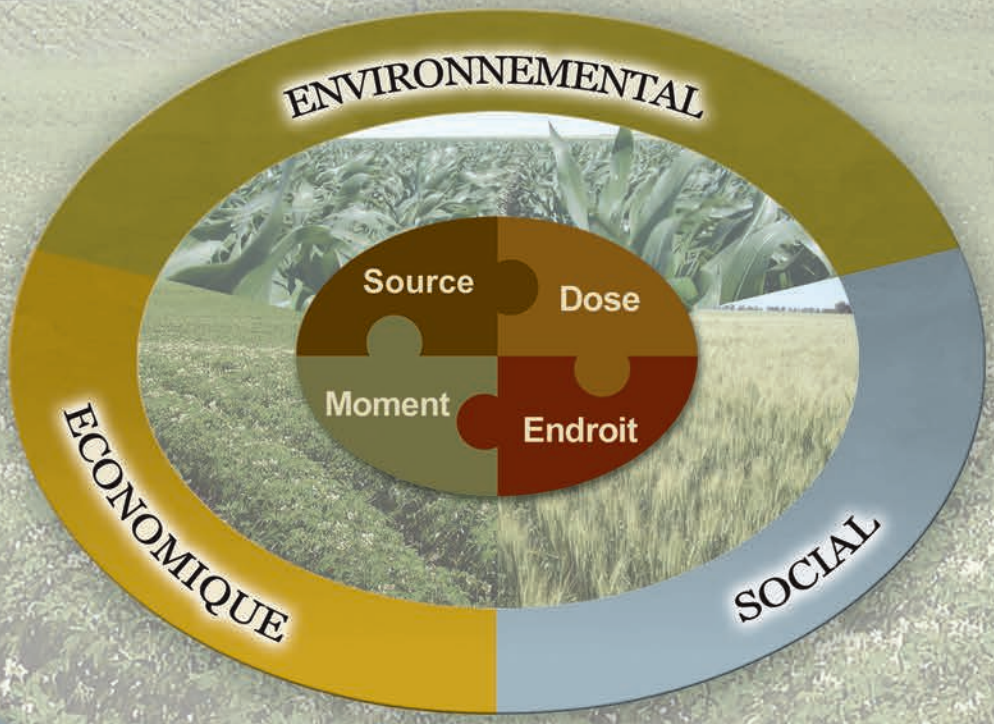
4B NUTRITION DES PLANTES

Le Manuel Pour Améliorer La Gestion Des Elements Nutritifs



IPNI
International Plant Nutrition Institute

4 nutrient stewardship

4B NUTRITION DES PLANTES

Le Manuel Pour Améliorer La Gestion Des Elements Nutritifs

PUBLIÉ PAR:

International Plant Nutrition Institute
3500 Parkway Lane, Suite 550
Peachtree Corners, GA 30092 USA
770-447-0335
www.ipni.net

ISBN 978-0-9960199-3-4
© Droit d'auteur (2016) International Plant Nutrition Institute

4B NUTRITION DES PLANTES

Préface, Remerciement

Chapitre 1
Objectifs de l'Agriculture Durable 1-1

Chapitre 2
Le Concept 4B pour la Gestion des Elements Nutritifs

2.1 Bonne Source à la Bonne Dose et au Bon Moment et Bon Endroit 2-1
2.2 Principes de Soutien Pratique 2-2
2.3 Les 4B s'Intègrent dans les Systèmes des Cultures 2-3
2.4 Amélioration Continue par l'Evaluation des Résultats 2-4

Chapitre 3
Bonne Source

3.1 D'où Viennent-ils les Eléments Nutritifs 3-2
3.2 Choisir la Bonne Source 3-3
3.3 Formes d'Engrais 3-4
3.4 Formes d'Amendement Organique: Fumier, Composts 3-6
3.5 Interaction des Nutriments 3-7

Modules

- ❑ 3.1-1 La bonne source de potassium améliore le rendement et la qualité des bananes en Inde 3-9
- ❑ 3.2-1 Equilibre entre des éléments nutritifs minéraux et organiques pour le maïs en Afrique 3-10
- 3.3-x Détails des sources d'élément nutritif 3-11
  - ❑ *Urée* *3-11*
  - ❑ *Le nitrate d'ammonium et d'urée* *3-12*
  - ❑ *L'ammoniac* *3-13*
  - ❑ *Sulfate d'ammonium* *3-14*
  - ❑ *Nitrophosphate* *3-15*
  - ❑ *Nitrate d'ammonium* *3-16*
  - ❑ *Phosphate de monoammonium* *3-17*
  - ❑ *Phosphate de diammonium* *3-18*
  - ❑ *Polyphosphate* *3-19*
  - ❑ *Superphosphate Simple* *3-20*
  - ❑ *Superphosphate Triple* *3-21*
  - ❑ *Roche phosphatée* *3-22*
  - ❑ *Chlorure de Potassium* *3-23*
  - ❑ *Sulfate de Potassium* *3-24*
  - ❑ *Langbeinite* *3-25*
  - ❑ *Nitrate de Potassium* *3-26*
  - ❑ *Kiesérite* *3-27*
  - ❑ *Soufre* *3-28*
  - ❑ *Thiosulfate* *3-30*
  - ❑ *Engrais Composés* *3-30*
  - ❑ *Engrais Enrobés* *3-31*
  - ❑ *Gypse* *3-32*
  - ❑ *Chaux* *3-33*
  - ❑ *Nitrate de Sodium* *3-34*
- ❑ 3.5-1 Equilibrer la nutrition en N et K est la clé pour l'amélioration de rendement et l'efficacité d'utilisation de N 3-35

Chapitre 4
Bonne Dose

4.1 Evaluer les Besoins des Plantes 4-2
4.2 Evaluer l'Approvisionnement des Nutriments en Sol 4-3
4.3 Evaluer Toutes les Sources des Nutriments Disponibles 4-4
4.4 Prédire l'Efficacité de l'Utilisation d'Engrais 4-6
4.5 Considérer les Impacts sur les Ressources en Sol 4-7
4.6 Considérer l'Economie da la Dose Spécifiques 4-10

Modules

- ❑ 4.1-1 Le besoin en engrais azoté pour le blé et le maïs en Argentine est mieux déterminé par l'évaluation de N disponible dans le sol avant le semis 4-11
- ❑ 4.1-2 Calculer les doses d'engrais pour les céréales utilisant les données des parcelles d'omission d'élément nutritif 4-12
- ❑ 4.6-1 La dose optimale économique de N pour le coton en sol limoneux argileux dans l'Alabama ne varie pas beaucoup avec les variations des prix 4-13
- ❑ 4.6-2 Les doses optimales économiques de N pour maïs varient peu avec les conditions du marché pour une période de 10 ans 4-13

Chapitre 5
Bon Moment

5.1 Evaluer les Périodes d'Absorption par les Plantes 5-1
5.2 Evaluer la Dynamique de l'Approvisionnement en Nutriments du Sol 5-4
5.3 Evaluer la Dynamique des Pertes d'Éléments Nutritifs du Sol 5-5
5.4 Evaluer la Logistique des Activités aux Champs 5-5

Modules

- ❑ 5.1-1 La réponse du rendement de blé à une application supplémentaire tardive de N, a été prédite par la couleur des feuilles 5-7
- ❑ 5.1-2 L'applicationde N en concordance avec la demande des cultures réduit les nitrates du sol 5-7
- ❑ 5.1-3 Les modèles d'absorption de N, P et K par la vigne à Shaanxi, en Chine affectent les recommandations du moment d'application 5-8
- ❑ 5.1-4 Fractionner la dose, rend le Ca plus disponible aux arachides 5-8
- ❑ 5.1-5 Fractionnement de l'azote améliore le rendement en grain et l'efficience d'utilisation de N pour le blé d'hiver 5-9
- ❑ 5.2-1 Les niveaux élevés de l'analyse de sol en P et K permettent une souplesse par rapport au moment d'apport de ces éléments 5-10
- ❑ 5.3-1 Les apports de N au printemps améliore la récupération de N et la rentabilité du maïs dans le sud du Minnesota 5-10
- ❑ 5.3-2 Le moment d'application à la volée des engrais phosphatés peut aider à protéger le lac Érié 5-11

Chapitre 6
Bon Endroit

6.1 La Croissance des Racines 6-2
6.2 Les Pratiques d'Emplacement des Nutriments 6-3
6.3 Les Réactions par le Sol et par les Racines à l'Emplacement en Bande 6-4
6.4 La Fertilisation Foliaire 6-6
6.5 Gérer la Variabilité Spatiale 6-7

Modules

- ❑ 6.2-1 Emplacement de l'engrais azoté affecte la croissance et la concurrence des adventices avec le blé de printemps en Alberta, au Canada 6-9
- ❑ 6.3-1 L'emplacement du phosphore pour le soja cultivé dans les sols tropicaux 6-10
- ❑ 6.3-2 Mettre le phosphore dans le sol pour protéger la qualité de l'eau dans le lac Érié 6-11
- ❑ 6.4-1 Minimiser les pertes d'ammoniac avec le "bon endroit" pour la canne à sucre et le maïs au Brésil 6-12

Chapitre 7
Pratiques Adaptées à toute la Ferme

7.1 Les Systemes de Cultures 7-1
7.2 La Gestion Adaptative 7-1
7.3 Au Delà des Systèmes de Cultures 7-3
7.4 L'Aide à la Décision 7-3

Étude de cas

- ❑ 7.1-1 L'effet du système de cultures sur l'efficacité des nutriments et le rendement des cultures au Brésil 7-5
- ❑ 7.1-2 L'adaptation de la gestion de N pour la pomme de terre irriguée en Chine 7-6
- ❑ 7.2-1 La gestion adaptive de N pour des sols en utilisant les données locales pour le maïs du Midwest Américain 7-7
- ❑ 7.2-2 Amélioration des pratiques de la gestion de l'azote et de l'irrigation se traduit par l'efficacité et le rendement 7-8
- ❑ 7.3-1 Sélection de pratiques de P pour le blé en fonction des circonstances de producteurs. 7-10
- ❑ 7.3-2 L'optimisation de la gestion des engrais N sous de contraintes multiples de temps. 7-11
- ❑ 7.3-3 Amélioration de l'équilibre d'éléments nutritifs dans les exploitations laitières par l'entremise de la gestion de fourrage 7-12
- ❑ 7.4-1 L'utilisation de l'outil de décision Nutrient Expert, augmente la rentabilité de la production du maïs 7-13

Chapitre 8
Pratiques de Soutien

8.1 Le Dépistage de la Culture et des Symptômes de Carence 8-1
8.2 L'Analyse du Sol 8-3
8.3 Méthodes d'Analyse du Sol 8-5
8.4 L'Analyse des Plantes 8-7
8.5 L'Interprétation des Analyses du Sol et de la Plante 8-8
8.6 Les Parcelles d'Omission 8-11

Étude de cas

- ❑ 8.1-1 L'histoire culturale affecte les décisions sur la profondeur de l'échantillonnage du sol. 8-12

Chapitre 9
Planification de la Gestion Des Nutriments et Responsabilité

9.1 Les Plans de Gestion des Fertilisants 9-1
9.2 Les Plans de la Gérance des Nutriments par le Concept 4B 9-1
9.3 Les Mesures et Indicateurs de Performance 9-2
9.4 L'Efficacité de l'Utilisation des Nutriments Comme Indicateur de Performance 9-4
9.5 Les Étapes de l'Élaboration d'un Plan de Gérance des Nutriments 4B 9-5
9.6 Exemple de Feuille de Travail du Plan 4B 9-7
9.7 La Comparaison des Normes Réglementaires et Volontaires pour les Plans de Gestion des Eléments Nutritifs 9-9
9.8 La Gestion des Impacts Environnementaux 9-10
9.8.1 La Gestion des Impacts Environnementaux de l'Azote 9-10
9.8.2 La Gestion des Impacts Environnementaux du P 9-11
9.9 La Synergie de la Gérance 9-13

Étude de cas

- ❑ 9.1-1 Les plans de gestion des éléments nutritifs pour la canne à sucre dans les zones tropicales humides de l'Australie 9-14
- ❑ 9.1-2 La façon dont la Gérance des nutriments 4B réduit les émissions de gaz à effet de serre 9-16
- ❑ 9.1-3 Les pratiques de la gestion de l'eau et des éléments nutritifs améliorent la qualité des eaux souterraines dans le Nebraska, États-Unis. 9-17
- ❑ 9.1-4 La gestion des engrais P selon le niveau d'analyse du sol améliore la production alimentaire et la performance environnementale en Chine 9-19

Glossaire, Réponses aux Question, Symboles, Abréviations, et Unités de Conversions A-1

Préface

CONCEPT 4B DE LA GÉRANCE DES NUTRIMENTS est une nouvelle approche novatrice pour les meilleures pratiques de la gestion des engrais adoptée par l'industrie des engrais du monde. Cette approche tient compte des dimensions économiques, sociales et environnementales de la gestion des éléments nutritifs et elle est essentielle à la durabilité des systèmes agricoles. Le concept est simple - appliquer la bonne source d'éléments nutritifs, à la bonne dose, au bon moment, et au bon endroit, mais la mise en œuvre est axée sur le savoir et la spécificité du site.

Nous avons développé ce manuel pour expliquer le concept 4B pour la gérance des éléments nutritifs et de donner un aperçu des principes scientifiques qui définissent les quatre "B". Il n'est pas destiné à informer le lecteur sur les bases de la fertilité des sols et la nutrition des plantes, mais plutôt à aider le lecteur à adapter et à intégrer ces principes fondamentaux dans une méthode globale de gestion des éléments nutritifs qui répond aux critères de la durabilité.

Le manuel comprend des chapitres sur des principes scientifiques derrière chacun des quatre B avec les pratiques à l'appui. Nous discutons également l'adoption des pratiques à la ferme, les approches pour la planification de la gestion des éléments nutritifs et la mesure des performances de la durabilité. La plupart des chapitres comprennent des modules décrivant des études de cas provenant du monde entier qui illustrent diverses applications du concept. Les études de cas présentées démontrent l'universalité de l'application du concept 4B pour la gérance des éléments nutritifs dans des systèmes de culture diversifiés de petites aux grandes exploitations et plantations commerciales.

Ce matériel donne une base pour la mise en œuvre d'une meilleure gestion des éléments nutritifs sur la base des principes des 4B. Il n'est pas une recette ou un guide ... Le concept 4B pour la gestion des éléments nutritifs est spécifique au site. Des pratiques détaillées de gestion de la nutrition des plantes seront dictées par les objectifs de l'agriculteur, les ressources disponibles, le système de culture, les conditions du sol, les conditions climatiques, et d'autres facteurs qui influencent toute décision de gestion.

IPNI est dédié au développement et à la promotion de l'information scientifique sur la gestion responsable de la nutrition des plantes. Le concept 4B de la gérance des éléments nutritifs inclut tous les principes liés à une telle gestion. Nous espérons que ce manuel sera un outil utile pour les agriculteurs et leurs conseillers, les conseillers agricoles, les chercheurs, les autorités de réglementation, et toute personne ayant un intérêt dans la gestion de la nutrition des plantes.

Terry L. Roberts, Ph.D.
President, International Plant Nutrition Institute

Remerciements

Rédacteur

Dr. Tom W. Bruulsema, IPNI Directeur, Phosphore.
Dr. Paul E. Fixen, IPNI Senior Vice Président (Groupe d'Amérique et d'Océanie) et Directeur de Recherche.
Dr. Mohamed El Gharous, IPNI Directeur, Afrique du Nord
Gavin D. Sulewski, IPNI Editeur.

Autheurs – Personnel Scientifique de l'IPNI

Chapitre 1 Les Objectifs de l'agriculture durable

Dr. Terry L. Roberts, Président.
Dr. Armando Tasistro, Directeur, Méxique et Amérique Central.
Dr. Jin Ji-yun, Directeur (retraité), Chine.

Chapitre 2 Le Concept 4B pour la Gérance des Eléments Nutritifs

Dr. Tom W. Bruulsema, Directeur, Phosphore.
Dr. Fernando García, Directeur, Amérique Latine Cône-Sud.
Dr. T. Satyanaryana, Directeur Adjoint, Asie du Sud.

Chapitre 3 Principes Scientifiques Supportant la Bonne Source

Dr. Rob Mikkelsen, Vice Président de la Communication et Directeur, Amérique du Nord.
Dr. Luís Prochnow, Directeur, Brésil.

Chapitre 4 Principes Scientifiques Supportant la Bonne Dose

Dr. Steve Phillips, Directeur, Amérique du Nord.
Dr. Kaushik Majumdar, Directeur, Asie du Sud.

Chapitre 5 Principes Scientifiques Supportant le Bon Moment

Dr. W. (Mike) Stewart. Directeur, Amérique du Nord.
Dr. Raúl Jaramillo, Directeur, Nord de l'Amérique Latine.

Chapitre 6 Principes Scientifiques Supportant le Bon Endroit

Dr. T. Scott Murrell, Directeur, Amérique du Nord.
Dr. Vladimir Nosov, Directeur, Sud et Est de la Russie.

Chapitre 7 Pratiques Adaptées à Toute la Ferme

Dr. Paul E. Fixen, Senior Vice Président (Groupe d'Amérique et d'Océanie) et Directeur de Recherche.
Dr. Adrian M. Johnston, Vice Président (Groupe d'Asie et d'Afrique).
Dr. José Espinosa, Directeur (retraité), Nord de l'Amérique Latine.

Chapitre 8 Pratiques de Soutien

Dr. Tom Jensen, Directeur, Amérique du Nord.
Dr. Robert Norton, Directeur, Australie et Nouvelle Zélande.
Dr. Harmandeep Singh Khurana, Expert Technique et Agronomique.

Chapitre 9 Planification de la Gestion des Éléments nutritifs et Responsabilité

Dr. Rob Mikkelsen, Vice Président de la Communication et Directeur, Amérique du Nord.
Dr. Tom Jensen, Directeur, Amérique du Nord.
Dr. Cliff Snyder, Directeur, Azote.
Dr. Tom W. Bruulsema, Directeur, Phosphore.

Autres Contributeurs du Personnel de l'IPNI

AFRIQUE: (Dr. Hakim Boulal, Dr. Mohamed El Gharous, Dr. Shamie Zingore); BRESIL: (Dr. Valter Casarin, Dr. Eros Francisco); CHINE: (Dr. Chen Fang, Dr. He Ping, Dr. Li Shutian, Dr. Tu Shihua); MOYEN-ORIENT: (Dr. Munir Rusan); RUSSIE: (Dr. Svetlana Ivanova); ASIE du SUD: (Dr. Sudarshan Dutta); SUD-EST ASIE: (Dr. Thomas Oberthür).

Aide financière

IPNI remercie Fertilizer Canada pour sa contribution financière au développement et à l´imprimerie de ce manuel.

Ressources Supplémentaires pour le Manuel 4B de la Nutrition des Plantes

IPNI encourage tous les utilsateurs du manuel à consulter le site Web http://www.ipni.net/4R pour les détails sur les ressources supplémentaires en relation avec ce manuel comprenant:

1. Notre plus récente mise à jour des modules et études de cas disponibles pour téléchargement.
2. Lignes directrices pour les personnes qui veulent soumettre à notre bibliothèque des exemples de modules et d'études de cas.
3. Détails sur d'autres formats électroniques d'eBook, du Manuel 4B de la Nutrition des Plantes.
4. Détails sur les séries des diapositives PowerPoint accompagnant le manuel.
5. Détails sur d'autres ressources en relation avec le Concept 4B de la Gérance des Nutriments.

Réaction

Nous apprécions les commentaires des utilisateurs de ce manuel. Veuillez envoyer vos commentaires à 4Rmanual@ipni.net

IPNI. 2016. 4B Nutrition des Plantes: Le Manuel Pour Améliorer La Gestion Des Elements Nutritifs (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, M. El Gharous, G.D. Sulewski, eds), International Plant Nutrition Institute, Peachtree Corners, GA, USA.

Conception Graphique par Sharon Jollay, Détails Graphique, LLC. ALTA Language Services, Inc., and LeMaster Plan Graphic Services.

Chapitre 1

OBJECTIFS DE L'AGRICULTURE DURABLE

Il y a environ 30 ANS, le Comité consultatif sur la sécurité alimentaire, de l'agriculture, des forêts et de l'environnement (1987) a été demandé par Gro Brundtland Harmlem, alors Président de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED), les façons dont l'humanité pourrait être protégé de la famine sur une base écologiquement durable. Dans son rapport à la CMED, il a déclaré: "Les prochaines décennies présentent un plus grand défi pour le système alimentaire mondial qu'ils ne peuvent jamais faire face à nouveau. L'effort nécessaire pour augmenter la production au rythme de l'augmentation sans précédent de la demande, tout en conservant l'intégrité écologique essentiel des systèmes alimentaires, est colossal aussi bien dans son ampleur que dans sa complexité. Compte tenu des obstacles à surmonter, la plupart d'entre eux sont créés par l'homme, il peut échouer plus facilement qu'il peut réussir. "Cette évaluation et réflexion est applicable aujourd'hui comme elle l'était alors.

Le rapport de ce comité consultatif constitue la base des recommandations sur la sécurité alimentaire et la durabilité du rapport de la CMED Brundtland, intitulé Notre avenir commun (1987). Le rapport a abordé la préoccupation croissante "de la détérioration accélérée de **l'environnement humain** et **les ressources naturelles** et les conséquences de cette détérioration sur **le développement économique et social.**" Le défi d'augmenter la production alimentaire d'une manière économiquement viable tout en conservant l'intégrité écologique des systèmes alimentaires est le but sous-jacent de l'agriculture durable.

Il existe de nombreuses caractérisations de l'agriculture durable, mais la plupart met l'accent sur le besoin de s'adapter à la demande croissante de production sans compromettre les ressources naturelles dont dépend l'agriculture. Malgré la multiplicité des définitions de la durabilité, il existe un dénominateur commun généralement reconnue des attributs qui la caractérisent. Un de ces traits importants est celui de son aspect multidimensionnel. Le concept de durabilité ne s'applique pas à une seule dimension (par exemple, économique, sociale ou environnementale) dans l'isolement, mais plutôt à toutes les dimensions simultanément.

L'application d'une telle vision multidimensionnelle de l'agriculture peut être facilitée si la classification traditionnelle en composantes socio-économiques et environnementales est précisée davantage. Un moyen efficace de visualiser la multiplicité des ressources impliquées dans le fonctionnement de l'agriculture est de les regrouper comme des actifs ou du capital dans cinq catégories comme il a été suggéré par la UNCTAD-UNEP (2008):

- **Capital naturel**. Ce capital comprend les ressources qui sont utilisées pour la nourriture, les fibres et la production de bois, notamment la terre, l'eau et l'énergie, ainsi que celles qui sont utilisées dans la production et le transport des intrants nécessaires (matières premières, par

exemple pour les engrais). De plus, ce capital est aussi la source de nourriture naturelle ou sauvage et des services environnementaux importants, tels que l'élimination des déchets, le recyclage des nutriments, la formation des sols, la lutte biologique, la régulation du climat, les habitats fauniques, la protection contre les désastres naturels et le contrôle des inondations, la séquestration du carbone, la pollinisation et le paysage.

- **Capital Social**. Il est lié à des normes, des valeurs et des attitudes qui incitent les gens à coopérer et qui se reflètent dans l'action collective mutuellement bénéfique. Communautés mal liées, qui manque de confiance et des partenariats, sont plus exposées aux difficultés de l'environnement et de l`insécurité alimentaire. L'organisation des agriculteurs en coopératives ou en groupes de développement technologique offre des avantages pour travailler ensemble et partager les connaissances et les ressources.
- **Capital Humain**. Ceci comprend la capacité totale des individus, qui est basée sur leurs connaissances, leurs compétences, leur santé et leur nutrition. Leurs contributions dépendent de l'étendue de l'utilisation de l'expertise des personnes, qui est favorisée par la promotion de la participation et de l'éducation aussi bien formelle qu'informelle, et la prestation des soins de santé adéquats. L'implication des agriculteurs dans le processus de la création d`autres nouvelles technologies gagnantes (par exemple, les recherches sur la ferme) est un exemple d`une approche qui contribue au développement du capital humain. Une meilleure éducation est évidemment essentielle lorsque les pratiques agricoles, telles que la gestion des engrais, doivent être améliorées.
- **Capital Physique**. Il est l`ensemble des infrastructures développées par l'homme telles que les bâtiments, les infrastructures de marché, les systèmes d'irrigation, les réseaux de communication, les outils, les machines et les systèmes d'énergie et de transport qui augmentent la productivité du travail. L'accès aux marchés est souvent limité par le manque d'infrastructures de communication appropriées.
- **Capital Financier**. Ce capital est lié à la circulation de l'argent dans le système, qui dépend des facteurs tels que les prix, les coûts, les revenus, les marges bénéficiaires, les économies, le crédit et les subventions. La pauvreté demeure le plus grand obstacle pour le développement de l'agriculture et la sécurité alimentaire, surtout dans les pays en développement, parce qu'elle empêche les gens d'avoir accès aux moyens qui pourraient améliorer leur vie.

La durabilité des systèmes agricoles peut être évaluée par leur impact sur les actifs décrits ci-dessus. Les technologies agricoles qui conduisent à une forte croissance au capital naturel, social, humain, physique ou financier peuvent être considérées comme durables. Les systèmes agricoles interagissent avec les cinq types de capitaux par retour d'information. Avoir un stock important de ces cinq types d'actifs favorise davantage leur fonctionnement.

L'approche 4B pour la gérance des éléments nutritifs est un outil essentiel dans le développement des systèmes agricoles durables parce que son application peut avoir plusieurs impacts positifs sur les actifs mentionnés ci-dessus

Il existe un lien direct entre l'application de la bonne source d'éléments nutritifs, à la bonne dose, au bon moment, et au bon endroit, et les effets bénéfiques sur le capital naturel démontré par la meilleure performance de la culture, l'amélioration de la qualité des sols, la diminution de la pollution de l'environnement, et la protection de la faune. De même, les effets positifs sont attendus sur le capital financier du fait que l'augmentation des profits entrainera à l'amélioration de la qualité de vie des agriculteurs et à une activité économique accrue dans leurs communautés.

Cependant, la mise en œuvre du concept peut également augmenter le capital social, humain et physique. Le développement de pratiques de la gestion des éléments nutritifs spécifiques au site, exige un travail de recherche chez les agriculteurs et leur participation active. Ceci se traduit par une meilleure communication entre les partenaires (agriculteurs, chercheurs, représentatives des entreprises et des gouvernements). En outre, le niveau éducationnel des participants s'améliore aussi dans le cadre tant des activités formelles qu'informelles. Il existe plusieurs exemples des organisations gérées par des agriculteurs qui produisent et diffusent des technologies agricoles.

L'adoption de nouvelles technologies gagnantes liée au concept 4B peut également avoir des conséquences positives sur le capital physique, car elle comprend généralement des infrastructures d'accès aux marchés et de communication. De bonnes routes sont nécessaires pour le transport des engrais, d'autres intrants, et la production. L'accès croissant aux nouvelles technologies de communication par la communauté des agriculteurs et la mise à jour de l'information par les téléphones cellulaires sont des meilleurs ressources de communication pour la société.

Durabilité des systèmes agricoles peut être évaluée par leur impact sur le capital naturel, social, humain, physique et financier.

Lorsqu'il est visualisé dans un contexte large et intégré, le concept 4B peut avoir des effets profonds sur la durabilité des systèmes agricoles qui s'étendent au-delà des avantages immédiats en termes de nutrition des plantes. **4B**

RÉFÉRENCES

Advisory Panel on Food Security, Agriculture, Forestry, and Environ- ment & World Commission on Environment and Development. 1987. Food 2000: Global Policies for Sustainable Agriculture: A Report of the Advisory Panel on Food Security, Agriculture, Forestry, and Environment to the World Commission on Environ- ment and Development. Zed Books. London and New Jersey. pp. 131.

UNCTAD-UNEP. 2008. Organic Agriculture and Food Security in Africa. Document UNCTAD/DITC/TED/2007/15. Geneva, Switzerland. pp. 47.

WCED. 1987. Our Common Future. The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press. New York. pp. 400.

Notes

Chapitre 2

LE CONCEPT 4B POUR LA GÉRANCE DES ELEMENTS NUTRITIFS

LA GESTION DE LA NUTRITION DES PLANTES s'applique à une large gamme de systèmes, allant des systèmes de parcours extensif utilisés pour le pâturage jusqu`aux systèmes intensif de production annuelles et de production arboricole et même pour les cultures sous serre contrôlée. Des tels systèmes dans le monde sont situés sur differents types de sols et sous différentes conditions climatiques. Ce chapitre vise à décrire les principes communs de la nutrition des plantes à travers ces différents systèmes, et à donner un cadre pour l'amélioration continue des pratiques liées à la gestion des éléments nutritifs.

2.1 Bonne Source à la Bonne Dose et au Bon Moment et Bon Endroit

L'application de la bonne source d'éléments nutritifs à la bonne dose, au bon moment , et au bon endroit est le concept de base des 4B. Ces quatre "B" sont tous nécessaires pour une gestion durable de la nutrition des plantes : la gestion qui augmente durablement la productivité des plantes et des cultures. Comme décrit dans le chapitre précédent, la durabilité consiste en trois dimensions: économique, sociale et environnementale.

Tous les trois dimensions doivent être incluses dans l'évaluation de toute pratique de gestion des éléments nutritifs afin de déterminer si elle est "correcte" ou pas. La source d'engrais ainsi que la dose, l'endroit et le moment d'application sont liés aux objectifs du développement durable (**Figure 2.1**). Pour un système donné, les partenaires doivent définir les objectifs généraux, mais les scientifiques et les gestionnaires sont mieux équipés pour choisir les pratiques. Afin de définir les objectifs, les partenaires doivent comprendre la façon dont la gestion de la nutrition des plantes affecte la performance de la croissance des plantes. Les partenaires incluent non seulement les vulgarisateurs et leurs conseillers, mais aussi les consommateurs qui achètent le produit et qui vivent dans le système environnemental. Comme les systèmes de production de plantes sont très répandues - et nous misons sur ces systèmes pour la nourriture, le carburant, les fibres et les autres - en effet, tout le monde est partenaire à un certain degré. Ainsi, la définition de la performance comprend la productivité et la rentabilité du système (dimension économique), ses impacts sur le sol, l'eau, l'air et la biodiversité (dimension environnementale), et ses impacts sur la qualité de vie et l'emploi (dimension sociale). Les objectifs spécifiques à l'entreprise doivent s'aligner avec les objectifs globaux de développement durable d'une région.

La gestion des engrais, pour être considérée comme correcte elle doit supporter les objectifs de la performance des partenaires. Cependant, l'agriculteur est le décideur ultime dans le choix des pratiques qui sont adaptées aux sols, aux conditions climatiques, aux conditions de protection

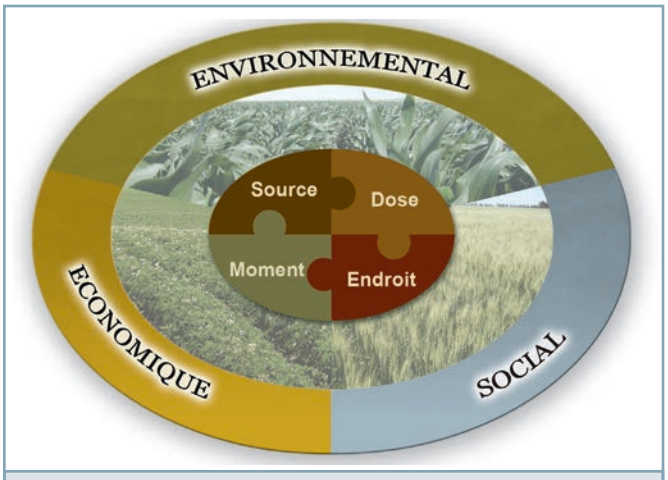


Figure 2.1 Le concept 4B de la gérance des éléments nutritifs définit la bonne source, bonne dose, bon endroit et bon moment d'application des engrais pour un impact économique, social, et environnemental positif recherché par tous les partenaires pour l'écosystème.

des cultures et à la réglementation locale trouvés à son exploitation et qui ont la plus haute probabilité à atteindre les objectifs ultimes.

2.2 Principes de Soutien Pratique

Les sciences physique, chimique, et biologique développent les principes fondamentaux de la nutrition minérale des plantes en croissance. L'application de ces sciences à la gestion pratique de la nutrition des plantes a conduit à l'élaboration des disciplines scientifiques de la fertilité du sol et de la nutrition des plantes. Les composantes de la gestion, soit source, dose, moment et endroit d'application des engrais, chacune représente une science unique qui décrit les processus importants de la nutrition des plantes.

Le développement des pratiques qui déterminent le choix de la bonne source, bonne dose bon moment et bon endroit sont guidés par des principes scientifiques spécifiques. Quelques

Table 2.1 Exemples des principes scientifiques clés et les pratiques associées.

	Les quatre B (4B)			
	Source	**Dose**	**Moment**	**Endroit**
Exemple des principes scientifiques clés	◆ Assurer un apport équilibré en éléments nutritifs ◆ Répondre aux propriétés du sol	◆ Évaluer l'approvisionnement en éléments nutritifs de toutes les sources ◆ Évaluer la demande de la plante	◆ Évaluer la dynamique de l'absorption des plantes et la fourniture du sol ◆ Déterminer le moment des risques de pertes	◆ Reconnaître la distribution du système racinaire ◆ Gérer la variabilité spatiale
Exemples des choix pratiques	◆ Engrais commerciaux ◆ Fumier de la ferme ◆ Compost ◆ Résidus des cultures	◆ Analyse du sol pour les nutriments ◆ Calcul économique ◆ Equilibre des prélèvements de la plante	◆ Avant semis ◆ Au semis ◆ A la floraison ◆ A la fructification	◆ A la volée ◆ En bande/injecté ◆ Dose d'application variable

Source, dose, moment et endroit sont les composantes nécessaires et suffisantes pour décrire n'importe quel apport de fertilisants pour toutes cultures

exemples des principes et pratiques clés sont présentés dans le **Tableau 2.1**. Ceux-ci et d'autres principes importants de la nutrition des plantes seront décrits plus en détail dans les quatre chapitres suivants.

Les principes sont les mêmes à l'échelle mondiale, mais la façon dont ils sont mis en pratique à l'échelle régionale et locale varie en fonction du sol, de la culture, du climat et des conditions économiques et sociales. Les agriculteurs et les vulgarisateurs s'assurent que les pratiques choisies soient en accord avec ces principes.

Les quatre "B" fournissent une liste simple de contrôle pour évaluer si une culture donnée a été fertilisée correctement. La question, "est-ce la culture a reçu la bonne source d'éléments nutritifs avec une bonne dose en bon moment et au bon endroit?", aide les agriculteurs et les conseillers à identifier les possibilités d'améliorer la fertilisation de chaque culture et pour chaque type de sol.

Un équilibre entre les quatre composantes du concept est approprié. Il permet d'éviter de mettre trop l'accent sur l'une au détriment des autres composantes. La dose peut parfois être surestimée, en raison de sa simplicité et de sa relation directe avec le coût. Cependant, la source, le moment d'application et l'endroit sont le plus souvent négligés et peuvent en fait jouer un rôle important dans l'amélioration de la performance des cultures.

2.3 Les 4B s'Intègrent dans les Systèmes des Cultures

Les quatre "B" sont interconnectés. Ils doivent travailler en synchronisation entre eux et avec la plante, le sol, le climat et la gestion. Pour la plupart des systèmes dans lesquels les plantes sont gérées pour produire le fourrage, les fibres, le carburant, et les avantages esthétiques, le sol est le milieu de croissance de la plante. La fertilité du sol est un besoin fondamental pour les plantes pour se développer. Bien que la fertilisation soit essentielle à la productivité, les sols fertiles ne sont pas tous productifs. La productivité peut être limitée par plusieurs autres facteurs tels qu'un mauvais drainage, une sécheresse, des insectes et des maladies, etc. Pour comprendre complètement la fertilité des sols, on doit savoir les autres facteurs qui soutiennent ou limitent la productivité.

Les plantes dépendent du sol pour un support mécanique, de l'eau, de l'air et des éléments nutritifs. Elles dépendent aussi des facteurs externes comme la lumière et la température. Tous ces facteurs sont liés les uns aux autres et affectent la

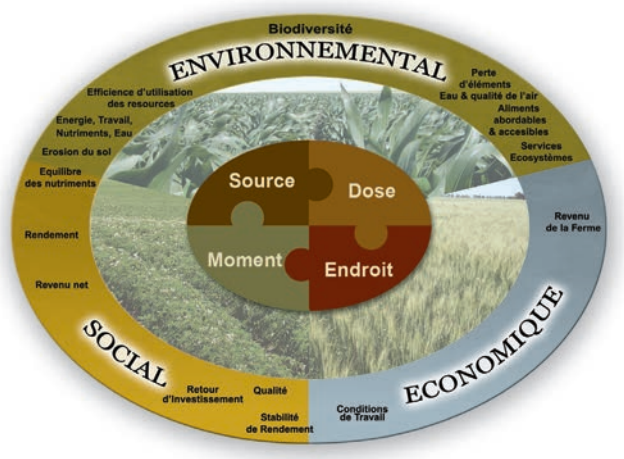


Figure 2.2 Indicateurs de performance reflètent les aspects sociaux, économiques, et environnementaux de la performance du système sol-plante-environnement

croissance des plantes et l'absorption des éléments nutritifs. Du fait que l'eau et l'air occupent les pores dans le sol, tout facteur qui affecte l'eau a nécessairement un effet sur l'air et la température du sol. La disponibilité des éléments nutritifs est affectée par les trois facteurs: l'air, l'eau, la température et même d'autres, du fait que la croissance des racines réagisse aux différents stresses additionnels tels que la compaction, la profondeur et la présence de différentes sortes de microorganismes du sol.

La nutrition des plantes fait donc partie d'un système dynamique qui varie dans le temps et dans l'espace. La réponse de la culture à une application d'éléments fertilisants varie également des facteurs mentionnés ci-dessus, ce qui rend la gestion de la nutrition des plantes spécifique pour chaque situation. A l'intérieur d'un système de production, les éléments nutritifs sont constamment prélevés du sol sous forme de produits végétaux et animaux, et par les processus de lessivage, de volatilisation et d'érosion. Les nutriments sous certaines formes peuvent être fixés aux argiles et autres constituants du sol par des réactions chimiques. La matière organique et les microorganismes du sol fixent et puis libèrent les éléments nutritifs.

Les pratiques de la nutrition des plantes interagissent avec le système plante-sol-climat (**Figure 2.2**). Pour que l'utilisation des engrais soit durable, elle doit améliorer la performance du système de la plante. La performance du système est affectée non seulement par le concept 4B, mais aussi par la façon dont il réagit avec les autres pratiques de gestion telles que le travail du sol, le drainage, la variété sélectionnée, la lutte contre les adventices et les maladies, etc. Le système plante-sol-climat inclut des facteurs tels que le rendement potentiel génétique, les adventices, les insectes, la mycorhize, la texture du sol, le drainage, la compaction, la salinité, la température, la précipitation, et la radiation solaire.

Plusieurs aspects de performance sont influencés aussi bien par la gestion de la culture et du sol que par la gestion des éléments nutritifs appliqués. Par exemple, l'éfficacité de l`utilisation des éléments nutritifs est améliorée lorsque des variétés ayant un rendement potentiel élevé sont cultivées. Les indicateurs de performance sont montrés dans la **Figure 2.2** qui illustre la complexité de la production agricole. Plusieurs utilisations efficientes des ressources présentent des compromis: si une resource est utilisée en petites quantités, son efficacité d'utilisation peut augmenter au détriment des autres si la productivité des plantes est réduite. Plus de détails sur des indicateurs de performance est présenté dans le Chapitre 9.3.

Les systèmes de production de plantes sont complexes et peuvent répondre de manière inattendue à l'application des nutriments. Donc, la science soutenant une pratique particulière d'application des nutriments doit décrire la façon dont la pratique fonctionne à la base (par exemple, la chimie) et mesurer les résultats par rapport à la performance du système de culture (par exemple l'agronomie). Les mesures d'impact sur la performance sont importantes pour l'amélioration continue des systèmes de gestion.

Questions ?

1. L'aspect le plus important du développement durable est
   a. économique.
   b. social.
   c. environnemental.
   d. un équilibre des trois.

2. Les principes scientifiques orientent le développement des
   a. partenaires
   b. combinaisons spécifiques au site de la source, la dose, le moment et l'endroit d'application.
   c. émissions d'oxyde d'azote.
   d. objectifs de durabilité.

3. Bonne source, dose et bon moment et endroit sont
   a. indépendants entre eux et d'autres pratiques.
   b. interconnectés mais indépendants des autres pratiques de la gestion des cultures.
   c. interconnectés et reliés à d'autres pratiques de la gestion des cultures.
   d. indépendants de la gestion des engrais.

