritif dont l'importance est grandissante. Il est à utiliser de préférence sur les cultures irriguées et partout où le besoin en soufre se manifeste. Il en est de même du *nitrate de sulfate d'ammonium* (SA) qui contient 26 pour cent de N (dont 2/3 environ sont sous forme ammoniacale et un 1/3 sous forme nitrique) et 13 à 15 pour cent de soufre.

*L'ammonitrate de calcium* (ANC) dont la teneur en azote peut atteindre 27 pour cent (sous forme N-ammoniacal et N-nitrique, en proportion égale) est à utiliser de préférence sur les cultures conduites en conditions semi-arides et subtropicales.

*Le superphosphate simple*, qui titre 16 à 20 pour cent de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, contient en outre 12 pour cent de soufre et plus de 20 pour cent de calcium (CaO).

Le superphosphate triple, dont la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est de 46 cent contient moins de calcium que le superphosphate simple et ne contient pas de soufre. Ces deux types d'engrais phosphatés contiennent du phosphore soluble-eau sous forme assimilable par la plante.

<sup>17</sup> La forme N-amide (forme de l'azote dans l'urée) se transforme (s'hydrolyse) rapidement en ammoniac, CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O, sous l'effet de l'enzyme uréase, qui est omniprésent dans les couches supérieures du sol:



Même sous des températures relativement faibles, la transformation de l'azote sous forme amide en azote ammoniacal se fait dans un intervalle de temps d'un à trois jours; mais celle-ci se fait en quelques heures en conditions tropicales et subtropicales. Dans le cas où l'urée ne serait pas enfui dans le sol, mais laissé sur la surface du sol, des pertes considérables d'azote par volatilisation sous forme d'ammoniac auront lieu, notamment sur sols alcalins (sol à pH élevé). Quand il est incorporé dans le sol, une incorporation superficielle suffit, l'ammoniac est fixé (adsorbé) sous forme de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sur les fractions argileuses et sur la matière organique du sol, c'est ainsi qu'il est protégé contre les pertes par volatilisation.

Table 2. Quelques engrais importants

Noms usuels (formules)	Composition centésimale ou teneur				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg	S
<b>Engrais azotés</b>					
Sulfate d'ammonium (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21	0	0	-	23
Nitrate d'ammonium NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	33-34.5	0	0	-	-
Ammonitrate de chaux NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> +CaCO <sub>3</sub> (nitrate d'ammonium et de calcium)	20.5-26	0	0	-	-
Urée CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	45-46	0	0	-	-
Sulfonitrate d'ammonium NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> · (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	26	0	0	-	15
<b>Engrais phosphatés</b>					
Superphosphate simple Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub>	0	16-20	0	-	12
Superphosphate triple ou conc. Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0	46	0	-	-
Phosphate naturel broyé (minerai phosphaté)	0	20-40	0	-	-
<b>Engrais potassiques</b>					
Chlorure de potassium KCl	0	0	60	-	-
Sulphate de potassium K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	0	50	-	18
Sulphate de potassium et de magnésium K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 2MgSO <sub>4</sub>	0	0	26-30	5-7	16-22
<b>Engrais magnésiens</b>					
Kieserite MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	-	-	-	16	22
Kieserite calcinée MgSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	-	-	-	20	27
<b>Engrais soufrés</b>					
Tous les engrais contiennent l'anion S	-	-	-	-	selon la formule
Gypse CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	16-18
<b>Quelques engrais d'une importance régionale</b>					
Nitrate de sodium NaNO <sub>3</sub>	16	0	0	-	-
Phosphate bicalcique Ca(HPO <sub>4</sub> )	0	35-42	0	-	-
Scories de déphosphoration	0	16-20	0	1-3	-

Une quantité importante de phosphore est apportée sous forme d'engrais binaires NP [de nitrophosphate, de phosphate monoammonique (MAP) et de phosphate diammonique (DAP)] et d'engrais ternaires NPK.

*Le chlorure de potassium* qui titre 60 pour cent de  $K_2O$  est l'engrais potassique simple le plus couramment utilisé. Le sulfate de potassium, avec une teneur de 50 pour cent de  $K_2O$  et 18 pour cent de soufre est conseillé pour les cultures sensibles au chlore ou pour celles qui ont un besoin en soufre assez important. Cependant, comme dans le cas des engrais phosphatés, la majeure partie de  $K_2O$  est apportée sous forme d'engrais NPK et PK.

### **Éléments secondaires**

Par le passé, les éléments nutritifs secondaires, notamment le soufre, n'étaient pas indiqués sur les sacs ou emballages d'engrais. Actuellement, ceci n'est plus le cas.

En plus des engrais simples présentés ci-dessus et qui contiennent du magnésium, soufre et/ou calcium, le gypse contient du soufre (16 à 18 pour cent), le sulfate de potasse et de magnésium fournit à la fois du magnésium (6 pour cent de Mg) et du soufre (16 à 22 pour cent de S) facilement assimilables par les plantes.

Pour les besoins des cultures en calcium, voir la section 4 sur '*la réaction du sol et le chaulage*'.

### **Engrais binaires ou ternaires**

Le marché mondial offre aux agriculteurs un grand nombre d'engrais binaires ou ternaires (contenant 2 ou 3 éléments fertilisants). Au Tableau 3 est présentée la gamme des teneurs en éléments nutritifs des types d'engrais NP, PK et NPK les plus courants.

Les avantages les plus remarquables de ces types d'engrais sont:

- facilité de manutention / transport / stockage faciles;
- facilité d'application;
- teneur élevée en éléments nutritifs;

Tableau 3. **Engrais binaires ou ternaires - teneurs en éléments nutritifs**

Type d'engrais		% N	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% K <sub>2</sub> O
Engrais NPK		5-26	5-35	5-26
Phosphates d'ammoniaque	DAP	16-18	42-48	-
	MAP	11	52	-
Nitrophosphates	NP	20-26	6-34	-
Engrais binaires PK	PK	-	6-30	6-30

- répartition uniforme des éléments nutritifs dans le champ;
- fertilisation équilibrée: disponibilité de l'azote, du phosphore et de la potasse dès le démarrage de la culture et en fonction de ses besoins; et
- efficacité très élevée.

D'une manière générale, on peut distinguer trois catégories d'engrais binaires ou ternaires<sup>18</sup>:

- *engrais complexes*: produits par des méthodes faisant intervenir une réaction chimique entre les matières premières contenant plusieurs éléments nutritifs choisis (chaque granule contient le même ratio d'éléments fertilisants déclaré sur l'étiquette)
- *engrais composés granulés*: consistent en une granulation après un mélange à sec d'engrais simples. Les granules résultant de ce mélange contiennent des teneurs différentes en éléments nutritifs;
- *engrais de mélanges*: engrais contenant plusieurs éléments nutritifs, obtenus par mélange physique de matières premières. (Le mélange peut ne pas être homogène s'il n'est pas fait avec un grand soin).

Les teneurs courantes en éléments nutritifs des engrais NPK et NP sont:

<sup>18</sup> Adapté de la FAO 'Fertilizer and plant nutrition guide', Bulletin 9, Rome, 1984.

1. Engrais complexes / composés NPK:  
22-22-11, 19-19-19, 17-17-17, 14-35-14, 14-28-14,  
15-15-15, 13-13-21, 12-24-12, 12-12-17, 11-22-22,  
10-26-26.
2. Engrais complexes / composés NP:  
28-28-0, 26-14-0, 24-24-0, 23-23-0, 20-20-0, 18-46-0,  
16-20-0.

En plus des éléments nutritifs principaux (azote, phosphore et potassium), un certain nombre de formules d'engrais contiennent aussi des éléments secondaires, tels que magnésium, soufre et calcium. D'autres contiennent également des oligo-éléments tels que fer, cuivre, zinc, manganèse, bore et molybdène. Grâce à ces différentes formulations, l'agriculteur a donc la possibilité d'en choisir celle qui lui permet d'appliquer en une seule fois tous les éléments nutritifs nécessaires.

### **Les oligo-éléments**

Ces éléments requièrent une attention et des soins particuliers dans leur utilisation pour satisfaire les besoins des plantes car la marge entre carence et consommation excessive est très étroite.

Les besoins des plantes en oligo-éléments sont relativement faibles. La sur-utilisation de certains oligo-éléments (bore par exemple) peut avoir un effet nocif sur la culture en place ou sur celle qui suit. Il est possible de préparer des engrais composés spécifiques dont les teneurs en oligo-éléments et en N, P et K tiennent compte des carences connues des sols et plantes considérés.

Dans beaucoup de cas, les carences en oligo-éléments sont dues à un pH du sol trop faible (sol acide) ou, plus fréquemment, par un pH du sol trop élevé (sol neutre à alcalin). Par conséquent, une modification du pH du sol peut suffire à rendre les oligo-éléments biodisponibles. Chaque fois qu'un besoin en oligo-éléments se manifeste, pour les utiliser, il est conseillé alors de consulter un spécialiste en fertilisation des cultures qui travaille à la station de recherche la plus proche.

L'application de doses plus exactes et souvent aussi une meilleure efficacité dans l'utilisation des oligo-éléments sont obtenues grâce à une application foliaire par pulvérisation ou grâce aux traitements des semences (en utilisant des formulations en poudre ou en liquide). Quelques exemples de sources d'oligo-éléments sont donnés ci-dessous.

