

---

# Guide pour une gestion efficace de la nutrition des plantes

---



défis



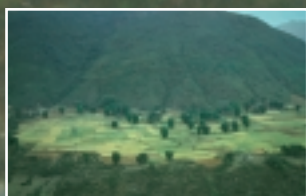
sources d'éléments  
nutritifs des  
plantes



gestion des  
éléments nutritifs  
des plantes



aspects  
environnementaux



politiques



Organisation  
des Nations  
Unies pour  
l'Alimentation  
et  
l'Agriculture



---

# Guide pour une gestion efficace de la nutrition des plantes

---

DIVISION DE LA MISE EN VALEUR DES TERRES ET DES EAUX  
ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE  
Rome, 1999

---

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.

---

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, mise en mémoire dans un système de recherche documentaire ni transmise sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit: électronique, mécanique, par photocopie ou autre, sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur. Toute demande d'autorisation devra être adressée au Directeur de la Division de l'information, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie.

© FAO 1999

# Préface

Les éléments nutritifs des plantes sont essentiels pour produire des aliments sains et en quantité suffisante pour la population mondiale, actuellement en expansion. En outre, l'intensification de l'agriculture requiert un accroissement des flux d'éléments nutritifs aux cultures, ainsi qu'une plus forte absorption de ces nutriments par la culture. La diminution de stocks de nutriments dans le sol, observée dans de nombreux pays en développement, est une forme de dégradation du sol importante, mais souvent cachée. D'autre part, d'excessives applications de nutriments, ou une gestion inefficace de ces applications, peut causer des problèmes environnementaux, surtout si de grandes quantités d'éléments nutritifs se perdent du système sol/culture dans l'eau et l'air.

Le *Guide pour une gestion efficace de la nutrition des plantes* examine quelques-uns des principaux problèmes liés à la gestion agronomique des éléments nutritifs des plantes, dans le but d'assurer une production agricole intensifiée et durable, tout en sauvegardant l'environnement.

Ce guide vise à promouvoir l'évaluation des besoins en éléments nutritifs des plantes des systèmes agricoles, et à contrôler la fertilité du sol. Il aidera à formuler des conseils aux gouvernements, et, ensuite, la législation relative à l'emploi de fertilisants et à la nutrition des plantes. Comme le souligne ce guide, la gestion des éléments nutritifs des plantes devrait être l'objet de pré-

occupations tant au niveau de l'exploitation agricole qu'à celui de l'Etat.

L'objectif de ce guide est d'aider toute personne préoccupée par la fabrication, la commercialisation et l'emploi de fertilisants, en vue d'arriver à une gestion efficace et durable de la nutrition des plantes. Les conseils qu'il contient devront être encouragés par des gouvernements en groupements régionaux, par les organisations non gouvernementales nationales et internationales, par l'industrie des engrais et par les organismes des Nations Unies.

Tous les secteurs auxquels s'adresse ce guide sont invités à observer et diffuser ses principes généraux. La coopération que montrera l'industrie des engrais à observer ces principes sera particulièrement appréciée.

En tant que suivi, il faudra évaluer et surveiller l'état et l'évolution de la fertilité du sol par zone agroécologique. Il faudra également accorder une importance particulière aux tendances de fertilité du sol à long terme, de façon que la diminution des éléments nutritifs des plantes puisse être combattue, là où on l'observe.

Des évaluations de l'impact sur l'environnement doivent être faites régulièrement, notamment dans les régions ayant développé un emploi intensif d'engrais.

*Robert Brinkman*

*Directeur, Division de la mise en valeur des terres et des eaux*

## REMERCIEMENTS

Ce document a bénéficié de la contribution du Bureau juridique de la FAO. La FAO remercie les personnes et organisations suivantes pour leurs contributions et observations:

R. Dudal (Belgique)  
A. Finck (Allemagne)  
C. Hera (FAO/AIEA, division mixte, Autriche)  
J. Neeteson (Pays-Bas)  
C. Pieri (Banque mondiale, Etats-Unis)  
D. Powlson (Royaume-Uni)

N.E. Nielsen (Danemark)  
P. Sequi (Italie)  
J. P. Pichot (France)  
L'Association internationale de l'industrie des engrais (France)

## Résumé

Accroître la production agricole en améliorant à la fois la gestion de la nutrition des plantes et l'emploi d'autres facteurs de production, est un défi complexe. L'intensification de l'agriculture requiert des approvisionnements accrus de nutriments pour les cultures, une absorption plus élevée de ces nutriments et de plus grands stocks d'éléments nutritifs dans les sols. Cela engendre aussi une production plus élevée de résidus de culture, de fumier et de déchets organiques. Un emploi excessif d'éléments nutritifs, la gestion inefficace des systèmes culturaux, et l'emploi inapproprié des résidus et déchets produisent des pertes d'éléments nutritifs, ce qui constitue une perte économique pour l'agriculteur. D'autre part, une utilisation inadéquate ou insuffisante de nutriments des plantes crée une destruction insidieuse du stock d'éléments nutritifs sur l'exploitation, ce qui signifie aussi une perte économique pour l'agriculteur. Des risques environnementaux peuvent subvenir si l'on applique trop d'éléments nutritifs par rapport à la capacité d'absorption des systèmes culturaux, tandis que l'épuisement des stocks de nutriments est une forme importante, mais souvent cachée, de dégradation environnementale. La gestion de la nutrition des plantes dépend fortement des conditions économiques et sociales de la communauté agricole. Les décisions des agriculteurs dépendent de leur situation économique et de leur milieu socioéconomique, de leur perception des signaux économiques et de leur acceptation des risques.

L'idée de départ de ce guide est que la gestion de la nutrition des plantes peut contribuer à la sécurité alimentaire et à la production durable de biens agricoles, sans risque pour l'environnement.

Ce guide s'adresse à tous les secteurs engagés dans, ou pouvant influencer, la production, la distribution et l'emploi de nutriments: produits organiques locaux, engrais minéraux et inoculants biologiques. Il propose des prises de responsabilités, des lignes directrices et

une base d'accord entre les parties impliquées pour partager la promotion et le développement de la gestion intensifiée de la nutrition des plantes, guidée par des politiques rigoureuses à travers des plans d'action cohérents.

Ce guide propose d'adopter les Systèmes intégrés de nutrition des plantes (SINP) qui augmentent la fertilité du sol à travers un emploi équilibré de sources locales et externes de nutriments des plantes de façon à maintenir ou améliorer la fertilité du sol, et sont également bénéfiques pour l'environnement. A moyen terme, les SINP aident à accumuler les stocks d'éléments nutritifs (dans les sols et les résidus de culture) ainsi que les capitaux nécessaires pour pouvoir continuer durablement le processus d'intensification agricole.

Ce guide insiste sur la nécessité urgente d'identifier et de développer les technologies locales et les mécanismes de prises de décisions pour améliorer les pratiques de nutrition des plantes. Diffuser les informations et former les petits agriculteurs constituent une méthode importante pour encourager des pratiques agricoles intensifiées, durables et écologiques, qui augmenteront aussi les revenus des agriculteurs.

Les principales composantes d'une gestion efficace de la nutrition des plantes, que ce guide vise à communiquer, sont les suivantes:

- Une description des sources des éléments nutritifs des plantes y est donnée, y compris les informations concernant leur emploi efficace pour intensifier la production agricole, et leur impact potentiel sur l'environnement.
- L'optimisation de la gestion des éléments nutritifs des plantes, comme faisant partie d'une intensification raisonnée de la production agricole, résulte de l'approvisionnement équilibré de sources d'éléments nutritifs, en maintenant ou en

augmentant le capital d'éléments nutritifs des plantes à la ferme ainsi que l'efficacité des éléments nutritifs impliqués dans la production des cultures, et en maximisant les revenus des agriculteurs dans le contexte de l'économie locale.

- Le conseil sur la gestion des éléments nutritifs des plantes doit inclure l'aide à prendre les décisions adéquates au niveau de la ferme et au niveau de la parcelle, de manière à optimiser l'utilisation des ressources locales, ainsi que la capacité des agriculteurs à intensifier leur production dans leur propre contexte économique. Il faut aussi fournir des conseils au niveau des villages ou des bassins versants sur la gestion et les investissements à faire en matière de sources locales d'éléments nutritifs provenant de la végétation et de l'élevage. Ces conseils sont économiquement très rentables si les secteurs public et privé coopèrent pour aider les agriculteurs. Il faudra également fournir à toutes les personnes concernées des informations sur les potentialités d'impact environnemental de la gestion des éléments nutritifs des plantes. Disposer d'un soutien de recherche est essentiel.
- L'impact environnemental possible à la suite du suremploi, sous-emploi ou emploi erroné de sources d'éléments nutritifs est exposé.
- Les politiques nationales doivent faciliter le développement d'une bonne gestion de la nutrition des plantes et fournir les investissements voulus pour intensifier la production tout en conservant la base de ressources naturelles.

Les principaux aspects pris en considération sont les suivants:

- évaluation des besoins en éléments nutritifs des plantes pour atteindre les objectifs de production culturale;
- choix de sources et méthodes d'approvisionnement;
- détermination du niveau nécessaire de production locale d'engrais;
- niveaux des prix et question des subsides pour éléments nutritifs des plantes;

- aspects législatifs;
- appui pour la vulgarisation et la recherche.

Les politiques dans ces domaines déterminent dans quelle mesure les agriculteurs ont accès aux éléments nutritifs des plantes et sont capables d'augmenter leur production tout en maintenant la fertilité du sol. Les agriculteurs ont besoin d'avoir un pouvoir d'achat pour obtenir des intrants externes, ainsi que des conseils pour les utiliser de manière équilibrée. Le guide indique les politiques à suivre en matière d'évaluation, de commercialisation, de transport et d'entreposage, de formation, de fixation des prix, de législation, d'emballage, de conseil et planification, et de financement. Il insiste sur la nécessité de trouver le juste équilibre entre la participation du gouvernement et du privé à la production, à l'importation et à la distribution d'engrais. En outre, il propose de créer des points de référence pour conseiller sur la politique à suivre et régulariser la disponibilité, la qualité, la production et le commerce d'éléments fertilisants (en particulier d'engrais) de manière à compléter la stratégie générale de nutrition des plantes du gouvernement, et, ensuite, à mettre en œuvre cette politique.