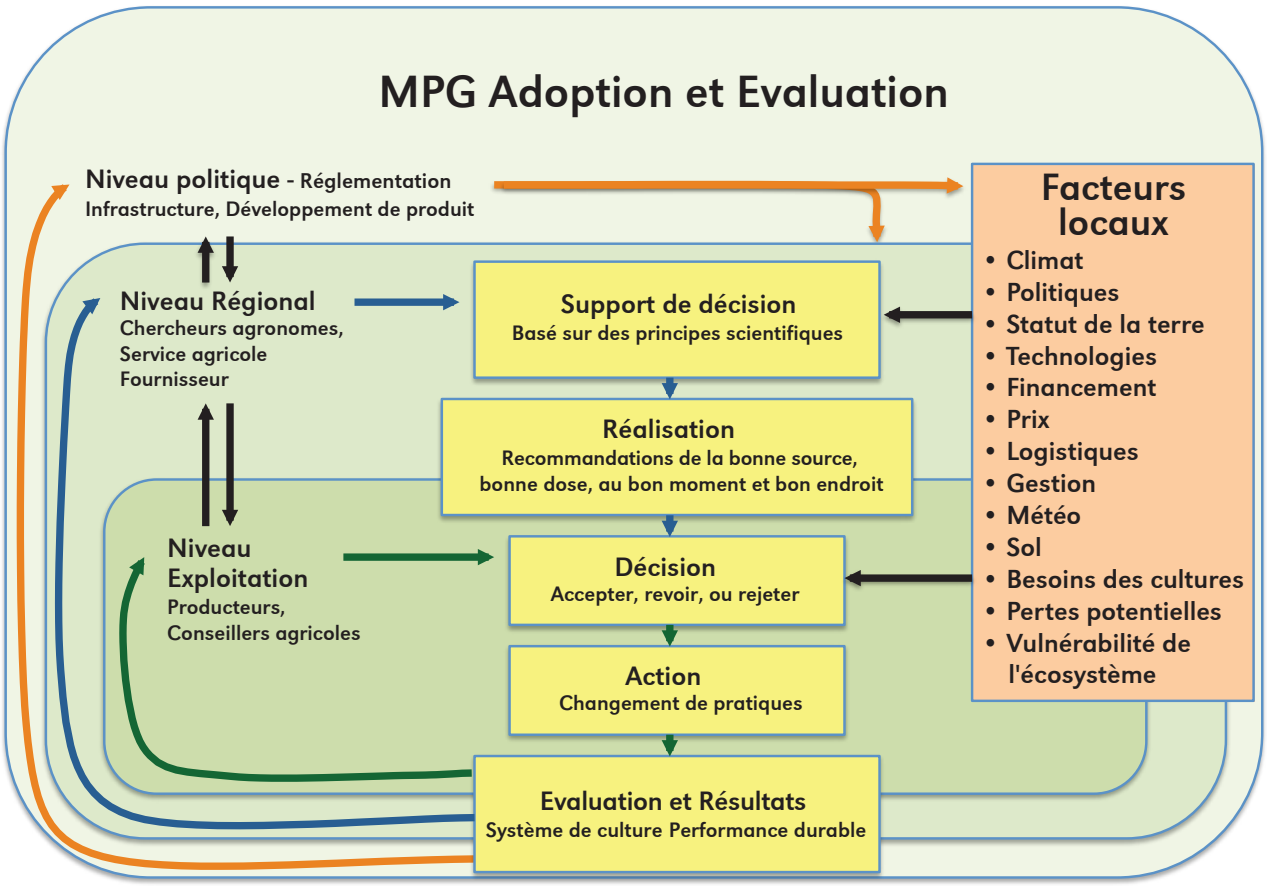


Figure 2.3 Le concept 4B de la gérance des éléments nutritifs développe les meilleures pratiques de gestion (MPG) par des cycles continus de l'évaluation de la décision en fonction des facteurs spécifiques au site.

2.4 Amélioration Continue par l'Evaluation des Résultats

Ce qui précède, et les **Figures 2.1** et **2.2**, ont décrit le cadre de la gestion de la nutrition des plantes et les exigences pour l'amélioration des pratiques. A ce stade, nous devons donner une attention plus détaillée à l'activité des personnes qui apportent des améliorations. Le concept 4B pour la gérance des éléments nutritifs prévoit des cycles d'action et de l'évaluation de la performance des résultats à différents niveaux (**Figure 2.3**). Ces cycles peuvent engager les agriculteurs et les conseillers agricoles au niveau de l'exploitation, les agronomes et les prestataires de services agricoles au niveau régional, et les gouvernements et l'industrie au niveau politique. Chaque niveau vise à faciliter l'adaptation des pratiques à des facteurs spécifiques au site local pour atteindre les objectifs de performance durable.

A l'exploitation ou au niveau du système de production locale, les agriculteurs et leurs conseillers prennent des décisions basées sur des facteurs locaux et les adoptent. Ils évaluent ensuite les résultats de leurs décisions pour déterminer la décision à prendre la prochaine fois. Idéalement, l'évaluation de la performance se ferait sur la base de tous les indicateurs considérés importants pour les partenaires. Essentiellement, c'est la pratique de la gestion adaptative, un processus continu d'élaboration de meilleures pratiques pour une production efficace et une conservation des ressources par l'utilisation de l'apprentissage participatif dans le cadre une évaluation systématique et continue. Dans ce processus, il est important que les conseillers agricoles possèdent un certain niveau de certification professionnelle et de formation.

Les agriculteurs et les gestionnaires reconnaissent les aspects environnementaux et sociaux liés à la durabilité de leurs entreprises. La rentabilité économique est, cependant, essentielle pour la pérennité de toute entreprise, et peut parfois entrer en conflit avec les objectifs de performance environnementale et sociale. Les gestionnaires peuvent être motivés à s'adresser aux trois aspect s'il y a des programmes comprenant la reconnaissance (par exemple des crédits de carbone liés à la séquestration du CO_2 et l'atténuation de l'effet de serre).

Le niveau régional comprend l'industrie des services agricoles, les prestataires de service (fournisseurs d'intrants de culture et les prestataires de services agricoles), car ils prennent des décisions qui affectent la capacité de fournir les bonnes sources de nutriments, les bonnes doses au bon moment et endroit pour répondre aux besoins des agriculteurs. Il y a des défis de logistiques dans la livraison

et la distribution des éléments fertilisants, qui doivent être relevé par l'industrie des services agricoles.

Le niveau régional comprend également des agronomes qui développent et offrent un soutien à la prise de décisions pour les gestionnaires. Leur résultat est une recommandation de la bonne source, la bonne dose, au bon moment et au bon endroit, et ceci en fonction des facteurs des sites en question. Les systèmes d'aide à la prise de décision nécessitent une amélioration et évaluation continue pour s'adapter aux changements dans la disponibilité des nouvelles technologies et aux changements dans le système sol-plante-climat. Les résultats issus des systèmes d'aide à la prise de décision nécessitent la validation dans le système réel de production des plantes. La validation peut inclure un grand nombre d'indicateurs de performance qui sont utilisés au niveau pratique. Les prestataires de services agricoles dans le secteur privé peuvent également participer à cette validation par le développement de bases de données régionales sur la réponse des cultures. La participation professionnelle des conseillers agricoles et des agronomes peut contribuer à l'amélioration des outils d'aide à la prise de décision développés et fournis par les conseillers agricoles commerciaux.

Le niveau politique implique le cadre réglementaire et institutionnel dans lequel les producteurs, les gestionnaires, les conseillers, l'industrie des services agricoles et les institutions de recherche - vulgarisation fonctionnent. Il comprend aussi la prise de décision sur les infrastructures de transport et de livraison des éléments nutritifs et d'autres intrants, et sur le soutien à la formation et à la recherche. L'activité industrielle de développement de nouveaux engrais joue également un rôle important. Ce niveau comprend également les forums dans lesquels la contribution des intervenants est formulée en indicateurs et objectifs de performance spécifiques. Dans la mesure du possible, fixer des objectifs en termes de performance du système, au lieu d'appliquer la réglementation à des pratiques spécifiques s'aligne mieux avec les initiatives actuelles et elle est plus susceptible d'entraîner des progrès réels vers une meilleure durabilité.

Le concept 4B de la gérance des éléments nutritifs relie les pratiques de gestion aux objectifs de durabilité à tous les niveaux, y compris l'exploitation agricole. Demander aux agriculteurs de définir leurs objectifs de durabilité suscite un niveau élevé d'engagement et de participation et diminue les réactions négatives qui ont tendance à provenir de l'application de systèmes durables de comptabilité par les autres parties. L'adoption d'un plan de gestion des éléments nutritifs 4B comprendrait l'identification de ces objectifs de développement durable.

Les indicateurs peuvent être présentés sous différentes formes, et ils sont influencés par la perception des partenaires. L'intervalle de temps dans le choix d'une tendance est important. Les changements à court terme peuvent être trompeurs, du fait que la durabilité est à long terme. Il faut encourager l'utilisation des intervalles de temps les plus longues possible. Le contexte peut être important.

Questions ?

4. Selon les principes de la durabilité, les partenaires doivent contribuer à la sélection de
   a. indicateurs de performance.
   b. pratiques spécifiques aux sites.
   c. source, dose, moment, et endroit.
   d. pratiques de gestion des engrais.

5. La décision finale de la sélection spécifique au site d'une combinaison de la source, la dose, du moment et de l'endroit doit être prise par
   a. les autorités de la réglementation.
   b. l'agriculteur.
   c. les chercheurs qualifiés.
   d. le groupe de partenaires.

6. Les pratiques de la gestion des engrais doivent être validées par l'évaluation de la performance sur la base de
   a. l'augmentation de rendement dans les parcelles expérimentales.
   b. l'augmentation de rendement dans les parcelles chez les agriculteurs.
   c. tous les indicateurs sont considérés importants pour les partenaires.
   d. l'effet bénéfique sur l'environnement.

7. Une pratique scientifique de la gestion des engrais est une qui est
   a. basée sur les expériences antérieures locales.
   b. consistante avec les principes scientifiques et validée à travers des essais aux champs.
   c. décrite spécifiquement dans la réglementation.
   d. neutre envers l'environnement.

Questions ?

8. La combinaison correcte de la source, la dose de l'engrais, et du moment et de l'endroit d'application assure
   a. un rendement le plus élevé possible.
   b. des pertes minimales des éléments par lessivage.
   c. des pertes minimales des éléments par volatilisation.
   d. de meilleures chances pour atteindre les objectifs de durabilité.

9. L'indicateur de performance de la gestion des engrais le plus important est
   a. l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs.
   b. le rendement des cultures.
   c. la qualité du produit.
   d. identifié par le partenaires.

10. Les indicateurs de performance reflètent le progès dans la gestion des engrais en permettant d'améliorer
   a. la qualité de l'eau.
   b. la qualité de l'air.
   c. le rendement des cultures
   d. la durabilité.

Lorsque l'équilibre nutritif est présenté montrant seulement le surplus, le déficit, ou le ratio entrée/sortie; le champ d'application de l'élément nutritif dans le système sol-plante n'est pas apparent. Présenter de l'équilibre total des éléments nutritifs peut conduire à une perception différente.

Conclusion

SOURCE, DOSE, MOMENT, ET ENDROIT sont complètement interconnectés à la gestion des nutriments. Aucun des quatre ne peut être correct lorsqu'un d'eux est faux. Il est possible, pour une situation donnée, qu'il existe plus d'une combinaison correcte, mais quand l'un des quatre est modifié les autres aussi peuvent être modifiés. Les 4B doit travailler en synchronisation entre eux et avec le système de culture et la gestion de l'environnement. Le concept 4B souligne l'impact de ces combinaisons des choix de gestion sur les résultats ou la performance pour une durabilité améliorée.

Chaque application d'éléments nutritifs peut être décrite comme une combinaison de la source, la dose, le moment et l'endroit d'application. Les principes scientifique sous-jacents qui régissent le choix approprié de chaque combinaison sont spécifiques pour chaque catégorie. Les quatre chapitres qui suivent celui-ci, les chapitres 3 à 6, décrivent séparément les principes spécifiques à chaque composante du concept 4B. Ils sont suivis par les chapitres 7 à 9, qui se concentrent à nouveau sur l'intégration des 4B dans la gestion adaptative des systèmes entiers de production, dans les pratiques qui supportent les décisions relatives au choix des combinaisons 4B, et dans la responsabilité de telle gestion intégrée comme elle est exprimée dans les plans de la gérance des éléments nutritifs.

RÉFÉRENCES

Bruulsema, T.W., P.E. Fixen, and A. Olegario. 2010. *In* Proceedings, OECD Workshop on Agri-Environmental Indicators, Leysin, Switzerland, 23-26 March, 2010. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France. Paper.

Fixen, P.E. 2007. *In* Fertilizer Best Management Practices, First edition, IFA, Paris, France.

IFA. 2009. The Global "4B" Nutrient Stewardship Framework: Developing Fertilizer Best Management Practices for Delivering Economic, Social and Environmental Benefits. Paper drafted by the IFA Task Force on Fertilizer Best Management Practices. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.

Roberts, T.L. 2009. Right product, right rate, right time and right place … the foundation of best management practices for fertilizer. [On-line].

Notes

Chapitre 3

PRINCIPES SCIENTIFIQUES SUPPORTANT LA BONNE SOURCE

Les principes scientifiques de base qui définissent la bonne source pour un ensemble de conditions spécifiques sont les suivantes

- **Considérer la dose, le moment, et l'endroit d'application.**
- **Apporter les éléments nutritifs sous forme disponible aux plantes.** Les éléments apportés sont disponibles aux plantes ou sont sous forme potentiellement disponibles à la nutrition des plantes.
- **Convenir aux propriétés physiques et chimiques du sol.** Les exemples, il faut éviter l'application des nitrates dans des sols inondés, et l'application de l'urée en surface sur des sols à pH élevé, etc.
- **Reconnaître les synergies entre les éléments nutritifs et les sources.** Les exemples incluent l'interaction P-Zn, N améliore la disponibilité de P, engrais en complément du fumier, etc.
- **Reconnaître la compatibilité du mélange.** Certaines combinaisons de sources attirent l'humidité une fois mélangées limitant une application uniforme du produit; les granules doivent avoir les mêmes dimensions pour éviter la ségrégation du produit, etc.
- **Reconnaître les avantages et la sensitivité des éléments associés.** La plupart des nutriments ont un ion en compagnie qui peut être bénéfique, neutre ou néfaste pour la culture. Par exemple, le chlore (Cl^-) qui se trouve avec le K dans le chlorure de potassium est bénéfique pour le maïs, mais peut être néfaste pour la qualité du tabac et de certains fruits. Certains engrais phosphatés peuvent contenir du Ca et S et des petites quantités de Mg et oligoéléments, sous forme de disponible aux plantes.
- **Contrôler les effets des éléments non nutritifs.** Par exemple, certaine roche phosphate contient des éléments trace non nutritifs. Le niveau de ces éléments doit être maintenu à des teneurs acceptables dans le sol.

Ces principes fondamentaux sont intégrés dans les concepts et sont présentés dans le reste de ce chapitre

Toutes les plantes ont besoin d'au moins 17 éléments essentiels pour compléter leur cycle de vie. Il s'agit notamment des 14 éléments minéraux présentés dans le **Tableau 3.1** et les trois éléments non minéraux carbone (C), hydrogène (H) et oxygène (O). Les macroéléments sont nécessaires à des quantités relativement importantes par les plantes, tandis que les oligoéléments sont utilisés en quantités beaucoup plus faibles. La disponibilité des éléments dans la plupart des sols indigènes est faible pour au moins un ou plusieurs éléments essentiels à la croissance pour permettre aux cultures d'exprimer leur potentiel génétique. Dans les écosystèmes non fertilisés,

les plantes indigènes s'adaptent aux carences des éléments nutritifs en limitant leur taux de croissance, une stratégie qui, généralement, n'est pas acceptée par les agriculteurs qui sont concernés par la production et le rendement économique.

Chaque éléments nutritive a des fonctions spécifiques dans la plante; certaines ont des focntions simples alors que d'autres ont des fonctions extrêmement complexes. Une fois dans la plante, la source de l'élément nutritif n'est plus importante.

Table 3.1 Caractéristiques importants des éléments nutritifs.

Catégorie	Elément	Symbole	Formes d'absorption primaires	Forme principale dans la réserve du sol	No. d'atomes relatif dans les plantes
Macroélément	Azote	N	nitrate, NO_3^- ammonium, NH_4^+	Matière organique	1 million
Macroélément	Phosphore	P	phosphates, HPO_4^{2-} $H_2PO_4^-$	Matière organique, Minéraux	60 000
Macroélément	Potassium	K	potassium, K^+	Minéraux	250 000
Macroélément	Calcium	Ca	calcium, Ca^{2+}	Minéraux	125 000
Macroélément	Magnésium	Mg	magnésium, Mg^{2+}	Minéraux	80 000
Macroélément	Soufre	S	sulfate, SO_4^{2-}	Matière organique, Minéraux	30 000
Oligoélément	Chlore	Cl	chlore, Cl^-	Minéraux	3 000
Oligoélément	Fer	Fe	ion ferrous, Fe^{2+}	Minéraux	2 000
Oligoélément	Bore	B	acide borique, H_3BO_3	Matière organique	2 000
Oligoélément	Manganèse	Mn	manganèse, Mn^{2+}	Minéraux	1 000
Oligoélément	Zinc	Zn	zinc, Zn^{2+}	Minéraux	300
Oligoélément	Cuivre	Cu	cuivre, Cu^{2+}	Matière organique, Minéraux	100
Oligoélément	Molybdène	Mo	molybdène, MoO_4^{2-}	Matière organique, Minéraux	1
Oligoélément	Nickel	Ni	nickel, Ni^{2+}	Minéraux	1

Autres éléments, sodium (Na), cobalt (Co), et silicon (Si),ont été démontrés d'être essentiels ou bénéfiques pour certaines plantes, mais pas pour toutes espèces végétales.

3.1 D'où Viennent-ils les Eléments Nutritifs

Du fait que les concentrations de certains éléments nutritifs dans le sol sont souvent moins que l'optimum, les agriculteurs souvent complètent la fertilité du sol par des ressource propres ou de l'extérieur de la ferme. Les ressources à la ferme peuvent inclure les légumineuses comme engrais vert, le fumier et les résidus de cultures. Les ressources à l'extérieur de la ferme peuvent comprendre les divers éléments nutritifs transformés et non transformés et des amendements du sol.

A l'exception de N, tous les éléments nutritifs sont dérivés des minéraux de la croute terrestre. Une industrie mondiale sophistiquée a été mise au point pour extraire ces éléments nutritifs et les concentrer dans des formes qui conviennent à la manipulation et au transport, et qui sont sous formes accessibles aux racines. Certains minéraux de la terre peuvent être utilisés directement comme sources d'éléments nutritifs ou amendements du sol, mais beaucoup d'autres ont besoin de traitement pour augmenter leur solubilité et leur concentration. Les minéraux insolubles libèrent les éléments nutritifs très lentement dans la solution du sol.

Les légumineuses (comme la luzerne, les trèfles, les vesces, et les haricots) en symbiose avec des bactéries (Rhizobium, Bradyrhizobia, Sinorhizobia, etc) dans les nodules de racine fixent l'azote atmosphérique N_2 et le transforme en forme disponible. Les légumineuses qui sont récoltées du champ pour le foin ou les aliments de bétail ne laissent pas de grandes quantités d'azote résiduel dans le sol. Les légumineuses cultivées et laissées sur place (appelée engrais vert) contribuent plus à l'enrichissement du sol en azote résiduel. La quantité de N résiduelle varie largement de l'espèce et des conditions climatiques.

Le fumier et le compost sont d'excellentes sources d'éléments nutritifs lorsqu'ils sont utilisés de manière appropriée.

Le fumier contient tous les éléments essentiels pour les plantes, bien que leurs rapports relatifs diffèrent souvent des quantités relatives nécessaires. Du fait que certaines formes de N, P et S sont organiques, elles ont besoin du temps pour se minéraliser et être disponibles pour les plantes. Les composts subissent une décomposition contrôlée au cours de leur période d'incubation, provoquant un produit organique qui est relativement stable et se décompose plus lentement que le fumier. Les éléments dans le fumier et les composts proviennent des aliments et de la foin récoltée des champs qui étaient susceptibles d'avoir les fertilisants. Les éléments ajoutés au cycle de cultures des champs tant proches que loins. Bien sûr, les animaux ne produisent aucuns éléments pendant leur digestion, mais ils excrètent simplement ce qui n'est pas absorbé de leurs aliments.

Presque tous les éléments nutritifs pénètrent les plantes à travers le système racinaire. La principale forme d'absorption est présentée dans le **Tableau 3.1**. La fertilisation foliaire peut être utile dans certaines situations pour surmonter une carence en développement ou fournir un élément pendant les périodes de demande de pointe. Cependant, les plantes sont adaptées à absorber la plupart des éléments nutritifs de la solution du sol à travers leurs racines.

3.2 Choisir la Bonne Source

L'idée du choix de la source d'éléments nutritifs la plus appropriée semble simple dans son concept, mais de nombreux facteurs doivent être considérés en faisant ce choix. En plus des six principes scientifiques fondamentaux mentionnés auparavant, les facteurs tels que les problèmes de livraison des engrais, les préoccupations environnementales, le prix des produits, et les contraintes économiques peuvent être tous importants. Les décisions peuvent être influencées par la disponibilité de divers matériaux à une distance raisonnable. La facilité d'accès de l'équipement d'application d'engrais peut également limiter les options. Il est attrayant de s'appuyer sur la tradition et l'expérience lors de la prise de ces décisions, mais une révision périodique de ces facteurs permet aux agriculteurs d'avoir un maximum profit de ces ressources précieuses et l'investissement économique important qu'ils représentent, et permet d'envisager de nouveaux matériaux d'engrais.

Le choix d'une source d'engrais adéquate commence par l'identification des éléments nutritifs nécessaires pour atteindre une production optimale. Les éléments nutritifs limitants peuvent être identifiés à travers les analyses du sol, de la plante,de l'expérimentation, des tests de couleur des feuilles ou des symptômes visuelles de carence (voir chapitre 8). Tout cela doit être fait avant la prise de décision concernant l'apport des engrais. Deviner les besoins en fertilisants peut entraîner de nombreux problèmes liés à la sur ou sous fertilisation comme elle peut ignorer les éléments nutritifs qui sont réellement déficients et qui avec le temps deviennent plus déficients. Une application devinée peut également se traduire par un rendement économique médiocre si les éléments nutritifs apportés sont déjà présents dans le sol à des concentrations adéquates.

Questions ?

1. Un des sept principes scientifiques fondamentaux qui définissent la **bonne source** pour des conditions spécifiques est
   a. d'appliquer seulement les formes des nutriments disponibles aux plantes.
   b. de s'adapter aux propriétés physico-chimiques du sol.
   c. d'ignorer la compatibilité du mélange.
   d. d'éviter d'appliquer des éléments associés.

2. Un élément est considéré essentiel à la croissance des plantes si
   a. la teneur du sol en cet élément est faible.
   b. la plante exige cet élément en sa forme élémentaire.
   c. toutes les plantes en ont besoin pour compléter leur cycle de vie.
   d. il est prêt à être prélevé par les plantes.

3. Le choix de la bonne source d'engrais doit être basé sur
   a. la tradition et expérience.
   b. le prix.
   c. la focalisation sur un seul élément nutritif qui est insuffisant.
   d. l'élément limitant la croissance

4. Les formes chimiques de P et K dans les engrais sont
   a. exprimées en P_2O_5 et K_2O équivalents.
   b. en P_2O_5 et K_2O.
   c. en P et K.
   d. converties en forme élémentaire en multipliant par 2,29.

Les questions suivent un format standard de l'examen, mais sont conçues pour revoir les points principaux et stimuler la discussion. Pour obtenir des réponses, voir page A-7.

Il est fréquent de se focaliser sur un seul élément nutritif qui est déficient et d'exclure les autres. Par exemple, une carence d'azote (N) est facile à détecter en observant un retard de croissance et des feuilles chlorotiques. Toutefois, le profit maximum de l'application de N ne peut être que si les déficiences en d'autres éléments tels que P et K sont corrigées du fait que la croissance des plantes est un produit du fonctionnement de tous les éléments ensembles.

Chaque élément nutritif est disponible sous différentes formes chimiques et subit des réactions spécifiques une fois dans le sol. Indépendamment de sa source d'origine et de sa réactivité avec le sol, il doit être sous une forme soluble et disponible avant qu'il soit absorbé par les plantes.

Figure 3.1 Trois types d'engrais composés (contenant une combinaison de N, P et K dans chaque granule)

Les engrais sont normalement vendus avec une qualité assurée. Cette qualité est représentée par une série de chiffres représentant le pourcent par poids des nutriments. Le premier chiffre représente N; le seconde représente P disponible sous forme P_2O_5, et le troisième représente K soluble sous forme K_2O. Par exemple, 100 kg d'un engrais 10-15-20 contient 10 kg de N, 15 kg de P_2O_5 et 20 kg de K_2O. Pour les engrais contenant d'autres éléments nutritifs, des numéros supplémentaires peuvent être ajoutés avec le symbole chimique de l'élément nutritif; par exemple, un engrais 21-1-1-24S contient 21% de N et 24% S.

Il faut noter que les formes de P et K dans les engrais ne sont pas P_2O_5 ou K_2O, mais, la forme oxyde est l'unité traditionnellement utilisée. Les teneurs des engrais en P et K sont exprimées comme P_2O_5 and K_2O équivalents. Pour convertir la forme oxyde en élément simple, utilisé les facteurs de conversion suivants:

$P_2O_5 \times 0{,}437 = P$
$P \times 2{,}29 = P_2O_5$
$K_2O \times 0{,}830 = K$
$K \times 1{,}20 = K_2O$

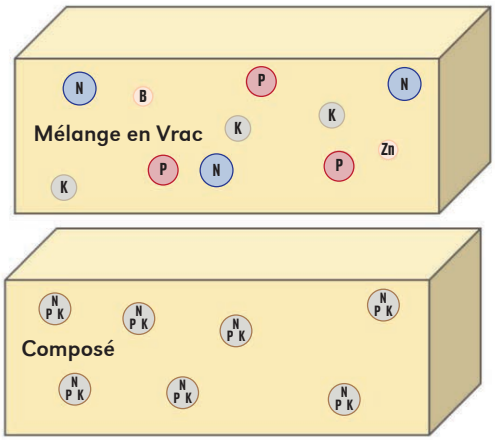


Figure 3.2 Comparaison de la distribution des nutriments dans le sol pour le mélange en vrac et l'engrais composé. Une distribution uniforme avec engrais composé peut être plus importante lorsque les éléments sont apportés à faible dose, le mélange en vrac offre plus d'opportunité pour répondre aux doses recommandées pour chaque nutriment.

Questions ?

5. Les engrais composés peuvent être utiles pour
   a. l'application d'un élément nutritif.
   b. apporter différents ratios de nutriments pour des besoins spécifiques.
   c. éviter les ségrégations potentielles des particules.
   d. les macroéléments sans microéléments

6. Les engrais liquides sont populaires parce qu'ils
   a. sont mélangés avec les engrais granulés.
   b. peuvent être facilement utilisés dans l'irrigation fertilisante.
   c. sont faits des composants moins couteux.
   d. combinent plusieurs nutriments dans une seule particule.

3.3 Formes d'Engrais

La forme d'engrais à appliquer est généralement la première décision à prendre.

Les mélanges en vrac sont constitués d'un mélange de différents engrais granulés dans un lot qui répond aux besoins spécifiques d'un client. Les mélanges sont ajustés aux différents ratios de nutriments pour des conditions spécifiques des cultures et des sols. Ils sont populaires parce qu'ils sont fabriqués à partir de composants moins coûteux et mélangés avec un équipement relativement simple et peu coûteux. Les différents composants d'engrais doivent être chimiquement et physiquement compatibles pour le mélange et le stockage.

Engrais Liquide

Une attention particulière doit être accordée à la ségrégation possible des composants qui peut survenir lors de la manipulation et le transport. Les opérateurs de mélange d'engrais sont conscients de ce problème et essayent d'uniformiser au maximum la taille de différentes particules pour minimiser la ségrégation des matériaux mélangés pendant le transport.

Les engrais composés sont le mélange de différents nutriments dans une seule particule d'engrais (**Figure 3.1**). Cette approche est différente du mélange de différents engrais pour atteindre une composition moyenne des nutriments. Chaque particule de l'engrais composé une fois dissoute dans le sol fournit un mélange de nutriment et

Attention: Ceci contient des informations sur la base des opinions des gens dans l'industrie des engrais liquides. Cette information a été compilée en tant que guide général seulement. Ni la Fondation des engrais liquides ou contributions ne garantissent l'exactitude de l'information. Prière référer aux manuel d'information sur le produit fourni par le producteur / fournisseur et faire également des petits tests de compatibilité avant de faire le mélange final.

- 'Compatible', résultats sont généralement des mélanges acceptables
- 'Compatibilité limitée', généralement compatible dans les limites de solubilite
- 'Compatibilite très limitee, generalement des mélanges inadéquats
- 'Incompatible', m'langes inad'quat et/ou combinaisons dangereuses
- A Génération de chaleur importante
- D Dry

	Ammoniaque anhydre ; 82-0-0	Ammoniaque liquide ; 20-0-0	Urée solution ; 23-0-0	Ammonitrate solution ; 20-0-0	Urée ammonitrate solution ; UAN 28/32-0-0	Sulfate d'ammonium solution ; 8-0-0-9S	Polyphosphate d'ammonium solution ; 10-34-0	Chlorure d'ammonium solution ; 6-0-0-16Cl	Thiosulfate d'ammonium solution ; ATS, 12-0-0-265	Thiosulfate de potassium solution ; KTS, 0-0-25-17S	Thiosulfate de calcium ; CaTS, 6%Ca 10%S	Thiosulfate de magnésium ; MgTS, 10%S 4%Mg	Calcium-ammonium nitrate solution ; 8-0-0-11Ca	Nitrate de calcium solution ; 8-0-0-11Ca	Carbonate de potassium solution ; 0-0-32	N-pHURIC 28/27 ; 28-0-0-9S	N-pHURIC 15/49 ; 15-0-0-16S	N-pHURIC 10/55 ; 10-0-0-18S	Water	Acide nitrique	Acide phosphorique (blanc)	Acide phosphorique (vert)	Acide sulfurique	Urée ; 40-0-0	Ammonitrate ; 34-0-0	Nitrate de calcium ; 15.5-0-0-19Ca	Chlorure de potassium ; 0-0-62	Nitrate de potassium ; 13-0-46	Nitrate de magnésium ; 10-0-0-9Mg	Phosphate mono-ammonium (Technique, 12-61-0)	Phosphate mono-potassique (0-52-34)	Peckacid (0-60-20)
Ammoniaque anhydre ; 82-0-0																																	
Ammoniaque liquide ; 20-0-0	A																																
Urée solution ; 23-0-0	A																																
Ammonitrate solution ; 20-0-0	A																																
Urée ammonitrate solution ; UAN 28/32-0-0	A																																
Sulfate d'ammonium solution ; 8-0-0-9S	A	A																															
Polyphosphate d'ammonium solution ; 10-34-0	A	A																															
Chlorure d'ammonium solution ; 6-0-0-16Cl	A																																
Thiosulfate d'ammonium solution ; ATS, 12-0-0-265	A																																
Thiosulfate de potassium solution ; KTS, 0-0-25-17S																																	
Thiosulfate de calcium ; CaTS, 6%Ca 10%S								?																									
Thiosulfate de magnésium ; MgTS, 10%S 4%Mg								?																									
Calcium-ammonium nitrate solution ; 8-0-0-11Ca																																	
Nitrate de calcium solution ; 8-0-0-11Ca								?																									
Carbonate de potassium solution ; 0-0-32								?																									
N-pHURIC 28/27 ; 28-0-0-9S		A																															
N-pHURIC 15/49 ; 15-0-0-16S		A																															
N-pHURIC 10/55 ; 10-0-0-18S		A																															
Eau	A																																
Acide nitrique	A	A	A	A		A	A																										
Acide phosphorique (blanc)	A	A	A			A	A							A																			
Acide phosphorique (vert)	A	A	A			A	A							A																			
Acide sulfurique	A	A	A			A	A												A														
Urée ; 40-0-0																				A	A	A	A										
Ammonitrate ; 34-0-0																								D									
Nitrate de calcium ; 15.5-0-0-19Ca																								D	D								
Chlorure de potassium ; 0-0-62																								D	D	D							
Nitrate de potassium ; 13-0-46								?																D	D	D	D						
Nitrate de magnésium ; 10-0-0-9Mg								?																D	D	D	D	D					
Phosphate mono-ammonium (Technique, 12-61-0)								?							?									D	D	D	D	D	D				
Phosphate mono-potassique (0-52-34)								?							?									D	D	D	D	D	D	D			
Peckacid (0-60-20)								?												A	A			D	D	D	D	D	D	D	D		

Figure 3.3 Compatibilité des mélanges d'engrais liquides (adapté de la Fondation des engrais liquides 2009)

évite le problème potentiel de ségrégation de particules lors du transport ou de l'application (**Figure 3.2**). Une distribution uniforme des oligo-éléments à travers la zone racinaire est aussi possible quand ils sont présents dans l'engrais composés. Certains ratios de nutriments sont disponibles pour différentes applications agronomiques ainsi simplifiant la prise de décision.

Les engrais liquides sont populaires parce qu'ils permettent le mélange de plusieurs éléments qui peuvent être appliqués uniformément dans le champ. La teneur de ces liquides clair peut être personnalisée et appliquée comme un engrais de démarrage ou en band. Ils sont utilisés dans l'eau d'irrigation et faciles à manipuler. Ils sont également d'excellents supports pour divers oligoéléments, herbicides et pesticides. Le mélange de plusieurs éléments en même temps réduit le nombre de visites au champ et par là réduit les risques de compaction et la consommation de carburant.

Les engrais liquides ne sont pas tous compatibles entre eux une fois mélangés. **Figure 3.3** présente un guide pour la compatibilité des mélanges. Il est toujours recommandé de mélanger de petites quantités dans un récipient pour tester la compatibilité avant de faire le grand mélange.

Application de l'engrais Foloiaire

Appliquer les engrais liquides avec l'eau d'irrigation (irrigation fertilisante) est généralement fait pour gagner le temps et économiser l'argent, pour améliorer la souplesse du moment d'application de nutriment l'éfficacité. d'utilisation des éléments nutritifs. Ceci est pratiqué dans tous les systèmes d'irrigation sous pression (tels que des systèmes goutte à goutte, systèmes par microasperseur, ou systèmes à pivot) et dans les systèmes d'irrigation à la raie. Il est important que les nutriments utilisés pour l'irrigation fertilisante ne causent pas de colmatage de l'équipement d'irrigation ou se précipitent avant d'atteindre la zone cible.

Il y a beaucoup d'excellents engrais qui sont compatibles avec n'importe quel type de système d'irrigation. Une attention particulière doit être accordée lors de l'apport des engrais phosphatés à l'eau d'irrigation qui contient des concentrations

élevées en Ca ou Mg pour éviter la précipitation chimique et le blocage des tuyaux et émetteurs. Aussi, il faut noter que la distribution des éléments nutritifs à travers l'irrigation fertilisante ne peut être mieux que l'uniformité de la distribution de l'eau dans le champ par le système.

Les engrais liquides sont également utilisés pour l'application foliaire en pulvérisant une solution des nutriments diluée sur les feuilles. Cette technique peut être efficace pour surmonter ou éviter les carences pendant les périodes critiques où la demande des plantes en éléments nutritifs est très élevée, et l'assimilation par les racines est insuffisante. Cependant, l'application foliaire est généralement considérée comme un complément aux nutriments absorbés par le système racinaire. Plusieurs matières fertilisantes ayant une solubilité élevée sont utilisés en application foliaire pour surmonter les carences. La solution pulvérisée sur les feuilles est généralement relativement diluée pour éviter les

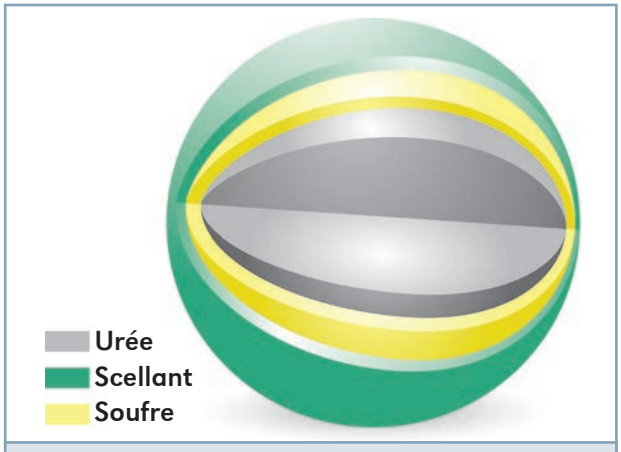


Figure 3.4 Exemple d'engrais enveloppé par le soufre

dommages aux à cause du sel. Lorsque la concentration de la solution à appliquer en foliaire est élevée, elle provoque des dessèchements des feuilles (communément appelé brûlure des feuilles). Les informations sur les étiquettes des produits doivent être suivies de près pour avoir le maximum d'avantages nutritionnels.

Les engrais en suspension sont effectués par mettre en suspension de très petites particules dans une solution. Un agent de suspension, argile ou gélifiant, est utilisé pour éviter les matières fertilisantes de se précipiter. Les suspensions permettent l'utilisation de matières à faible solubilité, inférieure à celle des matières utilisés en engrais liquide clairs, et peut atteindre des concentrations en nutriments plus élevées. De plus grandes quantités d'oligo-éléments peuvent être incorporées dans les suspensions, ainsi que les herbicides et les insecticides qui ne conviennent pas pour les engrais claires. Il y a un certain type d'agitation qui est couramment utilisé dans le réservoir pour maintenir la suspension bien mélangée. Des grandes buses sont utilisés pour l'application en comparaison avec ceux utilisés pour les engrais liquides clairs.

Les engrais à efficacité accrue ne sont pas un seul groupe de matériaux, mais se composent de produits ou de technologies qui généralement améliorent l'efficacité d'utilisation des engrais au-delà des pratiques et matériaux standards

La libération lente et libération contrôlée Ces engrais peuvent être utiles pour l'amélioration de l'efficience d'utilisation des nutriments. Il existe plusieurs mécanismes de contrôle de la libération des éléments nutritifs d'une particule d'engrais. Le plus courant est le revêtement protecteur de polymère ou de S pour contrôler la dissolution et la libération des nutriments (**Figure 3.4**). Le taux typique de libération peut varier de quelques semaines à plusieurs mois. D'autres engrais à libération lente peuvent avoir une faible solubilité ou une résistance à la décomposition microbienne pour contrôler la libération des nutriments. Ces produits ne sont pas adaptés à toutes les conditions, mais chaque produit est adapté à un ensemble de conditions spécifiques. Les produits spéciques doivent être adaptés aux conditions convenables du sol, des cultures et du climat pour en tirer le maximum de bénéfice. L'azote est l'élément concerné pour une libération contrôlée, mais il y a des circonstances où la libération prolongée d'autres éléments nutritifs est plutôt souhaitable.

Les Inhibiteurs biologiques et chimiques sont parfois ajoutés aux engrais pour améliorer ou perturber des réactions spécifiques du sol. Les inhibiteurs de la nitrification sont ajoutés pour ralentir la conversion de l'ammonium en nitrate dans le sol et qui peut réduire la possibilité de lessivage ou de dénitrification. Les inhibiteurs de l'uréase, une autre classe d'additives, peuvent être utilisés avec l'urée pour retarder temporairement la transformation en ammonium en désactivant l'uréase. Ce retard peut réduire les pertes par volatilisation et surtout quand l'urée est appliquée en surface.

Les matériaux polymériques sont des polymères liquides développés pour faire des liaisons temporaires avec les cations de sol pour réduire les réactions chimiques qui diminuent la solubilité du phosphore.

3.4 Formes d'Amendement Organique: Fumier, Composts

Les matériaux organiques peuvent être d'excellentes sources aussi bien des macro que des microéléments pour les cultures. Étant donné que ces matériaux sont extrêmement variables en fonction de leur origine, manipulation, et traitement, seulement des principes généraux sont développés ici.

Une grande partie de N présente dans le fumier et le compost est sous forme organique et doit être convertise par les microorganismes du sol (minéralisée) en ammonium ou en nitrate avant qu'elle soit absorbée par les racines. Le taux de minéralisation est déterminé par l'activité microbienne,

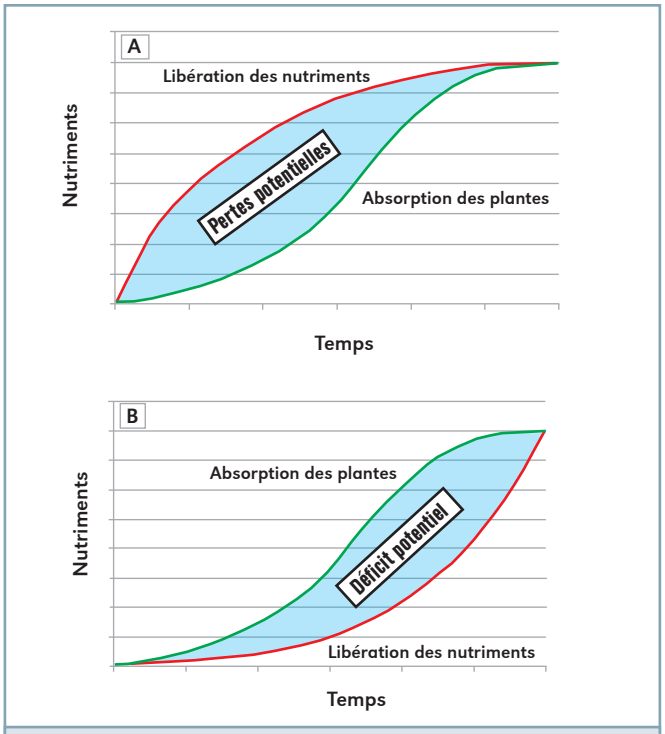


Figure 3.5 Synchroniser la libération des nutriments des matériaux organiques avec la demande des plantes est un défi. La minéralization des sources organiques ayant un faible rapport C: N peuvent fournir libérer les nutriments plus rapidement que les besoins de la plante (A). Un matériel organique ayant un rapport C: N élevé peut ne pas libérer les nutriments en quantités suffisantes pour répondre aux besoins des plantes en croissance (B).

qui varie en fonction des facteurs environnementaux (tels que la température et l'humidité), les propriétés de la matière organique (le rapport C/N et la teneur en lignine) et l'emplacement (l'incorporation). Un défaut de synchronisation avec les périodes de besoin de la plante en N peut provoquer soit des déficiences de N et d'autres éléments nutritifs soit des excés de la libration de N au-delà la saison de croissance (**Figure 3.5**). Le rapport (P/N), dans la plupart des fumiers n'est pas en équilibre avec les besoins des plantes. Lorsque les engrais organiques sont apportés pour répondre aux besoins des cultures en N, le P peut être apporté en quantités excessive 3 à 5 fois plus que les besoins de la culture. L'application du fumier à long terme peut entraîner l'accumulation du phosphore dans le sol à moins qu'une attention soit accordée à ce déséquilibre.