Tableau 4. **Quelques importantes sources d'oligo-éléments**

Source	Formule chimique	Éléments
Sulfate ferreux	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Fer (Fe)
Sulfate de cuivre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Cuivre (Cu)
Sulfate de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Zinc (Zn)
Sulfate de manganèse	$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Manganèse (Mn)
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Bore (B)
Molybdate de sodium	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Molybdène (Mo)

L'utilisation, sous formes de chélates<sup>19</sup>, de composés organiques de fer, de zinc, de manganèse et de cuivre augmentera significativement l'efficacité des oligo-éléments appliqués, particulièrement celle du fer qui n'est pratiquement jamais prélevé par les plantes sous une forme non chélatée.

## **ENGRAIS RETARDS / INHIBITEURS DE LA NITRIFICATION ET DE L'UREASE**

Les engrais à action lente ou contrôlée<sup>20</sup> contiennent un élément nutritif (généralement l'azote) sous une forme qui, après épandage, retarde sa disponibilité pour être prélevée par les plantes pendant une période significativement plus longue que

<sup>19</sup> Les agents de chélation forment des molécules organiques complexes qui protègent les oligo-éléments contre la fixation et facilitent leur prélèvement par les plantes.

<sup>20</sup> Il n'y a pas de distinction officielle entre les engrais retards, à action lente, et les engrais à action contrôlée. Toutefois, généralement, les formaldéhydes d'urée, qui sont issus de la décomposition par voie microbiologique de produits azotés, sont considérés comme engrais à action lente, tandis que les produits enrobés ou présentés sous formes de capsules sont appelés des engrais à action contrôlée.



dans le cas d'un engrais ordinaire. Cette action lente est obtenue soit par enrobage d'un engrais (azoté ou NPK) ordinaire avec du soufre ou avec un polymère (semi-perméable) ou en utilisant un procédé spécial de formulation de composés chimiques azotés. Puisque la libération de l'azote contenu dans un engrais retard ou à action contrôlée dépend aussi généralement de la température et de l'humidité du sol, la disponibilité de l'azote est ainsi ajustée en fonction de la croissance de la plante.

Le principal avantage de ces engrais réside dans l'économie en main d'œuvre ou en temps de travail (au lieu de plusieurs applications fractionnées, il suffit d'en effectuer une seule pour toute la période de croissance végétale), dans leur faible toxicité pour les plantules même appliqués à des doses élevées, et dans l'économie de quantité d'engrais à utiliser grâce à une plus grande efficacité de l'azote appliqué (en apportant 15 à 20 pour cent moins d'azote, on a obtenu le même rendement que celui donné par la dose d'azote normale).

Ces avantages ont été essentiellement mis en évidence sur cultures de riz. Cependant, pour l'agriculture en général, ces engrais présentent l'inconvénient d'avoir un coût à l'unité fertilisante largement supérieur à celui des autres engrais couramment utilisés.

C'est pourquoi ces engrais retards ou à action contrôlée sont presque exclusivement utilisés sur des cultures à très grande rentabilité telles que les cultures maraîchères.

L'utilisation des inhibiteurs de la nitrification et de l'uréase en agriculture est d'une façon générale plus rentable. Les inhibiteurs de la nitrification sont des produits qui, une fois ajoutés aux engrais azotés contenant de l'azote ammoniacal, retardent la transformation par les bactéries du sol des ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) retenus par le complexe absorbant- en nitrite et ensuite en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), empêchant ainsi le lessivage du nitrate non prélevé immédiatement par la culture.

Les inhibiteurs de l'uréase ralentissent la transformation en ammonium de l'azote-amide contenu dans l'urée pour une période allant de 10 à 12 jours; empêchant ou réduisant ainsi les

pertes par volatilisation de l'azote sous forme d'ammoniac en temps sec ou quand il n'y a pas possibilité d'enfouissement immédiat de l'urée dans le sol après épandage.

Les inhibiteurs de la nitrification et de l'uréase doivent au préalable être bien mélangés avec les engrais azotés, avant épandage. Le mélange devra être appliqué ensuite en même temps. Selon la quantité de l'azote ammoniacal ou de l'azote amide contenue dans l'engrais azoté utilisé, leur dose d'application s'élève à quelques kilogrammes ou litres par hectare.

L'utilisation des inhibiteurs de la nitrification et de l'uréase donne des rendements plus élevés ou permet d'avoir le même rendement avec une application de doses d'azote plus faibles (par comparaison à celles faites sans apport simultané d'inhibiteurs de nitrification et d'uréase) du fait qu'elle permet une réduction des pertes en nitrate ou en ammonium.

## 8. Calcul des doses d'engrais à appliquer

La dose d'engrais à appliquer à l'hectare ou dans un champ donné dépend des besoins en éléments nutritifs de la culture à installer et des types d'engrais disponibles. En général, les engrais sont livrés dans des sacs de 50 kg, l'agriculteur doit donc connaître les quantités d'éléments nutritifs contenus dans ceux-ci. La méthode la plus facile pour calculer les quantités d'éléments nutritifs dans un sac de 50 kg d'engrais est de diviser par 2 les teneurs de ces éléments imprimées sur le sac.

*Exemple:* Pour apporter une dose de 60 kg/ha de N, combien de sacs de sulfate d'ammonium (SA) (21% N et 24% S) sont-ils requis? En divisant 21 par 2, on obtient 10,5. C'est donc environ 6 sacs de SA qui sont nécessaires pour apporter (un peu plus que) 60 kg/ha N. Par ailleurs, les six sacs de SA apporteront 72 kg/ha de soufre.

Si la superficie du champ ne dépasse pas 500 m<sup>2</sup>, la quantité d'engrais requise serait un vingtième de celle requise pour un hectare: 1 hectare = 10 000 m<sup>2</sup> divisé par 500 m<sup>2</sup>=20. Ainsi, pour une superficie de 500 m<sup>2</sup>, il faut appliquer 300/20=15 kg de sulfate d'ammonium afin d'apporter la dose de l'azote correspondant à 60 kg/ha.

Supposons qu'il faille, suivant la recommandation, appliquer 60 kg à l'hectare de chacun des éléments nutritifs principaux (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O); l'option la plus simple pour l'agriculteur est d'acheter un engrais composé de type 15-15-15. Combien faudra-t-il apporter d'engrais de ce type par hectare? Un sac de 50 kg contient 7,5-7,5-7,5. 60 divisé par 7,5 égale à 8. Il faut donc huit sacs de 50 kg d'engrais 15-15-15 pour appliquer la dose recommandée de 60 kg/ha N, 60 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 60 kg/ha K<sub>2</sub>O.

Lorsque la préconisation à l'hectare est de 60-30-30, avec les huit sacs de 50 kg d'engrais 15-15-15 dont l'agriculteur dispose, il appliquerait la double dose de phosphate et de potasse nécessaire. Dans ce cas, il doit appliquer seulement quatre sacs de 50 kg par hectare, apportant ainsi la moitié de la dose préconisée de l'azote et la pleine dose de phosphate et de potasse comme engrais de fond. Le reliquat de 30 kg/ha N doit être appliqué sous forme d'engrais azotés simples, apportés en un ou deux épandages en couverture, selon les bonnes pratiques agricoles.

La situation est plus compliquée si la dose recommandée à l'hectare est de 60 kg N, 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 50 kg K<sub>2</sub>O, et s'il n'y a pas de formule qui correspond au rapport 2:1:1,7 disponible (ou 1:1;1,7 plus engrais azotes simples). Dans cette situation, l'agriculteur a trois options:

1. Il peut essayer de combiner les formules d'engrais composés disponibles avec des engrais simples (principalement engrais azotés), en fractionnant la dose d'azote recommandée.
2. Il fait un programme de fertilisation de base pour une couverture de la rotation totale de cultures, en appliquant l'azote chaque année à la dose exacte recommandée pour chaque culture, et en apportant le phosphate et la potasse indépendamment de la culture individuelle. Cependant, les

doses totales de  $P_2O_5$  et de  $K_2O$  préconisées pour toutes les cultures dans la rotation doivent être apportées.

3. Il peut apporter séparément des engrais simples, comme il peut mélanger ces engrais de manière à ce qu'il obtienne sa propre formule en respectant le ratio nécessaire entre éléments nutritifs.

La dose recommandée de 60-30-50 pourrait bien être un mélange de sulfate d'ammonium (21%N), lorsque l'apport de soufre est nécessaire, ou d'urée (45% N), de superphosphate triple (46%  $P_2O_5$ ), lorsque le soufre n'est pas nécessaire, ou phosphate d'ammonium (18% N et 46%  $P_2O_5$ ) et de chlorure de potassium (60%  $K_2O$ ).

Si l'on désire préparer un mélange d'engrais respectant le rapport désiré entre les trois éléments fertilisants, et que l'on dispose des produits de base suivants:

$$\text{Urée:} \quad \frac{60 \text{ kg/ha} \times 100}{45} = 133 \text{ kg/ha}^{21}$$

$$\text{Superphosphate triple:} \quad \frac{30 \text{ kg/ha} \times 100}{46} = 65 \text{ kg/ha}^{21}$$

$$\text{Chlorure de potasse:} \quad \frac{50 \text{ kg/ha} \times 100}{60} = 83 \text{ kg/ha}^{21}$$

Le produit obtenu à partir de l'urée, de superphosphate triple, et de chlorure de potassium devrait être épandu sur le champ aussitôt que possible après l'opération de mélange.

Lorsque le sulfate d'ammonium est utilisé à la place de l'urée, l'agriculteur aura besoin de la dose suivante:

$$\text{Sulfate d'ammonium:} \quad \frac{60 \text{ kg/ha} \times 100}{21} = 286 \text{ kg/ha}^{21}$$

Ce mélange contiendra, en plus des 60 kg N, 30 kg  $P_2O_5$  et 50 kg  $K_2O$ , une dose de 69 kg/ha de soufre.