# Table des matières

<b>Préface</b>	<b>iii</b>
<b>Résumé</b>	<b>iv</b>
<b>Défis de la gestion de la nutrition des plantes</b>	<b>1</b>
<b>Sources des éléments nutritifs des plantes</b>	<b>3</b>
Nature et approvisionnement des éléments nutritifs des plantes	
Ensemble des sources des éléments nutritifs des plantes	
<b>Gestion des éléments nutritifs des plantes</b>	<b>6</b>
Systèmes intégrés de nutrition des plantes	
Bilan des éléments nutritifs des plantes	
Aspects économiques de l'emploi d'engrais	
Conseil pour la nutrition efficace des plantes	
Soutien de la recherche	
<b>Aspects environnementaux</b>	<b>15</b>
Effets négatifs causés par des doses d'intrants élevées	
Effets négatifs causés par des doses d'intrants faibles	
Maîtrise des effets négatifs	
<b>Politiques pour une nutrition des plantes efficace</b>	<b>18</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>20</b>





## Défis de la gestion de la nutrition des plantes

Ces défis consistent à maintenir (et si possible accroître) la productivité durable des cultures, dans le but de répondre aux besoins en nourriture et matières premières et à relever la qualité des ressources en terre et en eau. Il n'y a pas de contradiction entre ces défis. En effet, les risques écologiques peuvent être minimisés en faisant correspondre l'apport des éléments nutritifs des plantes aux besoins des cultures, et en appliquant de judicieuses méthodes de conservation de l'eau et du sol.

L'agriculture extrait inévitablement des éléments nutritifs du sol et de la ferme. Par conséquent, si un système agricole doit être durable, ces éléments nutritifs doivent être remplacés par l'une ou l'autre source disponible. Pour l'agriculteur, la perte en éléments nutritifs est de l'argent gaspillé.

Dans de nombreux pays en développement, la perte de la fertilité du sol provenant des exportations par les

récoltes des cultures sans reconstitution adéquate s'ajoutant à des pratiques déséquilibrées de nutrition des plantes, menace sérieusement la production agricole. Cela cause déjà une diminution du rendement aussi importante que les baisses causées par d'autres formes de dégradation.

D'une part, le recyclage et le transfert d'éléments nutritifs des plantes provenant d'aires non cultivées, de résidus de culture et de fumier de ferme ne compensent qu'en partie les pertes d'éléments nutritifs causées par les produits récoltés; donc d'autre part, l'emploi de sources externes, comme les engrais minéraux, est fondamental pour répondre aux besoins des cultures et pour en augmenter la production dans de nombreux systèmes agricoles. L'intensification de l'agriculture par le biais de l'augmentation de l'emploi d'éléments nutritifs des plantes est limitée par les risques environnementaux et les contraintes économiques. Dans les pays

### LES OBJECTIFS DE CE GUIDE

Ces objectifs consistent à établir les responsabilités et à proposer des lignes directrices à toutes les parties engagées et impliquées dans la production, la distribution et l'emploi d'éléments nutritifs des plantes, en particulier les engrais.

Il s'agit des responsabilités que partagent de nombreux secteurs de la société y compris les gouvernements pris individuellement ou en groupements régionaux, l'industrie, le commerce, les institutions internationales et les agriculteurs, pour travailler ensemble dans le but suivant: utiliser efficacement les éléments nutritifs des plantes, ce qui mènera à la fois à une agriculture intensifiée et durable et à la protection de la base des ressources naturelles.

Ce guide vise essentiellement à:

- encourager une meilleure compréhension du rôle des éléments nutritifs des plantes pour assurer une agriculture durable et renforcer et conserver la productivité du sol;
- assurer que toutes les sources de nutrition des plantes, surtout les engrais, soient utilisées efficacement pour intensifier la production agricole;
- identifier la manière par laquelle l'application d'éléments nutritifs des plantes peut affecter l'environnement et indiquer comment éviter les impacts négatifs;
- formuler des recommandations pour la gestion de la nutrition des plantes dans le cadre des SINP, en tenant compte des objectifs de production poursuivis par les agriculteurs, et des stratégies à suivre dans des conditions agroécologiques, sociales et économiques spécifiques;
- encourager, à l'intention des agriculteurs, le développement de bons services de conseil et de systèmes d'approvisionnement d'intrants efficaces;
- faciliter la formation d'associations d'agriculteurs menant à l'adoption de pratiques correctes de nutrition des plantes;
- enfin, procurer les éléments nécessaires pour que soient élaborées des stratégies et des politiques nationales en faveur d'une nutrition des plantes efficace, en soutien à l'intensification de l'agriculture et au développement rural.

## défis de la gestion de la nutrition des plantes

---

industrialisés, les problèmes environnementaux et les accords commerciaux internationaux, qui restreignent la production d'excédents alimentaires, constituent actuellement un facteur limitant une intensification ultérieure; dans les pays en développement, c'est le coût élevé des sources externes d'éléments nutritifs des plantes et leur disponibilité inadéquate qui limitent cette intensification.

Si l'on considère l'importance des éléments nutritifs des plantes pour la production agricole, il est impératif d'établir une relation entre le rendement, l'utilisation d'éléments nutritifs des plantes, la faisabilité économique et la qualité de l'environnement. Ce que l'agriculteur doit savoir, c'est quelle quantité et quels éléments nutritifs il doit administrer pour obtenir l'augmentation économique optimale du rendement sans porter atteinte à l'environnement. La réponse dépend des caractéristiques écologiques, sociales et économiques de chaque système agricole.

Une attention de plus en plus accrue est maintenant portée au développement des Systèmes intégrés de nutrition des plantes (SINP), qui maintiennent ou rehaussent la productivité du sol par une utilisation équilibrée de fertilisants minéraux combinés avec des sources organiques d'éléments nutritifs des plantes incluant une fixation biologique de l'azote. Les SINP sont écologiquement, socialement et économiquement viables et peuvent augmenter à la fois la productivité du sol et le rendement des récoltes. Ils mettent l'accent tout d'abord sur le système de récolte saisonnier ou annuel plutôt que sur une récolte individuelle, ensuite

sur la gestion des éléments nutritifs des plantes dans l'ensemble du système d'exploitation, et, enfin, sur l'organisation en villages ou communautés agricoles plutôt que sur les champs individuels.

L'étude de la FAO *Agriculture mondiale: Horizon 2010* estime que les deux tiers environ des besoins de croissance de la production agricole dans les pays en développement devront provenir de l'augmentation des rendements des terres déjà cultivées. Les éléments nutritifs des plantes sont les intrants les plus importants pour l'augmentation de ces rendements. Au cours des trois dernières décennies, les éléments nutritifs supplémentaires administrés comme fertilisants ont été responsables de 55 pour cent de l'augmentation du rendement dans les pays en développement. Le développement de la gestion de la nutrition des plantes dans le but d'augmenter la quantité d'éléments nutritifs des plantes dans les systèmes d'exploitation, et donc la productivité des cultures, est un défi majeur pour la sécurité alimentaire et le développement rural.

Ce guide se veut l'outil de promotion de la gestion efficace des éléments nutritifs des plantes. Il est essentiel pour les agriculteurs, les services de conseils, le personnel de vulgarisation et les chercheurs, les agences de développement, les institutions financières, l'industrie des fertilisants et les décideurs des gouvernements, et ce tant dans les pays développés que dans ceux en développement – en fait, il est essentiel pour tous ceux qui sont concernés par une production agricole durable et par la protection de l'environnement.



# Sources des éléments nutritifs des plantes

## Nature et approvisionnement des éléments nutritifs des plantes

Les plantes bâtissent leur biomasse en utilisant de l'eau, du bioxyde de carbone de l'air, de l'énergie solaire et des éléments nutritifs puisés dans le sol et dans l'eau. Pour une croissance optimale de la plante, des éléments nutritifs doivent être disponibles:

- en solution dans l'eau du sol;
- en quantités adéquates et équilibrées, correspondant à la demande immédiate de la culture;
- sous une forme qui soit accessible au système racinaire (sauf si absorbés à travers le feuillage).

Les plantes reçoivent des éléments nutritifs principalement:

- des réserves du sol;
- des engrais minéraux;
- des sources organiques;
- de l'azote atmosphérique à travers la fixation biologique;
- du dépôt aérien causé par le vent et la pluie;
- de l'irrigation, inondation ou eau souterraine et du transport de sédiments par ruissellement.

Ces sources sont utilisées par les agriculteurs dans la mesure où elles sont disponibles et à des prix accessibles. La quantité totale d'éléments nutritifs à disposition constitue un facteur clé pour le rendement des cultures.

## Éléments nutritifs des plantes

Ce sont des éléments qui sont essentiels pour la croissance de la plante et sont puisés du sol ou de l'eau – irrigation, inondation ou eau souterraine – ou sont fournis par moyen hydroponique. Les éléments nutritifs primaires sont l'azote, le phosphore et le potassium, qui sont consommés en assez grandes quantités. Trois éléments

nutritifs secondaires sont puisés en quantités inférieures, mais sont essentiels pour la croissance de la plante: le calcium, le magnésium et le soufre. Des oligoéléments sont nécessaires en très petites quantités, mais sont souvent importants pour les plantes ou le métabolisme des animaux. Ce sont: fer, zinc, manganèse, bore, cuivre, molybdène et chlore. De plus, quelques plantes bénéficient de la présence de sodium, cobalt et silicium qui, toutefois, ne sont pas considérés comme éléments nutritifs essentiels.

## Réserves du sol

Les sols contiennent des réserves naturelles d'éléments nutritifs des plantes en quantités qui dépendent de la composition et du niveau d'évolution du sol. Ces réserves se présentent souvent sous des formes qui ne sont pas disponibles pour les plantes, et seule une petite portion est libérée chaque année à travers l'activité biologique ou chimique. Ces processus sont trop lents pour compenser l'exportation d'éléments nutritifs de la production agricole, surtout dans les régions tropicales humides, où les sols sont fortement altérés. Les quantités (ou stocks) d'éléments nutritifs des plantes disponibles pour une culture sont déterminées par l'approvisionnement à la culture d'éléments nutritifs provenant de sources internes et externes, par l'absorption d'éléments nutritifs par la culture, et les pertes d'éléments nutritifs des plantes dans l'environnement. Les stocks d'éléments nutritifs changent donc constamment. La capacité qu'a un sol de stocker des éléments nutritifs des plantes facilement disponibles constitue un facteur important dans la gestion de la nutrition des plantes. L'analyse chimique peut fournir une approximation du stock d'éléments nutritifs, plus ou moins précise selon le type de sol, les conditions de culture et les espèces cultivées.