Le fumier d'origine animale varie énormément dans sa composition chimique et physique en fonction des pratiques spécifiques de la gestion de l'alimentation et de la fertilisation. L'azote dans le fumier est présent sous deux formes, minérale et organique. L'azote dans un fumier frais peut être instable, car il peut être facilement perdu par volatilisation. Dans certaines situations, l'application de la boue ou du fumier frais en surface peut induire des pertes de N par volatilisation. Le moment d'application et l'emplacement sont des considérations importantes pour minimiser ces pertes. L'estimation de la dose du fumier à apporter doit commencer par la détermination correcte de la teneur en nutriements, et la prédiction du taux de minéralisation de N suite à l'application. La majorité de P et la totalité de K dans le fumier et le compost sont sous forme minérale et sont prêts à l'absorption par les plantes.

Questions ?

7. Les engrais à libération contrôlée peuvent améliorer l'efficacité d'utilisation des nutriments
   a. sous conditions spécifiques du sol
   b. même pour tous les éléments nutritifs.
   c. en désactivant l'enzyme uréase.
   d. sous toutes conditions des sols.

8. Les inhibiteurs de l'uréase réduisent les pertes d'ammoniac lorsque:
   a. l'urée est appliquée en surface.
   b. l'urée est incorporée dans le sol.
   c. le sulfate d'ammonium est appliqué en surface.
   d. l'urée nitrate d'ammonium est incorporée dans le sol.

9. Pour une courte période après l'apport, mono ammonium phosphate (MAP) diffère du di ammonium phosphate (DAP) en ce sens que
   a. le DAP fournit le P sous plus d'une forme disponible aux plantes.
   b. l'azote présent dans le DAP est prêt à être absorbé par les plantes.
   c. seulement le MAP sera converti en poly phosphate.
   d. le pH du sol au voisinage des granulés de MAP sera plus faible.

10. La plupart des sources d'engrais potassiques
   a. contiennent le potassium sous différentes formes chimiques.
   b. diffèrent principalement par les anions accompagnants.
   c. doivent être sélectionnés seulement en fonction du prix.
   d. sont plus efficaces que le fumier comme source de potassium.

Questions 9 et 10 refère aux contenus des modules dans la section 3.3 dans les pages suivantes.

Les composts contiennent généralement de faibles concentrations en éléments nutritifs. Les matériaux correctement compostés se décomposent et se comportent comme une source à libération lente de N pendant plusieurs mois ou années. Les composts peuvent varier énormément en qualité, en maturité, et en teneur en nutriments et ce, en fonction du matériel utilisé, des conditions de transformation et du traitement.

3.5 Interaction des Nutriments

Les interactions se produisent lorsque la forme chimique ou la concentration d'un nutriment spécifique influence le comportement d'un autre nutriment. Ces interactions ne sont pas toujours bien comprises ou documentées, mais, elles se produisent au niveau des engrais, du sol, des systèmes racinaire, et de la plante. Des interactions favorables (synergies) sont également observées avec certains nutriments. Les interactions indésirables (antagonismes) peuvent être évitées en gérant l'état des éléments nutritifs par l'analyse de sol et des plantes pour éviter les conditions extrêmes.

Quelques exemples d'interaction entre éléments nutritifs comprennent: (i) la présence de NH_4 améliore la disponibilité du P pour les plantes et, en conséquence, la croissance des plantes, (ii) une fertilisation excessive en K peut réduire l'absorption du Mg dans quelques cultures fourragères et par conséquent peut provoquer des problèmes nutritionnels pour les bovins en pâturage (tétanie d'herbage) ou des incidences plus élevées de la fièvre du lait et la rétention du placenta lorsque ces fourrages sont donnés aux vaches taries. (iii) des concentrations élevée en P dans le sol peuvent toucher à l'assimilation du Zn pour certaines plantes, (iv) l'augmentation du pH du sol suite au chaulage peut améliorer la disponibilité de P et de Mo mais réduire la solubilité du Cu, Fe, Mn, et Zn.

Il n'y a pas de bonne source d'éléments nutritifs unique pour toutes les conditions. Le besoin pour un élément spécifique doit être établi avant l'apport, si possible. Les facteurs tels que la disponibilité des engrais, les reactions des éléments dans le sol, l'équipement d'épandage, et la rentabilité économique, doivent être tous pris en considération. Ces décisions complexes devraient être continuellement réévaluées afin de faire le bon choix d'engrais. **4B**

RÉFÉRENCES

Havlin, J.L. et al. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th edition. Pearson Prentice Hall. NJ, USA.

UNIDO-IFDC. 1998. Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Module 3.1-1. La bonne source de potassium améliore le rendement et la qualité des bananes en Inde. Le potassium est un élément nutritif important dans la production de bananes aussi bien pour le rendement que pour la qualité. En comparaison avec le chlorure de potassium (KCl ou MOP) qui approvisionne le chlore à la plante (Cl-). le sulfate de potasse (K_2SO_4 ou SoP) a un indice de salinité faible et donne en plus de K le S. Une étude sur les bananes au sud de l'Inde dans l'Etat Tamil Nadu a montré les avantages de l'application de SoP en comparaison de celle de MoP comme le montre la **Figure 1** ci-dessous. Kumar, A.R. and N. Kumar. 2008. EurAsia J BioSci 2(12):102-109.

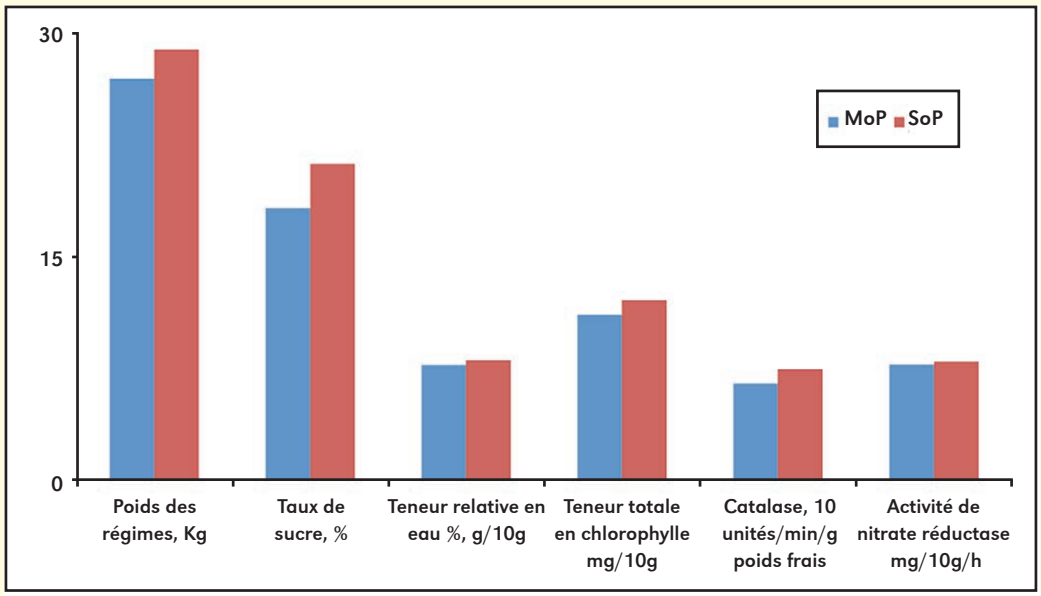
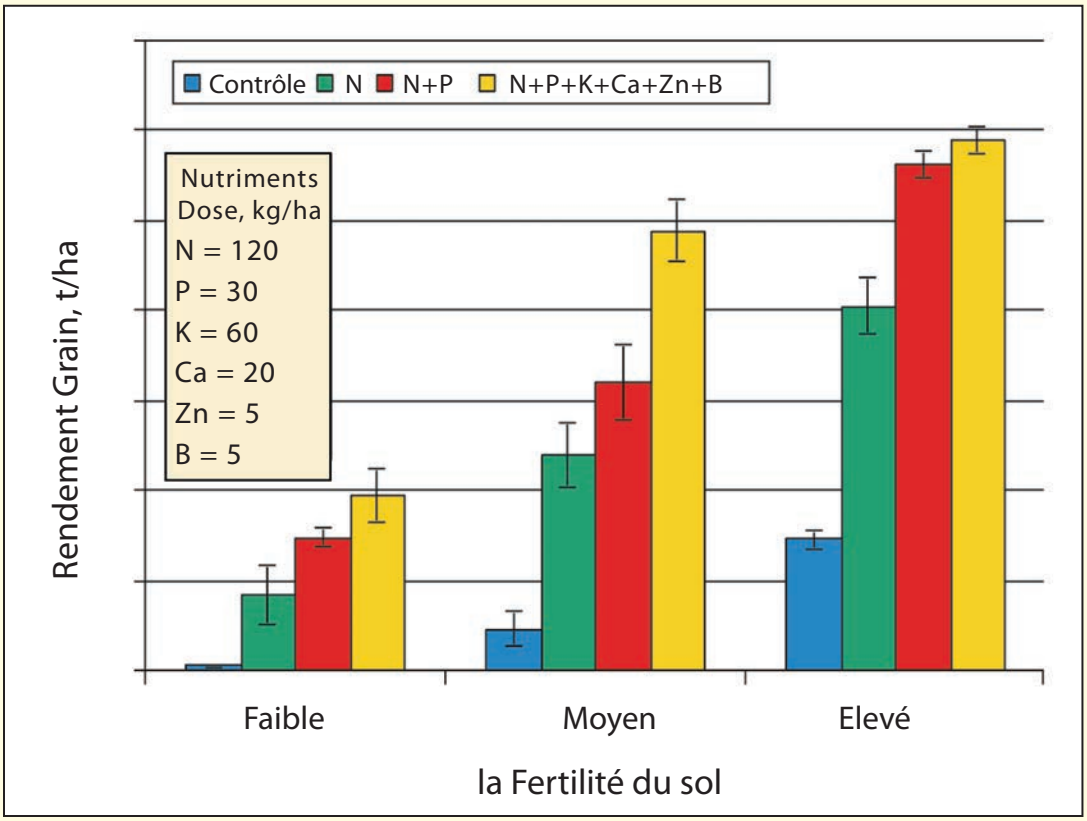


Figure 1. Effet de MoP et SOP comme des sources de potassium sur le poids du régime, la teneur en sucre (sucres solubles totaux), la teneur relative en eau, et les paramètres photosynthétiques (teneur en chlorophylle, la catalase, et l'activité du nitrate réductase)

Soumis par H.S. Khurana, IPNI, Inde, Décembre 2011.

Module 3.2-1. Equilibre entre des éléments nutritifs minéraux et organiques pour le maïs en Afrique. Des études en Afrique sub-saharienne (ASS) ont montré que l'utilisation d'engrais est toujours rentable et efficace sur les champs fertiles. Lorsque les sols sont dégradés, la restauration de la fertilité des sols à par l'entremise de une fertilisation équilibrée et apport de la matière organique est nécessaire pour atteindre une productivité élevée. D'autres options pour la gestion de la fertilité des sols, tels que le fumier, la rotation des cultures et les jacheres améliorées sont plus efficaces lorsqu'elles sont stratégiquement combinées avec les engrais minéraux. Des essais multi-sites conduits sur des sols ayant différents niveaux de fertilité en ASS ont montré que l'application de N seul a donné la plus grande augmentation du rendement du maïs sous condition de fertilité des sols élevée et moyenne. L'apport de P a également affecté positivement le rendement en sol riche mais en sol moyennement riche, l'apport de K, Ca et des oligoéléments (Zn et B) était nécessaire pour améliorer significativement le rendement au-delà du traitement N. En sols pauvres, l'augmentation du rendement était moins de 1 t/ha pour l'apport de N et moins de 2 t/ha pour l'apport de N, P, K, Ca, Zn et B. Sous ces conditions, l'apport de sources organiques pour augmenter la matière organique du sol est nécessaire pour améliorer la rétention des éléments nutritifs et de l'eau dans le sol, mieux synchroniser l'approvisionnement d'éléments avec la demande de la culture, et améliorer la santé du sol par l'amélioration de la biodiversité du sol.
Source: Zingore, S. 2011, Better Crops with Plant Food 95 (1): 4-6



Soumis par S. Zingore, IPNI, Kenya, Décembre 2011.

M

Urée

Module 3.3-1. L'urée est l'engrais azoté solide le plus utilisé au monde. L'urée se trouve également dans la nature du fait qu'elle est expulsée dans les urines des animaux. La teneur élevée en N de l'urée la rend plus efficace pour le transport et l'application aux champs.

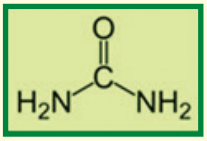
Production. La production de l'urée implique des réactions contrôlées de l'ammoniaque (NH_3) et du dioxyde de carbone (CO_2) avec températures élevées et forte pression. L'urée fondue est transformée en sphères avec l'équipement spécialisé de la granulation ou elle est durcie à une granule tout en tombant d'une tour.

Au cours de la production, deux molécules d'urée peuvent se combiner, par imprudence, pour former un composé appelé du biuret, qui peut provoquer des dommages lors de la pulvérisation sur le feuilles des plantes. La plupart de l'urée commerciale ne contient que de faibles quantités de biuret en raison des conditions soigneusement contrôlées lors de la fabrication. Cependant, l'urée particulièrement faible en biuret est disponible pour des applications exceptionnelles.

Les usines de fabrication de l'urée sont situées partout dans le monde, mais le plus souvent à proximité des installations de production de NH_3 étant donné que le NH_3 est le principal intrant pour la production de l'urée. L'urée est transporté à travers le monde par océanique, barge, train et camion.

Propriétés Chimiques

Formule chimique:	$CO(NH_2)_2$
Teneur en N:	46% N
Solubilité à H_2O (20°C):	1 080 g/L



L'usage agricole. L'urée est utilisée dans de nombreuses situations pour fournir la nutrition azotée aux plantes en croissance. Elle est la plus souvent incorporée ou appliquée en surface du sol. En raison de sa forte solubilité, elle peut être dissoute dans l'eau et appliquée avec l'eau d'irrigation en tant qu'engrais liquide, ou pulvérisée sur le feuillage des plantes. L'urée puvlérisée sur les feuilles peut être rapidement absorbée par les plantes.

Après son contact avec le sol ou la plante, l'uréase, un enzyme naturel, commence rapidement à convertir l'urée en NH_3 par le processus d'hydrolyse. Pendant ce processus l'azote est exposé aux pertes gazeuse sous forme du NH_3. Plusieurs techniques de gestion peuvent être utilisées pour éviter ces pertes.

L'hydrolyse de l'urée est un processus rapide, arrivant typiquement pendant plusieurs jours après l'application. Les plantes peuvent utilisées de petites quantités de l'urée en tant que source de N, mais généralement elles utilisent les formes ammoniacales (NH_4^+) et nitrique (NO_3^-) un produits de la transformation de l'urée par l'uréase.

Pratiques de gestion. L'urée est une excellente source de N pour répondre aux besoins des plantes. Grâce à sa facilité de dissoudre dans l'eau, l'urée appliquée en surface suit les mouvements de l'eau de pluie ou d'irrigation dans le sol. Une fois dans le sol, l'urée se déplace librement jusqu'à ce qu'elle soit hydrolysée pour former le NH_4^+. Des précautions doivent être prises pour minimiser toutes les pertes de N à l'atmosphère, à l'eau de surface et aux eaux souterraines. Les pertes par volatilisation peuvent être gérées par le choix du moment et de l'endroit d'application. Il faut éviter que l'urée reste longtemps sur la surface du sol. Ces pertes de N peuvent affecter négativement le rendement et la qualité de la culture.

L'urée est un engrais à teneur élevée en N ayant de bonne propriétés de stockage et ne cause que peu de dommages corrosifs aux équipements d'application. L'urée est une excellente source de N pour les plantes lorsqu'elle est bien gérée.

L'usage Non Agricole. L'urée est généralement utilisée dans une variété des industries. Elle est utilisée dans les centrales électriques et les systèmes d'échappement de diesel pour réduire les émissions des gaz d'oxyde nitrique (NOx). L'urée peut être utilisée comme supplément de protéines dans l'alimentation des ruminants tels que les bovins. De nombreux produits chimiques industriels courants sont fabriqués en utilisant l'urée comme un élément important.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Le Nitrate d'ammonium et d'urée

Module 3.3-2 Solutions liquides d'engrais ou engrais liquides. Sont populaires dans plusieurs domaines parce qu'ils sont faciles à manipuler et sans risque, faciles à mélanger avec d'autres éléments nutritifs et produits chimiques, et sont faciles à appliquer. Une solution d'urée [$CO(NH_2)_2$] et de nitrate d'ammonium [NH_4NO_3] contenant entre 28 et 32% N est l'engrais azoté liquide le plus populaire.

Production. L'engrais liquide du nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) est relativement simple à produire. Une solution chauffée contenant de l'urée dissoute est mélangée à une solution chauffée de nitrate d'ammonium pour produire un engrais liquide clair. La moitié de l'azote total provient de la solution d'urée et l'autre moitié de la solution de nitrate d'ammonium. Le NAU est fabriqué en lots dans certains établissements ou dans un processus continu dans d'autres. Aucune émission de déchets ne se produit au cours du mélange.

Puisque le NAU est une solution concentrée en N, sa solubilité augmente avec la température. Pour éviter la précipitation des composés azotés en cristaux, les solutions NAU sont produites plus diluées dans les régions ayant des températures hivernales froides. Par conséquent,la concentration en N des engrais NAU commercialisés varie entre 28 et 32% N en fonction des zones de production. Un inhibiteur de corrosion est habituellement ajouté à la solution finale pour protéger l'acier dans les réservoirs de stockage.

Propriétés Chimiques

	28% N	30% N	32% N
Composition (% MS)			
Ammonium Nitrate:	40	42	44
Urée:	30	33	35
Eau:	30	25	20
Température de relargage (°C):	-18	-10	-2
pH de la solution:	- - - -	environ 7	- - - -

L'usage Agricole. Les solutions de NAU sont utilisées à grande échelle comme source de N pour la nutrition des plantes. La partie de NO_3^- (25% du total N) est immédiatement disponible pour les plantes. La partie de NH_4^+ (25% du total N) peut aussi être assimilé directement par la plupart des plantes, mais il est rapidement oxydé par les microorganismes du sol pour former le NO_3^-. Le reste sous forme d'urée (50% du total N) est hydrolysé par les enzymes du sol pour former le NH_4^+, qui est transformé ensuite en NO_3^- dans la plupart des conditions des sols.

Les solutions de NAU extrêmement polyvalentes en tant que source pour la nutrition des plantes. A cause de ses propriétés chimiques, le NAU est compatible avec plusieurs autres éléments et produits chimiques, et il est souvent mélangé avec des solutions contenant P, K et d'autres éléments nutritifs. Les engrais liquides peuvent être mélangés pour répondre plus précisément aux besoins spécifiques de la plante ou du sol.

Les solutions de NAU sont généralement injectées dans le sol au-dessous de la surface, pulvérisées ou appliquées en bande sur la surface du sol, ajoutées dans l'eau d'irrigation, ou pulvérisées sur les feuilles des plantes comme source de la nutrition foliaire. Cependant, une pulvérisation d'une solution NAU directe sur les feuilles peut provoquer des dommages, alors des dilutions à l'eau peuvent être nécessaires.

Pratiques de Gestion. Le NAU est une excellente source de N pour les plantes. Cependant, et étant donné que la moitié du N présent est sous forme d'urée, une gestion supplémentaire du moment et de l'emplacement d'application est exigée pour éviter les pertes par volatilisation. Lorsque le NAU reste sur la surface du sol pour une période prolongée (quelques jours), les enzymes du sol vont transformer l'urée en NH_4^+ qui peut être perdu sous forme de gaz ammoniacal. Par conséquent, le NAU ne doit pas rester sur la surface du sol pour longtemps afin d'éviter des pertes importantes. En fait, des inhibiteurs sont parfois ajoutés pour ralentir cette transformation. Lorsque le NAU est appliqué au sol pour la première fois, les molécules d'urée et de NO_3^- se déplacent librement avec l'eau dans le sol. Le NH_4^+ est retenu dans le sol quand il entre en contact avec les sites d'échange de cation sur l'argile ou la matière organique. Dans 2 à 10 jours, la plupart de l'urée est convertie en NH_4^+ ne se déplace plus. Le NH_4^+ initialement apporté par l'engrais plus le NH_4^+ de la transformation de l'urée sera finalement convertis en NO_3^- par les microorganismes du sol.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

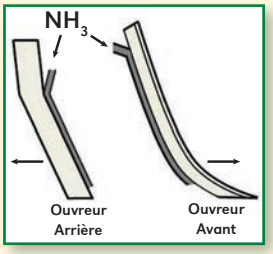
L'ammoniac

Module 3.3-3 L'ammoniac (NH_3) est la base de l'industrie des engrais azotés. Il peut être directement appliqué au sol comme nutriment de plante converti en variété d'engrais azotés communs. Des mesures de sécurité et des précautions sont nécessaires.

Production. L'atmosphère terrestre est composée d'environ 80% de gaz N_2, mais dans une forme chimique et biologique non utilisable. Dans les années 1990, le processus de combinaison de N_2 et de l'hydrogène (H_2) sous conditions de hautes température et pression a été développé. Cette réaction est connue par le processus de Haber-Bosch:
[$3H_2 + N_2 \rightarrow 2\ NH_3$]

Propriétés Chimiques

Ammoniac anhydre (NH_3)	
Teneur en N :	82% N
Point d'ébullition:	33ºC
Ammoniac liquide	(NH_4OH)
Teneur en N	20 à 24% N
pH:	11 à 12



Une variété de matériaux fossiles combustibles peut être utilisée comme source de H_2, mais le gaz naturel (méthane) est le plus courant. Par conséquent, la plupart de la production de NH_3 apparait dans des endroits où il y a un approvisionnement adéquat de gaz naturel.

L'ammoniac est un gaz atmosphérique et, il est transformé en état liquide par compression ou réfrigération à température inférieure de son point d'ébullition (-33°C). Il est ensuite transporté soit dans des navires frigorifiés, des wagons porte-rails pressurisés ou des tuyaux de à grande distance.

Usage Agricole. L'ammoniaque a la plus grande teneur en N de tous les engrais commerciaux ce qui la rend la source la plus populaire de N malgré le danger potentiel qu'il représente et les pratiques de sécurité qui sont nécessaires pour son utilisation. Quand le NH_3 est apporté au sol, il est un liquide sous pression qui devient vapeur immédiatement après sa sortie du réservoir. L'ammoniac est souvent appliqué à au moins 10 à 20cm au-dessous de la surface du sol pour éviter les pertes à l'atmosphère sous forme de gaz. Plusieurs types de couteaux et de tiges tirés par tracteur sont utilisés pour appliquer le NH_3 à la bonne place. L'ammoniac réagira rapidement avec l'eau du sol pour former l'ammonium (NH_4^+) qui est retenu par les particules du sol chargés négativement. L'ammoniac est parfois dissous dans l'eau pour produire l'ammoniac liquide qui est un engrais azoté liquide populaire. Cet engrais n'a pas besoin d'être incorporé en profondeur comme NH_3, et offre des avantages pendant l'application aux champs et a moins de considérations de sécurité. L'ammoniac liquide est souvent ajouté à l'eau d'irrigation et utilisé dans les conditions du sol inondées.

Pratiques de Gestion. La manipulation de NH_3 exige une attention particulière à la sécurité. Le personnel aux installations de stockage ou présent au moment de l'application aux champs doit porter des équipements de protection individuelle appropriés. Puisqu'il est très soluble à l'eau, la molécule libre de NH_3 réagira rapidement avec l'humidité du corps, fait, les poumons et les yeux causant des dommages sévères. En fait, le produit ne doit pas être transféré ou appliqué sans une formation adéquate en matière de la sécurité.

Immédiatement après l'application, la concentration élevée de NH_3 aux alentours des buses d'injection causera une inhibition temporaire des microorganismes du sol. L'activité microbienne du sol reprend quand le NH_3 est converti en NH_4^+, disperse de la pointe d'application, et ensuite est converti en nitrate. De même, pour éviter des dommages pendant la germination, les semences ne doivent pas être placées à proximité des zones d'application récentes de NH_3. Des pertes involontaires de NH_3 à l'atmosphère doivent être réduites autant que possible. Les émissions de NH_3 sont plus au moins responsables de la brume atmosphérique et les changements dans la chimie de l'eau de pluie. La présence de concentrations élevées de NH_3 dans l'eau de surface peut être nocive pour les organismes aquatiques.

Usage non agricole. Plus de 80% de la production de NH_3 est utilisée pour la production des engrais, soit pour l'application directe ou la fabrication d'une variété d'engrais azotés solides ou liquides. Cependant, il y a plusieurs utilisations importantes de NH_3 dans l'industrie. Les nettoyants ménagers sont fabriqués à partir d'une solution de 5 à 10% de NH_3 dissous dans l'eau (pour former de l'hydroxyde d'ammonium). En raison de ses propriétés de vaporisation, le NH_3 est largement utilisé comme réfrigérant.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Sulfate d'ammonium

Module 3.3-4 Le sulfate d'ammonium [$(NH_4)_2$ SO_4] était un des premiers engrais azotés le plus utilisé dans la production agricole. Il est maintenant moins utilisé, mais il est spécialement de valeur lorsque N et S sont exigés. Sa haute solubilité lui donne une grande polyvalence pour différentes applications en agriculture.

Production. Le sulfate d'ammonium (parfois abrégé à AS ou AMS) est produit depuis plus de 150 ans. Initialement, il a été produit à partir de l'ammoniac libéré lors de la fabrication de gaz d'éclairage (utilisé pour illuminer les villes) ou à partir de coke de charbon utilisé pour produire de l'acier. Il est produit à partir d'une réaction de l'acide sulfurique avec l'ammoniac chauffé. La taille des cristaux obtenus est déterminée en contrôlant les conditions de la réaction. Lorsque la taille souhaitée est atteinte, les cristaux sont séchés et tamisés à des particules de tailles spécifiques. Certains matériaux sont revêtus d'un agent de conditionnement pour réduire la poussière et l'agglomération.

La plupart de la demande actuelle du sulfate d'ammonium est remplie par la production de sous-produits des de diverses industries. Par exemple, le sulfate d'ammonium est un co-produit dans le procédé de fabrication du nylon. Certains sous-produits qui contiennent de l'ammoniac ou de l'acide sulfurique sont généralement convertis en sulfate d'ammonium pour un usage dans l'agriculture. Bien que la couleur puisse varier du blanc au beige, il est toujours vendu comme un cristal très soluble qui possède d'excellentes propriétés de stockage. La taille des particules peut varier en fonction de sa destination.

Propriétés Chimiques

Formule chimique:	$(NH_4)_2SO_4$
Teneur en N:	21%
Teneur en S:	24%
Solubilté à l'eau:	750 g/L
pH de la solution:	5 à 6

Crystaux de $(NH_4)_2SO_4$

Usage agricole. Le sulfate d'ammonium est utilisé dans les endroits où il y a un besoin supplémentaire de N et S pour répondre aux besoins des cultures en croissance. Étant donné qu'il ne contient que 21% N, il y a d'autres sources qui sont plus concentrées et faciles à la manipulation et au transport. Cependant, il est une excellente source de S qui a plusieurs fonctions essentielles dans la plante, y compris la synthèse des protéines. Parce que la partie de N est présente sous forme d'ammonium, le sulfate d'ammonium est fréquemment utilisé dans les sols inondés pour la production de riz, où les engrais à base de nitrate sont un mauvais choix en raison de pertes par dénitrification.

Une solution contenant du sulfate d'ammonium dissous est souvent ajoutée aux herbicides post-levée pour améliorer leur efficacité de contrôler des mauvaises herbes. Cette pratique d'amélioration de l'efficacité des herbicides avec le sulfate d'ammonium est particulièrement efficace lorsque l'eau contient des concentrations élevée de calcium, magnésium, ou sodium. Le sulfate d'ammonium pur et de qualité est souvent utilisé pour cet objectif pour éviter le blocage des buses de pulvérisation.

Pratiques de Gestion. Une fois appliqué au sol, le sulfate d'ammonium est rapidement dissous en ses composants (ammonium et soufre). S'il reste sur la surface du sol, l'ammonium est susceptible d'être perdu par volatilisation dans les sols alcalins. Dans ces situations, l'incorporation dans le sol dès que possible, ou application avant une irrigation ou précipitation prévue, est conseillée. La plupart des plantes absorbent aussi bien l'ammonium que les nitrates pour leurs besoins. Dans les sols chauds, les microorganismes commencent rapidement à convertir l'ammonium en nitrate par le processus de nitrification.

$$[(NH_4)_2SO_4] + H_2O \rightarrow 2NH_4^+ + SO_4^{2-}$$

$$NH_4^+ + O_2 \rightarrow NO_2^- + 3H^+$$

$$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+$$

Au cours de cette réaction microbienne, l'ion [H^+] est libéré, ce qui diminue finalement le pH du sol après un usage répété. Le sulfate d'ammonium a un effet acidifiant sur le sol en raison du processus de nitrification et pas de la présence de sulfate qui a un effet négligeable sur le pH. Le potentiel acidifiant du sulfate d'ammonium est supérieur à celui de la même application de N de nitrate d'ammonium puisque tout l'azote du sulfate d'ammonium sera converti en nitrate alors que seulement la moitié de l'azote du nitrate d'ammonium sera converti en nitrate.

Usage non agricole. Le sulfate d'ammonium est généralement ajouté aux produits de panification comme agent de conditionnement de pâte. Il est également un composant de poudre d'extincteur et des agents ignufigeants. Il est utilisé pour de nombreuses applications dans la chimie, la pâte à papier, le textile et les industries pharmaceutique.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Nitrophosphate

Module 3.3-5 La production et l'application de l'engrais nitrophosphate sont largement régionales, son utilisation est centrée où la technologie est avantageuse. Le procédé utilise l'acide nitrique au lieu de l'acide sulfurique pour traiter la roche phosphate et ne produit pas de gypse comme sous-produit.

Production. La majorité des engrais phosphatés sont fabriqués en faisant réagir la roche phosphate avec l'acide phosphorique ou sulfurique. Le procédé de fabrication des engrais phosphatés provenant de l'acide sulfurique génère des grandes quantités de sulfate de calcium (gypse) comme sous-produit ce qui engage des coûts supplémentaires pour les éliminer. Le nitrophosphate diffère parce que sa fabrication implique l'utilisation de l'acide nitrique pour réagir avec la roche phosphate. L'acide nitrique est produit par l'oxydation de l'ammoniac avec l'air à des températures élevées. L'avantage principal de cette méthode est que peu ou pas d'apport de S est nécessaire. L'excès de Ca de la roche phosphate produit par le procédé est converti en nitrate de calcium un engrais de valeur, plutôt que le gypse. La méthode de fabrication de nitrophosphate a été développée en Norvège et une grande partie de la production mondiale se produit encore en Europe.

La réaction générale est comme suit: Roche Phosphate + Acide nitrique → Acide phosphorique + Nitrate de calcium + Acide fluorhydrique. L'acide phosphorique produit est souvent mélangé avec d'autres éléments nutritifs pour former des engrais composés ayant plusieurs éléments nutritifs sans un seul granule. Le nitrate de calcium ou le nitrate d'ammonium et de calcium généré en parallèle est vendu séparément.

Propriétés Chimiques

La composition chimique varie en function de la combinaison des éléments nutritifs utilisée pour fabriquer le produit final. Les engrais populaires à base de la méthode de nitrophosphate comprennent:

20-20-0, 25-25-0, 28-14-0, 20-30-0, 15-15-15, 17-17-17, 21-7-14, 10-20-20, 15-20-15, et 12-24-12

Granulés de Nitrophosphate

21-7-14 formulé avec sulfate de potassium — *16-16-16 formulé avec chlorure de potassium*

Usage Agricole. L'engrais nitrophosphate peut avoir une large gamme de composition en éléments nutritifs en fonction de l'objectif d'utilisation. Il est important de choisir la composition appropriée pour chaque situation spécifique de la plante et du sol. L'engrais nitrophosphate est vendu sous forme d'un granule pour être appliqué directement au sol. Il est généralement appliqué en surface, incorporé à la zone racinaire, ou appliqué en bande sous la surface du sol avant semis.

Pratiques de Gestion. L'engrais nitrophosphate contient des quantités variables de nitrate d'ammonium, ce qui attire l'humidité. Pour empêcher l'agglutination ou l'agglomération, ces engrais sont généralement emballés dans des sacs étanches et protégés de l'humidité avant la livraison à l'agriculteur.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Nitrate d'ammonium

Module 3.3-6 Le nitrate d'ammonium est le premier engrais azoté solide produit à grande échelle, mais sa popularité a été déclinée ces dernières années. Il est une source de N courante, parce qu'il contient à la fois les nitrates et l'ammonium et il a une teneur en éléments nutritifs relativement élevée.

Production. La production à grande échelle du nitrate d'ammonium a commencé dans les années 1940 où il a été utilisé pour les munitions en période de guerre. Après la fin de la Deuxième Guerre mondiale, le nitrate d'ammonium est disponible comme engrais commercial. La fabrication du nitrate d'ammonium est relativement simple, ou le gaz ammoniac est mis en réaction avec l'acide nitrique pour former une solution concentrée et une chaleur considérable.

L'engrais granulé est formé à partir d'une solution de nitrate d'ammonium concentrée (95 à 99%) suite à une pulvérisation au sommet d'une tour de ''Prilling'' ou les gouttes de solution chaude rencontre un courant d'air froid ascendant et se solidifie. Les granules à faible densité sont plus poreux que celles à haute densité et sont préférés dans l'utilisation industrielle alors que les granules à haute densité sont utilisés comme engrais. Les granules de nitrate d'ammonium sont produits en pulvérisant à maintes reprises la solution concentrée sur les petits granules dans un fût rotatif.

Étant donné que le nitrate d'ammonium est hygroscopique et attire l'humidité de l'air facilement, il est généralement stocké dans des entrepôts climatisés ou dans des sacs scellés. L'engrais solide est habituellement recouvert d'un composé anti agglomérant pour empêcher le collage et l'agglomération.

Le nitrate d'ammonium peut être fusé avec l'engrais de sulfate d'ammonium ou modifié avec les minéraux carbonatés afin d'éliminer les propriétés explosives du nitrate d'ammonium. Ces additifs diminuent la concentration en N et sont peu solubles, ce qui rend le produit modifié non convenable pour une application à travers un système d'irrigation (irrigation fertilisante).

Propriétés Chimiques

Formule chimique:	NH_4NO_3
Teneur en N:	33 à 34%
Solubilité à l'eau (20°C):	1 900 g/L

HERINGER

Nitrate d'ammonium granulé fournit des quantités égales au nitrate-N et ammonium-N, et son application a été fortement adaptée aux légumes et cultures fourragères.

Usage agricole. Le nitrate d'ammonium est un engrais populaire parce qu'il fournit la moitié de N sous forme de nitrate et l'autre moitié sous forme d'ammonium. La forme nitrate se déplace facilement avec l'eau du sol vers les racines où elle est immédiatement disponible pour l'absorption par les plantes. La partie d'ammonium est absorbée par les racines ou graduellement convertie en nitrates par les microorganismes du sol. Plusieurs producteurs de légumes préfèrent le nitrate d'ammonium parce qu'il présente une source de nitrate disponible pour la nutrition des plantes. Il est populaire pour la fertilisation des pâturages et des foins car il est moins susceptible aux pertes par volatilisation en comparaison avec les engrais à base d'urée, quand il reste sur la surface du sol.

Le nitrate d'ammonium est couramment mélangé avec d'autres engrais, mais ces mélanges ne peuvent pas être stockés pour une longue période à cause de la tendance à absorber l'humidité de l'air. Sa solubilité élevée le fait plus convenable pour l'irrigation fertilisante ou l'application foliaire.

Pratiques de Gestion. Le nitrate d'ammonium est un engrais azoté populaire en raison de sa facilité de manipulation et de haute teneur en éléments nutritifs. Il est très soluble dans le sol et la portion de nitrate peut aller au-delà de la zone racinaire sous conditions humides. Le nitrate peut également être converti en gaz d'oxyde nitreux dans des conditions très humides à travers le processus de dénitrification. La forme d'ammonium n'est pas susceptible à des pertes considérables jusqu'à ce qu'elle soit oxydée en nitrate. Des préoccupations sur une utilisation illégale de l'engrais pour les explosifs ont mené les gouvernements de nombreux pays à adopter des réglementations strictes. Des restrictions sur les ventes et le transport ont mené quelques distributeurs d'engrais à mettre fin à la manipulation de ce produit.

Usage non Agricole. Le nitrate d'ammonium granulé à faible densité est largement utilisé comme explosif dans l'industrie minière, dans les carrières et aux chantiers de construction. Il est intentionnellement poreux pour permettre l'adsorption rapide du mazout nommé le nitrate d'ammonium et fuel-oil (ANFO). Des compresses froides instantanées sont faites avec deux sacs: un contient du nitrate d'ammonium sec et l'autre contient de l'eau. Lorsque la barrière séparant les deux sacs est rompue, le nitrate d'ammonium se dissout rapidement par une réaction endothermique, en réduisant la température du bloc à 2 ou 3°C dans un temps très court.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

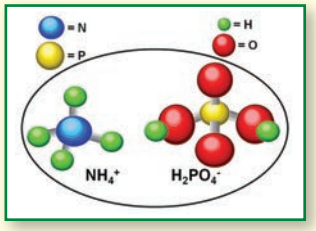
Phosphate de Monoammonium

Module 3.3-7 Le phosphate de monoammonium (PMA) est largement utilisé comme source de N et P. L'utilisation du PMA a augmenté rapidement ces dernières années. Il est fait de deux constituants les plus communs dans l'industrie des engrais et a la teneur en P la plus élevée de tous les engrais solides.

Production. Le procédé de la fabrication du PMA est relativement simple. Dans un procédé commun, on réagit l'ammoniac (NH_3) et l'acide phosphorique (H_2PO_4) dans un rapport 1 :1. La suspension du PMA obtenue est ensuite solidifiée dans un broyeur. La deuxième méthode consiste à introduire les deux matériaux intiaux dans un réacteur de conduites traversantes dans lequel la réaction produit de la chaleur pour évaporer l'eau et solidifier le PMA. Des variations de ces méthodes sont également utilisées pour la fabrication de PMA. Un avantage de la production du PMA est qu'on peut utiliser un acide phosphorique (H_3PO_4) de faible qualité en comparaison avec la fabrication d'autre engrais P qui nécessitent le plus souvent une qualité d'acide élevée. La teneur équivalente en P_2O_5 du PMA varie de 48 à 61%, en fonction de la quantité d'impuretés dans l'acide. La composition d'engrais la plus commune est 11-52-0.

Propriétés Chimiques

Formule chimique:	$NH_4H_2PO_4$
Teneur en N:	10 à 12%
Teneur en P_2O_5:	48 à 61%
Solubilité à l'eau (20ºC):	370 g/L
pH de la solution:	4 à 4.5



Usage agricole. Le PMA est un engrais granulé important pour de nombreuses années. Il est soluble dans l'eau et se dissout rapidement dans le sol si l'humidité est suffisante. À la dissolution, les deux composantes de base se séparent à nouveau pour libérer NH_4^+ et $H_2PO_4^-$. Ces deux nutriments sont importants pour la croissance des plantes. Le pH de la solution entourant la granule est modérément acide, ce qui rend PMA un engrais particulièrement souhaitable dans les sols à pH neutre ou basique. Les études agronomiques montrent qu'il n'y a pas de différence importante dans la nutrition en P entre les différents engrais phosphatés sous différentes conditions.

Le PMA granulé est appliqué en bande soit sous la surface du sol à proximité des racines soit sur la surface. Il est aussi couramment appliqué en surface du sol et incorporé par un travail desol. Le PMA en poudre est une composante importante des engrais en suspension. Lorsque le PMA est fabriqué par le H_3PO_4 pur, il se dissout facilement dans une solution claire qui peut être utilisée en pulvérisation foliaire ou ajoutée à l'eau d'irrigation. Le contenu équivalent P_2O_5 du PMA à pureté élevée est généralement 61%.

Pratiques de Gestion. Il n'y a pas de précautions spéciales associées avec l'utilisation du PMA. La faible acidité associée à cet engrais réduit le potentiel de perte à l'air du NH_3. Le PMA peut être appliqué à proximité des semences sans problème de dommages dûs à NH_3. L'application du PMA en bande réduit la fixation de P par les particules du sol et améliore l'effet synergique pour l'absorption du phosphore et de l'ammonium par les racines des plantes.

Lorsque le PMA est utilisé en pulvérisation foliaire ou ajouté à l'eau d'irrigation, il ne doit pas être mélangé avec des engrais calciques ou magnésiques. Le PMA a de bonnes propriétés de stockage et de manipulation. Certaines des impuretés chimiques (telles que le fer et l'aluminium) servent naturellement comme agent de conditionnement pour empêcher l'agglutination et l'agglomération. Le PMA à pureté élevée peut avoir un agent de conditionnement ajouté ou peut nécessiter un traitement particulier pour empêcher l'agglutination et l'agglomération. Comme avec tous les engrais phosphatés, des précautions doivent être prises pour minimiser les pertes d'éléments nutritifs à l'eau de surface ou de drainage.

Une source de PMA à une pureté élevée est utilisée comme ingrédient dans les aliments du bétail. Le NH_4^+ est synthétisé en protéine et le H_2PO_4- est utilisé dans une variété de fonctions métaboliques chez l'animal.