Si, à la place de superphosphate triple, on utilise le phosphate d'ammonium, la dose nécessaire doit être basée sur le taux d'application de phosphate:

<sup>21</sup> Les chiffres sont arrondis.

$$\text{Phosphate d'ammonium (DAP)} : \frac{30 \text{ kg/ha} \times 100}{46} = 65 \text{ kg/ha}^{21}$$

Cette formule apportera également 12 kg/ha<sup>21</sup> N. Le reliquat de l'azote, soit 48 kg/ha N, pourrait être incorporé dans le mélange ou apporté en une ou deux fractions en application directe au sol sous forme d'engrais azoté simple.

Cependant, certaines précautions sont à prendre, lors de la fabrication des mélanges. Les produits à mélanger doivent être compatibles sur le plan *physique et chimique*.

Ils doivent être *chimiquement* compatibles pour éviter toute prise en masse causée par une augmentation hygroscopique ou des pertes sous forme de gaz d'ammoniac. Si les engrais qui contiennent de l'ammoniac sont mélangés avec des scories de Thomas, du phosphate naturel ou de la chaux, des pertes d'ammoniac par évaporation auront lieu.

De même, les produits phosphatés solubles-eau (superphosphates simples ou concentrés, phosphates d'ammoniaque, et nitro-phosphates) ne doivent pas être mélangés à des engrais contenant de la chaux libre (nitrate de calcium par exemple), car une partie du phosphate soluble peut retourner, sous l'effet du calcium, à l'état insoluble.

Les mélanges d'urée ou de phosphates d'ammonium avec des superphosphates doivent également être évités.

Pour empêcher un fort effet hygroscopique, il faut toujours en règle générale épandre les mélanges aussitôt que possible après l'opération de mélange.

Les engrais à mélanger doivent également être *physiquement* compatibles, où les granules doivent avoir le même calibre et la même densité dans la mesure du possible afin d'éviter le phénomène de la ségrégation durant la manipulation, le stockage et l'épandage. Ceci est d'une importance particulière quand il s'agit d'un épandage mécanique. Toutefois, la ségrégation est aussi possible lorsque l'épandage du mélange se fait à la volée.

---

<sup>21</sup> Les chiffres sont arrondis.

Afin d'éviter des erreurs de composition lors de la préparation du mélange nécessaire au niveau de la ferme, l'agriculteur pourrait faire appel aux services d'un revendeur d'engrais détaillant dans la région qui dispose d'une unité de mélange (en général, l'investissement dans des équipements de mélange en vrac ou du bulk blending<sup>22</sup> est relativement faible).

Le détaillant (distributeur d'engrais) peut préparer à titre individuel des mélanges dont les rapports en éléments nutritifs sont adaptés aux besoins des sols et des cultures de l'agriculteur. Il saura quels types d'engrais peuvent être mélangés l'un avec l'autre, et quels autres ne peuvent pas l'être. Mais vu que l'agriculteur n'est normalement pas en mesure de vérifier la teneur et la qualité des éléments nutritifs, en particulier ceux contenus dans des mélanges d'engrais, le détaillant qui prépare le mélange doit avoir la réputation d'une personne digne de confiance.

## **9. Mode d'application des engrais**

La méthode d'application des engrais (engrais organiques ou engrais minéraux) est une composante essentielle des bonnes pratiques agricoles. La quantité d'éléments nutritifs prélevée par la plante et le rythme de son prélèvement dépendent de plusieurs facteurs tels que la variété végétale, la date de semis, la rotation culturale, les conditions du sol et de climat. Pour suivre de bonnes pratiques agricoles, l'agriculteur choisit judicieusement la période d'apports des engrais et les quantités nécessaires afin que le maximum d'éléments nutritifs soit utilisé par la plante. Afin d'assurer une efficacité optimale dans l'utilisation des engrais et de minimiser les risques potentiels de pollution environnementale, l'agriculteur doit faire rapprocher, dans la mesure du possible, l'application des éléments nutritifs

---

<sup>22</sup> Le mélange en vrac ou bulk blending = un mélange en sec, d'engrais granulés ou entre matériels de fertilisation, préparé par voie mécanique, et sans réaction chimique entre ses composantes. Ce mélange se prépare en général peu avant son utilisation et sa livraison se fait en vrac à l'adresse de la ferme.

(engrais) dès le moment où la culture en a besoin. Ceci est d'une importance capitale pour les éléments mobiles tels que l'azote, élément qui peut être facilement lessivé du profil du sol, s'il n'est pas prélevé par les racines des plantes.

Dans les cas d'épandage d'urée et de phosphate d'ammonium, des pertes pourraient avoir lieu sous forme de volatilisation de gaz d'ammoniac. En cas d'absence de pluie ou d'irrigation après leur apport pour les faire pénétrer dans le sol, ces deux types d'engrais doivent être enfuis dans le sol immédiatement après leur application. Ceci est d'une importance capitale pour les sols alcalins (sols calcaires).

Tous les macro-éléments et tous les éléments secondaires doivent être incorporés (enfouis dans le sol) immédiatement après leur application dans les régions où l'on prévoit des chutes de pluie intensives, afin d'éviter les pertes par ruissellement et érosion.

Lors de l'épandage des engrais à la volée, il faut prendre des précautions extrêmes afin que les doses exactes soient apportées et que la distribution des éléments nutritifs soit uniforme. Si on utilise des équipements d'épandage, il est absolument nécessaire qu'ils soient convenablement réglés pour assurer un épandage uniforme et appliquer les doses exactes fixées. Il faut aussi assurer un bon entretien de ces équipements.

## **EPANDAGE A LA VOLEE**

L'épandage des engrais à la volée (application à la surface du sol) est utilisé le plus souvent sur les cultures denses qui ne sont pas semées en lignes ou qui sont semées en lignes très serrées (céréales à petites graines) et sur les prairies. Il est pratiqué aussi dans les cas qui nécessitent l'enfouissement des engrais dans le sol après leur application en vue d'obtenir leur utilisation efficace (cas des engrais phosphatés), et éviter des pertes en azote (urée, phosphate d'ammonium). Par ailleurs, il est souhaitable de procéder à un labour ou un hersage d'enfouissement pour accroître le niveau de fertilité de l'ensemble de la couche labourée. Les engrais peuvent être épandus à la main ou à la machine, mais il faut les répartir sur le sol aussi uniformément que possible.

## **LOCALISATION EN LIGNE OU EN BANDES**

La localisation des engrais (leur épandage dans des endroits choisis du champ), quand elle est pratiquée, permet la concentration des engrais dans des parties précises du sol au moment du semis ou à la plantation. Cette localisation est effectuée en lignes ou en bandes sous la surface du sol, ou sur le côté et en dessous des semences. Elle peut être faite à la main ou à l'aide d'un matériel agricole spécial, un semoir épandeur d'engrais. Cette méthode d'épandage est à utiliser de préférence pour des cultures en lignes et dont l'espace entre les lignes de semis est relativement grand (maïs, coton, et canne à sucre); ou sur des sols qui ont tendance à fixer le phosphore et le potassium, ou encore dans le cas d'application de doses d'engrais relativement faibles sur des sols à faible niveau de fertilité.

Dans le cadre de cultures manuelles avec semis sur buttes, la quantité d'engrais déterminée (mesurée de préférence à l'aide d'un pot ou d'une boîte appropriée) sera épandue sur la ligne ou dans le trou de semis, en dessous ou à côté de la semence qui est ensuite recouverte de terre.

Il faut très particulièrement veiller à ne pas placer l'engrais trop près de la semence ou des plantules afin d'éviter des phénomènes de toxicité, c'est-à-dire un endommagement des plantules (brûlure des racines) par les engrais apportés.

## **ÉPANDAGE EN COUVERTURE**

Lorsque l'engrais est apporté à la volée en cours de végétation, on dit qu'il est épandu en couverture. Cette méthode est notamment utilisée sur les cultures à grosses et à petites graines et sur cultures fourragères. Cette pratique est courante dans les situations où il faut apporter des compléments d'engrais azotés sur des sols et des cultures pour lesquels un apport unique au moment de semis de la dose totale d'azote exigée entraînerait des pertes d'azote par lessivage, ou des cas de cultures qui ont un besoin particulier en azote à certains stades de leur croissance. Les nitrates qui sont très mobiles se déplacent facilement à travers le profil du sol et peuvent ainsi migrer en profondeur pour être prélevés par les racines de la plante.



L'épandage en couverture du potassium qui est moins mobile que l'azote, peut être recommandé pour les sols légers. Ainsi, la quantité totale de potassium à apporter peut être fractionnée en deux apports, c'est-à-dire, en application de fond et en épandage de couverture.

Le phosphore est très peu mobile dans le sol. C'est pourquoi il est généralement appliqué avant ou au moment des semis ou plantation (fumure de fond) de préférence combiné avec le potassium et l'azote. Le reliquat de l'azote à apporter doit être épandu en couverture en une ou plusieurs fractions.

### **LOCALISATION LATÉRALE**

Pour des cultures telles que le maïs, le coton et la canne à sucre qui sont semées avec de grandes interlignes, on peut appliquer l'engrais à proximité des lignes de semis. Cette méthode d'apport, appelée localisation latérale, est aussi utilisée sur arbres et autres cultures pérennes.

### **L'APPLICATION FOLIAIRE**

L'application foliaire est la méthode la plus efficace pour l'apport d'oligo-éléments aux plantes (mais aussi pour l'apport de l'azote ou de NPK aux cultures dans une situation de stress) qui en ont besoin seulement en très petites quantités, et qui pourraient ne pas être disponibles aux plantes s'ils sont appliqués au sol. Afin de minimiser le risque de la pyrolyse ou la brûlure des feuilles, la concentration recommandée doit être respectée et l'application devrait se faire de préférence en condition de ciel couvert et assez tôt le matin ou tard dans l'après midi (pour éviter le séchage immédiat des gouttelettes).