## Engrais

Ce sont des substances minérales ou organiques, naturelles ou fabriquées, qui sont appliquées au sol, eau

## *sources des éléments nutritifs des plantes*

d'irrigation ou moyen hydroponique, pour fournir aux plantes des éléments nutritifs. Les engrais contiennent au moins 5 pour cent d'un ou de plusieurs des trois éléments nutritifs primaires (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O). Ce terme est souvent utilisé comme abréviation d'engrais minéraux (voir ci-dessous). Les produits qui contiennent moins de 5 pour cent d'éléments nutritifs combinés sont appelés sources d'éléments nutritifs des plantes. La définition juridique d'un engrais varie selon les pays.

### **Engrais minéraux**

Les engrais minéraux sont fabriqués sous forme liquide ou solide, généralement de manière industrielle. Ils peuvent fournir des éléments nutritifs principaux, des éléments nutritifs secondaires, des oligoéléments ou un mélange d'éléments nutritifs. Les engrais simples ne procurent qu'un seul élément nutritif tandis que des engrais complexes en fournissent plusieurs. Les engrais composés sont produits par le mélange ou l'amalgame chimique d'engrais simples ou de nutriments. Les termes engrais chimiques ou artificiels sont souvent utilisés pour ces produits, mais induisent en erreur car les éléments nutritifs fournis par les engrais minéraux sont les mêmes que ceux fournis par minéralisation de matériel organique à travers des micro-organismes du sol. En effet, quelques fertilisants dérivent directement de produits naturels comme le guano, les sels de potassium ou les nitrates de sodium naturels. Les engrais minéraux ont une teneur en nutriments des plantes supérieure et un volume inférieur aux sources organiques d'éléments nutritifs des plantes. Les engrais de teneur élevée contiennent plus d'éléments nutritifs pour les plantes (jusqu'à 82 pour cent) que les engrais de basse teneur, ce qui permet des économies sur le transport et les frais de manutention.

### **Sources organiques**

Ces nutriments sont du matériel d'origine organique, ou bien naturel, ou bien traité. Le terme «engrais organique» est souvent mal utilisé pour décrire des sources d'éléments nutritifs contenant moins de 5 pour cent d'au moins un des trois nutriments primaires. En ce sens, certains matériels d'origine animale – comme le guano, les farines d'os et de poisson, et le sang – sont de véritables engrais, tandis que des sources organiques habituelles, comme le fumier, le purin, le compost, les eaux de

vidanges d'égout, ne le sont pas. Le matériel organique peut être utilisé pour augmenter la teneur de matière organique dans le sol, rehaussant donc sa capacité à garder et échanger l'eau, ainsi que sa condition physique.

Le fumier d'étable est un mélange d'excréments animaux et de litière. L'engrais vert est un matériel frais, produit localement, qui est incorporé dans le sol sans compostage ni digestion par des animaux. Quand les cultures de légumineuses sont utilisées comme engrais vert, l'azote atmosphérique fixé s'ajoute au sol. Le purin est un amalgame d'excréments liquides et solides des animaux, parfois dilué dans l'eau. La boue est du matériel organique résiduel provenant d'égouts. Le compost consiste en matériel organique d'origine animale et végétale, décomposé en partie par fermentation; quelquefois, des engrais minéraux y sont ajoutés.

### **Fixation biologique de l'azote**

Certains micro-organismes peuvent transformer l'azote présent dans l'air en ammoniac pour pouvoir être utilisé comme source d'azote. Cette transformation est faite par les bactéries elles-mêmes dans le sol, ou bien, à échelle beaucoup plus grande, en symbiose avec des arbres ou des plantes légumineuses (rhizobiums) ou d'autres arbres spécifiques (actinomycètes) ou avec des azollas en conditions aquatiques (algues bleu-vert). La fixation biologique de l'azote peut être encouragée par inoculation, à l'aide de souches efficaces de micro-organismes fixant l'azote, une partie de l'azote fixé étant directement assimilée par les plantes. Le terme «biofertilisants» est parfois inadéquatement utilisé pour ces micro-organismes: «inoculants microbiens» est un terme plus exact.

### **Dépôt aérien**

Quelques nutriments sont fournis en petites quantités à la surface du sol, à travers le dépôt aérien. Ces nutriments comprennent: les nitrates dans les eaux de pluie; l'ammoniac sous forme de gaz, ou bien dissous dans l'eau de pluie; le soufre dans les pluies acides; les sels et le chlore dans l'embrun marin et le calcium sous forme de poussière.

### **Eau d'irrigation, eau de surface et eau souterraine**

Ces sources fournissent aussi des nutriments des plantes, soit naturellement, soit parce que des engrais ont été ajoutés à l'eau d'irrigation. Tandis que l'eau

---

contient de petites quantités de nutriments, l'irrigation peut aussi provoquer une perte de nutriments par lessivage. Certains nutriments procurés par l'eau de surface et souterraine proviennent de pertes de nutriments dans le bassin versant.

### Amendements du sol

Les amendements sont des substances qui sont appliquées au sol pour corriger une pénurie importante autre qu'une basse teneur en nutriments. Le calcaire, par exemple, est ajouté pour corriger l'acidité; les phosphates, pour réduire la fixation phosphorique; le gypse, pour améliorer les sols sodiques (alcali); et la tourbe peut être ajoutée aux couches superficielles pour augmenter sa teneur en matière organique.

### Ensemble des sources des éléments nutritifs des plantes

---

Les éléments nutritifs naturels des plantes trouvés dans le sol y sont déposés par l'air ou par l'eau, ou proviennent de la fixation de l'azote et de l'altération de particules minérales dans le sol. La végétation absorbe une partie de ces éléments nutritifs; quelques-uns sont géographiquement redistribués par ruissellement, d'autres sont perdus par volatilisation, fixation et lessivage. Les agriculteurs bénéficient de ces nutriments naturels pour leurs cultures, et réorganisent leur distribution en espace et temps à travers leurs systèmes de production.

Sur des terres sous végétation naturelle, la matière organique qui s'accumule à la surface du sol libère des nutriments de plantes en se décomposant (ou quand elle est brûlée). Les éléments nutritifs absorbés dans des couches profondes deviennent donc disponibles

aux plantes dans le sol de superficie. Les systèmes de terre brûlée exploitent cette technique de gestion des nutriments. Quand les cultures sont récoltées, l'approvisionnement d'éléments nutritifs est peu à peu épuisé; la terre devra finalement être mise en longue jachère ou l'on devra apporter des éléments nutritifs externes.

Mettre la terre arable en jachère courte est une autre manière d'accumuler l'approvisionnement naturel d'éléments nutritifs pour des cultures à venir. Toutefois, dans la végétation permanente, beaucoup moins d'éléments nutritifs sont rassemblés au cours d'une période de jachère courte qu'au cours d'une jachère longue, de 10 ans au moins.

Les systèmes agricoles redistribuent et concentrent les nutriments de nombreuses manières, notamment:

- dans quelques systèmes agricoles traditionnels, on fait brouter le bétail sur une grande surface non cultivée; le fumier est ensuite ramassé et épandu sur une surface cultivée sélectionnée;
- la litière des forêts est ramassée et utilisée pour fertiliser une surface cultivée;
- le fumier d'animaux gardés en corrals et abris est épandu sur les terres cultivées;
- du fourrage est importé à la ferme et donné au bétail dont le fumier est ensuite répandu sur les terres cultivées;
- les résidus de récolte sont recueillis et traités (par compostage ou en installations de biogaz) et ensuite répandus sur les terres cultivées;
- des légumineuses sont cultivées pour approvisionner les nutriments des plantes qui sont produits par la fixation d'azote.



## Gestion des éléments nutritifs des plantes

**R**estaurer, entretenir et accroître la fertilité du sol constituent des priorités agricoles de premier plan, en particulier dans les nombreuses régions du monde en développement où les sols sont intrinsèquement pauvres en éléments nutritifs des plantes, tandis que la demande en aliments et matières premières augmente rapidement. Dans ces régions, il est nécessaire d'intensifier la production agricole pour répondre à la demande alimentaire sans utiliser les anciennes pratiques de jachère. Un sol fertile procure une base solide pour des systèmes de production vivrière flexibles qui, en tenant compte des contraintes du sol et du climat, peuvent faire croître une grande variété de cultures pour répondre aux nouveaux besoins.

### Systemes intégrés de nutrition des plantes

Les SINP allient les éléments nutritifs des plantes disponibles, accessibles et à bon prix pour augmenter la productivité et les revenus de l'exploitation agricole.

#### L'APPROCHE SINP DE LA FAO

Les SINP sont utilisés pour maintenir ou améliorer la fertilité du sol et l'approvisionnement d'éléments nutritifs des plantes, dans le but d'atteindre un niveau donné de production des cultures. Cela est réalisé en optimisant les avantages de toutes les sources possibles d'éléments nutritifs des plantes.

Les principaux objectifs visés sont:

- maintenir ou augmenter la productivité du sol à l'aide d'un emploi équilibré d'engrais minéraux alliés à des sources organiques et biologiques d'éléments nutritifs des plantes;
- améliorer les stocks d'éléments nutritifs dans le sol;
- améliorer l'efficacité des éléments nutritifs des plantes, et donc limiter les pertes dans l'environnement.

Les SINP opèrent aux niveaux des parcelles, de la ferme, des villages, ou du territoire. Au niveau des parcelles, ces systèmes sont élaborés pour optimiser l'absorption des éléments nutritifs par la culture et augmenter la productivité de cette absorption (le rapport entre produits récoltés et absorption d'éléments nutritifs) tout en réduisant les pertes en éléments nutritifs. L'approvisionnement optimal d'éléments nutritifs est déterminé par les méthodes de production utilisées, les prix en cours des engrais, le coût de la mobilisation des sources locales d'éléments nutritifs et la valeur commerciale de la culture. Les SINP augmentent les stocks d'éléments nutritifs des plantes dans les sols; ils améliorent également d'autres aspects de la fertilité du sol, comme l'infiltration de l'eau et la capacité de rétention d'eau; ils réduisent aussi les limitations de croissance des cultures, causées par des facteurs tels que l'acidité du sol et le compactage. Les SINP utilisent les rotations des cultures pour optimiser la fixation de l'azote, la gestion efficace des résidus de culture, l'exploration du sol en favorisant le développement racinaire, ainsi que des systèmes de gestion qui limitent les pertes en éléments nutritifs des plantes (en exploitant des éléments nutritifs qui sont libérés lentement, à partir de sources organiques et minérales).