Usage non Agricole. Le PMA est utilisé dans les extincteurs chimiques à poudre couramment trouvés dans les bureaux, les écoles et les maisons. L'extincteur disperse une poudre fine du PMA, qui enrobe le carburant et rapidement étouffe la flamme.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Phosphate de Diammonium

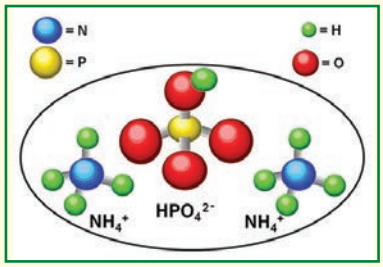
Module 3.3-8 Le phosphate de diammonium (PDA) est l'engrais phosphaté le plus utilisé au monde. Il est composé de deux constituants communs dans l'industrie des engrais et il est populaire en raison de sa teneur relativement élevée en éléments nutritifs et ses excellentes propriétés physiques.

Production. L'engrais de phosphate d'ammonium est devenu disponible dans les années 1960 et le PDA est devenu rapidement l'engrais le plus populaire dans cette catégorie. Il est fabriqué suite à une réaction contrôlée entre l'acide phosphorique et l'ammoniac. Le produit de la réaction est ensuite refroidi, granulé et tamisé. Le PDA a d'excellentes propriétés de manipulation et de stockage. La formule standard du PDA est 18-46-0 et les fertilisants ayant une teneur faible en éléments nutritifs ne peuvent pas porter l'étiquette du PDA.

Pour produire une tonne d'engrais de PDA, il faut avoir environ 1.5 à 2 t de la roche phosphate, 0.4 t de S, pour dissoudre la roche, et 0.2 t d'ammoniac. Les changements dans la disponibilité ou le prix de l'un de ces intrants auront un impact sur les prix et la disponibilité du PDA. La teneur élevée en éléments nutritifs du PDA contribue à la réduction du coût de manutention, de transport, et d'application. Le PDA est produit dans de nombreux endroits dans le monde et il est largement commercialisé.

Propriétés Chimiques

Formule Chimique:	$(NH_4)_2HPO_4$
Teneur en N:	18%
Teneur en P_2O_5:	46%
Solubilité à l'eau (20ºC):	588 g/L
pH de la solution:	7,5 à 8



Usage Agricole. Le PDA est une source excellente de N et P pour la nutrition des plantes. Il est très soluble et par conséqunt, il se dissout rapidement dans le sol et libère le phosphore et l'ammonium sous formes disponibles pour les plantes. Une des propriétés notable du PDA est son pH alcalin qui se développe autour des granules dissous.

Au cours de la libération de l'ammonium des granules du PDA dissolvants l'ammoniac produit peut être nocif pour les plantules et les racines à proximité. Ce dommage potentiel est plus courant lorsque le pH du sol est supérieur à 7 une condition qui existe généralement autour des granules de PDA dissolvants. Pour éviter des dommages aux plantules, il ne faut pas placer des quantités à concentrations élevées du PDA à côté des semences en germination.

L'ammonium présent dans le PDA est une très bonne source de N et sera graduellement transformé en nitrate par les bactéries du sol, provoquant une diminution du pH. Par conséquent, l'augmentation du pH du sol autour des granules du PDA est un effet temporaire. Cette hausse initiale du pH peut influencer les réactions micro-site de phosphate et de matière organique du sol.

Pratiques de Gestion. Il y a des différences dans les réactions chimiques initiales entre les différents engrais commerciaux de P dans le sol, mais ces différences deviennent négligeables avec le temps (quelques semaines ou mois) et sont minimes dans la mesure où la nutrition des plantes est concernée. La plupart des études réalisées au champ comparant le PDA et le phosphate de monoammonium (PMA) ont montré peu ou pas de différences dans la croissance des plantes et le rendement entre ces deux sources de P.

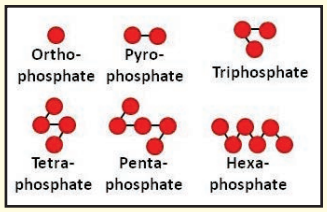
Usage non Agricole. Le PDA est utilisé dans de nombreuses applications comme un produit ignifuge. Par exemple, un mélange de PDA et d'autres ingrédients peut être épandu à l'avant du feu pour éviter sa propagation dans une forêt. Il devient, après que le danger d'incendie est passé, comme source d'éléments nutritifs. Le PDA est utilisé dans divers procédés industriels, comme le finissage des métaux. Il est communément ajouté au vin pour maintenir la fermentation de la levure et au fromage pour soutenir les cultures de fromage.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Polyphosphate

Module 3.3-9 La carence en P limite la croissance et la production des plantes dans les différents coins du monde. Étant donné que plusieurs sols sont faibles en P, cet élément est souvent apporté pour améliorer la qualité et le rendement des cultures. L'origine du phosphore est les dépôts géologiques distribués dans le monde. Le polyphosphate est un excellent engrais liquide qui est largement utilisé dans l'agriculture.

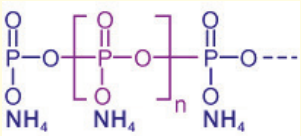


Production. L'acide phosphorique est le matériel de départ pour la plupart des engrais phosphatés commercialisés. Cependant, l'acidité et certaines propriétés chimiques rendent ce produit difficile pour une application directe. Lorsque l'acide phosphorique et l'ammoniac sont mis en réaction, l'eau est chassée et les molécules de phosphate relient pour former un engrais de polyphosphate liquide.

Une seule molécule de phosphate est appelé un orthophosphate. "Poly" réfère à plusieurs molécules en chaine liées les uns aux autres. Chaque liaison de molécules de phosphate a un nom en fonction de sa longueur, bien que le polyphosphate soit le terme général qui comprend toutes ces molécules liées.

Les engrais les plus courants de polyphosphate d'ammonium ont une composition N-P_2O_5-K_2O de 10-34-0 ou 11-37-0. Les engrais de polyphosphate offrent l'avantage d'une haute teneur en éléments nutritifs dans un liquide clair sans cristaux qui est stable dans une large gamme de température et a une longue durée de conservation. Plusieurs autres éléments nutritifs se mélangent très bien avec les engrais de polyphosphate, les rendant des supports excellents pour les oligoéléments qui sont nécessaires pour la croissance des plantes.

Propriétés Chimiques	Formules d'engrais	
Nom	10-34-0	11-37-0
Densité, kg/L	1,39	1,43
pH	5,9	6,1



Usage Agricole. Entre la moitié et les trois quart du P présent dans l'engrais de polyphosphate est sous forme de chaine des polymères. Le reste (orthophosphate) est immédiatement disponible pour l'absorption par les plantes. Les chaines polymères de P sont premièrement dissociées en molécule de P simple par des enzymes produites par les racines des plantes et les microorganismes du sol. Certains polyphosphates se décomposer ont sans effet d'enzyme. L'activité enzymatique est plus rapide en présence d'humidité et de température. Typiquement, la moitié des composés du polyphosphate est transformée en orthophosphate dans une ou deux semaines. Sous des conditions sèches et froides cette transformation peut prendre plus de temps.

Étant donné que les engrais de polyphosphate contiennent une combinaison des ortho et poly-phosphates, les plantes sont capables d'utiliser cette source de P plus efficacement. La plupart des engrais phosphatés liquides contiennent du polyphosphate d'ammonium. Les engrais liquides sont généralement utilisés dans la production agricole, mais pas largement utilisés par les ménagers. Les engrais liquides sont plus pratiques pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent être mélangés facilement avec plusieurs autres nutriments et produits chimiques. Dans la plupart des situations, la décision d'utiliser un engrais solide ou liquide est basée sur le prix de nutriments, les préférences de manutention, et les pratiques au champ plutôt que les différences agronomiques importantes.

Pratiques de Gestion. Le polyphosphate d'ammonium est utilisé principalement comme source de P pour la nutrition des plantes. En raison de sa mobilité limité dans le sol, il est conseillé de placer le P le plus proche possible des racines en développement. Des pratiques doivent être adoptées pour minimiser le mouvement du P du sol vers l'eau adjacente. L'excès du P dans l'eau de surface peut stimuler la croissance des algues non désirées.

Usage non Agricole. Le phosphate est un élément essentiel dans la nutrition humaine. Le polyphosphate est un additif approuvé pour les aliments et ne nécessite aucune précaution particulière de manipulation. Les composés de polyphosphate sont largement utilisés en tant que produit ignifuge pour de nombreux produits, y compris le bois, le papier, le tissu et le plastique. Il est également utilisé comme produit ignifuge commercial pour les feux de forêt. Le mode d'action implique le polyphosphate d'ammonium qui forme une couche charbonnée après avoir été brûlé, et empêche ainsi la propagation des flammes.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Superphosphate Simple

Module 3.3-10 Le Superphosphate simple (SPS) était le premier engrais minéral commercialisé et il a conduit au développement de l'industrie moderne de la nutrition des plantes. Ce matériel était une fois l'engrais phosphaté le plus utilisé, mais il a été largement remplacé par d'autres engrais phosphatés à cause de sa teneur en P relativement faible.

Production. L'industrie moderne des engrais a été lancée dans les années 1840 avec la découverte de l'ajout de l'acide sulfurique à la roche phosphate naturelle qui produit un excellent engrais soluble nommé superphosphate. Avant, on utilisait les os des animaux terrestres dans cette réaction, mais rapidement ils ont été remplacés par les dépôts naturels de la roche phosphate (apatite) en raison de l'approvisionnement limit des os. La fabrication du SPS est similaire à ce qui se produit naturellement avec les os et l'apatite dans les sols acides. La technique de base a peu changé au cours du dernier siècle. La roche phosphatée broyée réagit avec l'acide sulfurique pour former un semi-solide qui se refroidit pour plusieurs heures dans une tanière. La matière est ensuite convertie en pile de stockage pour plusieurs semaines. Le matériel durci est ensuite broyé et tamisé à la granulométrie appropriée ou est granulé. La réaction chimique générale est:

$Ca_3(PO_4)_2$ [roche phosphatée] + 2 H_2SO_4 [acide sulfurique] → $Ca(H_2PO_4)_2$ [phosphate monocalcique] + 2 $CaSO_4$ [gypse]

Le SPS peut être facilement produit à petite échelle pour répondre aux besoins régionaux. Puisque le SPS contient à la fois le phosphate monocalcique (PMC, également appelé dihydrogénophosphate de calcium) et le gypse, il n'y a pas de problèmes d'élimination du sous-produit phosphogypse comme c'est le cas avec la fabrication d'autres engrais phosphatés communs.

Le SPS est également connu comme superphosphate ordinaire ou superphosphate normal. Il est parfois confondu avec le superphosphate triple (SPT) qui est fabriqué par la réaction de la roche phosphatée avec l'acide phosphorique.

Propriétés Chimiques

Teneur en P_2O_5:	16 à 20%
Teneur en Ca:	18 à 21%
Teneur en S:	11 à 12%
pH:	< 2

Superphosphate simple

Usage Agricole. Le SPS est une excellente source de trois éléments nutritifs. Sa réaction du composant de P dans le sol est similaire à celle des autres engrais solubles. La présence de P et S dans le SPS peut être un avantage où ces deux éléments manquent. Dans les études agronomiques dans lesquelles le SPS est démontré supérieur aux autres engrais phosphatés, il est souvent dû au S et/ou Ca qu'il contient. Quand il est disponible d'ici, le SPS est largement utilisé pour la fertilisation des pâturages quand P et S sont nécessaires. En tant que seule source de P, le SPS est souvent plus coûteux que les autres engrais phosphatés plus concentrés et par conséquent il a perdu sa popularité.

Pratiques de Gestion. Aucunes précautions particulières ne sont exigées pour la manipulation et l'utilisation agronomique du SPS. Son efficacité agronomique est similaire à celle des autres engrais phosphatés solides ou liquides.

Les pertes de P par érosion de surface des champs fertilisés peuvent contribuer aux problèmes de qualité de l'eau. Les pratiques qui minimisent ces pertes doivent être implémentées à la ferme.

Usage non Agricole. Le SPS est utilisé particulièrement comme source d'éléments nutritifs pour les cultures. Cependant, le PMC et le gypse (les deux ingrédients primaires du SPS) sont largement utilisés dans plusieurs produits. Par exemple le PMC est souvent ajouté pour enrichir les aliments de bétail. Il est également utilisé comme levure dans les produits de boulangerie. Le gypse est largement utilisé dans l'industrie de construction, de l'alimentation et dans les produits pharmaceutiques.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Superphosphate Triple

Module 3.3-11 Le Superphosphate Triple (SPT) était le premier engrais phosphaté à concentration élevée qui est largement utilisé dans le 20ème siècle. Techniquement il est connu comme dihydrogenophosphate de calcium ou phosphate monocalcique, [$Ca(H_2PO_4)_2 \bullet H_2O$]. Il est une excellente source de P, mais son utilisation a diminué avec la popularité des autres engrais phosphatés.

Production. Le concept de la production du SPT est relativement simple. Le SPT non granulé est produit par réaction de la roche phosphatée fine avec l'acide phosphorique liquide dans un mélangeur en forme de cône. Le SPT granulé est fabriqué de la même façon, mais la suspension produite est pulvérisée sous forme de revêtement sur de petites particules pour obtenir des granules de la taille désirée. Le produit des deux méthodes de production est laissé durcir pendant plusieurs semaines puisque les réactions chimiques sont lentement complétées. La chimie et le processus de la réaction peut varier selon les propriétés de la roche phosphatée

Propriétés Chimiques

Formule Chimique:	$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$
Teneur en P_2O_5:	44 à 48%
Teneur en Ca:	13 à 15%
Solubilité de P à l'eau:	généralement >90%
pH de la solution:	1 à 3

Le superphosphate triple est disponible en forme granulée (Figure) et non granulée

Usage Agricole. Le SPT a plusieurs avantages agronomiques qui le rend une source populaire de P depuis plusieurs années. Il a la teneur en P la plus élevée de tous les engrais solides qui ne contiennent pas N. Plus de 90% de P total dans le SPT est soluble dans l'eau, donc il devient rapidement disponible pour les plantes. Une fois les granules sont dissous par l'humidité du sol, la solution du sol concentrée devient acide. Le SPT contient aussi 15% de calcium (Ca), un élément nutritif supplémentaire pour la plante.

L'utilisation majeure du SPT est dans des situations pendant lesquelles plusieurs engrais solides sont mélangés pour être appliqués à la surface du sol ou appliqués en bande sous la surface du sol. Il est également préféré pour la fertilisation des légumineuses, comme la luzerne ou l'haricot et dans les endroits où la fertilisation azotée n'est pas nécessaire pour compléter la fixation biologique de l'azote de l'air.

Pratiques de Gestion. La popularité du SPT est diminuée parce que la teneur totale en éléments nutritifs ($N + P_2O_5$) est plus faible que celle des engrais de phosphate d'ammonium tels que le phosphate de monoammonium qui par comparaison contient 11% N et 52% P_2O_5. Le coût de production du SPT peut être plus élevé que celui du phosphate d'ammonium ce qui rend le SPT économiquement moins favorable dans certaines situations.

Tous les engrais phosphatés doivent être gérés pour éviter les pertes de P à l'eau de surface par érosion. L'accumulation du P dans l'eau de surface adjacente peut provoquer des croissances non désirées des algues. Des pratiques de gestion des nutriments appropriées peuvent minimiser ce risque.

Usage non Agricole. Le phosphate monocalcique est un ingrédient important dans la poudre à pâte. Le phosphate monocalcique acide réagit avec un composant alcalin pour produire du dioxyde de carbone, l'agent de levage pour de nombreux produits de boulangerie. Phosphate mono-calcique est généralement ajouté à l'alimentation animale pour la complémenter en P et Ca.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Roche Phosphatée

Module 3.3-12 L'apport du phosphore est nécessaire dans la plupart des régions du monde pour améliorer la fertilité du sol et la production agricole. L'application directe de la roche phosphatée non traitée (RP) au sol peut fournir une source importante d'éléments nutritifs dans des conditions spécifiques, mais il faut prendre en considération plusieurs facteurs et limitations.

Production. La roche phosphatée est obtenue des dépôts géologique situés au monde. L'apatite, minéral de phosphate de calcium est le constituent principal de la roche phosphatée. Elle est extraite principalement des dépôts sédimentaires marins avec de petites quantités d'origine magmatique. La plupart de la RP est récupérée par l'exploitation minière de surface, bien que certaines soient extraites des mines souterraines.

Le minerai est d'abord tamisé et des impuretés sont enlevées à proximité du site de la mine. La plupart de la RP est utilisée pour produire des engrais phosphatés solubles, mais certaines quantités sont utilisées pour une application directe au sol. La RP est une source précieuse de P pour les plantes, mais elle n'est pas toujours appropriée pour une application directe. Sa pertinence dépend en partie de l'origine de l'impureté naturelle des minéraux telle que l'argile, le carbonate, le fer et l'aluminium (Al). L'efficacité de la RP pour une application directe est estimée par simulation des conditions du sol au laboratoire en dissolvant la roche dans une solution d'acide diluée. Les sources classées comme hautement réactives sont les plus appropriées pour une application directe au sol.

L'utilisation directe de la RP évite le traitement supplémentaire associé à la conversion de l'apatite à une forme soluble. Le traitement minimal peut produire une source d'éléments nutritifs à moindre coût et être acceptable pour les systèmes de production des cultures biologiques.

Usage agricole. Une fois un engrais phosphaté soluble est apporté au sol, il se dissout rapidement et réagit pour former des composés moins solubles. Alors que la RP se dissout lentement pour libérer graduellement les éléments nutritifs, le taux de dissolution peut être top faible pour répondre aux besoins des plantes en croissance dans certains sols. Pour optimiser l'efficacité de la RP, il faut prendre en considération les facteurs suivants :

- pH du sol: La RP exige des conditions acides du sol pour être une source efficace des nutriments. L'utilisation de la RP est souvent non recommandée quand le pH du sol dépasse 5,5. L'apport de la chaux pour augmenter le pH du sol et pour réduire l'effet toxique de l'Al peut ralentir la dissolution de la RP.
- Capacité de fixation de P par le sol: Les sols ayant une capacité élevée de fixation de P (teneur élevé en argile) favorisent la dissolution de la RP.
- Propriétés du sol: Les sols riches en matière organique et faibles en calcium ont tendance à accélérer la dissolution de la RP.
- Emplacement: L'application à la volée et l'incorporation par travail du sol accélère la réaction avec le sol.
- Espèces: Certaines espèces peuvent utiliser efficacement la RP dû aux excrétions des acides organiques des racines à la solution du sol.
- Moment: La dissolution de la RP a besoin du temps, cependant son application au sol doit être bien avant que la plante commence à exprimer ses demandes.

Pratiques de Gestion. Toutes les les sources de la RP non traitée ne sont pas valables pour une application directe. Outre, il y a plusieurs sols qui ne sont pas aptes à l'utilisation de la RP. La teneur totale de P du produit n'est pas un bon indicateur du potentiel de réactivité dans le sol. Par exemple, plusieurs RP d'origine ignée sont riche en P, mais ont une faible réactivité et fournissent le minimum des nutriments pour la plante, car ils se dissolvent très lentement. Cependant, les mycorhizes du sol peuvent aider à extraire du P du matériel faiblement soluble dans certains environnements.

Plus de 90% de la RP est transformée en engrais phosphaté soluble par une réaction avec l'acide. Cette réaction est similaire à celle chimique que la RP subit lorsqu'elle réagit avec l'acidité du sol. L'efficacité agronomique et économique de la RP peut être équivalente aux engrais phosphatés solubles à l'eau dans certaines situations, mais il faudrait prendre en considération les conditions spécifiques en prenant cette décision.

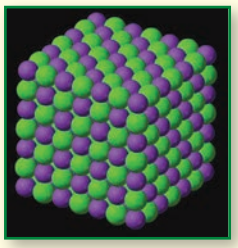
Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Chlorure de Potassium

Module 3.3-13 Les engrais potassiques sont souvent utilisés pour traiter les carences des plantes. Les engrais potassiques sont ajoutés lorsque le sol ne peut pas fournir des quantités suffisantes de K pour répondre aux besoins des plantes. La potasse est le terme général utilisé pour décrire une variété d'engrais potassique utilisés en agriculture. Le chlorure de potassium (KCl), est la source la plus couramment utilisée. Il est aussi fréquemment appelé le muriate de potasse ou MOP (le muriate est l'ancien nom de tout sel contenant du chlorure). Le potassium est toujours présent dans les minéraux comme un cation à une charge positive (K^+).

Production. Des gisements de potasse profondément enfuis se trouvent dans le monde entier. Le minéral dominant est la sylvite (KCl) mélangée avec la halite (chlorure de sodium), ce qui forme un minéral mélangé appelé la sylvinite. La plupart des minéraux de K sont ramassés à partir des anciens dépôts marins profonds sous la surface de la Terre. Ils sont ensuite transportés vers une installation de transformation où le minerai est concassé et les sels de K sont séparés des sels de sodium. La couleur de KCl peut varier du rouge au blanc, selon la source de la sylvinite. La teinte rougeâtre provient de traces d'oxyde de fer. Il n'y a pas de différences agronomiques entre les formes rouges et blanches du KCl.



Le rapport K : Cl est 1 :1

Propriétés Chimiques

Formule Chimique:	KCl
Formule d'engrais :	0-0-60
Teneur en K_2O:	60 à 63%
Teneur en Cl^- :	45 à 47%
Solubilité à l'eau (20°C):	344 g/L
pH de la solution:	environ 7

Certains KCl sont produits par l'injection d'eau chaude profondément dans le sol pour dissoudre le minerai de sylvite soluble et ensuite pomper l'eau salée à la surface où elle est évaporée. L'évaporation solaire est utilisée pour récupérer les sels de potasse de l'eau salée de la mer Morte et du Grand Lac Salé (Utah).

Usage agricole. Le chlorure de potassium est l'engrais potassique le plus largement utilisé en raison de son coût relativement bas et parce qu'il contient plus de K que la plupart d'autres sources, soit 50 à 52% de K (60 à 63% K_2O) et de 45 à 47% Cl^-.

Plus de 90% de la production mondiale de potasse est utilisée pour la nutrition des plantes. Le chlorure de potassium est souvent appliqué en surface avant le travail du sol et le semis. Il peut également être appliqué en bande près de la graine. Étant donné que dissolution de l'engrais augmentera la concentration de sel soluble, le KCl appliqué en bandes doit être placé sur les côtés de la graine pour éviter d'endommager les plantes en germination.

Le chlorure de potassium se trouve sous différentes formes et dimensions.

Le chlorure de potassium se dissout rapidement dans l'eau du sol. L'ion K^+ sera retenu par les sites d'échange cationiques de l'argile et de la matière organique chargés négativement. L'ion Cl^- se déplacera avec l'eau. Un engrais KCl pur peut être utilisé comme engrais liquide et appliqué à travers les systèmes d'irrigation.

Pratiques de gestion. Le chlorure de potassium est principalement utilisé en tant que source de K. Cependant, il y a des régions où les plantes répondent favorablement à l'apport de Cl^-. Le chlorure de potassium est habituellement le produit préféré pour répondre à ces besoins. Il n'y a pas de répercussions importantes sur l'eau ou l'air associées à des applications normales de KCl. Des concentrations élevées de sel entourant l'engrais en dissolution peuvent être le facteur le plus important à considérer.

Usage non-agricole. Le potassium est essentiel pour la santé humaine et animale. Il doit être ingéré régulièrement parce que le corps ne le stocke pas. Le chlorure de potassium peut être utilisé comme un substituant pour le chlorure de sodium pour les individus sous régime pauvre en sel. Il est utilisé comme agent de dégivrage et a une valeur fertilisante après la fonte des glaces. Il est également utilisé dans des adoucisseurs d'eau pour remplacer le calcium présent dans l'eau.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Sulfate de Potassium

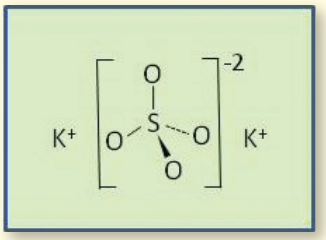
Module 3.3-14 Les engrais potassiques sont souvent utilisés pour améliorer le rendement et la qualité des plantes en croissance dans des sols pauves de ce nutriment. La plupart des engrais potassiques proviennent des anciens dépôts de sel localisés au monde. Le mot potasse est un terme général qui réfère le plus fréquemment au chlorure de potassium (KCl), mais aussi à tous d'autres engrais potassiques tel que le sulfate de potassium (on réfère le K2SO4 au sulfate de potasse ou le SOP).

Production. Le potassium est un élément relativement abondant dans la croûte terrestre et les engrais potassiques sont produits dans tous les coins habités du monde. Le K_2SO_4 est rarement trouvé dans la nature en état pur. Par contre, il est naturellement mélangé avec des sels contenant du Mg, du Na et du Cl. Ces minéraux nécessitent des traitements supplémentaires pour séparer leurs composants. Historiquement, K_2SO_4 a été préparé en faisant réagir le KCl avec l'acide sulfurique. Cependant, il a été découvert plus tard qu'un certain nombre de minéraux de la terre pourrait être manipulé pour produire K_2SO_4. Par exemple, les minéraux contenant du K naturel (tels que la kaolinite) sont extraits et soigneusement rincés avec une solution d'eau et de sel pour éliminer les sous-produits et pour produire le K_2SO_4. Un processus similaire est utilisé pour récolter le K_2SO_4 du Grand Lac Salé au Utah, et des gisements de minéraux souterrains.

Au Nouveau Mexique (E.-U.), le K_2SO_4 est séparé des minéraux langbeinite en le faisant réagir avec une solution de KCl qui élimine les sous-produits (tels que Mg) et laisse le K_2SO_4. Des techniques similaires de traitement sont utilisées dans de nombreuses parties du monde, en fonction de la matière première disponible.

Propriétés Chimiques

Formule Chimique:	K_2SO_4
Teneur en K_2O:	48 à 53%
Teneur en S:	17 à 18%
Solubilité (25°C):	120 g/L
pH de la solution:	environ 7



Usage agricole. Les concentrations de K dans le sol sont souvent trop faibles pour répondre aux besoins des plantes en croissance. Le potassium est nécessaire pour remplir de nombreuses fonctions essentielles dans les plantes, telles que l'activation des réactions enzymatiques, la synthèse des protéines, la formation d'amidon et de sucres, et la régulation du mouvement de l'eau dans les cellules et les feuilles.

Le sulfate de potassium est une excellente source de nutriments pour la nutrition des plantes. Le K présent dans le K_2SO_4 n'est pas différent de celui dans d'autres engrais potassiques communs. Le K_2SO_4 fournit également du S qui est parfois en carence pour la croissance des plantes. Le soufre est nécessaire pour la synthèse des protéines et les fonctions enzymatiques. On devrait éviter d'ajouter le Cl dans certains sols et aux certaines cultures. Dans ces cas, le K_2SO_4 est la source de K la plus appropriée. La solubilité du sulfate de potassium est seulement le tiers de celle du KCl, donc il n'est pas utilisé dans les systèmes d'irrigation sauf s'il y a besoin de supplémentaire.

Plusieurs tailles de particules sont disponibles. Les particules fines (<0,015 mm) sont utilisées pour produire des solutions pour l'irrigation fertilisante ou la pulvérisation foliaire, car il se dissout plus rapidement. Les pulvérisations foliaires de K_2SO_4 sont un moyen pratique pour apporter du K et du S pour les plantes en complément des éléments nutritifs absorbés du sol. Des dommages des feuilles peuvent se produire si la concentration de la solution est trop élevée.

Pratiques de gestion. Le K_2SO_4 est fréquemment utilisé pour les cultures où un apport additionnel de Cl- des engrais KCl communs est indésirable. L'indice de salinité partielle de K_2SO_4 est plus faible que celui d'autres engrais potassiques communs. La mesure de la salinité (CE) d'une solution de K_2SO_4 est moins qu'un tiers de celle d'une solution de KCl à concentration similaire (10 mmol/L). Lorsque la quantité du K_2SO_4 nécessaire est élevée, il est généralement recommandé de diviser l'application en plusieurs apports. Cela permet d'éviter l'accumulation du surplus de K par la plante et minimise également tout dommage potentiel de sel.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Sulfate de Potassium et de Magnésium: Langbeinite

Module 3.3-15 La langbeinite est la source unique d'éléments nutritifs ayant trois éléments combinés naturellement dans un minéral. Il fournit le le Mg, et le S pour les plantes en croissance sous forme disponible.

Production. La langbeinite est un matériel géologique distinctif trouvé seulement dans quelques endroits au monde. Le produit commercial de langbeinite provient des mines souterraines près de Carlsbad, au Nouveau-Mexique (États-Unis), qui sont développées commercialement pour la première fois dans les années 1930. Ces dépôts ont été formés il y a des millions d'années quand une variété de sels, y compris la langbeinite, a été laissée après l'évaporation des lits anciens de l'océan. Ces dépôts de sel ont été enterrés profondément sous des centaines de mètres de sédiments. Le dépôt de langbeinite est actuellement exploité par de grandes foreuses, lavé pour éliminer les impuretés, puis broyé en différentes tailles de particules. La langbeinite est considérée comme un engrais potassique, même s'il contient également du Mg et du S. Les traces d'impuretés d'oxyde de fer donnent une teinte rougeâtre aux particules de langbeinite.

Propriétés Chimiques

Formule Chimique:	$K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$
Teneur en K_2O:	21 à 22%
Teneur en Mg:	10 à 11%
Teneur en S:	21 à 22%
Solubilité à l'eau (20°C)	240 g/L
pH de la solution:	environ 7

Usage agricole. La langbeinite est un engrais populaire, en particulier lorsque plusieurs éléments nutritifs sont nécessaires pour fournir une nutrition adéquate des cultures. Il a un avantage d'avoir le K, le Mg, le S tous combinés dans une seule particule, qui permet une distribution uniforme des nutriments sur la surface du sol quand il est appliqué. Pour les raisons économiques, la langbeinite ne peut pas être recommandée pour répondre à tous les besoins en K de la culture. Au lieu, les doses à apporter doivent être basée sur les besoins en Mg et/ou S

Exploitation minière souterraine

La langbeinite est totalement soluble dans l'eau, mais sa solubilité est lente en comparaison avec d'autres engrais potassique commun parce que ses particules sont plus denses. Par conséquent, elle n'est pas appropriée pour l'utilisation en irrigation fertilisante à moins qu'elle soit finement broyée. Elle a un pH neutre, et ne contribue pas à l'acidité ou l'alcalinité du sol. La langbeinite diffère d'autres sources communes de Mg, telles que la dolomite, qui peut augmenter le pH du sol, et le soufre élémentaire ou le sulfate d'ammonium qui peuvent diminuer le pH du sol.

Il est fréquemment utilisé dans les situations où on désire un engrais sans le Cl-, pour fertiliser les cultures sensibles au chlore telles que certains légumes et certains arbres fruitiers. La langbeinite est un engrais riche en nutriments avec un indice de salinité relativement faible. Des sources particulières de la langbeinite ont été certifiées pour l'utilisation en agriculture biologique dans certains pays.

Pratiques de gestion. La langbeinite n'a aucunes restrictions d'utilisation ni environementales ou nutritionnelles lorsqu'elle est apportée à des doses agronomiques typiques. Une forme de la langbeinite est vendue comme source alimentaire du K, Mg, et S pour le bétail et la volaille. Tous les trois nutriments sont nécessaires pour l'alimentation des animaux et chacun a un rôle métabolique spécifique requis pour la santé optimale des animaux. Ce matériel est certifié par les agences gouvernementales comme aliment de bétail. Comme tous les éléments nutritifs des plantes, les meilleures pratiques de gestion doivent être suivies pour bénéficier au maximum de cette ressource. Une taille de particule spécifique devrait correspondre au besoin spécifique.

Usage non-agricole. Il n'y a pas d'applications industrielles majeures de la langbeinite en dehors de l'agriculture.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

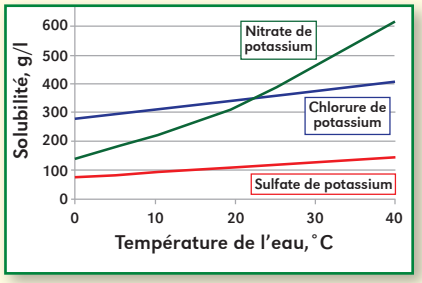
Nitrate de Potassium

Module 3.3-16 Le nitrate de potassium (KNO_3) est une source soluble de deux éléments nutritifs majeurs pour la nutrition des plantes. Il est généralement utilisé comme engrais pour les cultures à haute valeur qui profitent de la nutrition de nitrates (NO_3^-) et d'une source de potassium (K^+) sans le chlorure (Cl).

Production. L'engrais de nitrate de potassium (parfois appelé le nitrate de potasse ou NOP) est typiquement produit par une réaction du chlorure de potassium (KCl) avec une source de nitrate. Selon les objectifs et les ressources disponibles, les nitrates peuvent provenir du nitrate de sodium, de l'acide nitrique, ou du nitrate d'ammonium. Le KNO_3 produit est identique n'importe quel le procédé de fabrication. Le nitrate de potassium est généralement vendu sous forme de cristaux solubles dans l'eau destiné principalement à être dissout et utilisé dans l'eau d'irrigation ou sous forme granule pour être appliqué au sol. Traditionnellement, ce composé est connu comme le salpêtre.

Propriétés Chimiques

Formule Chimique:	KNO_3
Teneur en N:	13%
Teneur en K_2O:	44 à 46%
Solubilité à l'eau (20ºC):	316 g/L
pH de la solution:	7 à 10



Solubilité à l'eau des engrais potassiques communs.

Usage agricole. L'utilisation de KNO_3 est particulièrement souhaitée pour des conditions dans lesquelles il y a un besoin d'un engrais très soluble et dépourvu du chlore. L'azote présent dans l'engrais est immédiatement disponible pour l'absorption par les plantes sous forme de nitrate, ce qui ne nécessite aucune action microbienne supplémentaire et aucune transformation dans le sol. Les producteurs de légumes et du vergers préfèrent parfois d'utiliser une source d'azote à base de nitrate pour améliorer le rendement et la qualité. Le nitrate de potassium contient une proportion relativement élevée de K, avec un rapport N: K d'environ 1:3. De nombreuses cultures ont des exigences élevées en K et peuvent absorber autant ou plus de K que N à la récolte.

Cristaux et granules de KNO_3

Le KNO_3 est appliqué au sol avant le semis ou au cours de la croissance des cultures. Une solution diluée est parfois pulvérisée sur le feuillage des plantes pour stimuler les processus physiologiques ou traiter les carences en nutriments. L'application foliaire de K au cours du développement des fruits peut être avantageuse pour des certaines cultures, puisque ce stade de croissance s'accorde souvent avec des exigences élevées en K pendant la période d'une réduction de l'activité racinaire et d'une diminution de l'absorption des nutriments. Il est aussi couramment utilisé pour les cultures sous serre et hydroponiques.

Pratiques de gestion. Les deux, le N et le K sont exigés par les plantes pour améliorer la qualité de la récolte, la formation des protéines, la résistance aux maladies, et l'efficacité d'utilisation de l'eau. Par conséquent, le KNO_3 est souvent appliqué au sol ou par le système d'irrigation au cours de la période de croissance pour assurer une croissance saine. Le nitrate de potassium ne représente qu'une petite partie du marché mondial des engrais de K. Il est principalement utilisé quand sa composition unique et ses propriétés peuvent apporter des avantages spécifiques pour les producteurs. Il est facile à manipuler et à appliquer, et il est compatible avec beaucoup d'autres. Ceci inclut l'utilisation pour les cultures à haute valeur artisanales, ainsi que les cultures céréalières et les plantes à fibres.

La solubilité relativement élevée de KNO_3 dans des conditions chaudes permet d'utiliser des solutions plus concentrées que d'autres engrais de K communs. Une gestion minutieuse de l'eau est nécessaire pour éviter le déplacement des nitrates en dessous de la zone racinaire.

Usage non agricole. Le nitrate de potassium est utilisé depuis longtemps pour les feux d'artifice et pour la poudre à feu. Il est maintenant plus communément utilisé dans les aliments pour maintenir la qualité de la viande et du fromage. Les dentifrices spécialisés contiennent souvent du KNO_3 pour atténuer la sensibilité dentaire. Un mélange de KNO_3 et de nitrate de sodium ($NaNO_3$) est utilisé pour stocker de la chaleur dans des installations d'énergie solaire.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Kiesérite

Module 3.3-17 La kiesérite est un minéral naturel connu chimiquement comme sulfate de magnésium monohydraté ($MgSO_4 \cdot H_2O$). Elle est extraitedes dépôts géologiques marins et est une source soluble pour le Mg et du soufre du nutrition des plantes.

Production. La kiesérite a été obtenue pour la première fois des dépôts minéraux souterrains en Allemagne. Elle est présente dans les restes des océans anciens qui ont été évaporés et sont maintenant enterrés sous la surface de la terre. Ces ressources minérales contiennent une variété de nutriments essentiels pour les plantes. Le minerai est amené à la surface où les sels de magnésium sont séparés des sels de potassium et de sodium en utilisant un processus unique électrostatique sec (ESTA).

La kiesérite est vendue pour une application directe au sol, ou elle est granulée à des tailles de particules mieux adaptées pour des applications mécaniques ou pour des mélanges avec d'autres engrais.

Propriétés Chimiques

Formule Chimique:	$MgSO_4 \cdot H_2O$
Teneur en Mg:	16% (Kiesérite fine); 15% (Kiesérite granulée)
Teneur en S:	22% (Kiesérite fine); 20% (Kiesérite granulée)
Solubilité:	417 g/L (20°C)
pH de la solution:	9

La Kiesérite fine

La kiesérite granulée

Usage agricole. La kiesérite fournit deux éléments essentiels à la nutrition des plantes, le Mg et le S, en concentration élevée. Étant donné que la kiesérite n'a pas d'effet majeur sur le pH du sol, elle peut être utilisée dans tous les types de sol indépendamment du pH. Elle est généralement apportée avant le semis ou au cours de la période de croissance pour répondre aux besoins des cultures en éléments nutritifs. La solubilité élevée du produit lui permet d'être utilisée pour fournir le Mg et le S pendant les périodes critiques de besoins. La kiesérite est certifiée par certains agences de certifications biologiques comme un engrais organique parce qu'elle est un minéral de dépôts géologiques naturels.

Exploitation de la mine pour récupérer la kieserite

La kiesérite n'est pas utilisée directement comme engrais foliaire ou en systèmes d'irrigation fertilisante, mais elle est la matière première pour la production du sel d'Epsom ($MgSO_4^-$, $7H_2O$) qui est totalement soluble et apte pour application foliaire et d'irrigation fertilisante.

Pratiques de gestion. Plusieurs sols sont pauvres en Mg et ont besoin d'apports supplémentaires pour supporter le rendement et la qualités des cultures. Les sols sableux et les sols acides (tels que les sols tropicaux fortement érodés) sont généralement caractérisés pauvres en Mg. Sous ces conditions, il est recommandé d'améliorer la teneur du sol en Mg par une fertilisation adéquate.

Diviser des apports de Mg en deux apports ou plus, est recommandé dans les zones de précipitation élevée pour éviter les pertes de Mg par lessivage. Les sols des zones tempérées ayant une teneur en argile élevée peuvent avoir des teneurs élevées en Mg et sont souvent moins exposés aux pertes par lessivage.

Les doses d'application des engrais magnésique varient en fonction de plusieurs facteurs tels que les exigences spécifiques de la plante, la quantité prélevée durant la récolte et la capacité du sol de libérer le Mg en temps propice pour supporter le rendement et la qualité de la culture. Les doses d'application de la kiesérite varient typiquement de 200 à 300 kg/ha pour la plupart des cultures. Les besoins supplémentaires en Mg et S pendant les périodes critiques de la croissance peuvent être remplis par la pulvérisation foliaires en utilisant le sel d'Epsom ou une variété des sources des nutriments solubles.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Soufre

Module 3.3-18 Le soufre est largement distribué partout dans le monde sous différentes formes. Dans certains sols, la quantité de S présente est insuffisante pour répondre aux besoins des plantes. Il y a plusieurs engrais contenant le S qui peuvent être utilisés pour corriger la carence en S.

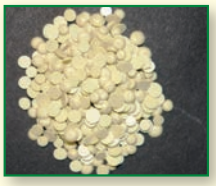
Production. Le soufre est un élément abondant dans la croute terrestre. Il a été extrait comme S élémentaire pur des dépôts volcaniques et des dômes de sel. Il est actuellement obtenu comme sous-produit du traitement des combustibles fossiles. Le charbon, le pétrole brut et le gaz naturel contiennent généralement entre 0.1% et 4% du S qui est extrait au cours du raffinage ou de l'épuration des gaz de combustion. Une variété de minéraux terrestres est utilisée comme sources de S pour l'agriculture.

Le soufre élémentaire est souvent transporté et manipulé dans un état liquide chaud jusqu'à ce qu'il se transforme en produits finis, parce que sa température de fusion est relativement faible (115 ºC). La majorité de la production mondiale de S est transformée en acide sulfurique (H_2SO_4) pour des traitements ultérieurs. L'utilisation majeure de l'acide sulfurique est dans la production d'engrais phosphatés.

Sources communes du soufre

Insoluble	S élémentaire
Semi-soluble	Gypse (15 à 17% de S)
Sulfate d'ammonium Soluble	24% de S
Sel d'Epsom	13% de S
Kiesérite	23% de S
Langbéinite	22% de S
Sulphate de potassium	18% de S
Thiosulfate	10 à 26% de S

Le soufre élémentaire



Les pastilles de soufre, contenant de petites quantités d'argile pour améliorer la dispersion et l'oxydation

Usage agricole. Le soufre élémentaire n'est pas soluble à l'eau et doit être oxydé par les bactéries du sol (telles que le thiobacille) pour former le SO_2^- avant qu'il soit utilisé par les plantes. La réaction générale dans le sol est : $2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4$. La vitesse de cette réaction est gouvernée par les facteurs environnementaux tels que la température et l'humidité du sol ainsi que les propriétés physiques du S.