## 10. Comment déterminer les besoins en engrais

Pour déterminer les quantités d'engrais à utiliser sur les cultures et les sols de votre région, vous devez savoir deux choses:

1. Quels sont les éléments nutritifs à apporter?
2. Quelle est la dose nécessaire en chacun de ces éléments pour obtenir le rendement le plus élevé ou qui donne l'optimum économique?

Il y a plusieurs manières de procéder pour répondre à ces deux questions. L'utilisation des quantités d'éléments nutritifs exportées par la culture pour des niveaux de rendements donnés, comme première estimation, a été discutée dans la section 7 intitulée "*Recommandations en engrais pour certaines cultures*".

D'autres approches sont citées et examinées ci-après:

1. Rechercher les signes (symptômes) de carence présentés par les cultures sur pied.
2. Recourir à des tests ou à l'analyse des sols pour déterminer les éléments nutritifs et les quantités nécessaires.
3. Faire des analyses de plantes ou de diagnostics foliaires au champ.
4. Effectuer des essais d'engrais aux champs.

### SIGNES DE PLANTES CARENCÉES

Nous avons déjà dit que les plantes doivent être, comme l'être humain, correctement nourries pour rester en bonne santé. Si un des éléments nutritifs ne leur est pas fourni en quantité suffisante, cela se traduit généralement par l'apparition de symptômes intéressant l'aspect général et la couleur des plantes. Les plantes qui souffrent de carences minérales sont souvent chétives. Leurs feuilles sont d'un vert pâle, ou d'un vert bleu foncé, avec de petites taches ou des stries jaunâtres ou rougeâtres. Dans ces conditions, les rendements diminuent fortement.

Certains signes (symptômes) de carence sont faciles à identifier, d'autres sont plus difficiles, car les symptômes caractéristiques relatifs à deux différents éléments nutritifs peuvent être presque identiques ou ceux correspondant à un élément peuvent masquer (cacher) ceux induits par un autre élément nutritif. De plus, les symptômes peuvent apparaître ou disparaître suivant les conditions climatiques (changement entre humidité et sécheresse).

Il se peut aussi que la plante souffre d'une carence latente qui n'est pas encore visible ("carence occultée"). Il faut aussi éviter de confondre les signes de carence minérale avec ceux qui résulteraient de dégâts causés par des maladies fongiques ou virales ou par des attaques d'insectes ou d'autres ravageurs.

En fait, les symptômes indiscutables n'apparaissent nettement qu'en cas de très forte carence en un seul élément. Lorsque les symptômes indiquent une déficience en un élément, il faut vérifier celle-ci en effectuant des analyses de sol, des analyses de tissus végétaux et/ou des essais au champ (ou en pots conduits à la station de recherche voisine).

Les principales caractéristiques des carences en certains éléments nutritifs sont indiquées ci-après.

### **Carence en azote**

- Plantes malingres et petites (signes communs à tous les types de carence), très peu développées et de tailles courtes.
- Les plantes perdent leur couleur verte (symptôme commun à toutes les carences) et il y a une décoloration des feuilles qui deviennent jaunâtres du sommet à la base (chlorose de l'apex<sup>23</sup>), les vieilles feuilles demeurent brunes.
- Sénescence prématurée des feuilles les plus basses alors que celles se trouvant en haut de la plante restent vertes (ces signes peuvent parfois être confondus avec un manque d'eau).

---

<sup>23</sup> *Chlorose*, c'est-à-dire, qui provoque le jaunissement des feuilles d'un végétal, du fait d'une formation insuffisante de chlorophylle. La chlorose est *réversible* par l'application de l'élément nutritif *nécessaire*.

**Carence en phosphore**

- Croissance ralentie.
- Feuilles vert pâles et violacées ou cuivrées de l'apex à la base (souvent aussi sur les tiges).
- Maturation lente, les plantes restant vertes plus longtemps.
- Fruits mal formés ou grains peu remplis.

**Carence en potassium**

- Croissance ralentie.
- Plantes chétives.
- Les feuilles montrent une altération de couleur tout au long de la marge extérieure de leur sommet à la base.
- Les bords des feuilles (surtout les plus basses) jaunissent, rougissent ou brunissent, se dessèchent et meurent (nécroses<sup>24</sup> des bords des feuilles); feuilles fanées.
- Verse.
- Les feuilles des arbres sont jaunâtres, rougeâtres, pincées, cupuliformes ou recourbées.
- Les fruits sont petits, peuvent présenter des lésions ou des zones endommagées, se conservent mal et ne maintiennent pas leur qualité.

**Carence en magnésium**

- Jaunissement (chlorose) internervural des feuilles (chlorose striée typique; le Mg est un des constituants du pigment vert de la plante, la chlorophylle, nécessaire à la photosynthèse), suivi de développement de taches et de nécroses (mort d'organes) qui commencent à partir des feuilles du bas, les premières formées.

**Carence en soufre**

- Toute la plante jaunit (les signes se confondent souvent avec ceux de la déficience en azote).
- Jaunissement des feuilles supérieures, mêmes sur les nouvelles pousses.
- Maturation lente.

<sup>24</sup>*Nécrose*, c'est-à-dire, une altération brunâtre de la couleur des feuilles ou de quelques parties des feuilles, indiquant des tissus morts. Elle est *irréversible*, c'est-à-dire elle ne peut pas être traitée par l'application d'éléments nutritifs.

**Carence en calcium**

- Les jeunes feuilles jaunissent ou même noircissent, se recourbent ou prennent la forme de coupe (tâches rousses).
- Les plantes semblent se flétrir.
- Les fruits apparaissent pourris (cas de la tomate).
- Les racines sont mal formées.

**Carence en bore**

- Feuilles fréquemment tordues et froissées, épaisses et fragiles, taches blanches irrégulières entre les nervures.
- Les bourgeons meurent en présentant une croissance buissonnante près des extrémités; les pousses sont très peu développées et ont des entre-nœuds rapprochés.
- Taches ou cavités gorgées d'eau et nécrosées (chez la betterave et autres plantes à tubercules) ainsi que dans le canal médullaire des tiges.
- Fruits petits et mal formés présentant souvent des nœuds subéreux et des lésions.
- Faible production de graines due à une fécondation incomplète.

**Carence en Zinc**

- Croissance arrêtée des feuilles.
- Arbres fruitiers présentant des pousses rabougries et épaisses.
- Chloroses en bandes (tachetées de stries blanches) se trouvant entre les nervures des feuilles, dans leur partie inférieure.
- Dans certains cas, les feuilles ont une couleur vert olive ou vert grisâtre (très analogue à celle de la déficience en P).

**Carence en fer**

- Les jeunes feuilles sont atteintes d'une chlorose typique entre les nervures vertes qui se manifeste tout au long de la longueur des feuilles (cette carence se produit surtout sur des sols calcaires).

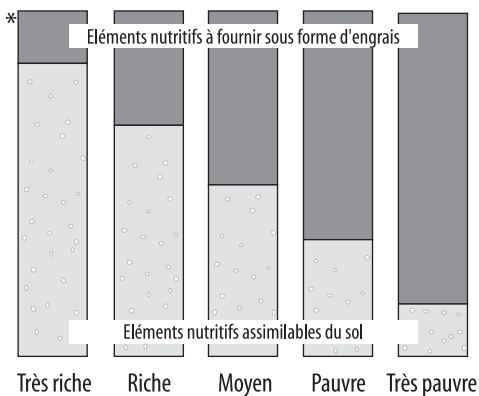
Même si ces signes de carence, qui signalent à l'agriculteur la présence de désordres nutritionnels, sont nettement visibles et rapidement corrigés par un apport adéquat en éléments nutritifs, ceci ne peut généralement empêcher une baisse de rendement au moment de la récolte, par rapport à une culture bien nourrie depuis le semis jusqu'à la récolte. De ce fait, les bonnes pratiques agricoles devraient permettre d'éviter à la culture toute carence nutritionnelle durant la saison culturale.

## ANALYSES DE SOL

L'analyse de sol a pour objet d'évaluer les quantités d'éléments nutritifs du sol qui seront disponibles pour les cultures, et de déterminer les doses qu'il faudra appliquer sous forme d'engrais minéraux pour atteindre le rendement escompté. La figure 8 en présente une illustration simple en considérant le cas d'un seul élément nutritif et dont l'analyse de sol en donne différentes teneurs.

Plus la teneur du sol en un élément nutritif donné est élevée, plus la quantité à en fournir sous forme d'engrais est faible.

Figure 8. **Sources relatives d'éléments nutritifs selon les résultats de l'analyse du sol**



\* Lorsque le sol est riche, les engrais sont utilisés soit pour le démarrage, soit pour l'entretien de la fertilité du sol.

Même lorsque le sol est riche, il faut apporter une certaine quantité d'éléments nutritifs sous forme d'engrais pour maintenir son niveau de fertilité et sa productivité. Il existe différentes méthodes d'analyses de sols ; la difficulté majeure est de bien relier le résultat fourni par une méthode donnée au rendement correspondant de la culture (c'est ce qu'on appelle calibrer une méthode).

Si votre station expérimentale a effectué des analyses de sol et des essais au champ et a établi une relation (calibrage) entre les résultats des analyses et la réponse des cultures aux engrais, vous devriez y envoyer vos échantillons de terre.

La station sera en mesure de vous faire une interprétation correcte des résultats d'analyse et de vous proposer les recommandations correspondantes en matière de fertilisation.