Au niveau de la ferme, les SINP permettent d'optimiser la productivité des flux d'éléments nutritifs passant à travers le système agricole au cours d'une rotation des cultures (figure p. 11). Les SINP améliorent la capacité de production des agriculteurs à l'aide de l'application de sources externes d'éléments nutritifs des plantes ainsi que d'amendements, de traitement efficace et de recyclage de résidus de culture et de déchets organiques de la ferme, qui limitent les pertes en éléments nutritifs des plantes. Les SINP forment les agriculteurs en renforçant leurs connaissances techniques et leur pouvoir de décision et encouragent les changements nécessaires en ce qui concerne l'utilisation de la terre, les rotations des cultures, et les interactions entre

forêts, bétail et systèmes culturaux, en soutien à l'intensification de l'agriculture. Les SINP requièrent des investissements financiers et en main-d'œuvre, mais engendrent des revenus supplémentaires et contribuent à un taux accru de profit de tous les intrants. Les SINP impliquent une gestion du risque et renforcent la

synergie entre la gestion des cultures, de l'eau et de la nutrition des plantes.

Au niveau des villages ou de la communauté agricole, les SINP tiennent compte des sources d'éléments nutritifs des plantes en dehors des terres cultivées. Ces sources comprennent notamment les éléments nutritifs des plantes dans l'eau d'irrigation et dans les sédiments d'inondation, le fumier produit par le bétail broutant, les forêts et les pâturages permanents, ainsi que dans la litière des forêts et le matériel organique qui est physiquement transporté de la forêt et des pâturages vers la parcelle cultivée. Dans l'agriculture périurbaine, les agriculteurs acquièrent du fumier auprès des élevages industriels, et des déchets organiques dans les villes.

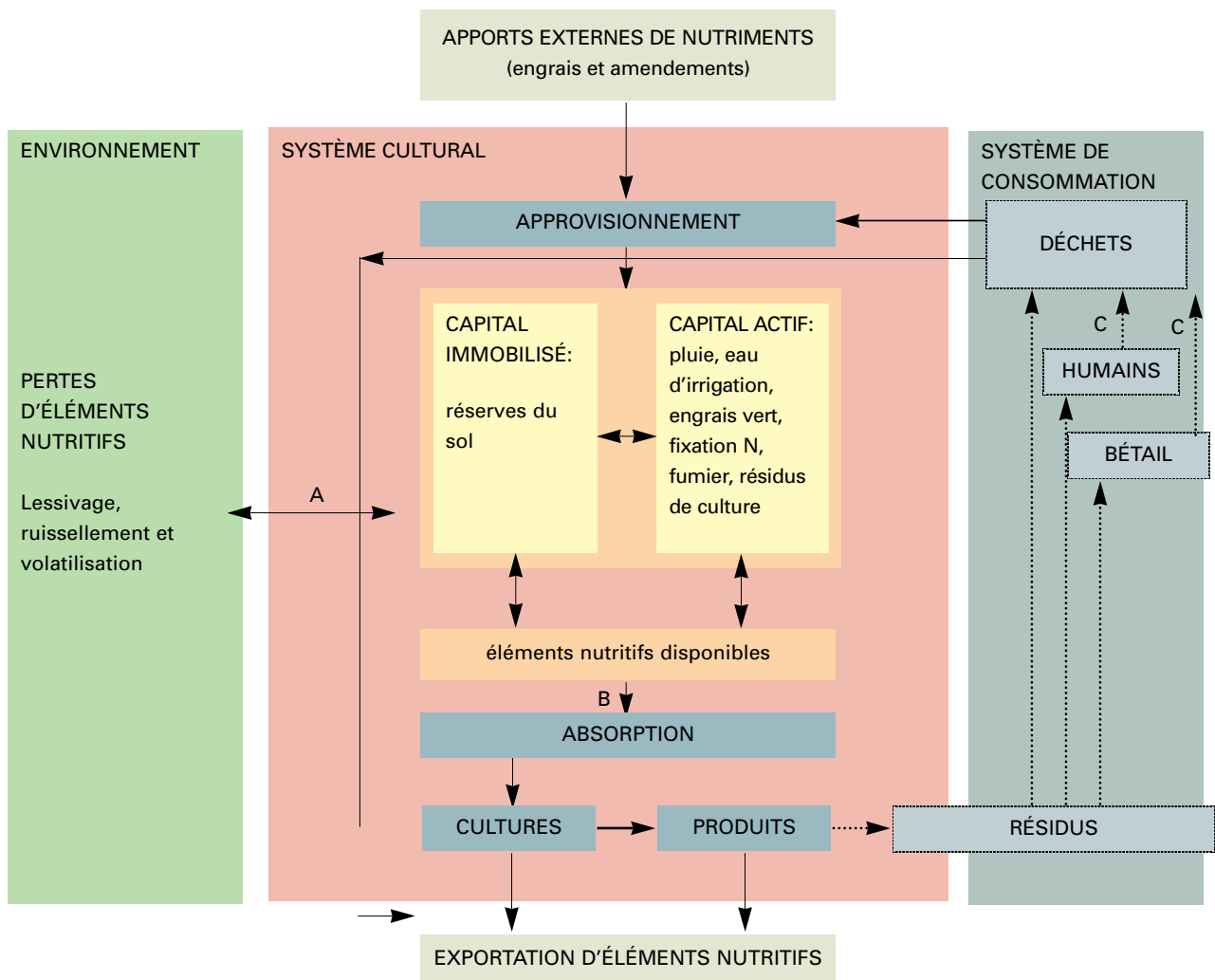
▼ *Le bilan minéral suivant met en valeur trois manières par lesquelles les agriculteurs peuvent améliorer l'emploi de nutriments:*

*A: réduction des pertes de nutriments en limitant le ruissellement par le biais d'un investissement en drainage du sol;*

*B: accroissement de consommation d'azote en développant des cultures de couverture;*

*C: réduction de pertes d'azote provenant des déchets, en améliorant la gestion du fumier.*

## BILAN MINÉRAL DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS DES PLANTES



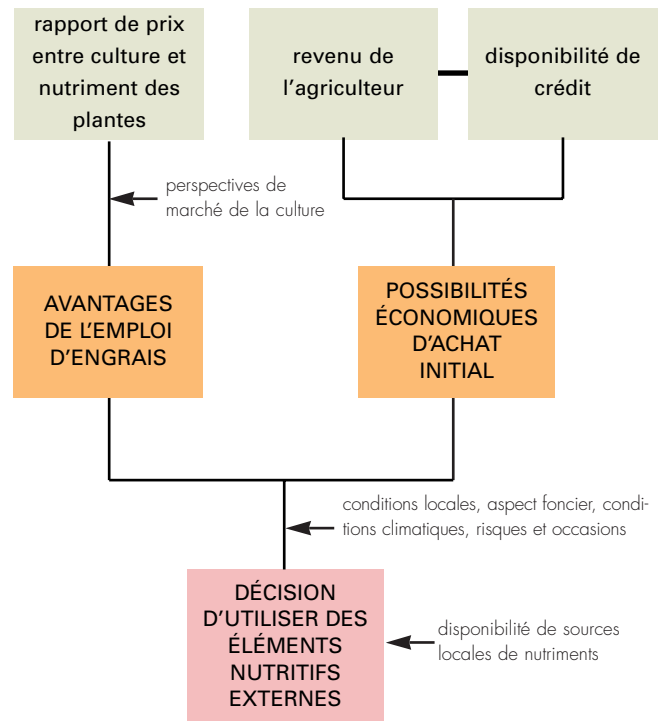
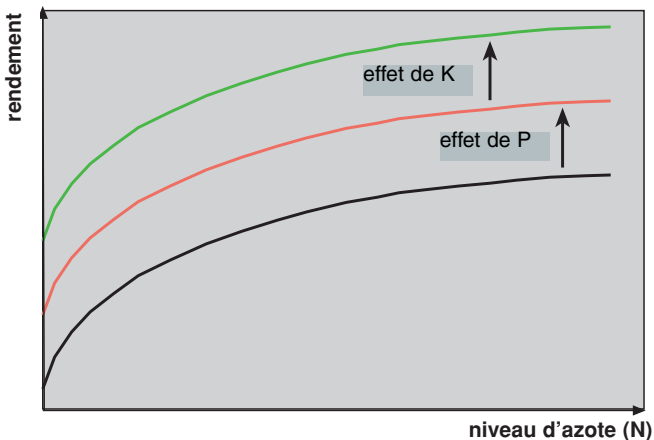
## gestion des éléments nutritifs des plantes

Les SINP facilitent la rationalisation du transfert de matière organique et d'éléments nutritifs des plantes des terres non cultivées vers des terres cultivées. En outre, les SINP encouragent la mobilisation de ressources non utilisées d'éléments nutritifs, ou l'économie de sources d'éléments nutritifs précieux détournés pour servir de combustible à usage domestique, matières premières pour la construction ou l'industrie. Au niveau du village, les SINP impliquent également le développement des capacités financières des agriculteurs, en vue de pouvoir faire adopter les changements à travers leurs associations.

## Bilan des éléments nutritifs des plantes

Un écosystème agricole diffère d'un écosystème naturel: dans l'écosystème agricole, en effet, les éléments nutritifs des plantes sont constamment enlevés et exportés; de plus, les sources d'éléments nutritifs des plantes en dehors des terres cultivées peuvent être utilisées pour augmenter la production. Dans un écosystème naturel, l'approvisionnement d'éléments nutritifs compense au moins les pertes dues au ruissellement, au lessivage et à la volatilisation et, sous conditions favorables, les éléments nutritifs s'accumulent dans la végétation permanente, et dans la couche arable. Dans les systèmes agricoles, les agriculteurs interviennent à différentes étapes du cycle des éléments nutritifs des plantes, de façon à optimiser les

▼ *Courbe de réponse à une nutrition équilibrée de la plante: l'insuffisance d'un élément nutritif de la plante limite l'efficacité par laquelle sont absorbés d'autres éléments nutritifs, réduisant ainsi le rendement de la culture.*



▲ *Processus de prise de décisions utilisé par les agriculteurs pour fertiliser les cultures.*

productions culturales et l'exportation correspondante d'éléments nutritifs (voir diagramme ci-dessus).

Les agriculteurs essaient de satisfaire la demande en éléments nutritifs des plantes en utilisant le «capital immobilisé» d'éléments nutritifs se trouvant dans le sol, et le «capital actif» d'éléments nutritifs des plantes provenant de sources naturelles et organiques. Ils complètent ces sources à l'aide d'éléments nutritifs externes. Toutefois, les éléments nutritifs emmagasinés dans le sol ne doivent pas être extraits au-delà d'un niveau critique. Ces éléments nutritifs ne peuvent pas être transportés rapidement d'une parcelle à une autre. Les éléments nutritifs présents dans les résidus de culture, le fumier, les litières des forêts, l'engrais vert et les déchets domestiques forment un «capital actif», parce que les agriculteurs peuvent les transporter et les assigner à une culture particulière d'une rotation culturale, et à une parcelle particulière.