Les plantes utilisent presque exclusivement le sulfate comme leur principale source de la nutrition, parce qu'il est transformé à beaucoup de constituants essentiels, tels que les protéines et les enzymes. Plusieurs approches ont été utilisées pour améliorer la transformation du S élémentaire en sulfate. La vitesse d'oxydation du soufre élémentaire est directement liée à la taille des particules, parce que les petites particules ont une plus grande surface sur laquelle les bactéries du sol peuvent agir. Par contre, les particules de S grossières peuvent exiger des mois ou des années d'action biologique avant l'oxydation de quantités importantes de sulfate. Les particules fines sont oxydées rapidement, mais ne sont pas faciles à appliquer.

Une approche pour améliorer le taux d'oxydation du S est d'ajouter de petites quantités d'argile au S dissout avant le refroidissement et la formation de petites pastilles. Une fois apportée au sol, les particules d'argile se gonflent et les pastilles se désintègrent en petites particules qui sont rapidement oxydées.

Des couches très fines de S élémentaire peuvent être incorporées lors de la fabrication d'engrais granulé. Ce S s'oxyde rapidement et devient disponible pour l'absorption par les plantes. Cette réaction peut avoir un impact positif sur la disponibilité de certains micronutriments tels que le zinc (Zn) et le fer (Fe), qui deviennent plus solubles avec la baisse du pH. Le S élémentaire finement broyé est parfois ajouté à des suspensions d'engrais. Le S élémentaire est largement utilisé en tant que fongicide pour la protection des cultures dans les cas où le sulfure d'hydrogen nocif évolue de l'interaction entre le S élémentaire et les tissus fongiques vivants.

Le S élémentaire et l'acide sulfurique sont couramment utilisés dans la restauration des sols salés et dans le traitement de l'eau d'irrigation

Pratiques de gestion. Le soufre est disponible sous plusieurs formes pour répondre aux besoins spécifiques des cultures. Le S élémentaire est généralement appliqué bien avant de la demande de la culture, puisque il a besoin du temps pour être oxydé par les bactéries du sol et transformé en sulfate. Le sulfate est un anion, il est donc assujetti aux pertes par lessivage comme les nitrates. Cependant, les concentrations typiques du sulfate dans l'eau n'ont pas d'impacts négatifs sur l'environnement.

Usage non agricole. Le soufre est largement utilisé dans plusieurs produits de consommation et des applications industrielles. A titre d'exemple, il est généralement transformé en sulfate avant d'être utilisé dans les textiles, le caoutchouc, les détergents et le papier.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Thiosulfate

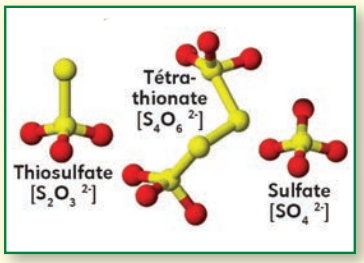
Module 3.3-19 Le thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$) est un engrais liquide clair qui fournit le S et peut être utilisé dans différentes situations. Il contient aussi d'autres éléments nutritifs incluant le N sous forme d'ammonium (TSA), de potassium (TSK), de calcium (TSCa) ou de magnésium (TSMg).

Production. Le TSA est l'engrais liquide le plus utilisé contenant le S. Il est produit d'une réaction du dioxyde de soufre, le S élémentaire et l'ammoniac liquide. Les autres engrais thiosulfatés liquides communs sont fabriqués de la même façon.

Le thiosulfatés sont très solubles dans l'eau et sont compatibles avec plusieurs autres engrais liquides. Le TSA est généralement mélangé avec le nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) pour produire un engrais largement utilisé contenant 28-0-0-5 (5% de S).

Propriétés Chimiques

Formule	Nom Courant	Teneur en éléments nutritifs	Densité, kg/L	pH
$(NH_4)_2S_2O_3$	TSA	12% N; 26% S	1,34	7 à 8,5
$K_2S_2O_3$	TSK	25% K_2O; 17% S	1,46	7,5 à 8
CaS_2O_3	TSCa	6% Ca; 10% S	1,25	6,5 à 8
MgS_2O_3	TSMg	4% Mg; 10% S	1,23	6,5 à 7,5



Usage agricole. Les thiosulfates, une fois en contact avec le sol, réagissent rapidement pour former le tétra-thionate, qui est ensuite transformé en sulfate. Le thiosulfate n'est généralement disponible pour l'absorption par les plantes qu'après sa transformation en sulfate. Dans les sols tempérés, ce processus est en grande partie achevée dans une ou deux semaines.

Le thiosulfate est un agent chimique réducteur et il produit aussi l'acidité après l'oxydation du S. En raison de ces propriétés, les molécules de thiosulfate ont un effet unique sur la chimie et la biologie du sol. Par exemple, il a été démontré que l'application en bande de le TSA améliore la solubilité de certains oligo-éléments. Il faut suivre les recommandations concernant les doses maximales à appliquer en ligne avec le rang de semis.

Le thiosulfate peut ralentir le taux d'hydrolyse de l'urée, la transformation de l'urée en ammonium (NH_4^+), et peut réduire les pertes d'ammoniac (NH_3) lorsque des quantités suffisantes du TSA sont mélangées avec le NAU. Cet effet inhibiteur est probablement dû à la formation à la la présence du tétrathionate intermédiaire, plutôt que le thiosulfate lui-même. La nitrification est également ralentie en présence du TSA. Bien que le pH initial des engrais de thiosulfate soit proche de la neutralité, le thiosulfate s'oxyde pour former l'acide sulfurique et le NH_4^+, dans le TSA produira de l'acide nitrique, provoquant une légère acidification du sol dans la zone d'application.

Le thiosulfate peut être appliqué par les systèmes d'irrigation (aspersion ou goutte à goutte). Plusieurs formes de thiosulfate peuvent être appliquées par pulvérisation foliaire (le TSA n'est pas recommandé).

Pratiques de gestion. Les carences en S sont notées sur les cultures autour du monde. Les thiosulfates sont des engrais précieux parce qu'ils sont faciles à manipuler et à appliquer, qu'ils exigent peu de précaution de sécurité, et qu'ils sont compatibles avec plusieurs autres engrais communs. Cependant, ces engrais ne doivent pas être mélangés avec des solutions très acides, car ceci provoquera la décomposition de la molécule de thiosulfate et la libération de dangereux gaz du dioxyde du soufre.

Usage non agricole. Les thiosulfates sont utilisés dans une variété d'applications industrielles. Dans le traitement photographique, ils sont utilisés pour lier des atomes d'argent présents dans le film ou le papier. Le thiosulfate de sodium est utilisé dans les systèmes de traitement de l'eau pour éliminer le chlore. Il est également utilisé pour l'extraction de l'or, car il forme un complexe solide avec ce métal dans un procédé non toxique.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Engrais Composés

Module 3.3-20 Plusieurs sols ont besoin d'apports supplémentaires d'éléments nutritifs essentiels à la nutrition des plantes pour corriger les carences. Les agriculteurs ont le choix entre une combinaison d'engrais simple ou un engrais composé qui a plusieurs éléments nutritifs combinés dans chaque particule. Ces combinaisons (d'engrais composés ou complexes) peuvent offrir des avantages concernant l'utilisation au champ, les économies, et la facilité à répondre aux besoins nutritionnels des plantes.

Production. Les engrais composés sont fabriqués en utilisant les matériaux de base des engrais tels que le NH_3, le phosphate d'ammonium, l'urée, le S, et les sels potassiques. On utilise plusieurs méthodes pour fabriquer ces engrais avec des procédés de fabrication spécifiques déterminés par les composants de base disponibles et la teneur en nutriments souhaitée du produit fini, exemple :

Méthode de compaction (agglomération) basée sur la liaison de petites particules d'engrais en utilisant le compactage, les agents de cimentation, ou les liaisons chimiques. Divers rapports des nutriments peuvent être combinés en utilisant des particules sous-dimensionnées qui ne peuvent pas convenir à d'autres applications

Engrais à base d'accumulation sont fabriqués en ajoutant à plusieurs reprises un film mince de pâte nutritive qui est continuellement séché, produisant plusieurs couches jusqu'à atteindre la granulométrie souhaitée.

Réacteurs à tuyaux sont utilisés pour fondre chimiquement le NH_3, et les acides contenant du S ou du P, et d'autres nutriments, tels que les oligo-éléments et le K, en un engrais solide avec la teneur en éléments nutritifs souhaitée.

Nitrophosphate, le processus consiste à faire réagir la roche phosphatée avec de l'acide nitrique pour former un mélange de composés contenant le N et le P. Si le K est ajouté au cours du processus, un engrais solide avec le N, le P, et le K se produit.

Usage agricole. Les engrais composés ont plusieurs éléments nutritifs combinés dans chaque particule unique. Ceci est différent d'un mélange de différents engrais pour atteindre la composition moyenne des éléments nutritifs souhaitée. Cette différence permet aux engrais composés d'être appliqués au sol de telle sorte qu'une fois dissoute dans le sol, chaque granule fournit un mélange d'éléments nutritifs, et donc permet aussi d'éliminer le potentiel de ségrégation du produit pendant le transport et l'application. Une distribution uniforme des oligoéléments dans la zone racinaire peut être atteinte s'ils sont inclus dans l'engrais composé.

Ces engrais sont particulièrement efficaces pour apporter une dose initiale d'éléments nutritifs avant le semis. Il y a certaines formules d'engrais disponibles pour des conditions spécifiques de sols et de la plante. Les formules disponibles offrent des avantages de la simplification dans la prise de décisions, mais ne permettent pas la flexibilité de mélanger les engrais pour répondre aux exigences spécifiques des cultures. Les gestionnaires de pelous et les propriétaires trouvent souvent les engrais composés comme souhaitables.

Pratiques de gestion. Les engrais composés sont parfois plus chers qu'une combinaison physique ou un mélange de différentes sources d'éléments nutritifs car ils nécessitent un traitement supplémentaire. Cependant, quand on considère tous les facteurs impliqués dans la manipulation et l'utilisation des éléments nutritifs, les engrais composés peuvent offrir des avantages considérables.

L'azote est l'élément nutritif qui doit être le plus souvent gérée avec soin et apporté plusieurs fois au cours de la période de croissance.

Il se peut qu'il ne soit pas possible de fournir la totalité des besoins en N des cultures en utilisant seulement les engrais composés sans la sur-application d'autres éléments nutritifs. Il est conseillé d'utiliser un engrais composé au début de la saison et apporter l'engrais azoté plus tard en fonction des besoins de la culture.

Les engrais composés sont généralement produits par région pour répondre aux besoins des cultures locales. Il y a plusieurs propriétés chimiques et physiques qui peuvent être ajustées pour répondre à ces besoins. Par exemple, un souhait de minimiser le P dans les eaux de ruissellement en milieu urbain a conduit certaines communautés à limiter l'ajout du P aux engrais composés vendus pour l'utilisation sur le gazon et les cultures ornementales. Les sols d'une région qui sont généralement faibles en un élément nutritif spécifique peuvent augmenter la teneur de cet élément dans les engrais composés

Propriétés chimiques. Les formules chimiques varient largement. Les engrais composés communs incluent les formulations: 10-10-10, 12-12- 12, 17-17-17, 21-7-14, et plusieurs d'autres.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Engrais Enrobés

Module 3.3-21 Une variété de produit d'enrobage a été utilisée pour enrober les particules d'engrais pour contrôler leur solubilité dans le sol. Le contrôle du taux de libération des éléments nutritifs peut offrir plusieurs avantages environnementaux, économiques et de production.

Production. Une large gamme de matériel a été utilisée comme enrobage des engrais solubles. L'enrobage est souvent appliqué aux engrais de N granulés. Les engrais composés sont parfois aussi revêtus. Étant donné que l'urée a la teneur le plus élevée de N de tous les engrais communs, il est utilisé comme matériel de base pour la plupart des engrais enrobés.

Le soufre élémentaire (S) était le premier enrobage d'engrais largement utilisé. Le soufre fondu a été pulvérisé sur les granules d'urée suivi d'une application de cire pour fermer des fissures ou des imperfections dans le enrobage. Le processus a été amélioré plus tard par le recouvrement de la couche du soufre par une fine couche de polymère organique.

D'autres engrais enrobés sont préparés en faisant réagir divers polymères à base de résine sur la surface des granules d'engrais. Une autre technique consiste à utiliser des polymères de polyéthylène à faible perméabilité en combinaison avec des enrobages de haute perméabilité. Les matériaux enrobage et les procédés d'enrobage varient selon les fabricants.

La composition et l'épaisseur de l'enrobage de l'engrais sont soigneusement ajustées pour contrôler la vitesse de libération des nutriments pour des applications spécifiques. La durée de libération des éléments nutritifs des engrais spécifiques peut varier de quelques semaines à plusieurs mois, comme décrit sur l'étiquette du produit. Un frais supplémentaire est associé à l'ajout d'un enrobage sur une particule d'engrais. Ainsi, les engrais enrobés sont plus chers que les matériaux non-enrobés.

Usage agricole. Les engrais enrobés sont utilisés dans plusieurs situations en agriculture et en horticulture. Ils fournissent une alimentation prolongée en éléments nutritifs qui peut offrir plusieurs avantages. Parmi ces avantages, on se trouve:

- La libération prolongée des nutriments qui peut réduire les pertes par lessivage ou par volatilisation.
- Les frais et le coût d'application qui sont réduits par l'élimination des applications multiples d'engrais.
- Une plus grande tolérance des plantules aux engrais placés à proximité.
- La libération prolongée des nutriments qui peut fournir une nutrition plus uniforme, une meilleure croissance, et une performance des plantes améliorée.

Le maximum profit des engrais enrobés est atteint lorsque la durée de libération des éléments nutritifs est synchronisée avec les périodes d'absorption des éléments nutritifs par les plantes.

Pratiques de gestion. Prédire le taux de libération des nutriments dans les engrais enrobés dans différentes conditions de sols et de culture est complexe, car la libération est contrôlée par plusieurs facteurs environnementaux. Par exemple, beaucoup d'engrais enrobés libèrent plus rapidement avec l'augmentation de l'humidité et de la température du sol. Certains produits dépendent de l'activité microbienne du sol pour la libération des nutriments. Une compréhension du mécanisme de la libération des éléments nutritifs est utile pour obtenir la valeur maximale des engrais enrobés.

Certains matériaux d'enrobage sont relativement fragiles et sont assujettis à l'abrasion et à la rupture sous des environnements difficiles. La manipulation excessive doit être évitée autant que possible.

Usage non agricole. La technologie de libération contrôlée est importante pour de nombreuses applications. Peut-être, l'utilisation la plus connue est la libération prolongée de produits pharmaceutiques qui peuvent être prises moins fréquemment et maintiennent une concentration constante dans le sang. Les matériaux enrobés sont également utilisés à des fins vétérinaires et de lutte contre les ravageurs.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Gypse

Module 3.3-22 Le gypse est un minéral commun obtenu des dépôts souterrains et de surface. Il peut être une source importante du Ca et du S pour les plantes et peut améliorer les propriétés du sol dans des conditions spécifiques.

Production. Le gypse se trouve sous forme cristalline et rocheuse. Il est généralement le produit de l'évaporation de l'eau salée et il est le minéral le plus commun dans des conditions sédimentaires. Les roches blanches ou de couleur grise sont extraites de fosses ouvertes ou des gisements souterrains, puis sont broyées, tamisées et utilisées plusieurs fins sans l'autre traitement. Le gypse agricole se compose généralement de $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (dihydraté). Dans des conditions géologiques de haute température et de pression, le gypse est transformé en anhydrite ($CaSO_4$ sans l'eau).

Le sous-produit de gypse provient des centrales électriques à combustibles fossiles où le S est épuré du gaz d'échappement. Le gypse est aussi un sous-produit de la transformation de la roche phosphatée en acide phosphorique. Le gypse recyclé du partir de panneau mural est finement broyé et appliqué au sol.

Propriétés Chimiques

Type de Sulfate de calcium	Formule & Composition	Solubilité
Dihydraté (Gypse)	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ [23% Ca, 18% S, 21% d'eau]	2,05 g/L
Anhydrite	$CaSO_4$ [29% Ca, 23% S]	2,05 g/L
Semihydraté (plâtre de Paris)	$CaSO_4 \cdot {}^1/_2H_2O$	[Retour au gypse une fois l'eau est ajoutée]

Usage agricole. Le gypse (parfois appelé la pierre à plâtre) est généralement ajouté aux sols en tant que source de nutriments ou pour modifier et améliorer les propriétés du sol. Le gypse est peu soluble dans l'eau, mais plus de 100 fois plus soluble que la chaux dans les sols à pH neutre. Lorsqu'il est appliqué au sol, sa solubilité dépend de plusieurs facteurs, y compris la taille des particules, l'humidité du sol, et les propriétés du sol. Le gypse se dissout dans l'eau pour libérer le Ca^{2+} et le SO_4^{2-}, sans l'impact direct et significatif sur le pH du sol. Par contre, la chaux neutralise l'acidité dans les sols à faible pH. Dans les régions à sous-sols acides, le gypse est parfois utilisé comme source de Ca relativement soluble pour la réduction de la toxicité de l'aluminium.

Certains sols bénéficient de l'application du gypse en tant que source de Ca. Dans les sols avec l'excès de sodium (Na), le Ca libéré du gypse aura tendance à se fixer aux sites d'échange cationique du sol avec une plus grande affinité que le Na, libérant ainsi le Na pour être lessivé de la zone racinaire. Lorsque le gypse est utilisé dans la réclamation des sols riches en Na, il se traduit généralement par l'amélioration des propriétés physiques du sol telles que la réduction de la densité apparente, l'augmentation de la perméabilité et de l'infiltration de l'eau, et la diminution de la formation de croûtes. Dans la plupart des conditions, l'application du gypse seul ne réduira pas la compaction des sols compactés ou lourds argileux.

Pratiques de gestion. L'utilisation connue du gypse est l'approvisionnement du Ca pour les arachides, qui ont une méthode de croissance particulier. Le gypse est le plus souvent étalé sur la surface du sol et enfui à la zone racinaire. Il y a des équipements spéciaux qui permettent à l'application du gypse finement broyé d'être distribué par les systèmes d'irrigation. Le gypse est parfois mis en sac pour rendre son application domestique et sur le gazon plus commode.

Usage non agricole. La principale utilisation de gypse est pour les matériaux de construction (tels que le plâtre et les plaques de plâtre). Pour des fins de construction, le gypse est broyé et chauffée (calcinée) pour enlever la plupart de l'eau liée, résultant en plâtre semihydraté (plâtre de Paris). Lorsque l'eau est ajoutée plus tard, la poudre se retourne en gypse et se sèche dans un état de pierre solide. Le gypse est largement utilisé dans de nombreuses autres applications; dans le conditionnement de l'eau, dans les industries alimentaires et pharmaceutiques, et en tant que retardateur de prise du ciment.

Source: http://www.ipni.net/specifics

M

Chaux

Module 3.3-23 Le carbonate de calcium, le composant principal de la chaux, est largement utilisé pour neutraliser les sols acides et fournir le Ca pour la nutrition des plantes. Le terme «chaux» peut se référer à plusieurs produits, mais pour un usage agricole, il se réfère généralement au calcaire broyé.

Production. Le calcaire est une roche sédimentaire commune trouvée dans les dépôts géologiques. Il a été utilisé dans une grande partie de l'histoire enregistrée en tant que matériel de construction, un agent de cimentation et dans l'agriculture pour améliorer les sols acides. Le matériel de chaulage agricole (chaux) est généralement défini comme toute substance contenant du Ca ou du Mg et est capable de neutraliser l'acidité. De nombreux matériaux peuvent être classés comme chaux.

La chaux est extraite de carrières ou de mines et exige habituellement un broyage mécanique. La finesse de la chaux est importante pour déterminer à quelle vitesse elle réagit avec l'acidité du sol. Le calcaire à granulométrie fine réagit rapidement car il y a plus de surface exposée à la réaction chimique. Les particules grossières réagissent plus lentement, mais permettent de maintenir la neutralité de fournir une source de neutralization acide durable à long terme.. Les tailles des particules sont généralement indiquées sur l'étiquette du produit.

D'autres matériaux dans la chaux, tels que l'argile, réduisent la pureté et diminuent la capacité de la chaux à neutraliser l'acide. L'efficacité de la chaux est évaluée sur la base de sa comparaison avec le carbonate de calcium pur ($CaCO_3$), une valeur qui est exprimée en pourcentage de l'équivalent du carbonate de calcium (ECC). La chaux est plus soluble dans les sols acides que dans les sols neutres ou alcalins. La présence de $CaCO_3$ dans le sol est détectée par l'effervescence due à l'ajout d'une goutte d'acide fort.

Usage agricole. L'utilisation principale de la chaux est d'augmenter le pH des sols acides et de réduire la concentration en Al de la solution du sol. La croissance faible des cultures en sols acides est due largement à l'Al soluble, qui est toxique au système racinaire de plusieurs plantes. La réduction de l'Al soluble se fait par deux réactions:

1) $CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2OH^- + CO_2$
2) Al^{3+} [soluble] + $3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$ [insoluble]

Propriétés Chimiques

Chaux/Calcite – carbonate de calcium [$CaCO_3$]. En général, insoluble dans l'eau, mais sa solubilité augmente dans des conditions acides (contient un maximum de 40% de Ca).

Dolomite – carbonate de calcium et de magnésium [$Ca{\cdot}Mg(CO_3)_2$]. En général, insoluble dans l'eau, mais sa solubilité augmente dans des conditions acides (contient entre 2 à 13% de Mg).

Chaux Hydratée/Eteinte – hydroxyde de calcium [$Ca(OH)_2$]. Relativement insoluble dans l'eau; forme une solution à pH > 12.

Chaux anhydre//vive – oxyde de calcium [CaO]. Réagit avec l'eau pour former la chaux hydratée.

Les ajouts de la chaux apportent également le Ca et parfois aussi le Mg pour la nutrition des plantes. Certains avantages secondaires de la neutralisation des sols acides avec la chaux incluent:

- L'augmentation de la disponibilité du P
- L'amélioration de la fixation biologique de l'azote par les légumineuses
- L'amélioration de la minéralisation de N et la nitrification
- Une meilleure utilisation de l'eau, récupération des nutriments, et performance des plantes avec un système racinaire sain.

Pratiques de gestion. La quantité de la chaux nécessaire pour obtenir une gamme souhaitable de pH du sol peut être facilement déterminée au laboratoire. La chaux est généralement appliquée à la surface du sol puis enfuie à la zone racinaire. La neutralisation de l'acidité du sol n'est pas un seul apport, mais plusieurs apports fournis à plusieurs reprises périodiquement en fonction du sol et des conditions environnementales. Les doses d'application typiques sont mesurées en tons par hectare.

Usage non agricole. La chaux est la plus utilisée de tous les matériaux de la terre. En plus de son utilisation dans les constructions, elle est utilisée dans diverses applications telles que le contrôle de la pollution atmosphérique, les système de traitement de l'eau potable et de l'eau usée, la stabilisation des sols, la médicine, les antiacides et les cosmétiques.

Source: http://www.ipni.net/specifics

Nitrate de Sodium

Module 3.3-24 Nitrate de sodium a été l'un des premiers engrais azotés inorganiques offerts dans le marché. Il était très important dans la nutrition des plantes avant que la synthèse de l'ammoniac a été découverte par le procédé Haber-Bosch dans le début des années 1900. Le nitrate de sodium est un produit naturel, et en tant que tel, il est utilisé pour fournir une partie de la nutrition azotée dans certains systèmes de cultures biologiques.

Production. Le minerai du Nitrate de Sodium est extrait des dépôts de surface dans le désert d'Atacama au Chili du nord. Le gisement se trouve dans les deux premiers mètres dans une zone près de 800 km de longueur et 16 kilomètres de largeur. Le nitrate de sodium s'est accumulé dans cette région isolée en raison de très faibles précipitations et des conditions géologiques uniques.

Le minerai de nitrate appelé caliche, est broyé et lavé avec de l'eau chaude pour dissoudre le nitrate de sodium. La solution est ensuite filtrée et refroidie pour récupérer le produit final. Il est finalement vendu comme produits cristallins ou perlés.

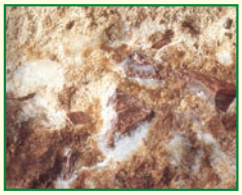
De petits dépôts du nitrate de sodium sont signalés d'exister dans d'autres pays, mais la République du Chili reste la seule source du produit commercials, de telle sorte qu'il est souvent référé comme le nitrate chilien.

Propriétés Chimiques

Formule Chimique :	$NaNO_3$
Teneur en Azote :	16%
Teneur en Sodium :	26%
Solubilité à l'eau :	880 g/L (20° C)

AUTORISATION DE SQM

Nitrate de sodium granulé


AUTORISATION DE SQM

Minerai de Caliche

Usage agricole. Le nitrate de sodium fournit une source de nutrition azotée immédiatement disponible pour les plantes car il est très soluble. Il a été utilisé comme source de nutrition azotée depuis le milieu du 19ème siècle et il a une histoire distinguée comme un matérial d'engrais précieux. Il a été la source préférée pour la nutrition des plantes pour de nombreuses cultures, notamment le tabac, qui est généralement fertilisé avec une forme d'engrais nitrique.

Le nitrate de sodium est approuvé par le Programme organique national des E.-U. pour être utilisé comme source supplémentaire de nutrition azotée. L'utilisation autorisée reconnaît que la minéralisation des sources organiques de N à base de carbone, n'arrive pas toujours suffisamment rapide pour répondre aux besoins azotés des cultures en croissance. La différence entre la quantité minéralisée et la quantité demandée par les plantes peut être corrigée par des apports appropriés de nitrate de sodium. Les agriculteurs biologiques sont priés de vérifier auprès de leur organisme de certification local pour déterminer l'utilisation appropriée de nitrate de sodium.

Pratiques de gestion. Une gestion appropriée est nécessaire pour bénéficier au maximum des avantages de tout engrais, y compris le nitrate de sodium. Étant donné que les nitrates sont très mobiles dans le sol, il faut donner une attention particulière à la dose, au moment d'apport et à l'endroit pour minimiser au maximum les pertes indésirables. Le nitrate de sodium peut être appliqué soit à la volée ou en bande concentrée à la surface ou incorporée dans le sol. Cette source de N n'est pas susceptibles aux pertes par volatilisation. Elle peut donc donner l'adaptabilité supplémentaire en comparaison avec d'autres engrais azotés contenant l'ammonium et l'urée.

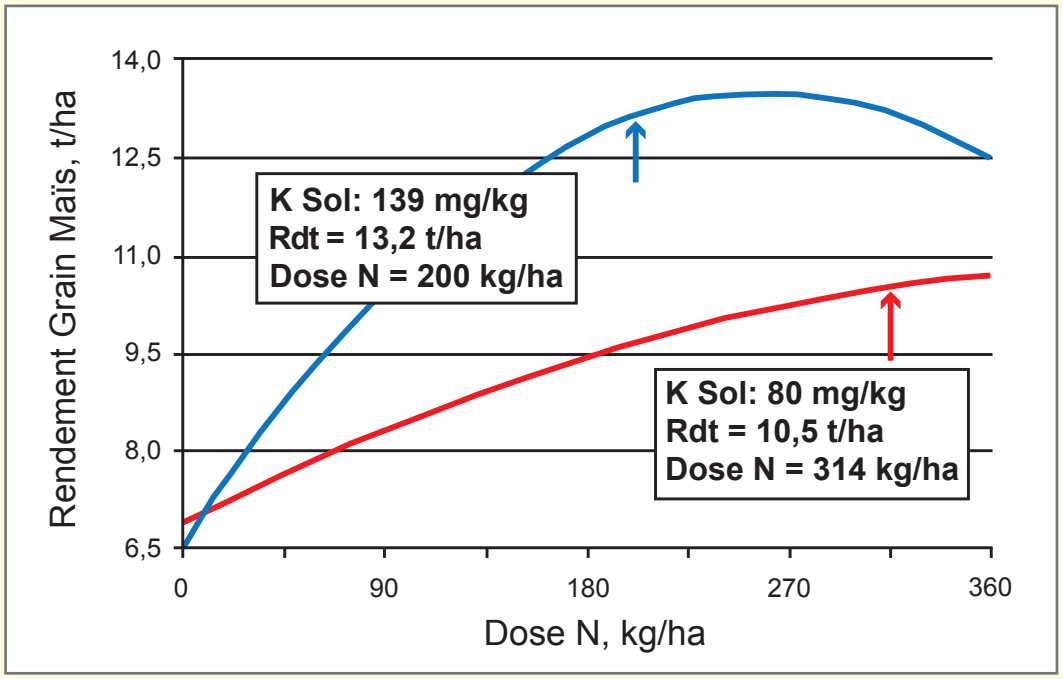
Des inquiétudes sont parfois exprimées concernant le Na dans l'engrais. L'excès de Na dans les sols peut avoir des effets néfastes sur la structure du sol, mais ce risque est minime à des doses typiques de nitrate de sodium. Lorsque le nitrate de sodium est utilisé dans l'agriculture biologique, les apports de Na sont très faibles. Par exemple, l'apport de 15 kg N apporte seulement au sol 23 kg de Na. Le sodium est faiblement retenu dans les sites d'échange cationique du sol en comparaison avec les autres cations, il reste alors libre dans le sol et peut être facilement lessivé par des précipitations typiques ou des irrigations.

Le minerai de nitrate de sodium est un produit d'origine naturelle. Par conséquent, il peut contenir des traces de divers éléments et des composés tels que l'iodate, le borate, le perchlorate, le magnésium, le chlorure et le sulfate.

Usage non agricole. Le nitrate de sodium est un oxydant fort et il est utilisé dans une variété des processus industriels et alimentaires. Par exemple, il est généralement ajouté à briquettes de charbon de bois pour les rendre plus facilement inflammables, et il est utilisé pour la fabrication du verre et dans le traitement des eaux usées. Il est utilisé en tant qu'additif alimentaire dans la viande et le volaille (à ne pas confondre avec le nitrite de sodium, qui est utilisé comme agent de conservation dans les produits de charcuterie). Le nitrate de sodium est combiné avec d'autres matériaux à base de nitrate pour stocker la chaleur des projets solaires thermiques. Les centrales thermiques solaires stockent l'énergie dans les sels de nitrate fondus au lieu de la stocker dans des batteries électriques.

Source: http://www.ipni.net/specifics

Module 3.5-1 Equilibrer la nutrition en N et K est la clé pour l'amélioration de rendement et l'efficacité d'utilisation de N.
Le profit maximum des engrais azotés appliqués a été obtenu uniquement lorsque la carence secondaire de K a été corrigée.
Source: Murrell et Munson. 1999. Better Crops with Plant Food 83(3):28-31.



Soumis par T.S. Murrell, IPNI, USA, Décembre 2011.

Notes

Chapitre 4

PRINCIPES SCIENTIFIQUES SOUTENANT LA BONNE DOSE

Les principes scientifiques fondamentaux qui définissent la bonne dose pour des conditions spécifiques sont les suivants.

- **Considérer la source, le moment, et l'endroit d'application.**
- **Evaluer les besoins de la plante.** Le rendement est directement lié à la quantité d'éléments nutritifs absorbée par les plantes jusqu'à la maturité. Le choix d'un rendement objectif réalisable avec une gestion optimale des nutriments et leurs variabilités spatiales et saisonnières, fournit des orientations importantes pour l'estimation des besoins totaux de la plante.
- **Utiliser des méthodes adéquates pour évaluer l'approvisionnement en éléments nutritifs du sol.** Les pratiques utilisées peuvent inclure l'analyse des sols et des plantes, les expériences dose-réponse, les parcelles d'omission, etc.
- **Evaluer toutes les sources d'éléments nutritifs.** Pour la plupart des exploitations, cette évaluation comprend la quantité et la disponibilité des nutriments dans le fumier, les composts, les biosolides, les résidus des cultures, les dépôts atmosphériques, et l'eau d'irrigation, ainsi que les engrais commerciaux.
- **Prédire l'efficacité d'utilisation des engrais.** Certaines pertes sont cependant inévitables, et pour répondre aux besoins des plantes, ces pertes doivent être considérées.
- **Considérer l'impact des ressources du sol.** Si l'absorption des éléments nutritifs dans un système de culture dépasse les apports, la fertilité du sol diminue à long terme.
- **Considérer l'économie des doses spécifiques.** Pour les éléments nutritifs mobiles dans le sol, la dose la plus économique est celle dont la valeur de la dernière unité apportée est égale à l'augmentation du rendement qu'elle génère (de la loi des rendements décroissants). Pour les éléments non mobiles dans le sol, leur importance pour les cultures futures doit être considérée. Evaluer les probabilités de prédire des doses optimales et économiques et l'effet sur les rendements nets survenant de l'erreur dans la prévision.

Une application excessive ou insuffisante d'un élément nutritif particulier peut avoir des conséquences sur le rendement, l'économie et/ou l'environnement. Lorsque l'engrais ou d'autres sources de nutriments sont relativement moins chers en comparaison avec la valeur de la culture produite, l'incitation à faire une recommandation en éléments nutritifs précise est faible à moins que la culture réponde négativement à des doses excessives (par exemple excès de N provoque la verse des céréales, réduit la teneur en sucre de la betterave, etc.) ou une conséquence aperçue sur l'environnement est reconnue et valorisée (par exemple la contamination de l'eau de surface par P). Toutefois, l'intérêt des producteurs à élaborer des programmes de fertilisation efficaces augmente considérablement en période des prix des nutriments élevés et / ou des prix des cultures baissés.

La loi de Liebig; la loi du minimum déclare que le rendement d'une culture est déterminé par l'élément présent dans le sol en quantité la plus limitative. En d'autres termes, la carence en un élément nutritif ne peut être corrigée par l'excès de l'autre. Ainsi, tous les 17 éléments essentiels à la croissance des plantes doivent être présents en quantités suffisantes pour répondre aux besoins des cultures en croissance. La bonne dose est dépend de la source, du moment et de l'endroit. La source doit libérer la bonne quantité des nutriments sous forme disponible au bon moment et au bon endroit pour répondre aux besoins des plantes en croissance.

4.1 Evaluer les Besoins des Plantes.

Un principe scientifique clé de la sélection de la bonne dose d'engrais est correspondre l'approvisionnement des nutriments aux besoins en éléments nutritifs des plantes. Les besoins en éléments nutritifs se réfèrent à la quantité totale d'éléments nutritifs que la culture absorbe pendant la saison de croissance. Certains éléments nutritifs seront prélevés du

Tableau 4.1 Absorption*** Totale des éléments nutritifs de certaines cultures.

Culture*	Région	---- kg absorbé/t** ----			
		N	P_2O_5	K_2O	S
Luzerne (MS)	Argentine	27	5,7	25	3,5
Orge	Argentine	26	9,2	24	4,2
Chiendent pied de poule	États-Unis	23	6,0	25	
Canole	Chine	43	27	87	
Pois Chiche	Inde	46	8,4	50	
Maïs	États-Unis	18	9,6	25	
Vigne	Chine	5,6	5,2	8,5	
Moutarde	Inde	33	15	11	14
Oranges	Chine	2,6	0,80	3,6	
Pêche	Chine	4,5	1,5	5,0	
Arachides	Inde	63	12	37	3,9
Poire	Chine	5,0	2,0	5,0	
Pois, Vert	Inde	42	15	31	4,3
Pomme de Terre	Chine	4,9	2,1	12	
Riz	États-Unis	16	8,4	24	
Carthame	Inde	39	8,4	22	13
Sorgho	Inde	22	13	34	
Soja	États-Unis	82	18	38	
Betterave à sucre	Chine	4,8	1,4	9,3	
Canne à sucre	Chine	1,8	0,36	2,1	
Tournesol	Argentine	40	25	35	5,0
Tabac	Chine	39	12	71	
Tomate	Inde	2,8	1,3	3,8	
Blé, Printemps	États-Unis	37	13	26	
Blé, Hiver	États-Unis	32	11	33	

* Les coefficients de l'absorption des nutriments rapportés peuvent varier d'une région à l'autre en fonction des conditions de la croissance. Utilisez les données locales autant que possible si disponibles.
**MS = base de la matière sèche; autrement, la teneur en humidité est la norme standard de la convention de commercialisation ou est à la teneur d'humidité mesurée.
***L'absorption totale des nutriments se réfère à la quantité des nutriments accumulée dans la partie aérienne, et les parties récoltées de la plante au moment du prélèvement. Ceci arrive typiquement à la maturité physique ou au moment où l'absorption est maximale.
Dernière modification Mai 2014. Les dernières mises à jour des données d'absorption et d'exportation des éléments nutritifs sont publiées à http://info.ipni.net/IPNI-3296.

sol dans la partie récoltée, tandis que le reste sera retourné au système sous forme de résidus de cultures. Dans certains cas, les quantités absorbées et prélevées sont les mêmes comme c'est le cas des forages récoltés pour le foin, toute la biomasse aérienne est enlevée. Dans d'autres situations, telles que la production des céréales à grains, seulement une partie des nutriments est prélevée du sol.

Les plantes ont besoin de nutriments à des quantités différentes. En général, les macroéléments sont nécessaires à des grandes quantités. Dans les sols à climats tempérés, les macroéléments appelés éléments primaires (N, P et K) souvent limitent le rendement des cultures en comparaison avec les éléments secondaires (Ca, Mg, et S). Cette distinction entre les éléments primaires et secondaires ne peut pas être considérée dans le cas des sols tropicaux. Le besoin total en éléments nutritifs pour une culture donnée peut être estimé en multipliant le coefficient approprié indiqué dans le **Tableau 4.1**, au rendement objectif réalisable. Les oligoéléments sont typiquement exigés en petites quantités.

Plus le rendement est élevé, plus les besoins en nutriments sont grands. Le défi réside dans la détermination du rendement objectif. Certaines lignes directrices utiles sont:

- Le rendement attendu doit être réaliste et ambitieux
- Une approche courante pour définir le rendement objectif est 80% du rendement potentiel (avec l'eau et nutriments non limitants) de la culture dans des conditions climatiques particulières. Les modèles de simulation de la croissance peuvent aider à déterminer le rendement potentiel.
- Une valeur située entre un rendement supérieur à la moyenne et le rendement maximum réalisé récemment sur ce champ spécifique, ou sur un de la production et histoire de gestion similaires, peut être défini comme rendement cible.
- L'établissement d'un cible de 10% supérieur à la moyenne de 3 à 5 années de production ne pas souffrant de perte de rendement sévère due à la sécheresse, à l'excès de précipitation, ou aux parasites est également une méthode couramment suggérée. Cette méthode exige qu'une base de données soit maintenue et que les champs à potentiel de production similaire soient considérés seulement pour faire les estimations.
- Le rendement cible à fertiliser n'est pas fixe à ce rendement dans une année donnée. Souvent, des conditions climatiques favorables permettent des rendements exceptionnels mais aussi, une libération exceptionnelle des nutriments du sol et une efficacité d'utilisation des nutriments anormalement élévée.

Un des défis majeurs de l'utilisation de l'approche basée sur le rendement pour déterminer les doses d'engrais est que les rendements sont connus de varier largement d'une année à l'autre dans un environnement donné et dans la même saison où plusieurs cultures sont pratiquées. La réponse des cultures aux engrais peut aussi varier en fonction de l'environnement indépendamment du rendement potentiel de la culture. Aussi, la dose d'engrais recommandée peut être affectée tant par le rendement potentiel que par la réponse des cultures aux engrais. Les autres facteurs qui sont souvent considérés avec le rendement potentiel pour estimer les besoins en nutriments de la plante sont le système de culture, la productivité du sol, et le rapport des engrais/culture. Les équations et les modèles qui prédisent le rendement et ' des nutriments sont aussi utilisés pour affiner les recommandations des doses de N.

Questions ?

1. Un des sept principes scientifiques fondamentaux qui définit la **bonne dose** pour une série de conditions spécifiques est
   a. d'évaluer toutes les sources de nutriments disponibles.
   b. d'assumer une efficacité d'utilisation des engrais élevée.
   c. de donner plus d'importance à l'économie.
   d. d'apporter autant que la plante exigera.

2. Les macroéléments primaires sont appelés primaires parce qu'ils
   a. prélevés en grande quantités.
   b. le plus souvent limitent le rendement.
   c. étaient les premiers éléments nutritifs découverts.
   d. coûtent plus chers que les éléments secondaires.

3. La loi de minimum de Liebig indique que le rendement des cultures est déterminé par
   a. N, P, et K.
   b. Ca, Mg, et S.
   c. les oligoéléments.
   d. l'élément présent dans les quantités les plus limitantes.

4. Evaluer les besoins des plantes implique le choix d'un rendement cible réalisable parce que
   a. l'absorption des nutriments est proportionnelle au rendement.
   b. le rendement ne peut pas dépasser le rendement cible.
   c. la quantité à apporter doit être égale aux quantités absorbées.
   d. le rendement exceptionnel dû aux conditions climatiques réduit l'efficacité d'utilisation des nutriments.

Tableau 4.2 Facteurs affectant la disponibilité de différents nutriments du sol pour les cultures†.