### **Comment fonctionne l'analyse de sol**

Une méthode d'analyse de sol par extraction chimique consiste à extraire et à quantifier, en utilisant des réactifs chimiques, les éléments nutritifs biodisponibles dans un échantillon de sol prélevé sur une profondeur correspondant à celle de la couche arable (profondeur de labour). Les résultats qu'on en tire sont ensuite reliés aux données de réponses des cultures aux apports en éléments nutritifs obtenues dans le cadre d'essais conduits aux champs.

En se basant sur une telle méthode de calibrage, les résultats d'analyses de sol peuvent être interprétés pour formuler des recommandations en matière d'apports en engrais (en prenant évidemment en compte les données et informations tirées des cultures/rotations précédentes, des engrais utilisés, et des conditions climatiques).

### **Comment prélever un échantillon de sol**

La qualité de l'analyse de sol est fortement dépendante de celle de l'échantillon utilisé. Par conséquent un prélèvement très soigné de l'échantillon de sol est absolument indispensable.

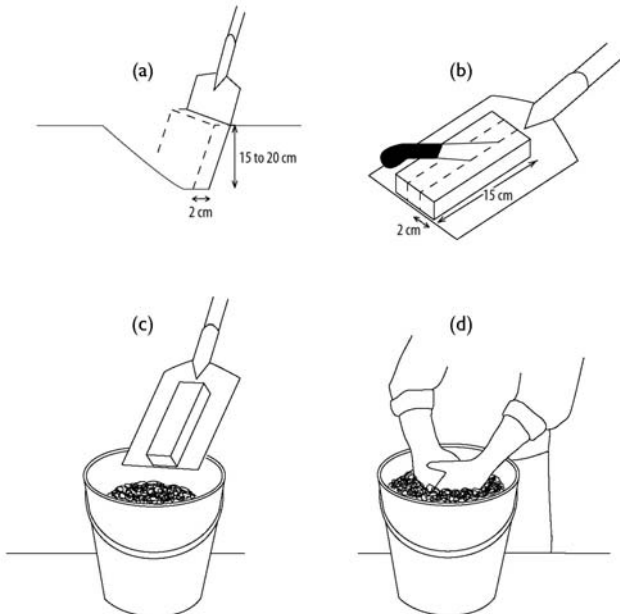
Le choix de la zone de prélèvement est important. Il ne faut pas mélanger différents types de sols. Si une partie du champ présente un sol différent du reste ou si une culture s'y

développe différemment, il faut échantillonner séparément cette partie.

Les outils nécessaires pour prélever un échantillon de sol sont un foreur de sol (tarière) ou tout autre appareil d'échantillonnage, ou une bêche et un couteau, et un récipient propre (Prendre soin de ne pas réutiliser un récipient qui a servi à appliquer des engrais!).

Si vous prélevez à l'aide d'une bêche, creuser un trou en V jusqu'à une profondeur de 15 à 20 cm. Avec un couteau, égaliser chaque côté de la tranche, ce qui laisse une bande ("carotte") de 2 cm de large sur la bêche. Pour prendre un échantillon composite, prélever au hasard une vingtaine de carottes de ce genre dans le champ ou dans la parcelle (d'une superficie d'un hectare au maximum). Placer ces carottes dans le récipient et les mélanger soigneusement. Prendre du mélange

Figure 9. **Prélèvement d'un échantillon de sol**





(normalement après séchage à l'air sur une feuille de papier propre) un petit échantillon de 0,5 kg et placer le dans un sac propre ou dans une petite boîte.

Noter les références (date et lieu) et étiqueter l'échantillon; faire un schéma de la zone de prélèvement de sorte que l'on puisse relier les analyses de l'échantillon de sol qui a été prélevé aux résultats culturaux.

De l'analyse du sol vous pouvez tirer les résultats les plus fiables et les plus utiles si l'échantillon a été prélevé après récolte de la culture pratiquée et avant le semis et l'apport d'engrais sur la culture suivante.

## **DIAGNOSTIC PLANTE**

### **Analyse des plantes**

Cette technique permet de “demander à la plante” si le sol et la fumure lui ont fourni suffisamment en chacun des éléments nutritifs testés et si ces différents éléments dont la plante a besoin se trouvent dans des proportions correctes. La plante vous donnera des informations fiables sur son statut nutritionnel général à la date de prélèvement des échantillons. C'est ainsi qu'elle indique, le cas échéant, ses besoins supplémentaires en engrais (pour la culture en cours). Avec le diagnostic plante, la concentration des différents éléments nutritifs (et donc leur proportion) peut être déterminée par voie chimique à partir de la sève ou dans la matière sèche. Si la teneur en un élément est inférieure au minimum nécessaire (“valeur critique”), qui diffère pour chacun des éléments, il est probable que l'application d'un engrais qui contient cet élément augmentera les rendements. Il est important d'établir “les valeurs critiques” en relation directe avec le niveau de rendement escompté. Cependant, l'avantage est que, une fois correctement établies, ces valeurs pourraient servir pour la même culture partout dans le monde. Un autre avantage de cette méthode réside dans le grand nombre d'éléments que l'on peut déterminer et dans la précision obtenue.

L'analyse des plantes est un outil très utile et particulièrement approprié pour les cultures permanentes, ce qui explique son utilisation très répandue sur arbres fruitiers (agrumes) et palmiers à huile.

### **Analyse (des tissus végétaux) de plantes sur pied au champ**

Il s'agit de tests effectués directement sur la plante verte en plein champ. La partie choisie de la plante, généralement une feuille (jeune et activement fonctionnelle), ou pétiole de feuille est séparée et agitée dans un produit d'extraction, ou bien la sève est extraite par pression, déposée sur un papier sensible et traité par des réactifs appropriés (tests ponctuels à l'aide d'extractifs). Les colorations résultantes sont comparées à celles obtenues avec des concentrations connues d'éléments nutritifs ou à celles des plantes saines productives et bien établies.

L'analyse rapide des tissus végétaux dans le champ permet de vérifier les signes de carence. En outre, elle aide à détecter des carences qui n'ont pas encore de symptômes visibles. Ces tests ont l'avantage de pouvoir être faits rapidement sur les plantes en place, d'être peu coûteux et de permettre de faire des comparaisons entre plantes ou traitements sur le terrain.

### **DEMONSTRATIONS ET ESSAIS D'ENGRAIS SUR LE TERRAIN**

Alors que les résultats d'analyses de plantes et de tissus végétaux effectués directement sur la plante verte en plein champ permettent de détecter les carences nutritionnelles, et notamment les déficits en alimentation minérale non visibles extérieurement, en comparaison à des normes développées à partir des plantes productives et bien portantes, les résultats d'analyses de sols, eux, doivent être corrélés aux rendements des cultures. Cette corrélation ou calibrage des méthodes d'analyse ne peut se faire qu'à travers des démonstrations et des essais d'engrais au champ. Par conséquent, les essais d'engrais sur le terrain sont indispensables pour déterminer les besoins en éléments nutritifs des cultures en relation avec le rendement

final obtenu. Dans ces essais, les engrais sont appliqués à des doses donnant des quantités connues d'éléments nutritifs (et/ou en conformité avec les résultats des analyses de sols et de plantes effectuées), les réponses des cultures sont observées et leurs rendements mesurés.

Avantages des essais au champ:

1. Ils constituent le meilleur moyen de déterminer les exigences des cultures et des sols en éléments nutritifs, et d'élaborer des conseils de fumure pour les agriculteurs.
2. En considérant le rendement obtenu, ils vous montreront le degré de validité des recommandations faites, basées sur les analyses de sols et de plantes.
3. L'évaluation économique des résultats rend plus aisée la compréhension par l'agriculteur des besoins en engrais.
4. La plante qui pousse peut être photographiée. Les photos peuvent servir à la vulgarisation pendant plusieurs années.
5. Les démonstrations ou les essais simples montrent aux agriculteurs et aux ouvriers agricoles l'intérêt des engrais.

Le mode de réalisation d'une démonstration (ou d'un essai simple) d'engrais est présenté à la section 12.

## **EXPERIMENTATION AUX CHAMPS DE LONGUE DUREE**

Lorsque le nombre d'essais d'engrais déjà effectués est suffisant, il est possible d'établir des conseils de fumure pour une région donnée. Des exemples concernant votre région peuvent figurer à la fin de cette brochure. Cependant, les quantités d'éléments nutritifs nécessaires pour une culture et un sol donné ne peuvent être définitivement déterminées une bonne fois pour toute, car les conditions changent de façon rapide. Lorsqu'on apporte qu'un seul élément (fertilisation déséquilibrée), un autre élément peut devenir limitant. Un élément en quantité insuffisante-ou en trop- peut réduire le rendement ou diminuer la rentabilité de l'utilisation des engrais pour l'agriculteur. Un apport déséquilibré en éléments nutritifs

peut aussi donner lieu à une vulnérabilité aux maladies, à la verse, ou à une maturité tardive.

C'est pourquoi il est nécessaire de poursuivre les études, c'est-à-dire, d'entreprendre des expérimentations aux champs de longue durée dans le but de rechercher les quantités d'engrais nécessaires et le meilleur rapport entre éléments nutritifs.

## **11. Autres facteurs limitant les rendements**

Les engrais sont l'un des principaux facteurs pouvant contribuer à accroître la productivité et à assurer une agriculture durable. Mais ils ne sauraient à eux seuls résoudre tous les problèmes posés par la production agricole.