Le bilan minéral peut être établi pour chaque élément nutritif. L'efficacité d'un système de production dépend de l'importance de l'absorption de la culture par rapport à la fourniture totale d'éléments nutritifs.

De fortes pertes d'éléments nutritifs des plantes en limitent l'efficacité. Les stocks d'éléments nutritifs peuvent être exportés, à condition que cela n'affecte pas l'approvisionnement annuel d'éléments nutritifs ni l'état général de la fertilité du sol.

Normalement, l'insuffisance d'éléments nutritifs des plantes limite l'efficacité par laquelle les autres éléments nutritifs sont absorbés, réduisant le rendement de la culture (voir diagramme p. 8). Une disponibilité déséquilibrée d'éléments nutritifs peut mener à l'épuisement des réserves du sol pour les nutriments faiblement approvisionnés et à des pertes de nutriments approvisionnés en excès. Le manque d'équilibre encourage aussi une absorption excessive de nutriments fournis en excès, ce qui fait diminuer la productivité de ces nutriments. Une fertilisation déséquilibrée est un gaspillage de ressources rares.

En pratique, la quantité d'éléments nutritifs disponibles pour le recyclage à travers les résidus de plantes et d'animaux est rarement suffisante pour compenser les quantités extraites dans les produits agricoles, même dans des situations de basse productivité. En outre, des pertes ont inévitablement lieu, même dans les systèmes les mieux gérés. Par conséquent, les engrais minéraux doivent jouer un rôle clé dans les régions où une production agricole accrue s'avère nécessaire.

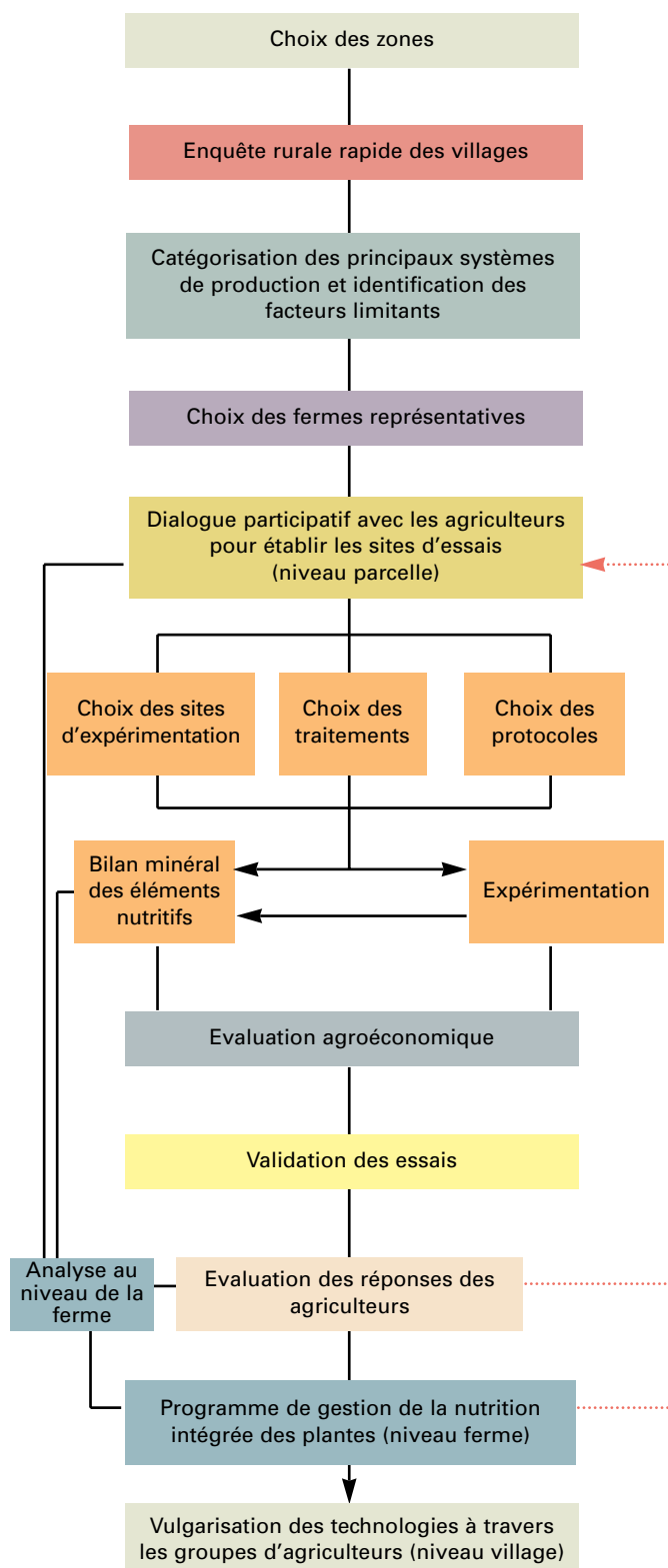
### Aspects économiques de l'emploi d'engrais

Les agriculteurs n'appliquent des nutriments de plantes que si leur effet sur les rendements des cultures est avantageux. La décision d'appliquer des éléments nutritifs des plantes se base généralement sur des raisons économiques (prix et possibilité de les acheter), mais est aussi conditionnée par leur disponibilité et les risques impliqués dans la production. La volonté d'augmenter la production doit être confrontée au besoin de maintenir la fertilité du sol et d'éviter qu'il ne se dégrade. Les avantages de l'adoption des SINP doivent, toutefois, être pris en considération à long terme, étant donné que l'accroissement de l'efficacité des nutriments des plantes n'apparaît qu'après plusieurs saisons.

Un certain nombre de facteurs économiques et institutionnels doivent aussi être pris en considération, notamment:

- le rapport de prix entre nutriments des plantes et

### MÉTHODOLOGIE DES SINP



## gestion des éléments nutritifs des plantes

les cultures auxquelles ils sont appliqués ainsi que les perspectives de marché de ces cultures indiquent la mesure dans laquelle il sera avantageux d'utiliser des engrais;

- le revenu des agriculteurs et les possibilités de crédit déterminent si les agriculteurs peuvent se permettre d'acheter des nutriments de plantes;
- le manque de sécurité de la location de la terre peut décourager les agriculteurs à utiliser des engrais.

Les petits agriculteurs, ayant peu de ressources, sont obligés d'envisager des résultats à court terme quand ils appliquent des nutriments aux plantes. La suppression des contraintes d'accès aux marchés et à la technologie de production, et une meilleure protection des risques, permettraient aux agriculteurs d'utiliser des éléments nutritifs sans coûts excessifs et de manière à soutenir la production durable des cultures.



▲ Discussions entre l'équipe multidisciplinaire et les agriculteurs.

## Conseil pour la nutrition efficace des plantes

Bien conseiller les agriculteurs et renforcer leur capacité à prendre des décisions est le meilleur moyen d'encourager l'intensification durable de l'agriculture. Ainsi ces conseils:

- requièrent une bonne connaissance des systèmes de culture des agriculteurs, ainsi que leurs conditions socioéconomiques et les processus de prises de décisions;
- doivent faire participer les agriculteurs à l'identification et aux essais des innovations les mieux adaptées;



▲ Essai d'expérimentation.

- doivent être organisés par étapes, en partant du niveau de la parcelle à celui de la ferme, du territoire du village et des petits bassins versants;
- doivent inclure des suggestions à court terme pour la fertilisation des rotations des cultures et des suggestions à plus long terme pour accumuler des éléments nutritifs des plantes sur la ferme et améliorer la fertilité du sol;
- doivent encourager la durabilité.

L'organisation de conseils corrects est coûteuse et ce coût devrait être partagé entre le gouvernement, les communautés d'agriculteurs et le secteur privé. Les étapes à suivre sont résumées dans le diagramme *Méthodologie des SINP*.

L'étendue de l'étude à mener ne peut être définie qu'à la suite de discussions préliminaires avec les agriculteurs, les agents de vulgarisation et les chercheurs de la zone, et après une rapide enquête sur la communauté rurale. Cette dernière doit être effectuée par une équipe pluridisciplinaire comprenant des scientifiques spécialistes des plantes et du bétail, des scientifiques spécialistes du domaine social et des économistes. L'enquête devrait permettre de déterminer les environnements physiques, biologiques et socioéconomiques, les caractéristiques socioculturelles, le système de production et l'emploi de la terre. Des discussions devraient être menées avec les agriculteurs afin de définir les objectifs et les contraintes de la production, et afin d'avoir une idée générale de leur façon de voir les choses et de leurs conditions de vie.

### Au niveau de la parcelle

Les conseils au niveau de la parcelle doivent se baser sur des expérimentations locales pratiquées sur les fermes. Ces expérimentations fourniront des informations sur l'impact des doses d'éléments nutritifs combinés, du choix du moment pour les administrer, et des sources d'éléments nutritifs de base vis-à-vis du rendement des cultures. Les expériences doivent être simples et sont de deux types: essais sur site spécifique et essais de validation.

Les données recueillies grâce aux essais sont utilisées pour établir des courbes de réponses pour les conditions et les systèmes prédominants de cultures. Ces essais sont habituellement effectués par des chercheurs du secteur public car ils demandent une grande maîtrise de contrôle des variations tout comme un haut niveau de supervision. La participation des agriculteurs dans le regroupement des informations et la prise de décisions est minime. Toutefois, les chercheurs travailleront avec les agriculteurs et prendront connaissance de leurs méthodes de production. La définition de la population, le choix des sites, le choix des traitements, les protocoles expérimentaux et le déroulement de l'expérience constituent des points particulièrement importants dans l'élaboration des essais sur sites spécifiques.

Les sites choisis pour les essais doivent être représentatifs des conditions d'exploitation de la région étudiée.

### Essais menés par les chercheurs sur site spécifique

Les agriculteurs doivent prendre part à toutes les étapes de l'élaboration et de l'exécution des essais afin qu'ils puissent comprendre les buts et les objectifs de l'expérience et soient incités à y participer. Les chercheurs et le personnel de vulgarisation doivent avant tout écouter les préoccupations des agriculteurs et établir un contact avec ceux-ci. Les agriculteurs doivent se sentir des partenaires à part entière dans le déroulement de l'expérience. Les avantages de la recherche, ce que l'on attend de la collaboration et l'importance de la participation de l'agriculteur doivent être expliqués à ce dernier. Il faut que chaque participant – chercheur, agent de vulgarisation et agriculteur – prenne conscience de ses responsabilités (qui fait quoi, qui prend quels risques, qui obtient quels produits) afin que toutes les opérations soient menées à temps et qu'il n'y ait pas de confusion dans la répartition des rôles.