Facteur	N	P	K	S	Ca et Mg	Micros
pH du Sol	X	X	X	X	X	X
Humidité	X	X	X	X	X	X
Température	X	X	X	X	X	X
Aération	X	X	X	X	X	X
Matière organique du sol	X	X		X	X	X
Teneur en argile	X	X	X	X	X	X
Type d'argile		X	X		X	X
Résidus des cultures	X	X	X	X	X	X
Compaction du sol		X	X			
Etat nutritionnel du sol		X	X		X	
Autres éléments nutritifs		X	X		X	X
Type de culture	X	X		X		X
Capacité d'échange cationique (CEC)			X		X	X
% de saturation CEC					X	

† - Ce tableau donne une liste non exhaustive de facteurs et ne vise qu'à fournir un exemple des facteurs prédominants et des points communs entre les nutriments

4.2 Evaluer l'Approvisionnement des Nutriments en Sol

Une partie des besoins des plantes est satisfaite par le sol. La capacité du sol à apporter les nutriments pour les cultures en croissance dépend de plusieurs mécanismes à savoir:

- La minéralisation et l'immobilisation des éléments nutritifs;
- L'absorption des nutriments du sol et la désorption d'eux au sol;
- Les réactions de précipitation et de dissolution qui règle la concentration des éléments nutritifs dans la solution du sol;
- Les réactions de réduction/d'oxydation qui modifient la spéciation et la solubilité des éléments polyvalents;
- Le mode d'absorption des nutriments par les racines, par l'entremise de l'interception du mouvement en masse ou de diffusion.

La matière organique du sol (MO) contient la plupart des élément nutritifs nécessaires pour la croissance des cultures. Plusieurs de ces éléments se trouvent en petites quantités. Cependant, dans certains systèmes de cultures, la MO peut être la source dominante des nutriments, en particulier N et S. La quantité de la matière organique minéralisée varie selon la teneur et le type de la MO et la présence de conditions favorables pour les microorganismes de décomposition. Ces facteurs rendent aussi très difficile à prédire les quantités d'éléments nutritifs qui seront disponibles pendant la saison de croissance.

Tous les cinq mécanismes indiqués ci-dessus qui influencent l'approvisionnement en éléments nutritifs du sol sont affectés par les caractéristiques physiques du sol telles que la texture, le type et la quantit d'argile, les caractéristiques chimiques telles que le pH, et les conditions climatiques, notamment la température, l'humidité et l'aération. **Tableau 4.2** énumère plusieurs facteurs qui affectent la disponibilité de divers éléments nutritifs du sol pour les plantes.

Le meilleur moyen de déterminer la contribution du sol en éléments nutritifs est l'analyse de sol. Des renseignements détaillés sur l'échantillonnage et les analyses du sol sont présentés dans le chapitre 8. Bien que les analyses du sol soient efficaces pour déterminer la bonne dose d'engrais, elles ne sont pas souvent disponibles ou pratiqués dans plusieurs régions au monde à cause du manque d'infrastructure. L'analyse du sol n'est pas toujours un outil fiable pour estimer la disponibilité de certains nutriments qui sont plus mobiles dans le sol tels que N et S et surtout dans les zones humides et à précipitations élevées. Dans ces conditions, la réponse des cultures dans les expérimentations sur les parcelles manquant certains nutriments (omission plot) peut être utilisée comme un indicateur de la teneur en éléments nutritifs du sol. Le rendement de la parcelle dont un élément particulier a été omis (autres nutriments limitants sont apportés à des quantités suffisantes), fournit une estimation indirecte de la capacité du sol à apporter l'élément nutritif, tandis que la différence de rendement entre les parcelles totalement fertilisées et les parcelles dont un élément nutritif est omis se rapproche de la réponse potentielle à l'apport de l'élément nutritif en question.

Tableau 4.3 Matière sèche et composition en éléments nutritifs approximative de certains fumiers des animaux. (Source Havlin et al., 2005)

Type de Bétail	Système de gestion de déchets	Matière sèche, %	Nutriment, kg/tonne			
			N		P_2O_5	K_2O
			Disponible*	Total†		
Systèmes de manipulation des solides						
Porc	Sans litière	18	3	5	4,5	4
	Avec litière	18	2,5	4	3,5	3,5
Bovin de boucherie	Sans litière	15	2	5,5	3,5	5
	Avec litière	50	4	10,5	9	13
Vache laitière	Sans litière	18	2	4,5	2	5
	Avec litière	21	2,5	4,5	2	5
Volaille	Sans litière	45	13	16,5	23	17
	Avec litière	75	18	28	22,5	17
	Fosse profonde (compost)	76	22	34	32	22,5
Systèmes de manipulation des liquides						
Porc	Fosse liquide	4	10	18	13,5	9,5
	Fosse d'oxidation	2,5	6	12	13,5	9,5
Bovin de boucherie	Lagune	1	1,5	2	1	0,2
	Fosse liquide	11	12	20	13,5	17
Vache laitière	Fosse d'oxidation	3	8	14	9	14,5
	Lagune	1	1	2	4,5	2,5
Volaille	Fosse liquide	8	6	12	9	14,5
	Lagune	1	1,2	2	2	2,5
	Fosse liquide	13	32	40	18	48

*Principalement NH_4^+-N,qui est disponible pendant la période de croissance. † - NH_4^+-N plus N organique qui est libéré lentement.
Source: Sutton et al., 1985, Univ. of Minn. Ext. Bull. AG-FO-2613

4.3 Evaluer Toutes les Sources des Nutriments Disponibles

Lors de la sélection de la bonne dose d'engrais, il faut considérer la contribution de toutes les sources d'éléments nutritifs disponibles. Certaines de ces sources comprennent les sources autochtones (celles qui ne sont pas appliquées au sol comme les résidus de cultures et les engrais verts), le fumier de ferme, le compost, les biosolides, les dépôts atmosphériques, et l'eau d'irrigation. La quantité et la disponibilité des nutriments aux plantes dans ces sources peuvent varier largement et peuvent être difficiles à estimer. Toutefois, des efforts doivent être faits pour en tenir compte. La teneur moyenne en éléments nutritifs de certains fumiers des animaux est présentée dans le **Tableau 4.3**; celles-ci varient considérablement selon la région et l'exploitation, et il est généralement préférable d'utiliser des données et des analyses de laboratoire produites localement sur le matériel à utiliser.

La fixation symbiotique de N par les légumineuses est considérée comme la source autochtone de N la plus importante dans le sol. La plupart des guides pour la gestion des nutriments font des ajustements de la dose de N pour les cultures en rotation avec les légumineuses. Toutefois, la quantité de N fixé et sa disponibilité pour les cultures futures sont assujetties à des variations importantes à cause d'un certain nombre de facteurs. Les valeurs estimées des quantités de N fixé annual en fonction de différentes légumineuses sont reportées dans le **Tableau 4.4**. Si la présence des légumineuses peut influencer la décision de la dose de N pour la culture suivante, la performance de la culture de légumineuses, y compris la nodulation, le rendement et l'azote résiduelle, est directement liée à une fertilisation appropriée d'autress nutriments, en particulier P et K.

Questions ?

5. Le meilleur outil pour évaluer l'apport du sol en nutriments est l'analyse du sol parce que
   a. la disponibilité d'analyse de sol fiable se trouve partout dans le monde.
   b. l'analyse de sol peut être efficace en déterminant de la bonne dose d'engrais.
   c. les analyses de sol fiables pour N sont disponibles pour les zones à précipitation élevée.
   d. l'analyse de sol prédit l'interception des nutriments par les racines.

6. Les apports nutritifs autochtones comprennent
   a. des biosolides.
   b. des composts.
   c. résidus de cultures.
   d. de l'eau d'irrigation.

7. La fixation symbiotique de N est une source de N autochtone et importante dans le sol parce que
   a. les microorganismes du sol fixent N pour toutes les cultures.
   b. les légumineuses peuvent fixer de grandes quantités de N.
   c. les légumineuses peuvent fixer de grandes quantités de P et K.
   d. la culture suivant la légumineuse a besoin de plus de N.

Tableau 4.4 Les gammes estimées de la fixation de N annuelle en fonction de différentes légumineuses.

Légumineuse	N fixé, kg/ha/an
Luzerne	150-250
Trèfle	100-150
Vèsce	50-150
Soja	50-150
Haricot sec	30-50
Pois fourrager	3-250
Lentilles	3-190
Arachides	35-200

Les valeurs présentées sont des moyens de plusieurs sources, les estimations locales sont à utiliser pour determiner la dose d'apport.

Les résidus de cultures contiennent des quantités importantes d'éléments nutritifs. Le recyclage de ces résidus contribue à l'apport indigène du sol en éléments nutritifs. Autrement, les résidus récoltés conduisent à l'appauvrissement du sol en nutriments et en particulier le K, et dovient être considérés comme un composant négatif dans l'équilibre nutritif. Outre sa contribution à la teneur en éléments nutritifs dans le sol, le recyclage des résidus de plantes améliore également la teneur en carbone organique, du sol l'humidité et le régime thermique du sol, ainsi que la structure du sol, et il aide à lutter contre l'érosion. Les quantités moyennes de nutriments prélevées par la paille et les tiges de plusieurs cultures sont présentées dans le **Tableau 4.5**. La quantité d'éléments nutritifs dans les résidus de cultures prélevée du champ peut varier en fonction de la précipitation et des intempéries auxquelles elle a été exposée, et à d'autres facteurs tels que la hauteur de la coupe à la récolte.

Les cultures couvre-sol comprennent une grande variété d'espèces végétales (le plus souvent les graminées et légumineuses) qui sont semées en rotation avec les cultures maraichères ou en cultures intercalaires dans les vergers et les vignobles. Elles peuvent aider à réduire l'érosion et le lessivage des nitrates et contribuer à la nutrition des cultures suivantes après la décomposition. Les légumineuses comme les cultures couvre-sol apporteront plus d'azote par l'entremise de la fixation biologique. La quantité de N fixée dépend de nombreux facteurs, mais les quantités de N fixé des cultures couvre-sol seront inférieures à celles indiquées dans le **Tableau 4.4**, parce que la période de croissance et la biomasse accumulée pour les cultures couvre-sol sont généralement inférieurs à ceux d'une culture de saison complète. La contribution en éléments nutritifs des sources autochtones aux cultures est très variable et il faut utiliser des guides locaux lorsqu'il est possible pour ajuster les doses d'engrais à recommander.

4.4 l'Efficacité de l'Utilisation d'Engrais

L'efficacité de l'utilisation d'engrais (EUE) est un facteur important dans la détermination de la bonne dose. Le thème général de l'utilisation efficace des éléments nutritifs

est présenté plus en détail dans le chapitre 9. Toutes les équations utilisées pour calculer la bonne dose font une hypothèse explicite ou implicite sur l'EUE. Même avec les bonnes pratiques de gestion basées sur la Gérance des nutriments 4B, les quantités de fertilisants utilisées par les plantes seront inférieures de 100%. Malgré les efforts déployés par les agriculteurs pour minimiser les pertes et pour améliorer l'efficacité de l'utilisation, certains nutriments apportés seront utilisés par les organismes du sol notamment, lorsque la teneur en matière organique du sol accroît. L'efficacité de l'absorption d'éléments nutritifs est souvent affectée par les besoins du sol et les mécanismes de perte qui existent dans tous les sols. L'efficacité de l'utilisation d'engrais varie également en fonction de facteurs propres au site, notamment les conditions météorologiques, le type de sol et le système de cultures. C'est la raison pour laquelle des ajustements devraient être inclus lors de la détermination des doses d'engrais à apporter. L'objectif majeur de la Gérance des nutriments 4B est d'utiliser des pratiques qui intègrent le bon endroit, la bonne source et le bon moment dans un système de cultures bien géré pour avoir une bonne EUE afin d'estimer la bonne dose.

Une méthode de calcul de l'EUE, est l'efficacité agronomique (EA). L'efficacité agronomique est le taux d'augmentation du rendement par unité d'engrais apportée. L'équation est calculée comme le suit:

$$\mathbf{AE = (Y-Y_0)/F}$$

Si:
1) Y est le rendement avec l'apport de l'élément nutritif fertilisant;
2) Y_0 est le rendement sans apport de l'élément nutritif fertilisant en question;
3) F est la quantité de l'élément fertilisant apportée.

Une gamme typique de l'EA: 10-25; >20 dans les systèmes bien gérés, à des doses du nutriment faibles par rapport à l'optimum, ou à une faible approvisionnemnt en éléments nutritifs du sol.

Considérer une culture avec un rendement réalisable de 9500 unités. Les résultats des parcelles d'omission indiquent que l'EA pour N (EA_N) au site est de 20 (20 unités d'augmentation de grain par unité de N apportée) et on s'attend à ce qu'un rendement de la parcelle sans N soit 6000 unités. Les unités du rendement et de l'engrais doivent être les mêmes. La dose de l'engrais azoté est calculée comme e suit:

Engrais N = (Rendement réalisable – Rendement de la parcelle sans N)/EA_N. En utilisant les chiffres ci-dessus, la dose de N recommandée sera:

Engrais N = (9500-6000)/20 = 175 unités

Une autre méthode de calculer l'EUE, est l'efficacité de récupération (ER). L'efficacité de récupération (ER) est l'augmentation de l'absorption des nutriments par la partie aérienne de la culture en proportion avec la dose apportée. Elle est calculée comme le suit:

Questions ?

8. Si une étude de parcelle d'omission d'un nutriment est effectuée, et Y = 9000 kg/ha, Y_0 = 7500 kg/ha et EA_N = 15, quelle est la dose de N en kg/ha à recommander pour la même culture et sous les mêmes conditions du champ?
   a. 50.
   b. 100.
   c. 150.
   d. 200.

9. L'efficacité de récupération typique pour l'engrais azoté appliqué aux céréales est
   a. 10 to 25%.
   b. >20% dans les systèmes bien gérés.
   c. 30 to 50%.
   d. 50 to 80%.

10. A long terme, les niveaux des éléments nutritifs disponibles sont maintenus à leur optimum dans la plupart des sols quand la quantité de l'élément nutritifs apportée
   a. dépasse la quantité absorbée par la culture.
   b. est inférieure à la quantité absorbée par la culture.
   c. égale à la quantité prélevée par la culture.
   d. égale à la quantité absorbée par la culture.

$$\mathbf{RE = (U-U_0)/F}$$

Si:
1) U est l'absorption totale du nutriment par la biomasse aérienne de la culture avec l'apport de l'élément nutritif;
2) U_0 est l'absorption totale du nutriment par la biomasse aérienne de la culture sans apport de l'élément nutritif;
3) F est la quantité de l'élément nutritif fertilisant apportée.

Cette équation peut être réorganisée pour permettre le calcul de la dose des nutriments comme le suit: F = (U-U_0)/RE. Comme dans le cas de l'exemple précédent, les rendements des parcelles d'omission peuvent être utilisés, mais dans ce cas les rendements doivent être convertis en valeur d'absorption par unité de rendement comme celles indiquées dans le tableau **Tableau 4.1**. La gamme typique des valeurs de l'ER de N apporté aux céréales est de 0,3 à 0,5 (30 à 50%). Cette gamme peut être améliorée à 0,5 – 0,8 (50 – 80%) par l'application de bonnes pratiques de gestion. En utilisant les rendements de l'exemple précedent, en assumant 0,0215 unités de N absorbée par unité de rendement et une ER de 0,50; la dose d'engrais est calculée comme le suit:

Tableau 4.5 Les éléments nutritifs prélevés*** pour certaines cultures.

	Prélèvement, kg/t**			
Culture*	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**S**
Luzerne (MS)	26	6,0	25	2,7
Trèfle hybride (MS)	21	5,5	27	1,5
Herbe bahia	22	6,0	18	
Orge, grain	21	8,3	6,7	1,9
Orge, paille par t de grain	8,3	3,3	25	2,1
Orge, paille	6,5	2,6	20	1,5
Haricot (sec)	50	13	15	8,7
Chiendent pied de poule	23	6,0	25	
Lotier corniculé (MS)	23	5,5	21	
Pâturin (MS)	15	6,0	23	2,5
Brome (MS)	16	5,0	23	2,5
Sarrasin	17	5,0	4,4	
Canole, grain	32	16	8,0	5,0
Maïs, grain	12	6,3	4,5	1,4
Ensilage de maïs (67% eau) par t de grain	29	9,1	21	3,2
Ensilage de maïs (67% eau)	4,9	1,6	3,7	0,55
Maïs, canne par t de grain	8,0	2,9	20	1,3
Maïs, canne	8,0	2,9	20	1,3
Coton (fibre)	64	28	38	
Coton, tige	9,4	3,3	11	
Fétuque (MS)	19	6,0	27	2,9
Lin, grain	45	13	11	3,4
Lin, paille	13	2,9	39	2,7
Millet, grain	28	8,0	8,0	1,6
Millet, paille	7,7	2,2	20	
Huile de menthe	1 900	1 100	4 500	
Avoine, grain	24	8,8	5,9	2,2
Avoine, paille per t de grain	9,7	5,0	29	3,4
Avoine, paille	6,0	3,2	19	2,3
Dactyle pelotonné (DM)	18	6,5	27	2,9
Arachides, noix	35	5,5	8,5	
Arachides, canne	16	3,4	12	
Pomme de terre, Tubercules	3,0	1,5	6,5	0,30
Pomme de terres, tiges et feuillage en surface	1,9	0,60	5,3	0,20
Trèfle rouge (MS)	23	6,0	21	1,5
Alpiste roseau (MS)	15	6,6	13	
Riz, grain	13	6,7	3,6	
Riz, paille	8,3	2,7	21	
Sègle, grain	25	8,2	5,5	1,8
Sègle, paille par t de grain	14	3,8	27	2,5
Sègle, paille	6,0	1,5	11	1,0
Ray-grass (MS)	22	6,0	22	
Sorgho, grain	13	7,8	5,4	1,2

	Prélèvement, kg/t**			
Culture*	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**S**
Sorhgo, canne par t de grain	11	3,2	17	2,4
Herbe du Soudan	14	4,2	21	3,0
Herbe du Soudan (MS)	15	4,8	17	2,9
Soja, grain	55	12	20	3,0
Soja, foin (MS)	23	5,5	13	2,5
Soja, canne par t de grain	18	4,0	17	2,8
Soja, canne	20	4,4	19	3,1
Betterave à sucre, tubercule	1,9	1,1	3,7	0,23
Betterave à sucre, feuillage	3,7	2,0	10	0,20
Canne à sucre	1,0	0,65	1,8	
Tournsol, grain	27	9,7	9,0	2,5
Tounsol, canne par t de grain	28	2,4	41	6,0
Tounsol, canne	12	1,0	17	2,5
Panic raide (MS)	11	6,0	29	
Fléole (MS)	13	5,5	21	1,.0
Tomates	1,3	0,46	2,9	
Tabac, feuilles	36	9,0	57	6,0
Vesce (MS)	29	7,5	25	
Blé, paille par t de grain	12	2,7	20	2,3
Blé, paille	7,6	1,9	15	2,7
Blé de printemps, grain	25	9,5	5,5	1,7
Blé d'hiver, grain	19	8,0	4,8	1,7

* Les coefficients de l'absorption des nutriments rapportés peuvent varier d'une région à l'autre en fonction des conditions de la croissance. Utilisez, les données locales autant que possible si disponible.
**MS = base de la matière sèche; autrement, la teneur en humidité de la norme standard est la convention de commercialisation ou la teneur d'humidité mesurée.
*** Le prélèvement des nutriments se réfère à la quantité des nutriments prélevés du champ au moment de récolte.
Dernière modification Mai 2014. Les dernières mises à jour des données d'absorption et d'exportation des éléments nutritifs sont publiées à http://info.ipni.net/IPNI-3296.

Un exemple d'utilisation du **Tableau 4.5** pour estimer la quantité à apporter pour maintenir la fertilité du sol, fait: 10 t/ha de maïs prélèvent 63 kg P_2O_5 du sol (10 x 6,3=63). Donc, la quantité exigée pour maintenir la fertilité du sol en P_2O_5 sera 63 kg/ha

Tableau 4.6 Variation du prélèvement des nutriments par la partie récoltés du maïs, soja, et blé en Missouri, États-Unis (Nathan, 2011).

	Prélèvement, kg/t								
	Maïs			**Soja**			**Blé**		
	N	**P_2O_5**	**K_2O**	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**
Moyen	12	6,2	4,5	46,8	11,5	18,5	18,5	8,0	5,2
Médian	12	6,1	4,3	45,7	11,7	18,7	18,7	8,2	5,0
Minimum	7,0	4,1	2,1	32,8	7,0	12,3	12,2	5,0	3,3
Maximum	17,3	10,4	7,7	61,8	14,8	22,3	25,2	11,0	7,8
CV, %	13,0	17,1	23,4	11,8	14,1	10,6	14,4	13,3	17,5
Nombre	511	509	512	269	270	267	177	179	174

Les échantillons de grains prélevés dans tous les comtés de l'état pendant 3 ans. Deux-tiers des échantillons se situent entre plus et moins un CV à partir de la moyenne.

Engrais N = ((9500 x 0,0215)-(6000 x 0,0215))/0,50 = 150 unités

4.5 Considérer les les Ressources en Sol

La qualité des ressources du sol est affectée par la nutrition des plantes par plusieurs façons. Premièrement, lorsque les nutriments sont présents à des niveaux qui optimisent la croissance des plantes, la contribution des plantes en carbone organique est plus grande que si la croissance est limitée par un nutriment. Le carbone contribue à maintenir, améliorer, ou ralentir l'épuisement de la MO du sol, qui joue un rôle important dans le maintien de la structure du sol. Par conséquent, ceci influence la capacité de retenir l'eau ainsi que plusieurs autres propriétés importantes pour la croissance des plantes. Deuxièmement, plusieurs nutriments sont retenus dans le sol, et la dose de leur apport affecte leur disponibilité dans le sol au fil de temps.

Les éléments nutritifs retenus dans le sol comportent le P et K, et la plupart des éléments nutritifs rapportés par les analyses du sol (voir chapitre 8 pour plus des renseignements sur l'analyse de sol). Lorsque les sols sont pauvres en éléments nutritifs, les quantités à apporter peuvent être considérablement supérieures aux quantités absorbées par les plantes pour fournir un rendement optimum. Par contre, dans les sols riches, des quantités inférieures à celles absorbées par les plantes peuvent suffire. Lorsque la teneur en nutriments des sols est adéquate ou optimale, il est supposé que ces teneurs seront maintenues tant que les quantités apportées sont égales aux quantités prélevées par la culture. Le **Tableau 4.5** présente le coefficient d'absorption des nutriments pour certaines cultures. Bien que le **Tableau 4.5** présente les valeurs typiques des cultures répertoriées, les valeurs réelles peuvent varier considérablement comme illustré dans le **Tableau 4.6**. Pour cette raison, il faut utiliser les données locales autant que possible.

Certains sols peuvent nécessiter des apports qui sont supérieurs ou inférieurs aux quantités absorbées par les plantes pour maintenir les niveaux d'analyse du sol souhaités. Des exemples du premier cas sont notamment les sols qui fixent le P ou K, soit par absorption, soit par précipitation chimique, ou soit par piégeage (occlusion) entre les couches d'argile. D'autres sols peuvent être dans un état de minéralisation nette de P ou K à partir des minéraux du sol, ou de la partie organique. Pour cette raison, il est normalement recommandé d'analyser les sols tous les 3 à 5 ans pour les éléments nutritifs non mobiles comme P et K afin de déterminer si les teneurs du sol sont en effet maintenues au niveau souhaité. L'analyse du sol permet de déterminer si les doses des nutriments apportées devraient être supérieures, égales ou inférieures aux quantités absorbées par la culture récoltée.

4.6 l'Economie da la Dose Spécifiques

La dose économique optimale du nutriment (DEON) définit la dose du nutriment qui génère le plus grand revenu de la culture pour l'élément nutritif appliqué. Cette dose est généralement inférieure à la dose agronomique optimale du nutriment (DAON) qui est la dose minimale qui génère un rendement maximum de la culture et diminue si le coût des intrants augmente et le prix de la récole reste inchangée. Inversement, si la valeur de la récolte augmente et le coût des intrants reste stable, la DEON sera proche de la DAON. Souvent, des fluctuations de prix des récoltes et des engrais se produisent simultanément, le rapport entrées et sorties reste le même, et la DEON n'est pas affectée d'une manière significative.

L'approche généralement utilisée pour les éléments nutritifs comme N et S qui sont mobiles dans le sol et ne sont pas transférés d'une année à l'autre est d'atteindre la DEON. Par contre, les avantages de l'apport des éléments immobiles comme P et K qui sont transférés d'une année à l'autre, sont à long terme, et l'investissement est généralement amorti sur plusieurs années. Les doses apportées pour construire la fertilité des sols sont généralement au-dessus de la DEON pour une année de production, mais deviennent plus économiques sur une période plus longue lorsque les productions des années suivantes sont considérées.

La plus grande souplesse dans les choix de la source, de la dose, du le moment et de l'endroit fait partie des avantages de la construction de la fertilité des sols à des niveaux optimaux. Cette souplesse permet aux agriculteurs de profiter des conditions de marché et des fluctuations des prix des engrais. Les valeurs élevées des rapports (coûts élevés des intrants par rapport à la valeur des récoltes) augmentent l'intérêt de l'utilisation de bonnes pratiques de gestion pour déterminer les doses d'engrais nécessaires pour optimiser le rendement et la rentabilité des cultures. Les faibles valeurs des rapports (faible coût des intrants par rapport à la valeur des récoltes), conduisent souvent à un faible risque de la rentabilité. Toutefois, le risque environnemental associé à des applications excessives d'éléments nutritifs est élevé. Voir la partie 8.5 pour plus de détails.

Dans tous les scénarios économiques, la gestion des risques est mieux réalisée en suivant les principes scientifiques pour le choix de la bonne dose d'engrais. **4B**

RÉFÉRENCES

IPNI. 2005. Nutrients Removed in Harvested Portion of Crop. Norcross, GA. [En-ligne].

Havlin, J.L. et al. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th edition. Pearson Prentice Hall. NJ, USA.

Ladha, J.K. et al. 2005. Advances in Agronomy 87: 85-176.

Nathan, M. 2011. Improving accuracy of nutrient removal estimates status report. University of Missouri, Colombia.

Module 4.1-1 Le besoin en engrais azoté pour le blé et le maïs en Argentine est mieux déterminé par l'évaluation de N disponible dans le sol avant le semis. En fait, l'évaluation de N minéral disponible avant le semis est un outil utile pour déterminer les besoins en engrais de N dans les régions subhumides et semi-arides dans le monde entier. Dans une zone particulière, il faut estimer la teneur en N disponible du sol au semis au-dessus de laquelle aucune réponse aux engrais de N n'est attendue. Cette méthodologie a été calibrée avec succès dans plusieurs zones de la région Pampas de l'Argentine pour le blé et le maïs. Les doses d'engrais azotés (DN) sont estimées à partir de la différence entre la demande de la culture en N (NREQ) et la quantité de NO_3^- - N déterminés avantle semis: DN = NREQ - X

Si: DN est la dose de l'engrais N à apporter, NREQ est le besoin de la culture en N, et X est la teneur en NO_3^--N du sol à 60cm de profondeur.

Dans la **Figure 1**, si la teneur I en N du sol au semis est 70 kg/ha NO_3^--N, le rendement estimé sera 7700 kg/ha. Donc, si le rendement réalisable dans un champ particulier est 10000 kg/ha, le NREQ de 150 kg/ha de N disponible doit être atteint, et la dose recommandée est 80 kg/ha d'engrais azoté.

Le NREQ pour le blé et le maïs en fonction des rendements cibles pour les différents sols et climats sont présentés dans le **Tableau 1**.

Source: Bianchini A., F. Garcia, and R. Melchiori. 2008. In J. Hatfield and R. Follet (Eds.). Nitrogen in the environment: Sources, problems, and management. Elsevier - Academic Press, San Diego, CA. USA pp 105-124.

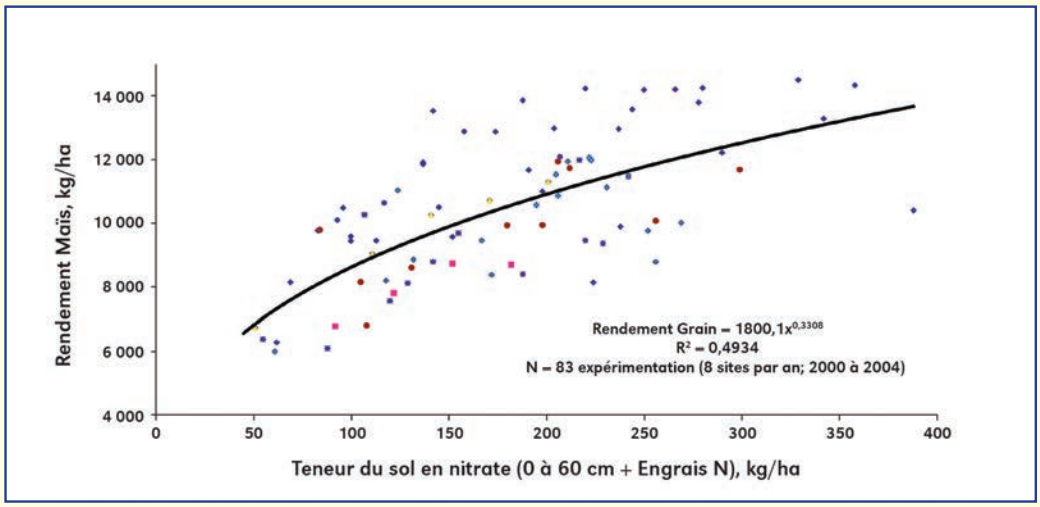


Figure 1. La relation entre la teneur en N du sol et le rendement du maïs pour 83 essais au champ pour 8 ans, (2000 à 2004) au Centre de Pampas.

Tableau 1. Les rendements attendus correspondent aux besoins en N pour différentes zones.

Zone	NREQ, (NO_3^--N, 0-60 cm)	Rendement cible	Référence
	------- kg/ha -------		
	Blé		
Sud-Est de Buenos Aires	125	3 500	González Montaner et al., 1991
Sud-Est de Buenos Aires	175	5 000-5 500	González Montaner et al., 2003
Centre et Sud de Santa Fe	92	3 500-4 000	Salvagiotti et al., 2004
Sud de Santa Fe et Córdoba	100-150	3 200-4 400	García et al., 2006
	Maïs		
Nord de Buenos Aires	150	9 000	Ruiz et al., 2001
Nord de Buenos Aires	150-170	10 000	Alvarez et al., 2003
Centre et Sud de Santa Fe	135 162	< 9 500 > 9 500	Salvagiotti et al., 2004
Sud de Santa Fe et Córdoba	150-200	10 000-11 000	Nutrition network CREA Southern Santa Fe, 2009

Soumis par: F. Garcia, IPNI, Argentina, Septembre 2011.

Module 4.1-2 Calculer les doses d'engrais pour les céréales utilisant les données des parcelles d'omission d'élément nutritif. L'approche de parcelles d'omission d'élément nutritif pour calculer les doses d'engrais pour les céréales (riz, blé, maïs) utilise les rendements de grain obtenus des parcelles dans lesquelles l'élément nutritif question est manquant et des parcelles dans lesquelles l'élément nutritif est apporté à des niveaux adéquats. Les autres éléments sont présents à des niveaux non limitants. Le rendement du témoin (sans apport) est utilisé comme une estimation indirecte de la capacité du sol à fournir l'élément nutritif en question. La différence entre les rendements de grains des parcelles fertilisées et non fertilisées peut être utilisée pour estimer la dose d'engrais exigée pour les différents rendements cibles.

Tableau 1. Rendement du blé d'hiver dans les parcelles d'omission en Inde.

Traitement	Rendement, kg/ha
1. Dose optimale de N, P et K	5 556
2. N omis; dose optimale de P et K	1 667

Étant donné que la dose optimale de N apportée était de 150 kg/ha, l'efficacité agronomique (EA_N) pour l'exemple du **Tableau 1** est (6556 -1667)/150 ou 26 kg de grains par kg de N apporté.

Si on suppose que les autres sols de la région ont la même capacité de fournir le N, et ont la même efficacité agronomique pour le N, les doses d'engrais azoté à recommander pour des différents rendement cibles sont présentées dans le **Tableau 2**. Si une parcelle d'omission est conduite dans ma région avec une culture différente précédante et a donné un rendement similaire au champ N° 3 ci-dessous, cette information peut être utilisée pour calculer les doses.

Tableau 2. Calcul de dose pour trois exemples de champs de blé d'hiver.

Champ #	Rendement cible, kg/ha	Rendement parcelle d'omission, kg/ha	Doses de N calculées, kg/ha
1	6 500	1 667	(6 500 – 1 667)/26 = 186
2	4 500	1 667	(4 500 – 1 667)/26 = 109
3	6 500	2 500	(6 500 – 2 500)/26 = 154

En comparaison avec les données obtenues des plusieurs études, l'efficacité agronomique (EA_N) calculée à partir des données dans le **Tableau 1** est relativement élevée (voir la partie 4.4 et la **Tableau 3**). Les recommandations sont plus exactes si les données locales sont utilisées dans le calcul.

Tableau 3. Gammes observées de l'EA_N pour les céréales dans certaines essais en Inde.

Culture	N apporté seul[1]	N avec beaucoup de P et K[1]	Pratique d'agriculteur, Punjab[2]	Gestion des nutriments propreau site
Maïs	4-7	7-14	–	26-28[3]
Blé	7-12	17-24	–	20-28[3]
Riz	7-12	14-23	8-10	22-34[4]

[1] Biswas, P.P. and P.D. Sharma. 2008. Indian J. Fert. 4(7):59-62.
[2] Khurana, H.S. et al., 2007. Agron J. 99:1436-1447.
[3] IPNI Unpublished data, 2011.
[4] Singh, B. et al. 2012. Field Crops Research 126:63-69.

L'approche de parcelles d'omission d'élément nutritif peut être une bonne alternative à une approche basée sur les analyses du sol, dans les régions où les services fiables d'analyse du sol ne sont pas disponibles. Cette situation est courante dans les pays en voie de développement.

Soumis par: K. Majumdar, IPNI, India, Janvier 2012.

Module 4.6-1 La dose optimale économique de N pour le coton en sol limoneux argileux dans l'Alabama ne varie pas beaucoup avec les variations des prix. Dans cet exemple, même si les prix du coton et du N varient considérablement, le rapport prix/coût reste relativement constant et la DOEN est relativement stable. **Adapté du:** Snyder, C.S. et W.M. Stewart. 2005. Using the most profitable nitrogen rate in your cotton production system. [En-ligne].

	Prix du Coton			
Prix du N	**$ 1,15/kg**	**$ 1,37/kg**	**$ 1,58/kg**	**$ 1,81/kg**
($/kg)	Dose optimale économique de N, kg/ha			
1,10	91	94	96	99
1,21	88	92	95	97
1,32	87	91	93	96
1,43	85	88	92	95
1,54	83	86	91	94
1,65	81	85	90	93

Soumis par: S. Phillips, IPNI, USA, Septembre, 2011.

Module 4.6-2 Les doses optimales économiques de N pour maïs varient peu avec les conditions du marché pour une période de 10 ans. Dans les régions du centre-ouest et nord-ouest de l'Indiana, la dose moyenne requise d'enlever les limites de N pour le maïs, suivant la culture de soja a été estimée à 192 kg N/ha. La dose optimale économique, est définit comme la dose qui contribue à une augmentation de rendement de grains suffisante de s'autofinancer. Elle dépend du rapport des prix et est en général inférieure. Entre 2000 et 2009, le rapport de prix entre l'engrais de N et les grains de maïs (exprimé en $/t de N divisé par $/t de grain) varie entre 5 et 10 (un rapport plus élevé reflète le coût relativement élevé des engrais). Les doses recommandées (kg/ha) dans cette gamme de rapports de prix varient comme le montré dans le tableau ci-dessous. **Adapté du:** Camberato et al. 2011. Nitrogen management guidelines for Indiana. [En-ligne].

	Prix du grain, $/tonne					
N, coût/tonne	**$110**	**$130**	**$150**	**$170**	**$190**	**$210**
$440	181	183	184	185	185	186
$660	177†	178	180	181	183	183
$880	171	175	177	178	179	180
$1 100	167	170	173	175	177	178
$1 320	162	166	169	171	174	175
$1 540	156	162	166	168	170	172
$1 760	152	158	162	165	168	170
$1 980	148	153	158	162	165	167
$2 200	142	149	155	159	162	165

† Les valeurs mises en evidence représentent la DOEN recommandée (kg/ha) aux rapports de prix (éxprimés en $/t N divisé par $/t grain) entre 5 et 10.

Soumis par: S. Phillips, IPNI, USA, Septembre, 2011.

Notes

Chapitre 5

PRINCIPES SCIENTIFIQUES SOUTENANT LE BON MOMENT

Les principes scientifiques fondamentaux qui définissent le bon moment d'apport dans des conditions spécifiques sont les suivants.

- **Considérer la source, la dose et l'endroit d'application.**
- **Evaluer les périodes d'absorption par les plantes.** Les nutriments doivent être apportés pour coïncider avec les périodes de demande des cultures, qui dépendent de la date de semis, des caractéristiques de croissance de la culture, de la sensibilité aux carences à un stade de croissance donné, etc.
- **Evaluer la dynamique de l'approvisionnement en nutriments du sol.** La minéralisation de la MO fournit de grande quantité de certains éléments nutritfits, mais si les périodes d'absorption ne coïncident pas avec la libération des nutriments, des carences peuvent limiter la productivité.
- **Reconnaitre la dynamique des pertes d'éléments nutritfits du sol.** Par exemple, dans les régions tempérées, les pertes par lessivage ont tendance à être plus fréquentes au printemps et à l'automne.
- **Evaluer la logistique des activités de champ.** Par exemple, des applications multiples des nutriments ne peuvent pas être combinées avec celles des pesticides. L'apport des nutriments ne doit pas retarder les activités dépendant du temps telles que la période du semis.

5.1 Evaluer les Périodes d'Absorption par les Plantes

L'évaluation de la dynamique et des modèles d'absorption d'élément par les plantes peut être un facteur important dans la détermination du moment approprié d'apport d'éléments

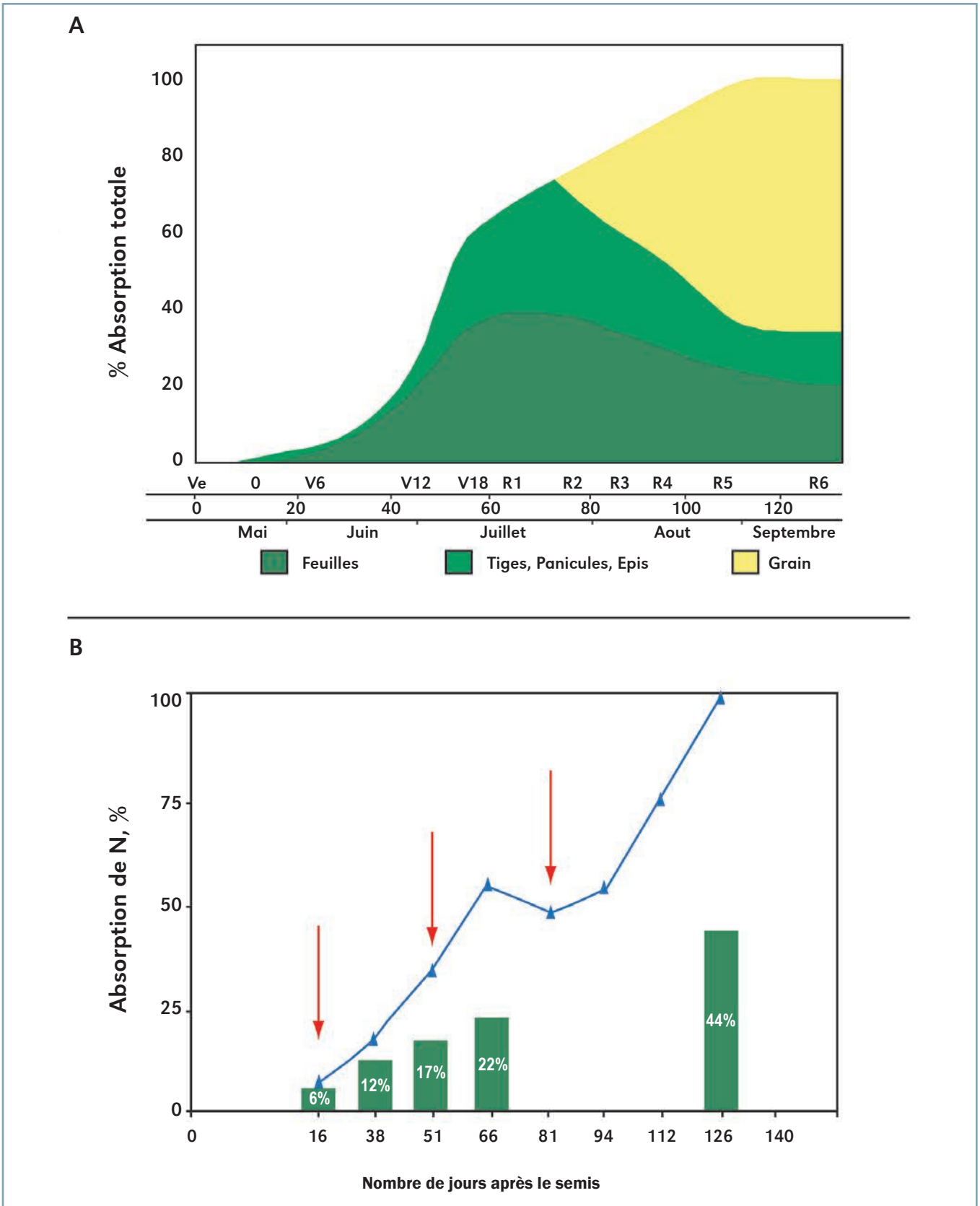


Figure 5.1 L'absorption cumulée de N par le maïs divisée par les organes de la plante (A), et l'absorption cumulée de N dans les périodes de la demande maximale (colonnes verts) et la moment d'apport recommandé (flèches rouge) pour le riz (B). **Sources: A) Adapté du** How a Corn Plant Develops, Iowa State University Special Report No. 48, November 2008; **B) Adapté du :** Bertsch F. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas 57:1-10. 2005).

nutritifs. L'absorption des éléments majeurs et les modèles d'accumulation de matière sèche sont similaires pour la plupart des cultures et souvent suivent une forme ou des courbes en "S" (**Figure 5.1**). Ceci est caractérisé par une absorption lente au début, accroît à un maximum pendant la phase de croissance rapide, et diminue au cours de la maturité de la culture. Le taux d'absorption des éléments nutritifs de la plante n'est donc pas homogène tout au long de la période de la croissance.