D'autres facteurs ou pratiques peuvent, comme il a été signalé dans les sections précédentes de cette brochure, limiter ou affecter les rendements et réduire l'efficacité de l'utilisation des engrais. L'agriculteur doit prêter, dans l'application de bonnes pratiques agricoles, une attention particulière aux aspects suivants:

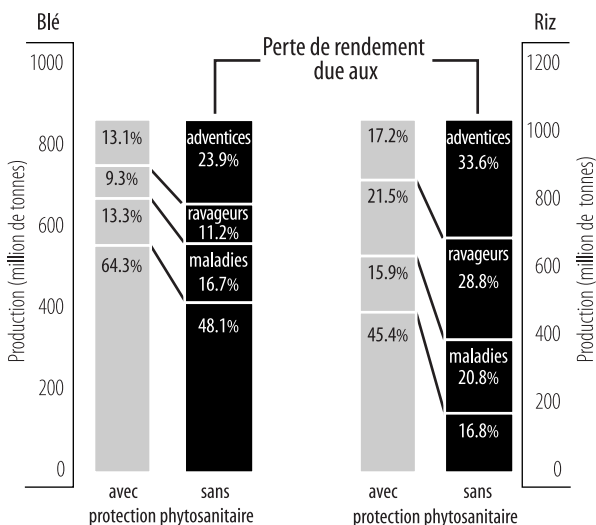
- Bonne préparation au moment opportun du lit de semence;
- Variété à cultiver (choisir de préférence des variétés productives à haut rendement (HYV));
- Densité de semis adéquate:
  - a) Nombre de plantes à l'hectare
  - b) Ecartement entre les plantes ou les lignes
- Semis à temps;
- Humidité du sol suffisante (irriguer, si possible, couvrir le sol d'un paillage (mulch) s'il n'est pas semé pour éviter l'érosion et conserver l'humidité du sol);
- Drainage adéquat (évacuer l'eau en excès par drainage superficiel ou drainage par canalisations);

- Contrôle des mauvaises herbes (sarcler, ou traiter aux désherbants chimiques);
- Contrôle des maladies (utiliser des variétés résistantes ou recourir aux traitements chimiques autorisés);
- lutte contre les ravageurs (appliquer des mesures de lutte préconisées et autorisées);
- pratique de rotations culturales qui diminuent les maladies, les mauvaises herbes et la prolifération des ravageurs;
- Amélioration de la structure du sol (grâce aux rotations culturales, aux prairies temporaires ou aux fumures/engrais vert); et

Figure 10. **Importance de la protection phytosanitaire**

La réponse aux engrais sera réduite si d'autres facteurs limitent les rendements.

Production réelle et pertes de rendement 1988-90



- Maintien du taux de matière organique du sol (de par les rotations culturales pratiquées, l'apport de matière organique brute ou transformée).

Il est difficile, bien-entendu, d'estimer de manière précise les pertes occasionnées par d'autres facteurs qui affectent la croissance des plantes et le rendement de la culture. Certaines valeurs ont été avancées pour ce qui concerne la lutte contre les adventices et la protection des plantes. L'importance de la lutte contre les mauvaises herbes et celle de la protection des plantes sont présentées à la figure 10. Celle-ci montre les pertes de rendements du blé et de maïs occasionnées par la concurrence des adventices, par les maladies de la culture, et par les attaques de parasites. La production actuelle enregistrée est nettement inférieure à celle que l'on peut théoriquement atteindre. Sans protection de la culture de blé, plus de la moitié du rendement théorique réalisable serait perdue à cause des mauvaises herbes, des ravageurs et des maladies. Avec une protection efficace de la culture du blé, on peut obtenir les deux tiers du rendement théorique permis. La situation est pire pour le riz: sans protection de la culture, moins d'un cinquième du rendement théorique serait récolté; avec une bonne protection de la culture, plus de la moitié du rendement théorique réalisable a été néanmoins perdue.

## **12. Vulgarisation en matière d'engrais**

En tant qu'agent de vulgarisation, vous avez l'opportunité mais aussi l'obligation d'aider les agriculteurs. Ainsi, en leur démontrant l'intérêt des engrais à travers des entretiens, des documents écrits, des réunions et des travaux aux champs, vous pouvez contribuer à augmenter le rendement de leurs cultures. Par ailleurs, vous leur montrerez les avantages à tirer des pratiques améliorées d'exploitation agricole qui donnent un meilleur revenu agricole tout en assurant la protection de l'environnement, et donc une agriculture durable. Ainsi votre travail sur les engrais n'a pas seulement une importance capitale pour les producteurs agricoles de votre région, mais il

revêt aussi une grande importance pour votre pays tout entier. Au moment de faire connaître les engrais aux agriculteurs locaux, vous devez savoir quel est votre objectif. C'est pourquoi vous devez bien vous préparer et tout clarifier à votre niveau. Premièrement, chercher où il vous est possible de vous procurer des engrais, autrement dit, qui sont les vendeurs d'engrais dans votre région, quels sont les teneurs en éléments nutritifs des engrais disponibles en stock et quel est le temps nécessaire pour les commander. Deuxièmement, il faudra prendre contact avec la station expérimentale, l'école d'agriculture ou l'institut supérieur d'enseignement agricole le plus indiqué pour obtenir de plus amples renseignements sur les recommandations appropriées en matière de fertilisation. A cette fin, vous pourriez trouver dans l'annexe de ce manuel, les conseils en matière d'apports en engrais pour les cultures de votre pays. Ensuite commencer vos essais de démonstrations en se basant sur ces conseils, adapter les aux conditions de votre pays et aux résultats escomptés. Troisièmement, inviter les agriculteurs à visiter ces démonstrations pour leur montrer et discuter avec eux les effets des engrais sur le développement et les rendements des cultures. Cette activité doit être intégrée dans un cadre plus général de promotion de bonnes pratiques agricoles. En fin, vous devez organiser des journées de visite aux champs ou lancer/créer des stages de formation pratique destinés aux agriculteurs et vous leur démontrerez la rentabilité économique qui résulte de rendements élevés obtenus grâce à l'utilisation des engrais.

### **CONDUITE D'UNE DEMONSTRATION OU D'UN ESSAI D'ENGRAIS**

Avant de débiter une démonstration ou un essai d'engrais, vous devez mettre en place un plan et un croquis: Qu'est ce que je veux démontrer à l'agriculteur? Quelles sont, dans une démonstration, les cultures les plus indiquées pour convaincre (soit qui assurent les revenus les plus élevés, soit qui sont les plus cultivées ou qui sont les plus nécessaires pour la production alimentaire des personnes?). Avec quels agriculteurs

dois-je coopérer? Quel sera le site ou le terrain le mieux situé pour la démonstration? Quel est l'engrais disponible pour la culture choisie? A quelle époque et comment dois-je apporter les engrais? Quelles sont les autres dispositions que je dois prendre en compte?

Par conséquent, pour conduire une démonstration ou un essai d'engrais, vous avez besoin de préparer d'avance les éléments suivants:

1. Un plan de la démonstration ou de l'essai (deux parcelles<sup>25</sup> ou plus, lieu, culture testée, dimensions de chaque parcelle, démonstration ou essai sur un champ ou sur plusieurs champs).
2. Un registre pour noter la forme et l'emplacement des parcelles, les observations sur celles-ci (dose d'engrais, date d'apport) ainsi que les observations en cours de végétation, les traitements phytosanitaires contre les adventices et les parasites en cours de cycle et les rendements finaux.
3. Un ou plusieurs agriculteur(s) intéressé(s) qui travaille(ront) avec vous et vous aide(ront) à effectuer l'essai ou la démonstration dans son (leurs) champ(s).
4. Des engrais avec la composition et les titres requis, disponibles à temps et un emplacement sec pour les entreposer avant de les utiliser.
5. Une bascule ou une balance pour peser la quantité d'engrais pour chaque parcelle.

---

<sup>25</sup> En général vous commencez avec deux parcelles, c'est-à-dire une parcelle pour le traitement à tester et une parcelle témoin ou parcelle représentative des pratiques de l'agriculteur. C'est ainsi que vous pouvez travailler sans répétitions. Cependant, si vous mettez en place l'essai ou la démonstration sur les champs de plusieurs agriculteurs, les différentes localités peuvent être considérées comme des répétitions de l'essai ou de la démonstration et peuvent être ainsi évaluées. Toutefois, cette méthode doit être vérifiée avec le statisticien chez votre station expérimentale locale.



6. Des sacs en papier de préférence à plusieurs feuilles dans lesquels vous allez mettre les doses à apporter aux différents traitements et clairement identifiés.
7. Un mètre à ruban ou un dispositif permettant de déterminer la dimension et la forme des parcelles; des piquets et des cordeaux pour marquer les limites, notamment les coins, des parcelles.
8. Du matériel de récolte comprenant des instruments de coupe et une bascule ou une balance pour peser les rendements.
9. Des informations sur les prix réels des engrais et ceux des produits agricoles, et éventuellement une calculatrice de poche afin de calculer le résultat économique de la démonstration (rapport valeur/coût ou VCR et/ou bénéfice net).

En règle générale: Effectuer des démonstrations aux champs simples!

Une démonstration d'engrais a pour objet:

- a) D'identifier l'effet de l'engrais par comparaison avec une parcelle non fertilisée, tous autres facteurs étant les mêmes. Le plus simple dispositif expérimental serait: témoin sans engrais dose conseillée d'engrais.
- b) Si vous voulez convaincre les agriculteurs d'utiliser une plus forte dose d'azote, de  $P_2O_5$  et/ou de  $K_2O$ , vous devez adopter un dispositif expérimental qui permet la comparaison de deux doses d'éléments nutritifs. Le dispositif serait donc: témoin sans engrais faible dose d'élément nutritif (par exemple 30 kg/ha de N) forte dose d'engrais (par exemple 60 kg/ha N).