Toutes les données recueillies par les essais doivent être triées, validées, analysées et interprétées par les chercheurs à la conclusion de l'essai. Les résultats obtenus seront utilisés pour ajuster les traitements pour des essais ultérieurs et pour identifier les traitements prometteurs qui peuvent être appliqués pour des essais de validation.

## SOLUTIONS PROPOSÉES POUR LA GESTION DES PERTES D'ÉLÉMENTS NUTRITIFS DES PLANTES

Source de perte de nutriment	Option technologique
Lessivage, volatilisation ou immobilisation après récolte	Cultures de couverture pour bloquer la plus grande partie des nutriments restants Production à très court terme de cultures ne demandant que peu de nutriments immédiats après la maturation de la récolte principale
Feux, ruissellement, lessivage de résidus de culture et composts	Modification des méthodes de préparation du sol, de l'alimentation du bétail, de la rotation des cultures ou de l'emploi du sol
Produits de déchets de bétail	Urine et bouse collectées, traitées et épandues sur la terre cultivée Meilleure gestion du fumier et du purin en modifiant les étables et en organisant des systèmes de collecte des déchets, peu coûteux et nécessitant peu de main-d'œuvre (ces systèmes doivent être socialement et culturellement acceptables par l'agriculteur)
Déchets domestiques et humains	Recycler les déchets en organisant des systèmes de collecte et de traitement efficaces et demandant peu de main-d'œuvre. Ces systèmes doivent être sûrs, et acceptables socialement et culturellement. Faire fermenter les déchets dans des récipients à température élevée et mélanger les déchets avec des résidus de cultures

## gestion des éléments nutritifs des plantes

### Essais de validation

Quand des traitements prometteurs de nutrition des plantes ont été définis, ils sont directement testés dans les champs des agriculteurs à travers des essais de validation. Ces essais sont effectués par les agriculteurs eux-mêmes, sous le contrôle général du personnel de vulgarisation et des chercheurs. Ces essais engendrent des informations intéressantes sur la compréhension, l'acceptation, le rejet, l'adaptation ou l'adoption par les agriculteurs des innovations proposées.



▲ Engrais vert de légumineuses dans une ferme pilote.

Les fermes doivent être choisies selon des caractéristiques (telles que déclivité, présence de bétail, niveau de gestion) qui seront similaires à celles prises en considération pour les essais en site spécifique. Ces fermes doivent aussi être représentatives de l'ensemble des agriculteurs présents dans la région étudiée (bonnes et moins bonnes), de manière à obtenir une gamme de réactions possibles à la technologie.

Les données fournies par ces essais de validation sont triées, contrôlées, analysées et interprétées par le personnel de vulgarisation. Ces données sont ensuite comparées aux données obtenues par les chercheurs au cours de leurs essais, dans le but d'évaluer les progrès des agriculteurs et proposer éventuellement des améliorations.

### Au niveau de la ferme

Les décisions des agriculteurs sur la manière d'utiliser les éléments nutritifs des plantes dépendent de la situation globale de la ferme et de son système de rotation culturale. Les facteurs à prendre en considération sont: les objectifs de production, les ressources disponibles

(fixes et variables, telles que les terres, le capital et les crédits), les besoins pour la consommation domestique, les débouchés sur le marché et les conditions climatiques.

Ces facteurs doivent être parfaitement compris avant que ne soient suggérés des schémas alternatifs de nutrition des plantes. En outre, les conseillers doivent identifier les centres de prise de décisions, l'organisation de l'utilisation des terres et de la rotation des cultures, ainsi que les différents besoins pour les ressources plutôt rares, comme le matériel organique, la main-d'œuvre et le capital.

À un premier stade, un bilan apparent des éléments nutritifs des plantes (intrants/rendement), tout comme les pratiques pouvant contribuer à des pertes d'éléments nutritifs ou la gestion inefficace des éléments nutritifs des plantes seront analysés. Il se peut que cette analyse permette de proposer des techniques alternatives. L'encadré de la page 11 indique quelques solutions possibles.

Une fois qu'ont été identifiées toutes les sources potentielles des éléments nutritifs des plantes et que les techniques possibles ont été sélectionnées, les agriculteurs sont en mesure de définir le juste équilibre à adopter entre ces technologies afin d'optimiser l'utilisation des ressources et d'atteindre leurs objectifs de production. Les nouvelles solutions alternatives peuvent nécessiter une augmentation de la main-d'œuvre ou des investissements financiers, une modification de la structure de la ferme ou encore une adaptation du mode d'utilisation des terres et de la rotation des cultures. Des dispositions devront également être prises pour que soient fournis des apports supplémentaires d'intrants externes. Il faudra porter une attention toute particulière à la capacité d'achat des agriculteurs pour ces intrants externes.

Le paquet technologique qui rend possible l'emploi d'éléments nutritifs en provenance de différentes sources doit être testé pour vérifier s'il est adéquat à la situation de l'agriculteur et pour évaluer l'acceptation de la technologie par celui-ci. Cela est fait à travers un réseau de fermes pilotes locales qui est utilisé pour évaluer l'impact des changements sur les conditions agricoles. Ces fermes servent également de «parcelles de démonstration» pour les agriculteurs voisins qui pourraient adopter la technologie s'ils constatent que c'est à leur profit.

En implantant la technologie sur les fermes pilotes, les agriculteurs doivent être d'accord sur les points suivants:

- leur besoin de changer leur système de production actuel;
- la manière par laquelle ils effectueront ce changement, en collaboration avec les agents de vulgarisation;
- les mécanismes de gestion du risque au cours du changement.

Pour ces raisons, la sélection des agriculteurs et les rapports entre l'agriculteur et le conseiller sont essentiels à la réussite du projet. Les agriculteurs doivent être représentatifs de leur région et désireux de coopérer. Il faut qu'il y ait constamment une forte interaction entre les agents de vulgarisation et les agriculteurs, de manière que les agriculteurs obtiennent des réponses à leurs questions. Cela permet aussi aux agents de vulgarisation d'évaluer la réaction des agriculteurs à la technologie et de comprendre pourquoi ils l'acceptent ou la rejettent. Quelquefois, les agriculteurs modifient la technologie proposée. Le personnel de vulgarisation peut alors déterminer les motifs de ces changements et modifier les traitements au cours des saisons suivantes.

Le réseau de fermes pilotes doit fonctionner pendant au moins une rotation culturale tout entière, en utilisant les résultats de chaque saison pour ajuster les traitements en vue des cultures suivantes. Il faudra faire des estimations de la production des cultures et de la productivité, ainsi que de l'état des éléments nutritifs des plantes, et des variables économiques comme les flux de liquidités, les économies et le coût de la main-d'œuvre. On décidera de changer le mélange de sources d'éléments nutritifs dans la mesure où les gains de l'innovation (économiques et sociaux) dépassent ceux de l'investissement ou non.

Le processus de planification, d'implantation et d'évaluation du changement au niveau de la ferme est coûteux et requiert une équipe composée de chercheurs spécialisés et d'agents de vulgarisation, ainsi qu'un matériel coûteux. Il ne peut donc être fait que pour un nombre limité d'études de cas. Ces cas peuvent ensuite être utilisés pour générer des lignes directrices, des méthodes et du matériel de référence qui pourront

être adoptés par d'autres chercheurs et agents de vulgarisation dans leurs situations spécifiques.

### *Au niveau du village*

Dans beaucoup de systèmes à bas niveau d'intrants/production, la gestion de la nutrition des plantes s'appuie sur les ressources locales d'éléments nutritifs recueillis sur des sols autres que ceux cultivés. Le développement d'un système efficace de nutrition des plantes doit donc s'étendre au-delà de la ferme et du territoire du village. Au niveau du village, les principales considérations à faire sont les suivantes:

- gestion du transfert d'éléments nutritifs des plantes de terres non cultivées vers les terres cultivées;
- investissements pour la conservation du sol et de l'eau et leur impact sur l'efficacité des éléments nutritifs des plantes;
- effet de mauvaises pratiques de gestion de la nutrition des plantes sur la communauté villageoise;
- associations et organisations d'agriculteurs.

Les éléments nutritifs des plantes en provenance d'aires non cultivées comprennent la litière des forêts et des pâturages. L'amélioration du transfert de ce matériel vers des aires cultivées peut augmenter le contenu d'éléments nutritifs dans l'aire cultivée.

Les pratiques améliorées de gestion regroupent la culture d'espèces forestières de légumineuses, la fertilisation minérale des pâturages, la réglementation des feux de brousse et le développement de systèmes pour distribuer le fumier produit par des troupeaux collectifs.

La conservation du sol et de l'eau peut fortement réduire les pertes d'éléments nutritifs des plantes à travers le ruissellement et le lessivage. En outre, les techniques de récolte d'eau et le développement de l'irrigation conduiront à une augmentation de l'efficacité de l'emploi des éléments nutritifs. Ces investissements requièrent la coopération du village tout entier, ce qui doit donc être pris en considération quand on développe des systèmes efficaces de gestion de la nutrition des plantes.

Une mauvaise gestion des éléments nutritifs des plantes par certains agriculteurs provoque une diminution de la fertilité du sol à cause d'une forte exportation, érosion, envasement et déforestation. De manière

## *gestion des éléments nutritifs des plantes*

---

similaire, une fourniture excessive d'éléments nutritifs peut polluer l'eau potable et une mauvaise gestion des déchets organiques constitue un risque sanitaire. Par conséquent, il est essentiel pour développer un système au niveau du village que la communauté agricole tout entière soit impliquée dans une solide gestion des éléments nutritifs des plantes.

Au niveau du village, des groupes d'agriculteurs peuvent créer des conditions favorables pour la fourniture d'intrants et l'accès au crédit. Les associations d'agriculteurs, les relations commerciales entre ces associations et le secteur des intrants, ainsi que les commerçants en produits agricoles et les banques, doivent donc être encouragés à appuyer une gestion améliorée de la nutrition des plantes par les agriculteurs.

### **Soutien de la recherche**

---

Les conseils sur les quantités d'éléments nutritifs à appliquer peuvent se baser sur des résultats empiriques provenant d'expériences faites dans les champs, sur l'analyse du sol ou des plantes, sur des modèles mathématiques de dynamiques des éléments nutritifs, ou sur une combinaison de ces méthodes. En absence d'informations plus détaillées, la connaissance des quantités d'éléments nutritifs extraites par les cultures au niveau désiré de rendement fournit un point de départ pour estimer les besoins en éléments nutritifs.