Les applications ciblées aux stades de croissance spécifiques peuvent être bénéfiques pour le rendement et/ou la qualité des cultures dans certains systèmes de production et pour certains nutriments, notamment N. Les apports réglés et ciblés peuvent également être bénéfiques pour réduire les impacts des pertes des nutriments du sol sur l'environnement.

Plusieurs exemples du moment d'apport d'engrais basé sur les stades de croissance de la culture peuvent être cités, mais seuls quelques-uns seront présentés ici.

- **L'application de N et K pour le coton.** Dans la production de coton, la plupart de N et K sont absorbés par la plante en début floraison ou au début de la phase de reproduction. Il est important que ces éléments soient disponibles quand la demande est élevée. Dans certains cas, l'application foliaire de N et même de K au début de l'apparition de la première fleure peut améliorer la production et la qualité du coton.

- **L'application de N pour les céréales tels que le blé.** La plupart des recommendations de blé demande que le N soit appliqué au semis et que la majorité de l'épandage soit appliqué entre les stades de tallage et d'élongation. Au stade d'épiaison, la majorité des besoins en N sont déjà satisfaits, et si de bonnes pratiques de gestion de l'engrais azoté n'ont pas été précédemment suivies, la culture souffrira du manque de N. Bien que le rendement soit déterminé au stade d'épiaison, un apport tardif de N à ce stade dans certains systèmes de production de blé peut améliorer la teneur en protéines des grains. Cela peut être bénéfique dans les régions où le taux des proteines est considéré dans la valeur de la production. Cependant des précautions doivent être prises lors de ces applications tardives pour éviter les dommages qui pourraient avoir un impact sur le remplissage du grain. (par exmemple, les brûlures des fouets).

- **Les arbres fruitiers.** Les arbres fruitiers sont des plantes vivaces dont les caractéristiques d'absorption et de la distribution des nutriments sont différentes de la plupart des cultures annuelles. Un bon exemple est la vigne qui a trois stades distincts pour l'absorption des nutriments: la période entre la germination/ le début de croissance du feuillage et les nouvelles pousses / le développement de fruit, la période entre le développement précoce du fruit et l'expansion de fruits, et la période après l'expansion de fruits jusqu'à la maturité.

- **Les cultures tropicales semi-pérennes.** Pour les cultures telles que le palmier à huile ou le bananier qui ont une récolte continue, le bon moment dépendra principalement des conditions climatiques et des possibilités de l'application. Néanmoins, il est important, de tenir compte des pics de la productivité attendus, par exemple lorsque les pluies arrivent après une période sèche.

- **Ca pour l'arachide.** Les arachides sont particulièrement sensibles à la carence du Ca. Des niveaux élevés de Ca disponibles sont nécessaires dans la zone du sol où les légumes d'arachide sont en développement, et parfois des apports du Ca solubles avant la floraison (par exemple sulfate de calcium ou nitrate de calcium) sont appliqués aux arachides.

- **Mn pour le soja.** Des applications foliaires de Mn sont souvent faites sur la soja au début de la saison dans les zones où les symptômes de carence apparaissent sur les tissus végétal.

Une autre considération pour le moment d'apport est la sensibilité de la culture aux carences en nutriments spécifiques, souvent liées aux conditions de sol. Certaines cultures sont plus assujetties aux certaines carences que d'autres, donc les cultures sensibles peuvent nécessiter un moment précis de l'apport d'engrais.

Questions ?

1. Un des cinq principes scientifiques fondamentaux qui définit le **bon moment** pour une série de conditions spécifiques est de
   a. d'apporter les nutriments, juste avant le stade de remplissage des grains.
   b. d'evaluer la logistique des activités au champ.
   c. d'assumer une minéralisation lente des éléments nutritifs du sol.
   d. d'apporter les nutriments, juste avant l'augmentation des risques de lessivage.

2. L'absorption de la majorité des éléments nutritifs majeurs suit souvent une courbe au fils du temps sous forme
   a. sigmoïde.
   b. losange.
   c. sphéroïde.
   d. linéaire.

3. L'apport d'engrais azoté au stade d'épiaison des céréales peut améliorer
   a. le rendement.
   a. le remplissage.
   a. les protéines.
   a. la qualité d'amidon.

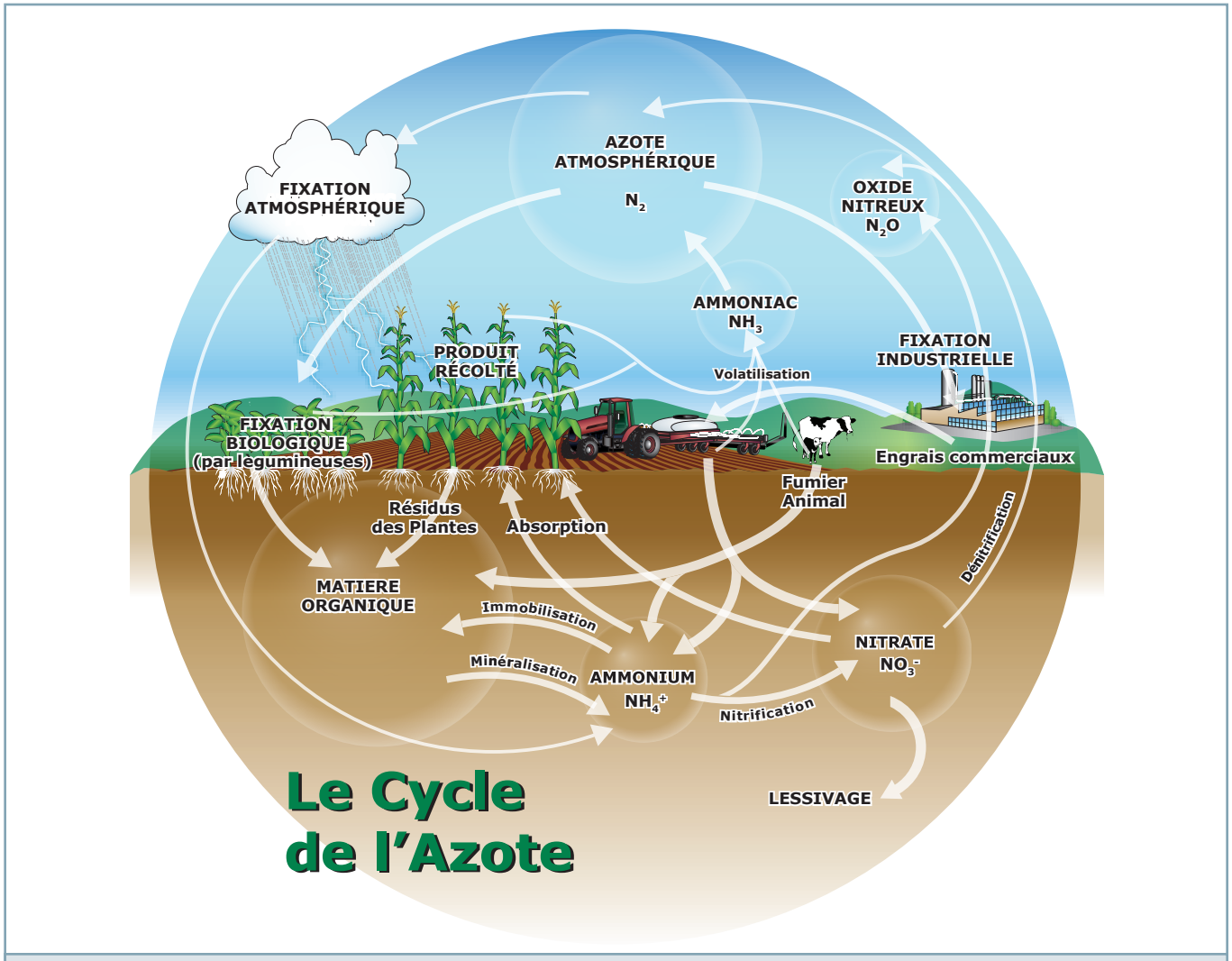


Figure 5.2 Le cycle de N général abbrégé. Puisque le cycle de N est plus compliqué et dynamique que n'importe quel autre element, les discussions du timing sont plus souvent centrées sur l'engrais azoté.

5.2 Evaluer la Dynamique de l'Approvisionnement en Nutriments du Sol

La plupart des sols ont la capacité de fournir au moins une partie des besoins en éléments nutritifs d'une culture. En général, plus le sol est sableux ou altéré, plus sa capacité de fournir les nutriments est faible. La capacité du sol à fournir les nutriments est en rapport avec le composant dose dans le concept 4B, mais elle peut avoir également un impact sur les options du moment et les besoins de la culture. En termes généraux, plus la capacité du sol à retenir et fournir des éléments nutritifs pour les cultures tout au long de la période de la croissance, moins il y aurait un besoin critiques en ces éléments. Voici deux exemples contrastés:

- Pour de nombreux sols agricoles, un seul apport de P et K répond aux besoins d'une ou plusieurs cultures. Le P et K apportés sont détenus par le sol, mais restent disponibles aux cultures au fil du temps.
- Certains sols fortement alcalins ou des sols acides très répandus dans les régions tropicales ont une capacité de fixer le P à haut niveau. Les engrais phosphatés appliqués à ces sols peuvent être facilement transformés en formes peu solubles et non disponibles. Cependant, dans ces environnements il est recommandé d'apporter des engrais phosphatés concentrés et de les appliquer en bande au semis pour satisfaire les besoins de la culture.

Une bonne compréhension des transformations de N et d'autres nutriments dans le sol est fondamentale pour évaluer la dynamique de l'approvisionnement en éléments nutritifs du sol. L'azote est absorbé sous forme de nitrate (NO_3^-) ou d'ammonium (NH_4^+). D'autres formes de N doivent être transformés en nitrate ou ammonium avant que la plante puisse les utiliser. **Figure 5.2** montre une représentation du cycle de l'azote et la façon dont N N est déplacé et transformé. Dans un sol donné, le N est fourni soit par minéralisation de la matière organique du sol soit par le nitrate et l'ammonium résiduel. Dans les zones arides, les nitrates peuvent s'accumuler dans les sols et être présents pour plusieurs saisons. Dans des conditions de pluviométrie élevée, les nitrates peuvent être facilement perdus par lessivage et/ou dénitrification. L'azote du sol est d'origine atmosphérique par différents voies, ou ajouté sous

forme d'engrais, de résidus de culture ou de fumier. Le cycle de l'azote est le plus complexe parmi les éléments nutritifs du fait qu'il est assujetti à plusieurs transformations et pertes.

Un autre facteur important de l'évaluation de la dynamique de l'approvisionnement du sol est le niveau d'analyse du sol. L'analyse du sol n'est pas une science exacte, elle ne fournit pas de réponse absolue concernant l'effet d'une application d'engrais à un moment donné. Il y a simplement trop facteurs qui affectent le système pour une seule mesure telle que l'analyse du sol pour prédire systématiquement un aboutissement. Elle fournit au moins une idée sur la probabilité de réponse à l'apport d'un élément donné. En général, plus le sol est riche, moins de le d'apporter les engrais sera satisfait, plus la souplesse sera offerte pour le moment d'apporter les engrais. Voir le partie 8.5 pour plus de détail.

Lorsqu'on évalue la dynamique de l'approvisionnement en éléments nutritifs du sol, il faut considérer le cycle de l'élément nutritif en question. Les questions clés incluent :

- Y a-t-il des problèmes avec l'immobilisation ou d'autres processus qui pourraient interrompre l'approvisionnement en éléments nutritifs?
- Est-ce que le sol a le potentiel de compromettre la disponibilité des éléments nutritifs ajoutés au fil du temps (comme P dans les sols alcalins ou très acides)?

Ces questions et d'autres affecteront dans certaine mesure les décisions concernant le moment d'application, la dose, l'endroit et la source d'engrais

5.3 Evaluer la Dynamique des Pertes d'Éléments Nutritifs du Sol

Les pertes de N et P des systèmes de cultures sont généralement de plus grande préoccupation parce que la perte de chacun a non seulement des répercussions économiques négatives, mais aussi peut créer des problèmes environnementaux spécifiques. L'azote peut être perdu par plusieurs voies à savoir le lessivage des nitrates, dans les eaux de ruissellement et la volatilisation. L'azote dans les sols a tendance à être transformé en nitrate. En raison de sa charge négative, le nitrate n'est pas attiré par les particules d'argile et la matière organique qui sont chargées négativement aussi. Ainsi, il reste libre de se déplacer avec l'eau à travers le profil du sol. Le phosphore est beaucoup moins sensible au lessivage, mais de petites pertes de P peuvent avoir des répercussions importantes sur la qualité de l'eau. Les pertes de P du sol sont principalement dans les eaux de ruissellement. Dans certains sols les pertes de P par drainage souterrain peuvent être considérables, et dans le zones où il est accumulé à des niveaux extrêmement élevés, le lessivage aux nappes phréatiques peu profondes peut provoquer les pertes du champ. L'emplacement des engrais de P au-dessous de la surface peut diminuer considérablement le risque de perte.

Dans les conditions environnementales et du sol dans lesquelles il existe un potentiel significatif de perte de nutriments, le moment d'application devra être plus ciblé et spécifique. Par exemple, l'apport de N en automne pour les cultures semées au printemps telles que le maïs ne devrait être pratiqué que dans les zones géographiques où le risque de perte est faible en fin d'automne lorsque la température du sol est inférieure à 10°C et continue à se refroidir. Les applications de printemps avant le semis et/ou en bandes latérales fournissent généralement un moindre de risque de perte et une plus grande rentabilité, et elles sont préférables aux apports d'automne, malgré les défis logistiques. En revanche, certains systèmes d'irrigation de maïs permettent aux producteurs de faire plusieurs apports de N au cours de la saison par l'irrigation fertilisante, ce qui optimise encore mieux les moments d'apport pour répondre aux besoins des cultures. Ainsi, l'efficacité d'utilisation de N est améliorée et les risques de perte sont réduits.

5.4 Evaluer la Logistique des Activités aux Champs

La logistique de la distribution des engrais, des activités aux champs, et des équipements d'application sont des facteurs importants qui affectent les décisions sur le moment d'application. Comme la taille des exploitations dans de nombreuses régions a augmenté, les agriculteurs sont appelés à raffiner la logistique pour le semis et le moment d'application des intrants. Un apport précoce d'engrais, tel que l'apport en automne pour les cultures de printemps, peut réduire la pression sur les activités du semis et permettre le semis en plus opportun. Un apport précoce d'engrais de P et K est généralement considéré comme une pratique raisonnable quand le risque de ruissellement est faible entre le moment d'apport et la période de croissance. Cependant, comme mentionné précédemment des précautions doivent être prises pour un apport très tôt de N, surtout and il y a un risque élevé de perte par lessivage et/ou par dénitrification.

Dans les zones tropicales, il est important d'être préparé pour les bonnes conditions météorologiques. L'analyse du sol et des plantes devraient être effectuées bien avant les périodes de besoins en éléments nutritifs pour orienter et assurer l'achat et le stockage des engrais appropriés. Les engrais doivent être prêts des semaines avant le moment d'application. La mauvaise gestion à cet égard peut entraîner de graves problèmes dans certains systèmes tropicaux. Par exemple, si le N et K ne sont pas appliqués ensemble des déséquilibres nutritifs peuvent se produire et prédisposent les plantes aux attaques de ravageurs qui se développent dans des conditions de teneur élevée en azote et faible teneur en potassium.

Les technologies des engrais à libération lente et à efficacité renforcée peuvent être des outils utiles quand la logistique exige une seule application à ce qui pourrait être normalement un moment inopportun. Le coût de ces technologies a traditionnellement limité leur utilisation dans la production agricole commerciale. Toutefois, en raison de l'augmentation du coût des nutriments et des préoccupations environnementales, les changements dans la logistique et/ou l'utilisation des produits sont devenus plus économiquement viables et surtout avec les cultures tropicales intensives telles que le bananier, quand le nombre total d'apport pourrait être réduit de manière significative et économiser de l'argent et de la main d'œuvre. **4B**

RÉFÉRENCES

Bruulsema, T.W. (ed). 2008. Managing Crop Nitrogen for Weather. IPNI, Norcross, GA, États-Unis.

Ma, L., L.R. Ahuja, and T.W. Bruulsema (eds). 2009. Quantifying and Understanding Plant Nitrogen Uptake for Systems Modeling. Taylor and Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, États-Unis.

Schepers, J.S. and W.R. Raun (eds). 2008. Agronomy Monograph 49. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI, États-Unis.

Questions ?

4. Le nitrate peut s'accumuler dans le sol et être transféré aux autres saisons dans
   a. un climat humide.
   b. un climat aride.
   c. des sols organiques.
   d. des sols fortement alcalins.

5. Le moment de l'apport des nutriments est important pour
   a. N.
   b. P.
   c. K.
   d. Mo.

6. La nitrification implique la transformation:
   a. de nitrate en dioxyde d'azote (NO_2^-).
   b. de nitrate en oxyde nitreux (N_2O).
   c. d'ammonium en azote (N_2).
   d. d'ammonium en au nitrate (NO_3^-).

7. Dans les conditions de forte pluviométrie, les nitrates sont facilement perdus du sol par
   a. lessivage.
   b. nitrification.
   c. immobilisation.
   d. volatilisation de NH_3.

8. Dans les sols à capacité de fixation de P élevée le moment approprié pour l'apport de P est
   a. annuellement après levée.
   b. annuellement au semis.
   c. une fois tous les deux ans.
   d. une fois tous les trois ans.

9. Pour les cultures de printemps, l'avantage de l'apport de N au printemps au lieu de l'automne précèdent inclue
   a. une température du sol plus chaude.
   b. moins d'interférences avec d'autres activités aux champs.
   c. moins de risque de perte et une plus grande rentabilité.
   d. un semis plus opportun.

10. Les technologies d'engrais à efficacité renforcée qui contrôlent le moment de libération des nutriments peuvent être appropriées
    a. pour améliorer la logistique des activités aux champs.
    b. seulement pour les cultures de grande rentabilité comme le bananier.
    c. pour une libération rapide des nutriments pour les cultures.
    d. pour tout apport de nutriment.

Module 5.1-1 La réponse du rendement de blé à une application supplémentaire tardive de N, a été prédite par la couleur des feuilles. La pratique conventionnelle recommandée pour la fertilisation azotée du blé dans le nord-ouest de l'Inde est une application de base (au semis) de 50% de N et le reste (50%) est apporté au stade initial de la courrone des racines (ICR) à trois feuilles (Zadoks stade de croissance 13). Comme le montre le tableau ci-dessous, une application de N au stade de tallage maximum (MT; Zadoks stade de croissance 22) a augmenté les rendements dans chacune des trois années lorsque les dose de base (semis et 3 feuilles) étaient inférieures ou égale à 80 kg/ha. La réponse du rendement à une application supplémentaire tardive de N a augmenté lorsque les valeurs de la chlorophylle (SPAD) ont diminué au-dessous de 44 au stade tallage maximum. **Adapté de:** Bijay-Singh, et al. 2002. Agron. J. 94:821–829.

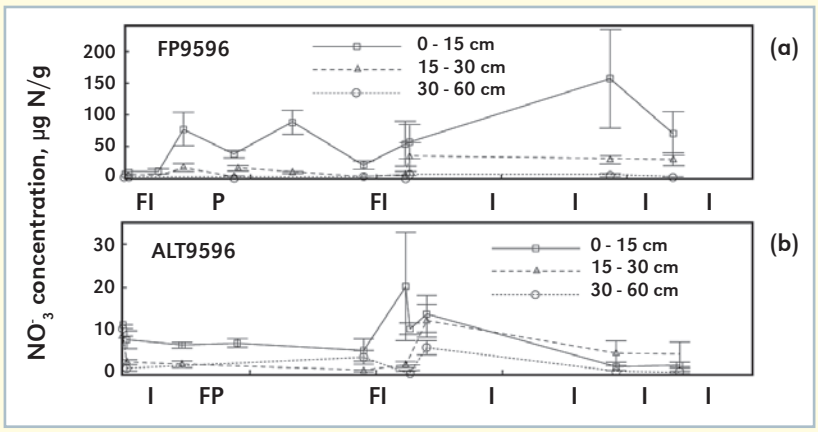
Traitement d'apport de N, kg N/ha				Rendement de blé, t/ha		
De base	3 feuilles	Tallage	Total	1996–1997	1997–1998	1998–1999
0	0	0	0	–	1,7a†	1,8a
0	0	30	30	–	3,1b	2,7b
30	30	0	60	3,3a	3,7c	2,9c
30	30	30	90	4,1b	4,5d	3,7d
40	40	0	80	3,9b	4,2d	3,6d
40	40	30	110	4,5c	5,0e	4,2e
50	50	0	100	4,1b	5,1e	4,4f
50	50	30	130	4,5c	5,2e	4,7g
60	60	0	120	4,6c	5,1e	4,8g
60	60	30	150	4,8c	5,1e	5,1h

† Les moyens suvis de la même lettre au sein de la même colonne ne sont pas significativement différents à la probabilité 0,005 du test Duncan de comparaison multiples..

Soumis par: H.S. Khurana, IPNI, Inde, Décembre 2011.

Module 5.1-2. L'application de N en concordance avec la demande des cultures réduit les nitrates du sol. La plus forte demande de N par la culture de blé se produit au début de la montaison (stade Zadoks de croissance 31). Synchroniser l'apport de N avec les périodes de besoin des cultures peut aider à améliorer l'efficience d'utilisation et à mener au revenu accru pour l'agriculteur ainsi qu'aux effets moins négatifs sur l'environnement.

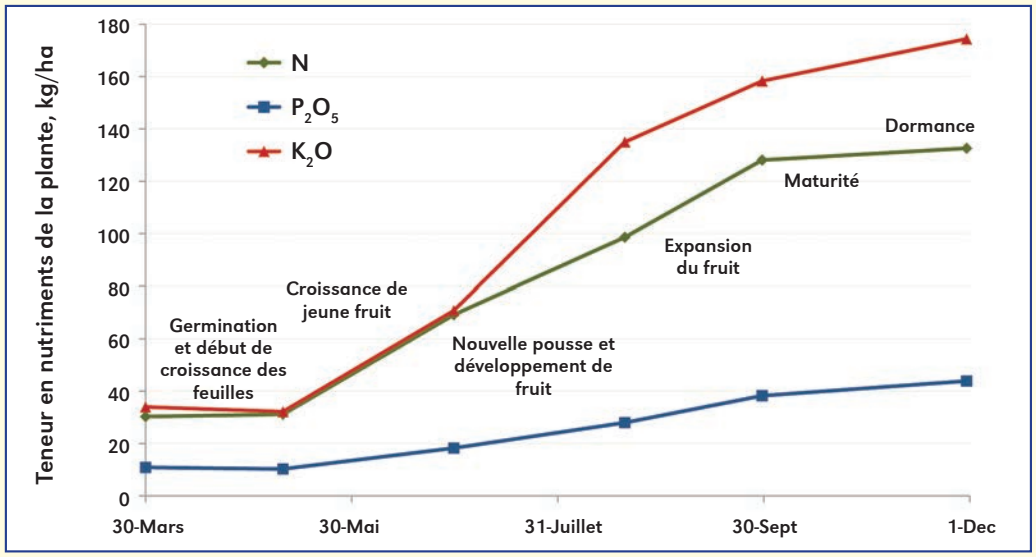
Les producteurs de blé au nord-ouest du Mexique apportent systématiquement 75% de la dose de N recommandée (250 kg/ha) trois semaines avant le semis et le reste cinq semaines après le semis. Riley et al. (2001) ont comparé la pratique des agriculteurs avec une alternative qui consistait à apporter 33% de N au semis et le reste cinq semaines après le semis. Ils ont trouvé que le moment alternatif a permis d'améliorer l'absorption de N par les plantes et a réduit les pertes par le lessivage par environ 60% en comparaison avec la pratique de l'agriculteur, (voir figure) tout en produisant des revenus comparables à ceux de l'agriculteur." **Source:** Riley, W. J., I. Ortiz-Monasterio, and P. A. Matson. (2001). Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61(3): 223-236.



Concentration de N minéral dans l'eau du sol déterminée pendant la période de croissance de blé pour la pratique typique de l'agriculteur (FP9596) et la pratique alternative (ALT9596). F, I et P, réfèrent à la fertilisation, l'irrigation et dates de semis respectivement. L'azote minéral était NO_3^- + NO_2^- mesuré dans l'eau du sol collectée par lysimètre à une profondeur de 70 cm.

Soumis par: A. Tasistro, IPNI, USA, Septembre 2011.

Module 5.1-3 Les modèles d'absorption de N, P et K par la vigne à Shaanxi, en Chine affectent les recommandations du moment d'application. Une étude a été menée, dans Fufeng County, situé à la frontière ouest de la plaine de Guanzhong dans le Shaanxi en Chine, pour étudier l'absorption des nutriments par un vignoble de 7 ans en fonction des stades de développement de la culture. La figure ci-dessous montre l'augmentation de la teneur en N, P et K dans les plantes de vigne au cours de l'année de production. Entre le 30 mars et le 30 novembre, les plantes de vigne ont accumulé une moyenne de plus de 102 kg N/ha, 33 kg P_2O_5/ha et 140 kg K_2O/ha principalement dans trois stades distincts: 1) la période comprise entre la germination/croissance du feuillage et nouvelle pousse/développement du fruit; 2) la période entre le développement précoce du fruit et le développement de fruits; et 3) la période après le développement de fruits jusqu'à la maturité. L'accumulation de N, P, et K pendant ces périodes était respectivement de 38, 29, et 29% pour le N total; 22, 29, et 31% pour le P: et 26, 46, et 17% pour le K. Selon les caractéristiques de l'absorption des nutriments au cours de la période l'année de production. L'apport d'azote doit être divisé de manière égale entre les trois stades décrit ci-dessus. Environ 50% des besoins en P doivent être fourni avant le développement de fruits et 70% des besoins en K devraient être appliqué avant l'épanouissement de nouvelles pousses. **Source:** Tong, Y., et al. 2010, Better Crops with Plant Food, Vol. 94, No. 2, 29-31.



Soumis par: S. Li, IPNI, Chine, Decembre 2011.

Module 5.1-4 Fractionner la dose, rend le Ca plus disponible aux arachides. L'absorption de calcium par les plantes est étroitement liée à la transpiration. Les arachides ont des difficultés à redistribuer le Ca à partir des racines, des tiges et des feuilles vers les gousses en développement, et par conséquent plus de 90% des besoins en Ca des gousses Ca est prélevé directement du sol. Ainsi, des niveaux adéquats de Ca disponible après la floraison sont nécessaires dans la zone du sol où les gousses d'arachide se développent. Une expérimentation en pot a été menée pour déterminer l'effet du moment d'application d'engrais calcique sur le rendement d'arachide et l'absorption du Ca. Le tableau ci-dessous montre qu'une seule application de base de Ca a augmenté les rendements d'arachide de 10 à 24%. Une application fractionnée soit du gypse ou du nitrate de calcium a permis une augmentation de rendement supplémentaire de 3 à 7% et une amélioration de la récupération de Ca de 11 à 30% en comparaison avec une seule application de base. Sur la base de ce travail, les applications préfloraison de Ca soluble sont nécessaires pour un rendement élevé d'arachides. **Source:** Lin, B. et al. 1997. Chinese Journal of Soil Science, 28(4): 172-174.

Traitements	100% au semis		50% au semis + 50% en couverture à la floraison	
	Rendement, g/pot	Récupération de Ca %	Rendement, g/pot	Récupération de Ca %
NPK	26	-	26	-
NPK+$CaSO_4$	29	9	30	10
NPK + $Ca(NO_3)_2$	30	10	32	13

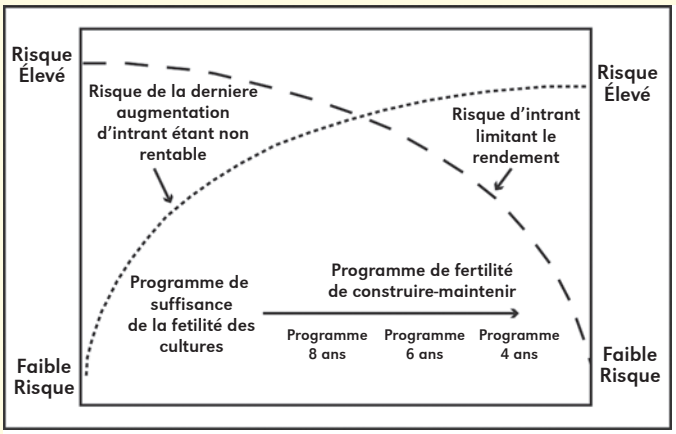
Soumis par: S. Li, IPNI, Chine, Décembre 2011.

Module 5.1-5 Le fractionnement de l'azote améliore le rendement en grain et l'efficience d'utilisation de N pour le blé d'hiver. L'azote est un contributeur très important au rendement en grain du blé d'hiver dans le nord de la Chine centrale. Une expérience au champ a été effectuée pour étudier l'effet de différents ratios de fractionnement de l'apport de N sur le rendement en grains, l'absorption et l'efficience d'utilisation de l'azote. L'application de base était au semis et l'apport en couverture était au stade de croissance Zadoks GS30 (environ 150 jours après semis). Le tableau ci-dessous montre que l'apport de N augmente le rendement en grain de 20 à 35%, et le fractionnement améliore le rendement de 10 à 12% par rapport à un seul apport. Le fractionnement de l'azote améliore également l'absorption de N de 2 à 7%, et l'efficience d'utilisation de N de 9 à 25%. Le meilleur fractionnement était 60 kg N/ha au semis et 180 kg N/ha en couverture. Les résultats de cette étude indiquent que l'apport de N au bon moment est important pour une efficience et un rendement élevés.
Source: Zhao, S.C. et al. 2011. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 17 (3): 517-525.

Traitements (Fractionnement), kg N/ha	Rendement en grain, t/ha	Absorption de N, kg/ha	Récupération de N, %
0	5,4	124	-
240 (0/240	6,5	170	19
240 (60/180)	7,3	181	24
240 (120/120)	7,2	174	21

Soumis par: P. He, IPNI, Chine, Mars 2013.

Module 5.2-1 Les niveaux élevés de l'analyse de sol en P et K permettent une souplesse par rapport au moment d'apport de ces éléments Le laboratoire d'analyse du sol de l'université de l'Etat de Kansas (KSU) formule des recommandations d'engrais basées sur l'approche de suffisance ou de construire-maintenir pour la gestion des éléments nutritifs. Le client choisit l'approche la plus adaptée à sa situation. L'objectif de l'approche de suffisance est d'appliquer assez de P et/ou K pour maximiser la rentabilité de l'année en cours et minimiser les apports et les coûts d'engrais engrais. L'objectif de de construire et de maintenir est de gérer les niveaux de P et/ou K dans le sol comme des variables contrôlables. Lorsque les niveaux d'analyse du sol sont faibles, les recommandations sont faites de telle sorte à apporter suffisamment de P et/ou K pour répondre à la fois aux besoins nutritionnels immédiats de la culture et améliorer les niveaux d'analyse du sol à un niveau non limitant, au-dessus du niveau critique. Les chercheurs de KSU ont généré quelques informations et chiffres classiques sur les relations entre les niveaux d'analyse du sol, le rendement des cultures, et les recommandations d'engrais. La relation généralisée dans le graphique suivant montre la façon dont à mesure que l'augmentation du niveau d'analyse du sol s'améliore, la souplesse pour le moment d'application s'améliore aussi et les risques des intrants limitants (engrais) pour les rendements de culture se réduisent. **Source:** Leikam, D.F., et al. 2003. Better Crops with Plant Food. Vol. 87, No. 3, p. 6-10. Pour plus d'information voir Section 8.5.



Soumis par: W.M. Stewart, IPNI, USA, Décembre 2011.

Module 5.3-1 Les apports de N au printemps améliore la récupération de N et la rentabilité du maïs dans le sud du Minnesota. Une étude à long terme a été menée en Waseca, MN pour comparer l'apport de l'ammoniac avec et sans un inhibiteur de nitrification (N-Serve, ou nitrapyrine) à l'automne à un apport pré semis sans inhibiteur de nitrification au printemps. Le tableau ci-dessous montre le résultat de cette étude de 15 ans. En effet, les données montrent que les apports de N (comme l'ammoniac) à la fin d'automne avec des inhibiteurs de nitrification et au printemps avant semis étaient les bonnes pratiques de gestion. Toutefois, il convient de noter que lorsque les conditions au printemps étaient pluvieuses, l'apport de printemps a entraîné un rendement et une rentabilité sensiblement accrus à celui de l'apport d'automne. Dans l'ensemble, le choix de l'application de N au printemps avant le semis était la moins risquée, suivie par l'apport en automne en présence d'inhibiteurs. L'apport de N à l'automne sans inhibiteurs était le plus risqué et le moins efficace. Ainsi, l'apport de N pour le maïs devrait être évité dans les régions ayant les hivers chauds et ouverts, et si approprié, il devrait être retardé jusqu au moment où la température du sol est inférieure à 10 °C et continue à se refroidir pour ralentir la nitrification à l'automne et éviter d'augmenter les pertes par lessivage et/ou dénitrification des nitrates. L'utilisation des inhibiteurs de nitrification peut aider à retarder la nitrification, mais même avec un inhibiteur, les apports d'automne doivent être retardés jusqu'à ce que la température du sol se refroidisse. **Source:** Randall, G. 2008. *In* Proc. 20th Annual Integrated Crop Manag. Conf., Dec. 10-11, Iowa State Univ., Ames. p. 225-235.

Paramètre (moyen de 15 ans, 1987 to 2001)	Moment d'apport de N		
	Automne	Automne + N-Serve	Printemps
Rendement (t/ha)	9,03	9,60	9,78
Revenu de l'apport de N à l'automne ($/ha/an)[1]	– –	$69	$119
NO_3^--N pondéré (mg/L) dans l'eau de drainage	14,1	12,2	12
Récupération de N dans les grains (%)[2]	38	46	47

[1] Basé sur N @ $1.54/kg N; N-Serve = $19.78/ha; Maïs = $157.5/t
[2] Teneur en N des grains de maïs en pourcent d'engrais de N appliqué.

Soumis par: W.M. Stewart, IPNI, USA, Décembre 2011.

Module 5.3-2 Le moment d'application à la volée des engrais phosphatés peut aider à protéger le lac Érié. Le phosphore (P) est un nutriment essentiel pour la croissance des cultures. Mais des concentrations élevées en P dans les ruisseaux, les rivières et les lacs peuvent conduire à la prolifération d'algues. Dans le bassin versant du lac Érié, à l'intérieur et autour de l'état de l'Ohio, aux États-Unis, les concentrations en phosphore dissous dans les rivières, et la prolifération d'algues dans les lacs, ont une tendance à la hausse pendant la période 1995 à 2011. Les engrais apportés au système prédominant de cultures maïs-soja prédominant ne sont pas les seules causes, mais sont l'une des nombreuses causes probables, et le moment d'apport peut avoir un grand effet lorsque des engrais phosphatés sont apportés à la volée.

L'application à la volée offre une flexibilité par rapport au moment et souvent par rapport au coût plus bas d'application. Dans les sols avec des niveaux optimaux de P, les applications à la volée ou en bande ne diffèrent pas en matière de disponibilité aux cultures et à la réponse de la culture. Mais ils diffèrent en matière de risque de perte par ruissellement. Pour minimiser les pertes de P à partir des apports à la volée, il est important d'apporter l'engrais lorsque le risque de perte par le ruissellement est faible. Les ruissellements sont plus fréquents à la fin de l'automne, en hiver et au début du printemps. Idéalement, tout le besoin en P devrait être apporté au semis, mais limitée la capacité de stockage et la disponibilité limitée des équipements souvent le font peu pratiques. Même de petites pertes de P dans les eaux de ruissellement peuvent nuire à la qualité de l'eau.

Les producteurs sont conseillés de porter une attention particulière à la prévision météorologique, et d'éviter l'apport à la volée de l'engrais P quand il y a plus de 50% de chance de pluie intense dans les prochains jours. Comme indiqué dans les **Figures 1 et 2**, les niveaux de phosphore dissous dans les eaux de ruissellement diminuent considérablement si le ruissellement se produit plus de 3 à 5 jours après l'apport d'engrais. Les applications à la volée de P sur des sols gelés ou couverts de neige en hiver n'est jamais le bon moment, parce que ces conditions généralement, se terminent par des ruissellements au printemps.

Le travail du sol pour incorporer les applications à la volée réduit les pertes par le ruissellement de P dissous, mais peut augmenter les pertes du P total par l'érosion. Les choix du «bon moment» ou «bon endroit» doivent être considérés pour mieux s'ajuster à la production agricole de l'entreprise.

Références

Owens, L.B. and M.J. Shipitalo. 2006. J. Environ. Qual. 35:1101–1109.
Smith, D.R., et al. 2007. Environ. Poll. 147:131-137.

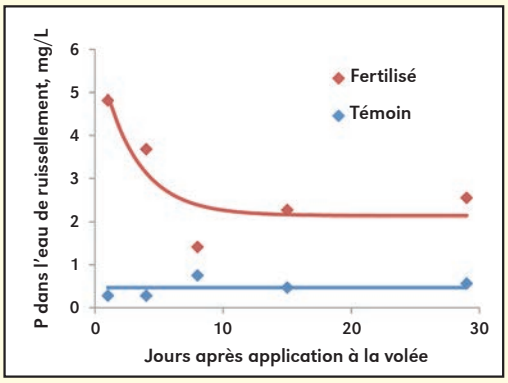


Figure 1. La concentration de P dissous dans les eaux de ruissellement de surface des parcelles cultivées à la fétuque élevée lors de simulations de pluie qui se sont produits 1 à 29 jours après l'application à la volée d'engrais superphosphate triple (Smith et al., 2007). Sol limoneux près de Lafayette, au Indiana aux États-Unis.

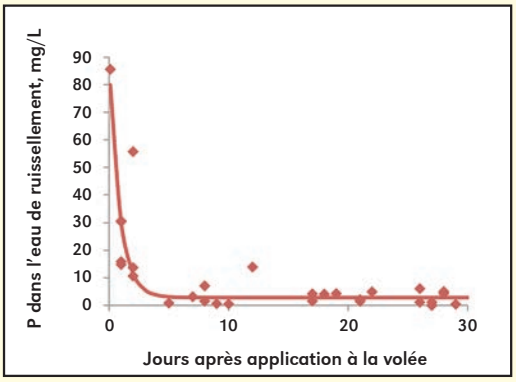


Figure 2. La concentration de P dissous dans les eaux de ruissellement de surface, prélevés lors des événements naturels pluvieux sur une période de 14 ans, en fonction du temps après la plus récente application de l'engrais de superphosphate aux graminées et légumineuses fourragères près de Coshocton, en Ohio aux États-Unis (Owens et Shipitalo, 2006). Sols limoneux bien à moyennement bien drainés.

Soumis par: T.W. Bruulsema, IPNI, Canada, Mai 2013.

Notes

Chapitre 6

PRINCIPES SCIENTIFIQUES SOUTENANT LE BON ENDROIT

Le bon endroit est le positionnement stratégique des apports des éléments nutritifs pour être accessible par les racines des plantes. Un emplacement correct permet à la plante de se développer correctement et d'atteindre son rendement potentiel en fonction des conditions environnementales où elle pousse. En pratique, le bon endroit, évolue sans cesse. En fait, la génétique, les technologies de placement les travaux du sol, l'espace entre les plantes, la rotation de cultures et les cultures intercalaires, la variabilité des conditions climatiques, et d'autres facteurs tous, affectent l'emplacement des éléments nutritifs dans le sol. Par conséquent, il y a encore beaucoup à apprendre par rapport à ce qui constitue le "bon" dans le bon endroit et la façon dont il peut être prédit lors de la prise de décision de la gestion des nutriments.

Les principes scientifiques clés qui définissent le bon endroit pour l'application d'un élément nutritif spécifique sont les suivants:

- **Prendre en considération la source, la dose, et le moment d'application.**
- **Prendre en considération où les racines de la plante poussent.** Les éléments nutritifs doivent être placés où ils peuvent être absorbés par les racines en croissance en cas de besoin.
- **Prendre en considération les réactions chimiques du sol.** L'emplacement en bandes ou en plus petits volumes éléments nutritifs retenus par le sol tel que le P peut améliorer la disponibilité.

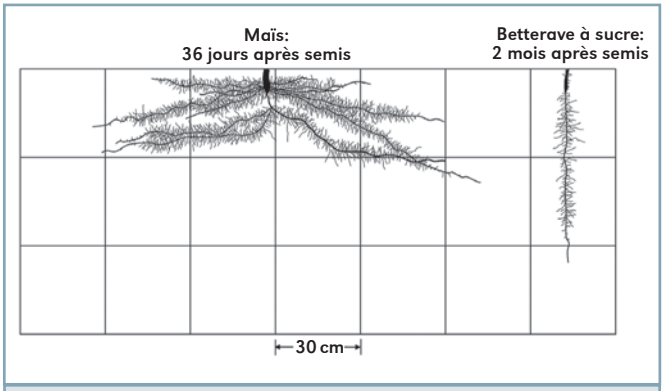


Figure 6.1 Représentation en 2 dimensions de l'architecture des racines de maïs et betterave à sucre (Weaver, 1926).