Utilisez le même type de dispositif expérimental pour  $P_2O_5$  et  $K_2O$ . La démonstration ou l'essai, en testant une forte dose d'un élément, doit toujours être faite avec apport des deux autres éléments (fertilisation équilibrée).

- c) Si vous voulez montrer aux agriculteurs l'importance d'une fertilisation équilibrée, vous serez amené à utiliser un dispositif à trois ou quatre parcelles: témoin sans engrais  
parcelle recevant de l'azote seulement (N) -parcelle recevant de l'azote et du phosphore (NP)- parcelle recevant de l'azote, du phosphore et du potassium (NPK).

Des variantes de ce dispositif comprenant trois parcelles peuvent être conçues:

Aucun engrais - NP - NPK

Ou aucun engrais - P - NP

Ou aucun engrais - N - NP

Ou aucun engrais - N - NPK

- d) Outre la mise en évidence des effets bénéfiques de l'utilisation des engrais, vous pouvez aussi être intéressé pour montrer les avantages de pratiques agricoles améliorées, notamment le Système Intégré de Nutrition des Plantes. Alors, vous aurez besoin de quatre parcelles:

1ère parcelle: aucun engrais + pratiques culturales de l'agriculteur.

2ème parcelle: engrais recommandé + pratiques culturales de l'agriculteur.

3ème parcelle: aucun engrais + pratiques améliorées recommandées et (travail de conservation du sol, apport de matière organique, engrais vert, semence de variété améliorée, date et méthode de semis, désherbage et lutte contre les maladies, etc.).

4ème parcelle: engrais recommandé + pratiques améliorées recommandées (travail de conservation du sol, apport de matière organique, engrais vert, semence de variété améliorée, date et méthode de semis, désherbage et lutte contre les maladies, etc.).

En raison de l'introduction progressive des pratiques améliorées "autres" que la fumure, il convient de mettre l'accent sur ce dernier dispositif expérimental. Ainsi, vos démonstrations doivent principalement être simples, comme celles décrites en a) et b); vous pouvez conduire d'autres types de démonstrations ou essais simples comme précisé en c) et d) ou encore avec plus de traitements, c'est à dire, six à dix traitements<sup>26</sup> mais en coopération avec votre station expérimentale locale.

## **DETERMINATION DE LA SURFACE DES PARCELLES**

Les dimensions des parcelles de démonstration sont déterminées par celles du champ choisi. Comme les fermes et les champs sont souvent petits dans votre région, les parcelles de démonstration doivent également être petites, mais néanmoins elles doivent être suffisamment grandes pour que la démonstration soit convaincante et pour obtenir une estimation assez exacte des rendements de manière à permettre de déterminer l'effet des traitements. Donc, les surfaces de parcelles ou de bandes pour les traitements à tester peuvent varier environ de 50 à 400 mètres carrés (5 m x 10 m jusqu'à 10 m x 40 m).

En général, les parcelles de démonstration doivent être rectangulaires et disposées côte à côte. Prévoir des allées de 0.5 à 1 m entre les parcelles et autour du site de démonstration (voir Figure 11). Prendre en considération la topographie du champ afin que toutes les parcelles soient orientées de la même façon.

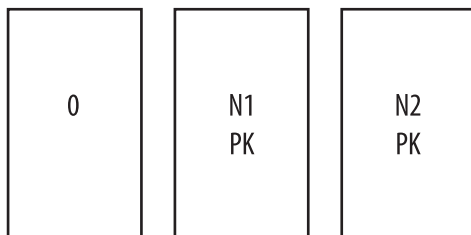
Il est recommandé de disposer les traitements au hasard et non systématiquement dans l'ordre. Cependant, lorsque vous

---

<sup>26</sup> Les instructions générales du précédent Programme Engrais de la FAO recommandaient des démonstrations sur huit parcelles avec les traitements standards suivants: Témoin=000, parcelle PK=011, parcelle NK=101, parcelle NP=110, parcelle NPK=111, parcelle 2N+PK=211, parcelle 2P+NK=121 et parcelle 2K+NP=112.

La base de données de la FAO qui comporte les résultats de ces essais et démonstrations a été publiée sur l'Internet en 2002.

Figure 11. **Exemple de disposition d'un simple essai de démonstration comprenant une parcelle témoin et deux parcelles avec deux doses différentes d'engrais**



Dimensions de la parcelle : 5 m x 10 m

Un passage de 0.5 m de largeur entre parcelles

conduisez une démonstration ou un essai qui comporte trois parcelles seulement, l'ordre à respecter est 0-1N-2N (ou autres éléments). Cette même disposition doit être respectée si le même type d'essais ou démonstration est conduit chez plusieurs champs d'agriculteurs<sup>27</sup>.

Pour les cultures en lignes, les parcelles doivent être ajustées pour qu'elles comportent un nombre exact de lignes: 10 lignes espacées d'un mètre chacune nécessitent une parcelle de 10 m de large; par contre, 9 lignes espacées de 1,20 m chacune impliquent une parcelle de 10.8 m de large. Si les parcelles de traitement sont de grande taille,

il n'est pas nécessaire de récolter toute la parcelle, on peut récolter seulement une surface de 20 à 50 mètres carrés ou une longueur de ligne d'au moins 10 m par traitement.

<sup>27</sup> On utilise normalement un dispositif aléatoire lorsqu'il s'agit de la mise en place d'un essai de six différents traitements par exemple, en trois répétitions. Voici un exemple de l'ordre de traitements à suivre pour cet essai:

Répétition a: (traitements) 6 -3 -5 -2 -4 -1

Répétition b: (traitements) 2 -4 -6 -1 -3 -5

Répétition c: (traitements) 1 -2 -3 -4 -5 -6

## CALCUL DE LA DOSE D'ENGRAIS PAR PARCELLE

Si vous voulez utiliser des engrais simples dans des parcelles de démonstration, comme par exemple de l'urée, du superphosphate simple et du chlorure de potassium, vous calculerez les quantités à apporter pour les différents traitements en utilisant la formule suivante:

$$\text{Quantité d'engrais à appliquer par parcelle} = \frac{\text{Dose de l'élément nutritif (kg/ha)} \times \text{surface de la parcelle (m}^2\text{)}}{100 \times \text{pourcentage de l'élément nutritif dans l'engrais}}$$

Prenons par exemple le dispositif expérimental suivant:

Traitement par parcelle (kg/ha)	N	et/ou P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	et/ou K <sub>2</sub> O
a)	0	0	0
b)	30	30	30
c)	60	60	60

Il est à noter que les fortes doses d'engrais ne devraient être utilisées que pour les cultures irriguées ou dans des endroits à forte pluviométrie.

Pour le cas de l'azote, pour une dose d'élément nutritif de 30 kg/ha N, et pour une parcelle de 50 mètres carrés, la quantité d'engrais azotés sous forme d'urée 45% N à appliquer par parcelle est calculée comme suit:

$$\text{Quantité d'urée à appliquer: } \frac{30 \times 50}{45 \times 100} = 0,33 \text{ kg d'urée par parcelle}$$

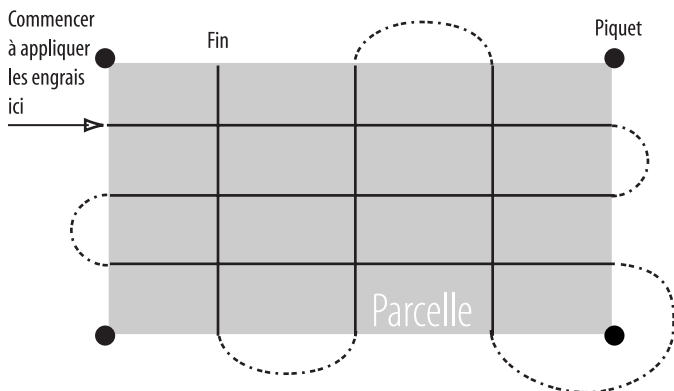
Ainsi il vous faudra peser 0,33 kg d'urée par parcelle pour le traitement b) et 0,66 kg pour le traitement c). Pour une parcelle de 400 mètres carrés, la quantité d'urée à appliquer par parcelle serait respectivement de 2,64 kg et 5,28 kg. Les doses, reconverties en d'autres unités, peuvent être calculées de manière analogue (voir facteurs de conversion en annexe).

## EPANDAGE D'ENGRAIS A LA VOLEE SUR DES PETITES PARCELLES

Pour les petites parcelles vous placez l'engrais pesé dans des sacs étiquetés correspondant aux traitements. Notez clairement les références de ces sacs sur votre cahier. Un petit sac pour chaque parcelle est le moyen le plus sûr pour éviter des erreurs. Vous pouvez aisément effectuer l'épandage à la main (Figure 12). Si la quantité d'engrais par parcelle est faible, son épandage uniforme est très difficile, dans ce cas, mettez de la terre sèche dans un seau ou un baquet, versez ensuite l'engrais pesé pour la parcelle particulière sur le sol se trouvant dans le seau et mélanger intimement. Vous aurez ainsi un plus grand volume à épandre, ce qui vous aidera à répartir l'engrais uniformément sur la parcelle. Plus la taille de la parcelle d'essai ou de démonstration est réduite, plus grande sera l'effet d'une erreur commise sur le résultat global. Ainsi, il faudra apporter d'autant plus de soin pour assurer une répartition uniforme de l'engrais sur la parcelle d'essai que celle-ci est plus petite.