Les expérimentations en plein champ sont très utiles pour recueillir des informations quantitatives, d'une part sur l'approvisionnement d'éléments nutritifs du sol et de déchets organiques, et, d'autre part sur les effets à court terme d'engrais minéraux fournis sous différentes formes et en différentes quantités sur le rendement de la culture. Cette base vitale permettra de conseiller les agriculteurs, ainsi que de tester et améliorer les systèmes de conseil.

Dans la mesure du possible, les expérimentations faites à long terme dans les champs doivent être mises en place de manière à pouvoir étudier les arrière-effets d'engrais et de sources organiques sur la croissance des plantes et sur les propriétés du sol, qui seront pris en considération au moment de la formulation des recommandations sur les éléments nutritifs. Ces expériences peuvent aussi donner des informations sur des interactions entre applications d'éléments nutritifs et autres activités agricoles, et sur la possibilité de problèmes imprévus tels que la contamination environnementale ou la carence en éléments nutritifs secondaires ou en oligoéléments. Dans ce contexte, le besoin d'une nutrition équilibrée des plantes doit être souligné.

Les organisations de recherche ont la responsabilité d'informer le public sur les innovations et leur impact potentiel.



## Aspects environnementaux

Beaucoup de personnes sont préoccupées par la possibilité d'effets collatéraux des éléments nutritifs des plantes sur l'environnement. Cette préoccupation se réfère à l'emploi d'engrais minéraux, mais aussi à l'emploi de sources organiques d'éléments nutritifs, dans le cadre de l'élevage intensif qui produit une telle quantité de déchets organiques que ceux-ci ne peuvent être effectivement utilisés, transformés ou éliminés. Quatre points importants doivent être soulignés:

- On se réfère souvent aux engrais en tant que produits agrochimiques, terme qui couvre à la fois les éléments nutritifs des plantes et les insecticides, les herbicides et les fongicides. Il faut faire clairement la distinction entre les engrais, qui fournissent des éléments nutritifs essentiels pour la croissance des plantes, et les biocides, composés qui tuent, et qui sont utilisés pour protéger la plante.
- Les effets sur l'environnement de l'application d'éléments nutritifs des plantes peuvent être positifs ou négatifs et les déclarations sur le problème doivent être objectivement équilibrées.
- Les quantités d'éléments nutritifs des plantes, minéraux et organiques, qui sont appliquées dans les

pays en développement sont relativement basses. Des excès locaux dans quelques pays industrialisés ne doivent pas contrecarrer un accroissement de la production agricole dans le monde en développement.

- Les problèmes d'environnement liés à l'application d'éléments nutritifs des plantes dépendent moins de la nature des éléments nutritifs que des quantités et de la manière de les appliquer. Les effets négatifs sont surtout dus à des doses excessives ou à leur emploi impropre ou déséquilibré, ce qui peut être corrigé par des pratiques de gestion améliorées.

Les effets positifs sont résumés dans l'encadré ci-dessous, et les effets négatifs dans le texte qui suit.

### Effets négatifs causés par des doses d'intrants élevées

Tous les éléments nutritifs appliqués aux sols ne sont pas absorbés par la culture en croissance, et ce qui reste peut devenir un risque environnemental. Les éléments nutritifs non utilisés peuvent rester dans le sol, être éliminés par l'eau s'écoulant par lessivage ou par ruissellement dans le sol, ou se perdre dans l'atmosphère par

### EFFETS POSITIFS DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS DES PLANTES SUR L'ENVIRONNEMENT

- l'utilisation efficace de nutriments des plantes assure des rendements plus élevés que ceux obtenus sur la base de la fertilité inhérente au sol, en corrigeant la carence générale ou le déséquilibre des éléments nutritifs;
- les éléments nutritifs extraits du sol par la récolte et l'exportation du produit peuvent être rétablis de manière à maintenir et augmenter le potentiel de production;
- en augmentant les rendements par unité de surface sur de la bonne terre arable, les nutriments des plantes permettent à la terre de basse qualité, comme celle susceptible d'érosion, d'être retirée de la culture et, de plus, de réduire la pression générale sur la terre y compris la déforestation et le surpâturage de terres non cultivées;
- les éléments nutritifs facilitent le problème du contrôle de l'érosion sur les terres cultivées, à cause de la protection offerte par une couverture culturale dense et vigoureuse;
- les SINP encouragent une gestion correcte des nutriments des plantes à la ferme et dans les bassins versants en optimisant la valeur économique des éléments nutritifs et en limitant les pertes dans l'environnement.

## aspects environnementaux

volatilisation. L'importance relative de ces phénomènes dépend des réactions physiques, chimiques et biologiques auxquelles les éléments nutritifs prennent part.

**Azote:** sous conditions agricoles normales, sur des sols bien drainés et dans des conditions de température favorables, tous les composés d'azote solubles sont rapidement oxydés en nitrates. Le nitrate n'est pas absorbé suffisamment par les particules du sol. L'azote est donc l'élément fertilisant qui aura le plus de probabilités d'être lessivé dans les eaux de surface ou souterraines ou d'être perdu dans l'atmosphère par dénitrification, en partie comme gaz d'azote et en partie comme oxyde nitreux, qui est un gaz à effet de serre.

Les nitrates qui dérivent de la décomposition de la matière organique dans le sol, le purin ou le fumier appliqués à la terre, sont également sujets à lessivage. Dans bon nombre de régions tempérées, c'est souvent une source de nitrate plus significative que l'engrais minéral. Des pratiques agricoles améliorées peuvent

réduire le lessivage en maximalisant l'emploi de nitrate pourvu par le sol et en n'appliquant que la quantité d'azote nécessaire, et en temps voulu, pour chaque culture. Des chercheurs qui essaient de comprendre les changements en concentrations de nitrates dans les eaux de drainage doivent tenir compte des changements concernant l'utilisation de la terre, les pratiques agricoles et l'emploi d'engrais.

Dans les systèmes agricoles industrialisés, l'élevage intensif du bétail est une des causes principales du lessivage d'azote. Cela est partiellement dû à la minéralisation inopportune de l'azote à partir de l'urine, des excréments, du fumier et du purin. Le nitrate produit quand la croissance de la culture n'est pas vigoureuse peut être à l'origine de lessivage ou de dénitrification. L'autre grand problème est la volatilisation de l'ammoniac, à la fois des tas de fumier et du sol, juste après l'application du fumier. L'ammoniac peut aussi se volatiliser si de l'urée est appliquée au sol à un pH élevé dans des conditions de chaleur et de sécheresse.

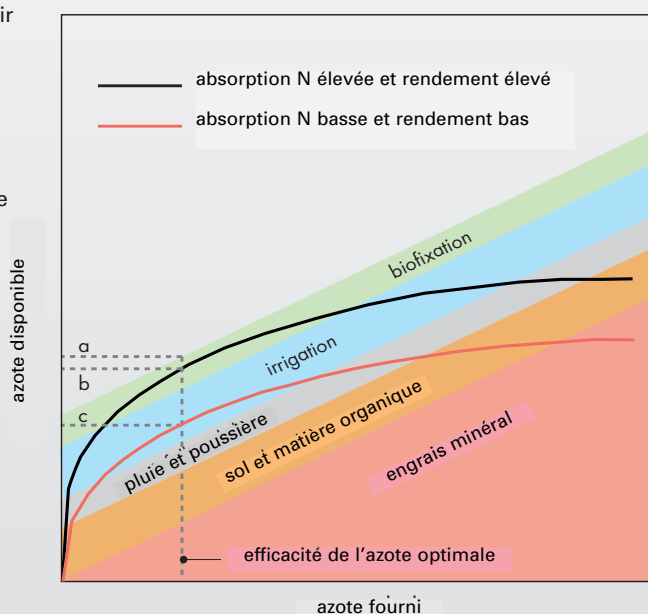
### LES SINP ACCROISSENT L'EFFICACITÉ DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET RÉDUISENT LES PERTES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les éléments nutritifs des plantes sont approvisionnés à partir de sources telles que les engrais minéraux, le sol, la pluie et la poussière, l'eau d'irrigation et la biofixation. Comme le montre le graphique, les contributions de ces différentes sources s'accumulent.

La culture absorbe une portion de l'azote disponible, quelle que soit son origine. L'azote disponible, non absorbé par la plante, se perd dans l'environnement. Cette perte est la différence entre la totalité disponible et la totalité absorbée – la différence entre la ligne supérieure du bloc de biofixation et la courbe d'absorption.

Quand on ne fournit que de bas niveaux d'azote, l'absorption est faible, et les pertes dans l'environnement sont donc élevées. A mesure que la fourniture de N augmente, la plante absorbe plus d'azote jusqu'à ce qu'elle ne puisse plus en absorber davantage. Fournir plus d'azote résulte en davantage de pertes dans l'environnement.

La perte de nutriments des plantes est au plus bas quand la distance entre la ligne supérieure et la courbe d'absorption est la plus petite. Pour une culture ayant un niveau bas d'absorption, la perte minimale d'azote est la différence (a-c). Pour un niveau plus élevé d'absorption, la perte minimale est



(a-b). Ces minima ont lieu à un niveau optimal écologique de fourniture de N. Pour augmenter l'efficacité du nutriment (l'absorption), les agriculteurs devraient appliquer les SINP et optimiser tous les autres facteurs de production.

---

**Phosphore:** les plantes reçoivent du phosphore sous la forme d'ions de phosphate. Ceux-ci sont immobilisés dans le sol, étant vigoureusement absorbés par les surfaces d'oxydes ou hydroxydes de fer, d'aluminium et de manganèse, ainsi que par des particules d'argile. Le phosphate appliqué qui n'est pas absorbé par la culture reste dans le sol, à moins qu'il ne soit lessivé par ruissellement ou par érosion du sol. On peut aussi trouver de fortes concentrations de phosphates dans l'eau d'irrigation et dans l'eau de drainage provenant de sols inondés. L'excès d'apports de phosphates dans les eaux de surface peut conduire à l'eutrophisation et à la floraison d'algues.

Les engrais phosphatés peuvent contenir du cadmium quand le phosphate des roches sédimentaires est utilisé comme matière première. Le cadmium est également intégré au sol par dépôt aérien. L'utilisation des fertilisants actuels ne présente pas de risques immédiats. Cependant, le cadmium doit être enlevé si possible quand les matières premières sont transformées.

**Potassium:** les ions de potassium, outre le fait qu'ils peuvent être assimilés par les plantes, sont absorbés par le sol et peuvent même être fixés à l'intérieur de particules d'argile. Le potassium ajouté qui n'est pas absorbé par la culture n'est donc pas très mobile dans les sols qui contiennent de l'argile. Dans les sols sablonneux, le potassium appliqué peut être lessivé. De plus grosses pertes de potassium sont causées quand l'élément est dissous dans du fumier liquide provenant de basses-cours ou de producteurs laitiers. Le potassium n'a pas d'effets nuisibles dans l'eau mais peut indiquer la présence d'eaux usées ou de canaux d'évacuation animaliers. Le potassium ne constitue pas un gros facteur d'eutrophisation des eaux de surfaces.

### Effets négatifs causés par des doses d'intrants faibles

---

**Fertilité du sol:** l'extraction constante par les cultures, sans réapprovisionnement – ou avec réapprovisionnement insuffisant – d'éléments nutritifs des plantes, cause un appauvrissement constant de la fertilité du sol. Ce «minage» d'éléments nutritifs des plantes, portant à un important épuisement de la fertilité du sol, est

un risque majeur pour l'environnement dans de nombreux pays en développement.

**Expansion des terres:** si la terre et la main-d'œuvre sont disponibles, les faibles rendements qui résultent de l'épuisement en nutriments forcent les agriculteurs à étendre les terres cultivées souvent aux dépens des zones forestières ou de sols marginaux sujets à l'érosion ou à la désertification.

**Amendements:** de vastes sites dans les zones tropicales sont, par nature, pauvres en éléments nutritifs et souffrent de l'acidité et du caractère toxique de l'aluminium. Le recyclage organique n'offre pas de solution car la biomasse produite dans de tels sols est elle-même extrêmement pauvre en éléments nutritifs essentiels des plantes. Ces sols ne peuvent pas être rendus productifs sans amendements et une administration minimale d'éléments nutritifs des plantes. Une utilisation faible ou nulle d'éléments nutritifs des plantes sur de tels sols empêche le développement durable de la production agricole.

### Maîtrise des effets négatifs

---

Les effets négatifs des applications d'éléments nutritifs des plantes, que ce soit à un faible ou un haut niveau d'administration d'intrants, peuvent être évités ou effacés par une bonne gestion. Une fertilisation équilibrée permet de venir à bout des risques de l'épuisement nutritif et de la disparition de la fertilité du sol. Une gestion avisée des éléments nutritifs des plantes peut empêcher la pollution, principalement grâce à des pratiques réduisant les pertes d'éléments nutritifs dans les nappes aquifères ou l'atmosphère. Ces pratiques incluent une fertilisation équilibrée, opportune et ciblée, combinée avec d'autres pratiques (comme les variétés améliorées, la gestion de l'eau et la protection des plantes) qui stimulent une absorption maximale des éléments nutritifs des plantes par la culture. Une attention particulière doit être portée au contrôle des pertes dues à l'érosion du sol et au ruissellement, et ce par une gestion appropriée des terres. Les SINP fournissent d'excellents moyens pour parvenir à cela, à tous les niveaux de production, à condition que les agriculteurs soient bien conseillés.



## Politiques pour une nutrition des plantes efficace

La planification à long terme et la surveillance de l'emploi d'éléments nutritifs des plantes doivent concilier quatre objectifs:

- l'efficacité agronomique et économique pour maximiser le rendement agricole à partir des éléments nutritifs disponibles;
- l'accroissement de la capacité de production de la base de ressources naturelles;
- la cohérence avec les objectifs économiques et environnementaux généraux du pays;
- la sauvegarde de la sécurité sociale et de la justice sociale pour les populations rurales.

**Evaluation:** une évaluation efficace des besoins en éléments nutritifs des plantes est la base de la planification et décision des niveaux de production locale et des importations de produits fertilisants et de matières pre-

mières, y compris l'emploi de devises internationales pour financer les importations. La projection de la demande en engrais est simplement une estimation des volumes d'éléments nutritifs des plantes qui seront commandés par les agriculteurs et qui sont nécessaires pour corriger les déséquilibres.

**Commercialisation:** les systèmes de commercialisation doivent encourager l'emploi efficace des engrais et satisfaire les besoins des agriculteurs tout en aidant à atteindre les objectifs nationaux d'autonomie alimentaire. Ces systèmes requièrent un plan soigneux et une politique qui soulignent le juste équilibre entre participation gouvernementale et participation privée pour produire, importer et distribuer les engrais. Il s'agit là d'un point d'importance cruciale qui dépend fortement des conditions économiques et politiques du pays.

**Transport et stockage:** le transport et le stockage font partie de l'infrastructure essentielle nécessaire à l'emploi efficace des fertilisants. Les prix détermineront en partie le besoin de moyens de transport alternatifs, ainsi que les lieux et dimensions des installations de stockage.

**Formation:** démonstrations, formation et vulgarisation sur une production des cultures efficace et des techniques d'emploi d'engrais sont des composantes essentielles des politiques de soutien à l'exploitation agricole. Les besoins en vulgarisation doivent être évalués pour donner à la communauté agricole le niveau technologique voulu et l'expérience. Des paquets technologiques adéquats, y compris l'emploi équilibré d'engrais minéraux en tant que partie des SINP, ainsi qu'une connaissance économique de base des engrais, devront être présentés.

**Prix:** le prix constitue un facteur important pour améliorer le revenu des agriculteurs. Subventionner ou non

### POLITIQUES POUR UNE NUTRITION DES PLANTES EFFICACE

Une politique visant une nutrition efficace des plantes doit comprendre les points suivants :

- détermination de l'équilibre entre la production alimentaire locale et les importations alimentaires pour les pays visant l'autonomie alimentaire;
- évaluation des besoins en éléments nutritifs des plantes;
- sélection des sources et combinaisons d'approvisionnement d'éléments nutritifs des plantes;
- détermination de la production locale et des importations de fertilisants et de matières premières;
- fixation des niveaux de prix pour les nutriments par rapport au prix de la culture;
- distribution, commercialisation et possibilités de crédit, y compris une allocation en devises étrangères adéquate;
- législation;
- soutien de la vulgarisation et de la recherche (accès à la technologie).

---

les produits ou les intrants pour stimuler la production a longterm constitué une question controversée. La plupart des pays en développement en Asie ont utilisé des intrants subventionnés en agriculture; les pays développés soutiennent les activités agricoles par d'autres mécanismes, souvent avec des effets indirects ou invisibles, et pas toujours pour stimuler la production. Des subsides donnés directement ou indirectement aux agriculteurs pour des engrais ont constitué le facteur prix le plus important dans les pays en développement. Ces subsides ont clairement augmenté la demande en éléments nutritifs des plantes. Quelques subsides ont été mal utilisés ou exagérés, au point d'alourdir le budget du pays. D'autres mesures stimulant l'emploi d'engrais comprennent des prix de soutien garantis pour les produits agricoles, des importations hors taxes d'engrais, et des exemptions de taxes pour le crédit et les investissements en engrais et production culturale. Ces mesures ont une incidence sur la rentabilité de l'emploi des engrais et donnent des motivations économiques pour accroître la production culturale.

**Législation:** la législation en matière de fertilisants traite surtout de spécifications sur la composition, en termes d'éléments nutritifs et de matériel inerte, la concentration d'éléments nutritifs, les propriétés physiques, les caractéristiques d'emballage, l'étiquetage et le poids, l'emmagasinage et le contrôle de qualité.

**Emballage:** l'emballage des engrais doit réduire les pertes, mais ne pas augmenter substantiellement le coût des engrais. On doit aussi pouvoir y lire des informations exactes pour les utilisateurs. Les systèmes de distribution d'engrais et les besoins d'entreposage et de transport conditionnent la qualité de l'emballage de l'engrais. Il faut aussi prendre en considération les propriétés chimiques et physiques du produit, ainsi que les conditions d'entreposage, surtout à la fin de la chaîne de distribution.

**Conseil et planification:** ils doivent impliquer à la fois le gouvernement et le secteur privé. Il est nécessaire d'avoir un point de référence pour le conseil sur les engrais et la planification, en coordination avec les politiques agricoles et de sécurité alimentaire du pays, et en harmonie avec les priorités nationales. Ce point de référence pourra également conseiller sur les prix et la politique de commercialisation, et avoir la responsabilité de prévoir la demande, ainsi que d'identifier les priorités de la recherche et de la vulgarisation.

**Financement:** les engrais sont des produits pour lesquels la demande est souvent hautement saisonnière. Les liquidités des commerçants d'engrais sont donc très variables et les commerçants auront besoin de crédit commercial en devises étrangères et en monnaie nationale.



## Bibliographie

- FAO. 1972. *Effects of intensive fertilizer use on the human environment*. Bulletin pédologique de la FAO n° 16. Rome. 360 p.
- FAO. 1985. *Economic, financial and budget aspects of fertilizer use development*. FAO/FIAC Programme Engrais de la FAO/CCIE, n° 3. Rome. 17 p.
- FAO. 1986. *Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides*. Rome. 28 p.
- FAO. 1987. *Role of fertilizer pricing policies and subsidies in agricultural development*. Par J.W. Couston et Pratap Narayan. Rome. 31 p.
- FAO. 1987. *Stratégies en matière d'engrais*. Collection FAO: Mise en valeur des terres et des eaux n° 10. Rome. 148 p.
- FAO. 1990. *Integrated plant nutrition system : state of the art*. Par R.N. Roy. Commission des engrais, 11<sup>e</sup> session. Rome. 15 p.
- FAO. 1992. *Fichier technique sur la fixation symbiotique de l'azote, légumineuses/rhizobium*. Rome.
- FAO. 1995. *Agriculture mondiale: Horizon 2010*. Sous la direction de N. Alexandratos. John Wiley, Chichester, Royaume-Uni. 488 p.
- FAO. 1997. *Systèmes intégrés de nutrition des plantes*. Par R. Dudal et R.N. Roy. Bulletin FAO: Engrais et nutrition végétale n° 12. Rome. 448 p.
- Fertilizer Association of Ireland. 1991. *Code of good practice for the environment*. FAI, Dublin.
- IACR. 1988. *Keeping the balance, a Rothamsted guide: soil and fertilizer nitrogen*. Institute of Arable Crops Research, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Royaume-Uni. 4 p.
- IFA-EFMA. 1990. *Code of best agricultural practices to optimize fertilizer use*. Association internationale de l'industrie des engrais/European Fertilizer Manufacturers Association, Paris. 4 p.
- MAF. 1991. *Code of good agricultural practices for the protection of water*. Ministère de l'agriculture, Londres. Fisheries and Food Publication, 80 p.
- Van Reuler, H., et Prins, W.H., éd. 1993. *The role of plant nutrients for sustainable food production in sub-Saharan Africa*. VKP, Leidschendam, Pays-Bas. 232 p.