Par petites poignées d'engrais ou de mélange d'engrais et de terre sèche, et avec un geste ample du semeur, distribuez l'engrais tout en parcourant la parcelle. Cette méthode est

Figure 12. **Méthode correcte pour l'application d'engrais à la volée sur une petite parcelle**



applicable pour les épandages d'engrais de fond (avant le semis) et pour ceux de couverture (après la levée), à un grand nombre de cultures. Toutefois, pour des cultures en lignes, telles que le maïs, l'igname, l'arachide ou des plantes arbustives, la méthode d'épandage par localisation latérale ou par apport localisé autour de chaque plante est recommandée. On place quelques pincées d'engrais dans les trous ou sillons de semis, à proximité de la semence, et on les recouvre de terre (voir également la section 10).

### **EVALUATION D'UNE DEMONSTRATION OU D'UN ESSAI D'ENGRAIS**

Tout au long de la campagne agricole, en compagnie chaque fois que possible du propriétaire du terrain, vous devez visiter régulièrement les sites de démonstration. Il faut noter sur votre registre de suivi toutes les observations relatives à la croissance et au développement de la culture, aussi bien que les informations concernant les précipitations ou les irrigations, le désherbage, la lutte contre les maladies, etc.

La récolte et la pesée des rendements peuvent être effectuées au cours d'une des visites organisées. Cependant, si vous faites une visite organisée en cours de cycle végétatif à l'intention des agriculteurs pour démontrer une différence dans le développement des plantes, il pourrait être utile de récolter quelques jours avant cette visite, environ 20 m<sup>2</sup> de culture et de peser les rendements obtenus, pour comparer les différents traitements et évaluer leur rentabilité. Cela n'exclut pas de récolter une autre partie ou le reste de la parcelle, lors de la dernière visite organisée pour les agriculteurs.

L'avantage de la pratique d'une récolte avancée d'une partie de la parcelle avant la visite des agriculteurs, est qu'avec les informations sur les rendements, le prix de revient des engrais et le prix de vente des produits agricoles, vous pouvez calculer *le rapport valeur/coût* ou le *bénéfice net* et préparer des schémas et des posters à exposer le jour de la visite.

Cette méthode sera la plus convaincante pour un agriculteur, puisque le meilleur et unique argument valable

pour lui pour utiliser des engrais, est le bénéfice économique qu'il peut en tirer.

Le rapport valeur/coût est obtenu en divisant la valeur de l'augmentation de production par le coût de l'engrais utilisé pour obtenir cette augmentation:

$$\frac{\text{Valeur de l'augmentation de production (en valeurs monétaires)}}{\text{Coût de l'engrais (en valeurs monétaires)}} = \text{Rapport valeur/coût (RVC)}$$

Si le rapport valeur / coût dépasse 1, l'engrais est rentable; un RVC de 2 indique un bénéfice de 100 pour cent. Cela signifie que chaque dollar dépensé en engrais rapporte 2 dollars à la récolte. De plus, l'agriculteur reçoit ce rapport après une courte période d'investissement, généralement après quelques mois. Toutefois, le rapport valeur/coût doit être supérieur à 2 pour sécuriser un profit économique pour l'agriculteur.

Le revenu net donne des indications sur la somme monétaire globale que gagnera le cultivateur en appliquant des engrais. Il est calculé en soustrayant le coût de l'engrais utilisé de la valeur de l'augmentation de production due à l'engrais:

$$\text{Valeur de l'augmentation de rendement (en valeur monétaire)} - \text{Coût de l'engrais (en valeurs monétaires)} = \text{Revenu net}$$

Un revenu net positif signifie que l'application d'engrais a été rentable. Le revenu net et le RVC servent des buts différents. Selon le prix de revient de l'engrais appliqué, il est probable que le rapport le plus élevé valeur/coût ne donne pas toujours le revenu net le plus élevé. Autrement dit, le rendement le plus élevé à l'hectare ne signifie pas forcément le plus grand bénéfice.

Il est préférable de recourir aux deux méthodes d'évaluation économique. En faisant les deux calculs vous disposez d'un outil qui vous permettra de conseiller l'agriculteur sur les utilisations des engrais les plus rentables.



## CONDUITE DES REUNIONS SUR LES ENGRAIS

Comme indiqué ci-dessus, vous devez inviter (par carte postale, affiche, presse ou radio) les agriculteurs ou les responsables communaux à participer aux visites organisées sur les démonstrations sur les engrais ou parcelles d'essais situés près de leurs villages ou de leurs fermes. Ces visites doivent se tenir durant la saison à laquelle est cultivée la culture que vous avez choisie pour vos démonstrations.

Pensez à fournir les indications suivantes:

- *Objet de la réunion*: Examen et échange de vues à propos d'une démonstration ou d'un essai d'engrais effectué sur .....(culture).
- *Qui y est invité*: les agriculteurs se trouvant près des sites de démonstration (avec leurs femmes), des amis, des leaders de communautés, des représentants de banques rurales, des distributeurs d'engrais, ...etc.
- *Lieu de la réunion*: donner des indications précises sur le lieu où se tiendra la réunion et comment on peut s'y rendre.
- *Date de la réunion*: Mois, jour et heure.

Pour la visite organisée aux champs, prenez avec vous des échantillons d'engrais pour les montrer aux agriculteurs participants. Dites-leur comment vous les avez appliqués. L'agriculteur qui conduit la démonstration visitée doit montrer et expliquer les observations faites sur le développement des plantes et les rendements obtenus sur les différentes parcelles. Dans la mesure du possible, récolter avec les participants une partie des parcelles et encouragez-les à évaluer les rendements attendus des parcelles traitées et non-traitées et à estimer le bénéfice économique qui résulterait de l'application de l'engrais. Recommandez aux agriculteurs d'effectuer des essais ou des démonstrations dans leurs propres fermes.

Outre ces journées spéciales de visite des agriculteurs sur le terrain, invitez agriculteurs (de préférence avec leurs femmes), revendeurs d'engrais et chefs de villages à assister à des réunions de caractère plus général destinées à leur donner des explications et informations sur les engrais. Efforcez-vous de

faire de ces réunions un événement pour le village en suscitant un grand enthousiasme pour celles-ci. Ces réunions seront d'autant plus réussies si elles sont faites avec utilisation de photos, de diapositives en couleurs, de posters et tableaux qui présentent les essais et les résultats obtenus. Ces supports didactiques devraient de préférence être réalisés à partir d'actions et de travaux conduits dans votre région. Faites des tableaux muraux pour expliquer ce que sont les besoins en éléments nutritifs des cultures et comment les engrais peuvent satisfaire ceux-ci. A cette fin, des schémas contenus dans cette brochure peuvent vous être utiles. Arrangez-vous pour que les chefs de village participent et soient des sponsors de ces réunions.

Comme déjà indiqué, le conseil ou la recommandation pour une année donnée pourrait ne pas être la recette optimale pour l'année suivante, étant donné que les conditions peuvent changer rapidement. Il n'y a pas que les conditions climatiques qui changent, mais également la pluviométrie, la fertilité du sol et les variétés cultivées.

En prenant l'agriculture dans un sens très général, on constate que le mode d'exploitation subit des changements permanents. C'est pourquoi il est conseillé que les agriculteurs en plus d'être en mesure d'utiliser correctement les engrais, devraient aussi chercher à connaître et maîtriser les principes et les processus qui sont à la base de leurs activités, afin de pouvoir s'adapter à de nouvelles situations ou de pouvoir faire face à de nouveaux et différents problèmes. Les agriculteurs sont obligés de changer leur système de production ou leur mode d'exploitation agricole quand les conditions techniques, économiques ou sociales changent.

Des programmes de "*Gestion intégrée des éléments nutritifs et des sols*" (ISNM), au sens général, sont parfois mis en œuvre dans des "*écoles de formation pratique des agriculteurs*". Contactez les services gouvernementaux officiels pour savoir si de telles écoles existent dans votre pays et/ou si elles pourraient être créées dans votre région.

## **13. Conclusions**

Les engrais sont un des facteurs et moyens déterminants pour le développement agricole en vue de promouvoir la sécurité alimentaire et de maintenir la productivité agricole des sols. De par vos efforts, votre intérêt et votre enthousiasme vous pouvez apporter à cela d'importants changements en introduisant et en généralisant l'emploi des engrais. C'est votre responsabilité et c'est aussi un défi pour vous de contribuer à améliorer les conditions de vie dans votre région et à y faire émerger un développement agricole durable.

## Annexe: Facteurs de conversion

<b>Superficie et longueur</b>	
1 hectare	= 10 000 mètres carrés = 2,471 acres
1 mètre	= 1,0936 verges = 3,2808 pieds = 39,37 pouces
1 acre	= 4,480 verges carrés = 0,4047 hectare
1 yard	= 3 pieds = 0,9144 mètre
1 pied	= 12 pouces = 0.3048 mètre
<b>Poids</b>	
1 kilogramme	= 1 000 grammes = 2,2046 livres
1 kg/ha	= 0,8922 lb/acre
1 tonne métrique	= 2 204,6 livres = 1,1023 tonne courte = 0,9842 tonne longue
1 livre	= 0,4536 kilogramme
1 lb/acre	= 1.1208 kg/ha
1 tonne courte	= 2 000 livres = 0.9072 tonne métrique
1 tonne longue	= 2 240 livres = 1.016 tonne métrique
<b>Engrais</b>	
<b>Phosphatés</b>	
Pour transformer $P_2O_5$ (phosphate) en P,	multiplier $P_2O_5$ par 0,4364
Pour transformer P en $P_2O_5$ ,	multiplier P par 2,2914
<b>Potassiques</b>	
Pour transformer $K_2O$ (potasse) en K,	multiplier $K_2O$ par 0,8302
Pour transformer K en $K_2O$ ,	multiplier K par 1,2046