- **Faire convenir les objectifs au système de travaux du sol.** La technique d'emplacement sous la surface du sol, qui maintiennent une couverture par les résidus de cultures sur le sol peuvent aider à conserver les nutriments et l'eau.
- **Gérer la variabilité spatiale.** Évaluer les différences de sol au sein du même champ et parmi les champs, en fonction de la productivité des cultures, de la capacité d'approvisionner les nutriments dans le sol, et de la vulnérabilité aux pertes de nutriments.

6.1 La Croissance des Racines

L'architecture des racines est la configuration spatiale en trois dimention du système racinaire et se réfère à au positionnement géométrique des racines des plantes dans le sol. L'architecture des racines diffère fortement entre les espèces végétales et interagit fortement avec les conditions du sol.

Pour démontrer les contrastes entre l'architecture des racines, **Figure 6.1** fournit des diagrammes de sections transversales et verticales pour le maïs et la betterave à sucre. Le premier diagramme montre le système des racines du maïs aux 36 jours après le semis. Le système des racines fasciculées a une orientation nettement horizontale et se trouve dans les sols peu profonds. Le second diagramme montre le système des racines de la betterave en irrigué 2 mois après le sémis. Le système des racines pivotantes est orienté verticalement et pousse plus profondément dans le sol. De différentes espèces ont donc de différents modèles de croissance des racines, qui affectent leurs capacités individuelles à accéder aux nutriments dans divers endroits dans le sol. En outre, pour une espèce, tout le système des racines ne restent pas actif pendant toute la saison, touchant davantage l'accès aux nutriments dans un endroit donné.

La plasticité des racines. L'architecture des racines d'une plante change au cours de la saison à mesure que la culture veillit. La caractéristique du système racinaire à répondre à son environnement local est appelée appelée à mesure que la culture veillit. Plusieurs conditions externes peuvent modifier l'architecture des racines; par exemples le taux de l'humidité du sol (Sharp et al., 1988), la température du sol (Walker, 1969), la concentration en éléments nutritifs (Zhang et Barber, 1992), et la densité apparente du sol (Kasper et al., 1991).

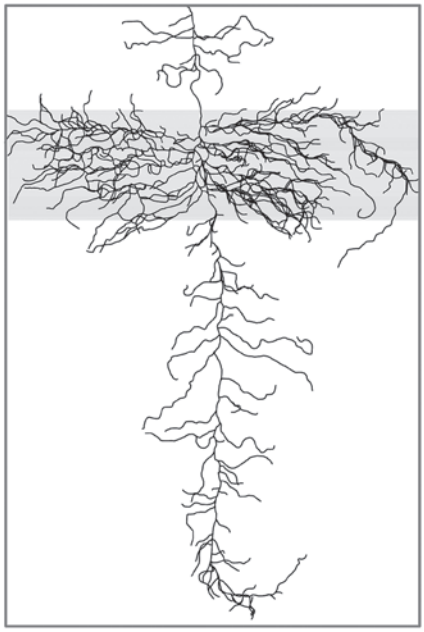


Figure 6.2 La prolifération des racines d'orge dans une zone de concentration élevée en P (Drew, 1975).

Lorsque les racines des plantes entrent une zone concentrée en N ou P, la prolifération des racines se produit. La **Figure 6.2** montre la façon dont la distribution des racines d'orge peut être modifiée selon une zone concentrée en P. La plus grande proportion de racines dans la zone riche en P est due à une augmentation de ramification des racines. Cet exemple démontre que l'emplacement des nutriments affecte non seulement l'endroit de l'approvisionnement en nutriment mais aussi la masse des racines présente dans cet endroit.

L'absorption des nutriments par les racines. L'absorption des nutriments est une des fonctions principales des racines des plantes. Les nutriments dans la solution du sol pénètrent les cellules des racines en passant à travers les pores dans la paroi cellulaire.

Les racines ont un taux maximum d'absorption des nutriments (Barber, 1995). Cela signifie qu'à mesure que la concentration en nutriments de la solution du sol (apport d'engrais) augmente, le taux d'absorption par les racines augmente également, et éventuellement s'approche à un maximum. Il faut noter aussi qu'une seule racine ne peut pas répondre aux tous besoins en éléments nutritifs de la plante tout au long de son développement, on doit un système des racines bien développées et chaque racine active doit contribue à l'acquisition de la quantité globale des nutriments nécessaires.

Les racines perdent aussi les nutriments, par un processus est nommé la sortie. Aussi bien l'entrée que la sortie surviennent dans les racines à travers une gamme de concentrations en éléments nutritifs du sol. Cependant, lorsque la concentration en éléments nutritifs du sol diminue, l'entrée et la sortie peuvent devenir à peu près égaux. À ce niveau, il n'y a pas une absorption nette par les racines et cette concentration est appelée C_{min}. Juste comment un faible approvisionnement en éléments nutritifs doit entrer dans le sol pour que l'absorption s'arrête et ceci varie selon les espèces végétales et les éléments nutritifs.

Les plantes ont aussi des mécanismes de feedback qui leur permettent d'ajuster leurs taux d'absorption des éléments nutritifs aux conditions du sol (cinétique). Les plantes s'adaptent à de faibles concentrations en nutriments en modifiant les systèmes de transport trouvés sur les membranes cellulaires de la racine, réduisant ainsi C_{min}. Par exemple, le maïs cultivés avec une concentration de P, 10 fois plus faible que la normale, a continué à prélever P à un niveau quatre fois plus faible que le niveau normale de C_{min}.

Les faibles concentrations en éléments nutritifs dans le sol provoquent également une augmentation du taux maximal de l'entrée des nutriments. Cette augmentation permet à chaque racine qui rencontre un élément dans le sol, de contribuer en proportion plus grande au besoin total en cet élément de la plante. Les changements dans la C_{min} et l'entrée permettent aux plantes stressées de compenser partiellement le faible approvisionnement du sol, même si l'absorption totale est plus faible que celle des plantes non stressées.

Le taux d'absorption des nutriments par les racines peut changer en fonction de l'âge de la plante. Par exemple, le taux d'absorption de P pour le maïs et le soja est plusieurs fois élevées lorsque les deux plantes sont plus jeunes que lorsqu'elles sont plus âgées. Lorsque le taux d'absorption diminue au fil du temps, comme cela a été observé pour le maïs et le soja, une surface racinaire plus grande est nécessaire plus tard dans la saison avec une augmentation correspondante du volume de sol fertilisé plus accessible juste pour maintenir l'absorption des nutriments. Cependant, comme les parties aériennes de la plante se développent, les besoins d'absorption des nutriments augmentent davantage, nécessitant un développement plus extensif des racines.

6.2 Les Pratiques d'Emplacement des Nutriments

Il y a deux façons principales pour apporter les nutriments au sol: 1) à la volée ou 2) en bande. La volée est le processus d'appliquer les engrais en surface du sol d'une manière plus ou moins uniforme (**Figure 6.3**). L'objectif de l'apport à la volée est d'obtenir un espacement assez égal entre les particules individuelles d'engrais, que ce soit granules d'engrais solide ou gouttelettes d'engrais liquides. L'apport en bande est le processus de l'apport des nutriments à des zones ou volumes de

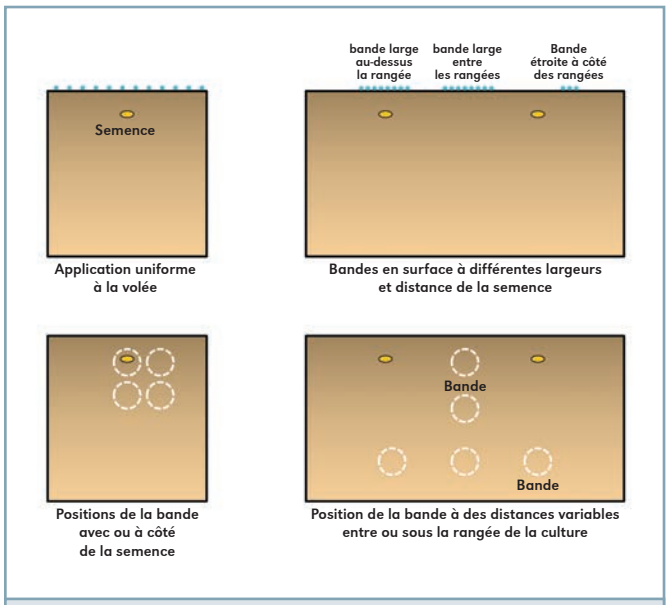


Figure 6.3 Diagramme conceptuel de différentes options d'emplacement de nutriments

largeurs confinés. De telles applications peuvent être réalisées soit à la surface du sol ou à une certaine profondeur au-dessous.

Comme il est montré dans la **Figure 6.3**, il existe une multitude d'options disponibles pour placer des éléments nutritifs sur ou dans le sol.

a) La combinaison des deux méthodes; à la volée et en bande, est courante.

b) Les bandes peuvent être de largeurs différentes, ainsi que dans des positions différentes par rapport aux rangées.

c) Le sol peut être mélangé à des degrés variables par le travail du sol, les microorganismes tels que les vers de terre, ou des processus physiques découlant de variations temporelles de l'humidité et de la température du sol.

d) Les apports sous la surface du sol sont les plus souvent en bandes, bien que des points d'injections régulièrement séparés parfois appelés "nids" sont également une option.

e) Les configurations possibles pour les bandes sous la surface du sol sont nombreuses. Les bandes placées près de la semence au moment du semis sont souvent appelées "des bandes de démarrage". Elles peuvent être aussi placées en

Questions ?

1. Un des cinq principes scientifiques fondamentaux qui définissent le Bon Endroit pour une série de conditions spécifiques est
   a. enfouir profondément les nutriments dans le sol.
   b. prendre en considération où les racines poussent.
   c. mélanger les nutriments dans tout le volume du sol.
   d. incorporer les nutriments par un travail du sol primaire.

2. Les racines des plantes prolifèrent dans les zones du sol où les éléments fertilisants placés en bande comportent
   a. Zn et Mn.
   b. Ca et Mg.
   c. K et Mg.
   d. N et P.

3. Quand la plante s'adapte aux faibles concentrations en nutriments en modifiant le système de transport présent dans les cellules des membranes racinaires, elle peut
   a. pousser plus rapidement que dans des concentrations élévées en nutriments.
   b. absorber plus de nutriments que dans des concentrations élevées en nutriments.
   c. compenser partiellement le faible approvisionnement en nutriments dans le sol.
   d. augmenter la C_{min} des nutriments.

4. La méthode d'apport d'engrais qui permet une distribution uniforme des éléments dans le volume du sol est
   a. à la volée.
   b. en bande.
   c. l'enrobage de semence.
   d. le contact direct avec la semence (pop-up).

contact direct avec la semence ("pop-up"), également à côté, ou au-dessous de la semence ou les deux à la fois (souvent appelée "bande latérale").

f) Les bandes multiples de n'importe quelle combinaison peuvent être appliquées.

h) La profondeur de l'emplacement peut également varier considérablement, mais l'équipement et les exigences de puissance limitent généralement la profondeur à 20 cm au moins, mais l'emplacement plus profond est possible.

g) Les bandes qui ne sont pas placées près de la semence peuvent être de différentes distances des rangées de la culture.

Le traitement des semences avec des micronutriments, tels le Mo pour le soja ou le Zn pour le maïs, peut également être considéré comme une méthode d'emplacement. Cependant, les concentrations maximales de sécurité de ces traitements de semences peuvent varier selon les espèces cultivées et même selon les hybrides de maïs dans les différents groupes de maturité. De nombreuses cultures sont sensibles à l'enrobage de semences par les micronutriments.

6.3 Les Réactions par le Sol et par les Racines à l'Emplacement en Bande

Les concepts de développement des racines, l'absorption des nutriments, les réactions chimiques du sol, et le mouvement des éléments nutritifs constituent la base de principes communément acceptés de l'emplacement des éléments nutritifs (Barber, 1995). Les situations suivantes se produisent lorsque les nutriments sont apportés en bande:

a) les éléments nutritifs sont concentrés dans un plus petit volume de sol;

b) un élément nutritif donné restera dans la solution du sol, ce qui est particulièrement important pour les éléments nutritifs qui réagissent avec les minéraux du sol et d'autres ions dans la solution pour former des composés qui sont moins disponibles aux plantes;

c) les concentrations élevées en solution du sol accélèrent le taux de diffusion des éléments nutritifs ainsi que le débit massique d'une grande quantité des nutriments. Les deux augmentent le taux de réapprovisionnement des nutriments aux racines des plantes;

d) des apports concentrés en N et P multiplient les racines des plantes, provoquant ainsi une plus grande proportion de l'absorption totale par la plante provenant du voisinage de la bande;

e) les taux d'absorption des racines individuelles peuvent augmenter lorsque les plantes sont déficientes en nutriments, mais ils atteignent un maximum, exigeant ainsi plus de racines à être près des nutriements au fur et à mesure que la culture se développe.

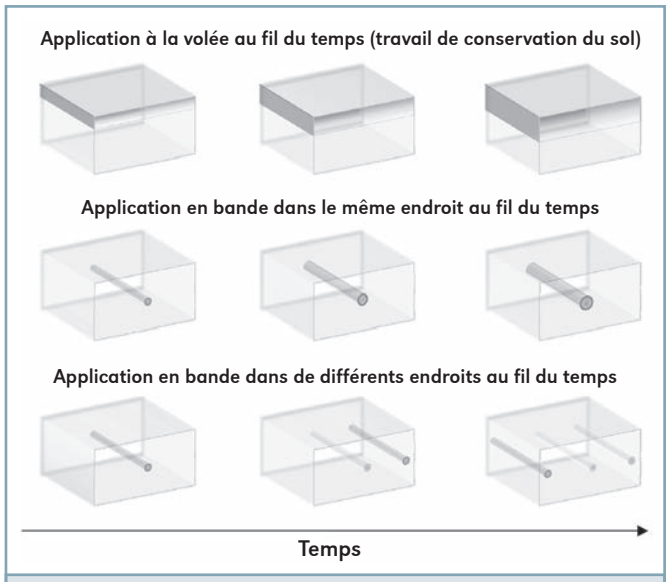


Figure 6.4 Changements dans les zones à fertilité améliorée au fil du temps découlent des apports répétés des nutriments tels que le comme P et K. L'ombrage plus foncé dénote des concentrations plus élevées. Ces tendances s'appliquent aux systèmes de travaux de conservation du sol où le mélange du sol est limité. D'autres changements importants (non représentés) qui sont possibles comprennent l'accumulation d'éléments nutritifs près de la surface due aux résidus de culture, et la redistribution des nutriments par les organismes du sol comme les vers de terre.

La considération mutuelle de tous ces processus a conduit aux concepts de l'emplacement en bande suivants:

A) l'application en bande est probablement la méthode de l'emplacement la plus efficace lorsque la fertilité du sol est faible, les doses d'éléments nutritifs appliquées sont faibles, et le mouvement dans le sol de l'élément nutritif appliqué est principalement par diffusion tel que P et/ou K;

B) pour des sols pauvres, les doses faibles des nutriments appliquées en bande ne peuvent ne pas répondre aux besoins nutritionnels totaux de la culture;

C) pour des sols pauvres, un volume de sol fertilisé supérieure à celui obtenue avec une seule application en bande est nécessaire pour atteindre un rendement maximal.

Lorsque l'engrais est apporté au sol, chaque granule (forme solide) ou gouttelette (forme liquide et en suspension) réagit pour former de petits volumes de sol fertilisés dans son voisinage immédiat. Dans quelle mesure ces volumes s'étendent de la particule d'engrais varie en fonction de l'élément nutritif, des conditions environnementales et des propriétés chimiques et physiques du sol. Le volume du sol enrichi par un granule ou une gouttelettes est petit, mais le volume global peut être augmenté par les moyens suivants: 1) les travaux du sol, 2) l'augmentation de la dose des nutriments, 3) l'augmentation de la fréquence d'apport des éléments nutritifs, et 4) l'application d'éléments nutritifs à différentes positions dans le sol.

Le travail du sol est un moyen de mélanger le volume fertilisé par une particule d'engrais avec un plus grand volume du sol. Bien que ce mélange fertilise un grand volume de sol, il peut aussi diluer les concentrations en nutriments dans un volume donné.

Les doses élevées apportées affectent le volume du sol fertilisé comme le suit:

a) de plus grandes quantités des nutriments sont déplacées par le débit massique ou diffusion, accroissant alors le volume du sol fertilisé;

b) la distance entre les granules d'engrais ou gouttelettes est plus proche, et lorsque les doses deviennent assez élevées, des zones fertilisées continues sont créés ce qui sont nécessaires pour promouvoir la prolifération sans perturbation des racines;

c) zones fertilisées ont une plus grande perennité.

Une fréquence élevée d'apport des nutriments peut augmenter le volume du sol fertilisé mais cela dépend de la dose utilisée. Des doses plus élevées sont nécessaires pour maintenir les zones fertilisées enrichies pour des périodes plus longues.

Il y a deux options principales d'emplacement d'engrais pour des applications répétées: 1) appliquer l'engrais dans la même place au fil du temps ou 2) l'appliquer aux différents endroits (**Figure 6.4**). L'application des nutriments immobiles tels que le P et K dans la même zone au fil du temps peut augmenter la concentration et conduire à un volume de sol fertilisé plus grand; alors que le volume non fertilisé peut s'appauvrir. La fertilisation de différentes zones du sol est un autre moyen pour augmenter le volume du sol fertilisé. Plusieurs options existent, par exemple, les applications à la volée et en bande peuvent être combinées et/ou les bandes peuvent être appliquées aux différents endroits au fil du temps. Lorsque les bandes sont appliquées aux différents endroits dans le sol, le résultat est un réseau de bandes qui sont de différents âges et durent longtemps.

Les besoins des cultures au début de la saison.
Au début de la saison, les systèmes racinaires sont moins développés et n'exploitent qu'un petit volume de sol. En outre, les taux de l'entrée peuvent être plus élevés en ce moment qu'à n'importe quel autre moment dans la saison, ce qui conduit à un épuisement plus rapide des éléments nutritifs de la solution du sol à proximité des racines. Un épuisement rapide des éléments nutritifs du sol nécessite un réapprovisionnement rapide, soit par diffusion ou le débit massique. Cependant, les conditions environnementales au début de la saison, particulièrement des températures basses, peuvent limiter la croissance des plantules ainsi que les taux de transport des éléments nutritifs.

Une stratégie d'emplacement des engrais pour faire face aux carences précoces possibles en éléments nutritifs est l'application en bande avec ou près de la semence au semis. Ces bandes permettent: 1) de concentrer les éléments nutritifs; 2) d'augmenter les taux de transport des nutriments vers les racines; 3) d'être bien positionné pour l'accès par un système racinaire jeune et limité; et 4) de proliférer le système racinaire si N ou P est apporté.

La position la plus appropriée des volumes de sol concentrés dépend en grande partie de l'architecture de la racine de la jeune plante. Par exemple, l'emplacement le plus efficace de P pour le maïs et la betterave à sucre doit être constant avec les distributions racinaires (**Figure 6.1**). Des études ont démontré que l'emplacement des fertilisants à côté et en dessous de la semence du maïs est une bonne position pour l'absorption par un système racinaire au début de la saison par rapport aux autres méthodes. L'emplacement en dessous et à côté de la semence est compatible avec l'architecture horizontale des racines des jeunes plantes de maïs. Quant à la betterave à sucre, l'emplacement de P en contact direct avec les semences a été démontré d'être plus efficace et efficient (Sims, 2010). Une telle position assure un accès par la racine pivotante et ses racines latérales associées.

Questions ?

5. Pour un sol déficient en P, si de faibles doses sont apportées au maïs ou blé, elles doivent être appliquées;
   a. sur des feuilles.
   b. en bande à côté de la semence au semis.
   c. en surface sans être incorporées.
   d. en surface et puis incorporées par un travail de sol.

6. Pour les sols pauvres, les faibles doses des nutriments appliquées en bande
   a. améliorent le volume du sol fertilisé.
   b. répondent aux bseoins nutritionels totaux de la culture.
   c. fertilisent un grand volume de sol pour atteindre un rendement maximum.
   d. améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'engrais apporté.

7. La position de l'emplacement de l'engrais qui permet un approvisionnement adéquat en P pour les jeunes raciness du maïs est
   a. 5 cm à côté et 5 cm au-dessous de la semence.
   b. en contact directe avec la semence.
   c. directement au-dessous de la semence.
   d. en surface et complètement incorporé.

L'emplacement des fertilisants près de la semence doit être fait en considérant attentivement la dose et la forme. Des dommages aux semences ou aux plantules dus à la toxicité à cause de l'ammoniac ou des sels peuvent être observés. Les facteurs importants à prendre en considération pour les doses maximales d'engrais à placer avec la semence en toute sécurité sont (Gelderman, 2011):

a) la sensibilité des semences;

b) l'indice de salinité de l'engrais;

c) la largeur de l'ouverture du sillon de semis;

d) la texture du sol;

e) l'humidité du sol au semis;

f) une quantité supportable de perte de plantules à la germination.

Les terres en jachère ou inondées. La période de la jachère et les périodes d'inondation prolongées pour une semaine ou plus diminuent la population des champignons mycorhiziens dans les sols. Lorsque la symbiose plante-mycorhize est affectée, il n'est pas possible de surmonter l'absence de sa contribution à la nutrition phosphatée uniquement par l'augmentation des doses de P. La quantité manquante de P peut être tout simplement très grande. Du fait que l'effet est limité à une saison de culture, une application en bandes de faibles doses de P est un choix pratique pour surmonter au moins partiellement les faibles quantités de P disponibles aux plantes.

Les pertes de nutriments. Placer les nutriments sous la surface du sol peut réduire les pertes d'éléments nutritifs qui potentiellement peuvent nuire à l'environnement par plusieurs façons. L'emplacement sous la surface du sol peut:

a) réduire les pertes par ruissellement, en raison de faibles concentrations en surface d'éléments nutritifs solubles;

b) réduire les pertes lorsqu'elles sont combinées avec le contrôle de l'érosion, car les nutriments sont placés sous la surface;

c) réduire les pertes de N à court terme sous formes gazeuses, tels que N_2O selon les quantités et la distribution de la pluie.

Les interactions au sein des bandes. Lorsque les nutriments sont confinés dans le même volume de sol, ils peuvent interagir des manières qui ne sont pas possibles lorsqu'ils sont apportés dans de différents espaces. Ces interactions proviennent non seulement de proximité, mais aussi de concentrations plus élevées. Les réactions initiales d'engrais dans des volumes concentrés en nutriments sont peu influencées par le sol environnant. La plupart des travaux sur les aspects chimiques des volumes concentrés du sol proviennent des études sur les bandes sous la surface. Les interactions suivantes ont été démontrées:

a) l'apport de NH_4-N avec P dans la même bande peut augmenter l'absorption de P par les plantes en comparaison à l'apport en bandes séparées;

b) l'apport de l'urée en bande soit avec PMA ou PTS a été démontré de réduire la quantité de NH_3 perdue. Cet effet peut être expliqué par le faible pH initial du PMA ou PTS, mais n'est pas suffisant pour permettre l'application en bande de l'urée près des semences dans les sols à pH neutre à alcalin;

c) l'apport de KCl dans la même bande que MCP a été démontré de réduire la diffusion de P dans les sols moins dégradés et riches en Ca;

d) l'apport de KCl dans la même bande que MCP dans les sols acides améliore le taux de diffusion de P dans les sols dégradés.

6.4 La Fertilisation Foliaire

La fertilisation foliaire est l'apport de nutriments par pulvérisation sur feuilles. Bien que les fonctions principales des feuilles soient la photosynthèse et la respiration, elles absorbent aussi les éléments nutritifs. Les quantités absorbées sont souvent beaucoup inférieures à celles absorbées par les racines qui sont les organes principaux d'absorption des nutriments. Les feuilles des plantes peuvent absorber les nutriments s'ils sont présents sous forme soit 1) gazeuse ou 2) ions en solution.

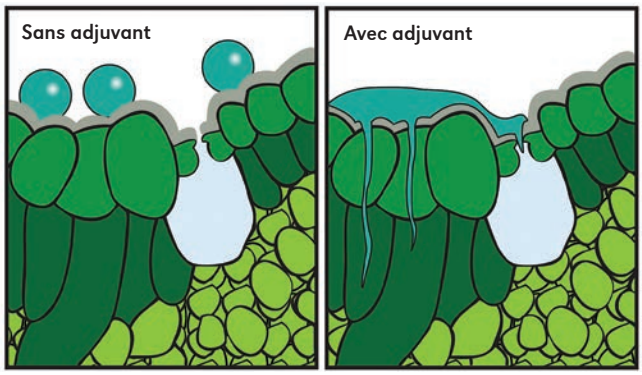


Figure 6.5 L'efficience de la fertilisation foliaire peut être améliorée par l'utilisation des adjuvants qui aident les nutriments à pénétrer la cuticule des feuilles. **Adapté de:** Noack et al. (2010).

Les éléments nutritifs en état gazeux entrent les feuilles par les stomates. Les stomates sont des pores où la plupart de l'échange de gaz entre la plante et l'atmosphère a lieu. La majorité des stomates sont situés sur la face inférieure des feuilles des plantes. Les cellules entourant ces pores, appelées cellules de garde, se dilatent et se rétractent pour contrôler la taille de l'ouverture des pores et donc le taux d'échange de gaz. Les éléments H, N, O, et S peuvent entrer la plante à travers les stomates s'ils sont présents sous forme d'ammoniac (NH_3), dioxyde d'azote (NO_2), et dioxyde de soufre (SO_2). Par exemple, une application récente de fumier peut entraîner une absorption significative de N sous

forme NH_3. Commes les stomates sont des sites d'échage de gaz, les nutriments peuvent être également perdus à travers les stomates sous forme NH_3, SO_2, et d'autres formes volatiles de S.

Les nutriments en solution entrent les feuilles à travers de petits pores présents dans la cuticule de l'épiderme d'une feuille de la plante. La cuticule est couverte d'une couche de cire qui repousse l'eau et protège contre une perte d'eau excessive. Les pores dans la cuticule ne sont pas les mêmes que les stomates, mais un plus grand nombre d'entre eux a tendance à exister près des stomates que sur la surface de la feuille entre les stomates. L'épiderme cireux et la très petite taille des pores dans la cuticule limitent considérablement la quantité d'éléments nutritifs solubles qui peut être absorbés par les feuilles des plantes (**Figure 6.5**).

La fertilisation foliaire se fait par des nutriments solubles dans l'eau. Les facteurs qui peuvent limiter l'efficience et l'efficacité de la fertilisation foliaire sont (Marschner, 2002):

a) les couches de la cuticule des feuilles des plantes qui sont plus épaisses, tels que le café et les agrumes;

b) l'écoulement de l'engrais liquide des feuilles des plantes;

c) le lavage de l'engrais liquide par la pluie;

d) le sèchage de l'engrais liquide sur la feuille;

e) la translocation limitée de certains nutriments des feuilles fertilisées à d'autres parties de la plante;

f) les dommages aux feuilles à cause d'un déséquilibre des nutriments dans la feuille provoqué par l'application d'engrais.

Les applications foliaires sont des sources de nutriments localisées ayant une durée courte d'efficacité, typiquement de l'ordre de quelques jours à quelques semaines. Pour cette raison, elles doivent être bien planifiées en fonction de la demande de la plante. Selon les cas, plus d'une ou d'une série d'applications peuvent être nécessaires. La fertilisation foliaire peut être une pratique efficace lorsque la disponibilité en éléments nutritifs dans le sol est limitée et/ou la capacité de la plante d'acquérir et de transférer les nutriments est limitée. La fertilisation foliaire peut être utilisée comme un traitement de sauvetage pour les situations où il n'est pas possible de gérer correctement les nutriments du sol, d'avoir des variétés ou hybrides mieux adaptés pour les sols ayant des carences ou conditions spécifiques, ou les activités au champ sont à mener en temps opportun.

6.5 Gérer la Variabilité Spatiale

En plus de l'emplacement dans le sol ou sur la plante, le "bon endroit" prend aussi en considération la plus grande échelle d'où appliquer les nutriments au sein d'une zone. Cette zone peut être un bassin versant, une exploitation, un champ, ou une partie dans un champ. La gestion propre au site est une approche qui divise la plus grande surface en petites zones et les gérer séparément d'une manière qui convient mieux à chaque zone. La gestion propre au site repose donc sur des mesures qui sont prises à une densité spatiale plus élevée que les approches conventionnelles. Une résolution spatiale élevée permet de délimiter plus précisément des zones problématiques ainsi que les zones à haut potentiel de production, permettant alors une gestion plus ciblée.

Les applications de doses variables (ADV) font partie d'une suite des pratiques de gestion qui définissent la gestion propre au site. Les applications de doses variables visent à apporter la bonne dose de nutriment au bon endroit au sein d'un champ plus large.

Une ADV typique pour les recommandations de nutriments qui sont basées sur les analyses de sol pourraient comprendre les étapes suivantes:

a) faire un prélèvement spatial d'un grand nombre d'échantillons de sol et enregistrer la géolocalisation (latitude et longitude) de chaque point de prélèvement, en utilisant un système de positionnement global (GPS) qui enregistre de telles données du réseau de satellites;

b) envoyer les échantillons de sol à un laboratoire pour une analyses exhaustive d'une série des éléments nutritifs et d'autres propriétés chimiques ou physiques qui pourraient être importantes pour la fomulation d'une recommandation en éléments fertilisants;

c) créer une carte d'interpolation des valeurs estimées des niveaux de fertilité entre les points réellement analysés. La création d'une telle carte est faite avec un logiciel de système d'information géographique (SIG) spécialisé qui a des capacités d'analyser de manière géostatistique;

d) collecter d'autres données exigées par un système particulier de recommandation en éléments fertilisants. Ces données pourraient inclure des cartes de texture du sol, de la conductivité électrique du sol, de la topographie de l'imagerie de satellite du sol nu, de l'indice normalisée de différence de végétation (NDVI), des doses de fumier apportées au préalable et zone d'apport, et/ou des rendements;

e) utiliser un logiciel SIG pour intégrer toutes les données dans une carte de recommandation de doses des éléments nutritifs;

f) utiliser un ordinateur monté sur l'équipement d'application d'engrais pour transférer les informations de la carte de recommandation aux contrôleurs afin qu'il applique au sol les doses selon les besoins de chaque zone. L'équipement d'application peut également être en mesure d'enregistrer l'endroit et les quantités de chaque élément effectivement appliquées, pour faire une comparaison entre ce qui a été recommandé et ce que l'équipement a effectivement appliqué.

Une ADV typique pour les recommandations de N basées sur les analyses de la plante pourraient comprendre les étapes suivantes (Raun et al., 2002):

a) en une bande à travers le champ, appliquer une dose de N qui est assez élevée pour ne pas être limitant pour le rendement;

b) recueillir les données de réflectance spectrale à un stade précis de la croissance de la culture aussi bien de la bande où N est non limitant et de la bande adjacente où une dose de N normale a été apportée. Convertir les données de la réflectance spectrale des deux bandes à un NDVI moyen puis calculer l'indice de réponse (IR);

c) utiliser des algorithmes de recommandation pour convertir IR à une carte de recommandations des doses de N;

d) utiliser un ordinateur monté sur l'équipement d'application d'engrais pour transférer les informations de la carte de recommandation aux contrôleurs qui varient la quantité de chaque nutriments appliqué au fur et à mesure que l'équipement passe à travers le champ.

La gestion des éléments nutritifs propre au site peut également être étendue à une plus grande échelle pour apporter les éléments nutritifs au bon endroit dans un bassin versant pour réduire les pertes. Par exemple, l'indice de phosphore (IP) peut être utilisé pour délimiter les zones de sources critiques dans un bassin versant (Gburek et al., 2000). Les zones de sources critiques sont plus vulnérables aux pertes de P et sont une partie importante de l'hydrologie du bassin versant. Cibler l'amélioration de la gestion dans ces zones, telle que la réduction ou l'omission d'apport de P ou de le placer profondément dans le sol, peut réduire les pertes de P dans tout le bassin versant. Pour plus d'informations sur l'indice P, voir la Section 9.8.2.

RÉFÉRENCES

Akinremi, O.O. and C.M. Cho. 1993. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:845-850.

Barber, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY.

Barber, S.A. 1978. Agron. J. 70:457-461.

Bouldin, D.R. et al. 1960. Soil Sci. Soc. Am. J. 24:464-468. Claassen, H. and S.A. Barber. 1977. Agron. J. 69:860-864.

Daverede, I.C. et al. 2004. J. Environ. Qual. 33:1535-1544.

Drew, M.C. 1975. New Phytol. 75:479-490.

Eghball, B. et al. 1990. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:1161-1165.

Eghball, B. and D.H. Sander. 1987. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:1350-1354.

Ernani, P.R. and S.A. Barber. 1991. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:534-538.

Fan, M.X. and A.F. Mackenzie. 1993. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:839-845.

Gburek, W. J. et al. 2000. J. Environ. Qual. 29:130-144.

Gelderman, R. 2011. Seed-placed fertilizer decision aid. [en-ligne]

Isensee, A.R. and L.M. Walsh. 1971. J. Agric. Food Chem. 22:105-109.

Isensee, A.R. and L.M. Walsh. 1972. J. Agric Food Chem. 23:509-516.

Kaspar, T.C. et al. 1991. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1390-1394.

Khasawneh, F.E. et al. 1974. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:446-451.

Khasawneh, F.E. et al. 1979. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:52-58.

Kimmel , R.J. et al. 2001. J. Environ. Qual. 30:1324-1330.

Lawton, K. and J.A. Vomocil. 1954. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18:26-32.

Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. Plant Physiol. 109:7-13.

Malakanova, V.P. et al. 2009. In A.A. Romanenko et al. (eds.). Genetics, Breeding and Maize Cultivation Technology. Krasnodar Res. Inst. of Agriculture, Krasnodar. 232-239. (In Russian).

Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, New York, NY.

Mengel, D.B. and S.A. Barber. 1974. Agron. J. 66:399-402.

Miller, M.H. and A.J. Ohlrogge. 1958. Agron. J. 50:95-97.

Noack, S.R. et al. 2010. Crop and Pasture Science. 61:659-669.

Pierret, A. et al. 2007. Vadose Zone J. 6:269-281.

Randall, G.W. and R.G. Hoeft. 1988. J. Prod. Agric. 1:70-79.

Raun, W.R. et al. 2002. Agron. J. 94:815-820.

Sample, E.C. et al. 1979. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:58-65.

Sharp, R.E. et al. 1988. Plant Physiol. 87:50-57.

Sims, A.L. 2010. Agron. J. 102:1369-1378.

Sistani, K.R. et al. 2010. Soil Sci. Soc. Am. J. 74:429-435.

Stecker, J.A. and J.R. Brown. 2001. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 32:803-819.

Stecker, J.A. et al. 2001. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1173-1183.

Walker, J.M. 1969. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33:729-736.

Wang, Y. et al. 2009. Aust. J. Soil Res. 47:529-536.

Weaver, J.E. 1926. Root development of field crops. McGraw-Hill, New York, NY.

Wetterauer, D.G. and R.J. Killorn. 1996. J. Prod. Agric. 9:39-41.

Zhang, J. and S.A. Barber. 1992. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:819-822.

Zhou, Z.D. et al. 2006. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:2057-2064.

Questions ?

8. Appliquer les formes d'ammoniac d'e N dans la même bande avec P peut
   a. améliorer la sorption de P apporté par le sol.
   b. améliorer l'absorption de K par les plantes.
   c. améliorer l'absorption de P par les plantes.
   d. réduire l'absorption de N par les plantes

9. Les engrais dissous appliqués en pulverisation foliaire sont absorbés par les feuilles des plantes à travers
   a. les pores des stomates.
   b. les petits pores dans la cuticule.
   c. les blessures des feuilles.
   d. les seules cellules de garde.

10. La creation d'une carte pour les applications à doses variables implique l'interpolation des niveaux d'analyse de sol pour chaque prélèvement au sein du champ. Le logiciel utilisé pour faire cette interpolation est nommé
    a. SIG.
    b. GPS.
    c. NDVI.
    d. ADV.

Module 6.2-1 L'emplacement de l'engrais azoté affecte la croissance et la concurrence des adventices avec le blé de printemps en Alberta, au Canada. L'ajustement de l'endroit et du moment d'apport des engrais peut avoir un impact significatif sur la productivité des cultures. Dans certains environnements, les adventices sont plus sensibles à l'engrais azoté (N) que les cultures telles que le blé ou le canola. Il est important de gérer les engrais de telle sorte que l'avantage concurrentiel va à la culture et non pas aux adventices. Une étude de 4 ans a été effectuée en Alberta au Canada et a étudié la concurrence à l'azote entre le blé de printemps et quatre adventices communes lorsque 50 kg N/ha (sous forme nitrate d'ammonium) ont été appliqués:

Emplacement des engrais: À la volée sur la surface du sol
En bande à 10 cm de profondeur entre chaque rangée de blé
En bande à 10 cm de profondeur entre toute autre rangée de blé
À l'injection de point de solution à 20 cm d'intervalle et à une profondeur de 10 cm (avec un équipement expérimental)

Moment d'apport: Octobre ou Mai de chaque année

Les semences de quatre espèces d'adventices (folle avoine, sétaire verte, moutarde sauvage, et chénopode blanc) ont été planté en surface du sol dans la première année. Le blé de printemps a été ensemencé en mai de chaque année, et récolté à maturité.

Adventices: La concentration en N était plus élevée dans la moutarde sauvage et le chénopode blanc en comparaison avec celle de la folle avoine et la sétaire verte. Cela montre que les mauvaises herbes à feuilles larges sont particulièrement concurrentielles dans l'absorption de N du sol dans cet environnement. L'emplacement de l'engrais azoté était généralement plus important que le moment d'apport pour la concentration en N dans les mauvaises herbes. La concentration en N dans les plantules des mauvaises herbes étaient généralement plus élevée avec l'application d'engrais sur la surface et plus faible avec l'application à l'injection de point.

Les populations des mauvaises herbes étaient généralement plus faibles avec l'application de N en printemps en comparaison à celle de l'automne. Les populations de mauvaises herbes étaient aussi généralement plus élevées lorsque l'engrais a été apporté à la volée à la surface du sol. La croissance des mauvaises herbes a toujours été plus faible dans le traitement de témoin non fertilisé.

Blé: La concentration en N dans les plantules de blé est positivement affectée par la méthode d'application d'engrais, mais pas par le moment d'apport. Les populations de plantes de blé ne sont pas affectées par le moment et l'endroit des applications d'engrais azoté.

La méthode d'apport de N avait un impact sur le rendement du blé lorsque les mauvaises herbes étaient présents (**Figure 1**). Les rendements du blé étaient généralement plus élevés lorsque l'engrais azoté a été appliqué en bande sous la surface du sol en comparaison avec l'application à la volée en surface du sol. Parmi les emplacements d'engrais sous la surface du sol, l'injection de point a toujours donnée le rendement de blé le plus supérieur.

La méthode d'application de N a généralement eu un effet important sur la croissance des adventices et la concurrence des cultures. L'application à la volée en surface était la méthode la moins préférée. Appliquer l'engrais azoté à un petit volume du sol a limité la croissance des adventices et a contribué à un rendement de grain élevé.

Plus de détail sur ce travail sont disponible dans la publication:

Blackshaw et al. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. Weed Sci. 52: 614-622.

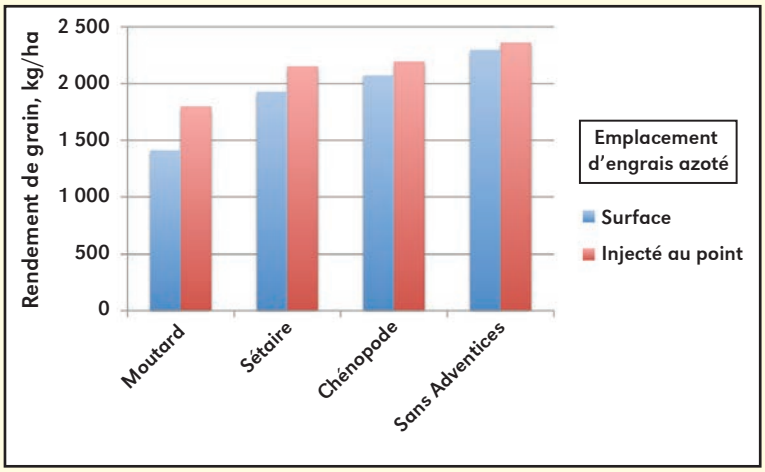


Figure 1. L'effet de l'emplacement d'engrais et les espèces adventice sur le rendement moyen des 4 années du blé de printemps. Les données sont les moyennes des applications d'engrais d'automne et du printemps

Soumis par R. Mikkelsen, IPNI, USA, Aout 2013.

M

Module 6.3-1 L'emplacement du phosphore pour le soja cultivé dans less sols tropicaux.

Les sols tropicaux sont généralement faibles en P, qui est une condition qui peut sérieusement limiter le développement des plantes et le rendement, en particulier pour les cultures à forte demande de P comme le soja. Pour des raisons de la capacité de fixation élevée de ces sols, l'apport de P doit être géré de telle sorte à minimiser la concurrence entre le sol et la plante pour P, et maximiser l'absorption de P par les plantes. Une application en bande sous la surface du sol est recommandée dans de telles conditions.

A titre d'exemple, la **Figure 1** montre l'effet de l'emplacement des engrais phosphatés sur le rendement en grains du soja sous deux conditions de sol: pauvre en P (sol d'origine) et riche en P (après avoir reçu précédemment une application en surface de 200 kg de P_2O_5/ha puis incorporée dans les premiers 20 cm). Pour les sols pauvres en P, l'effet positif de l'application en bande par rapport à l'application en surface permet l'utilisation de faibles doses pour obtenir le rendement maximum. D'autre part, dans les sols avec une application en surface puis incorporée, aucune différence entre les méthodes d'application (bande ou en surface) n'a pas été observée, du fait que la concurrence pour P disponible est réduite et plus de P a été disponible pour la croissance des cultures.

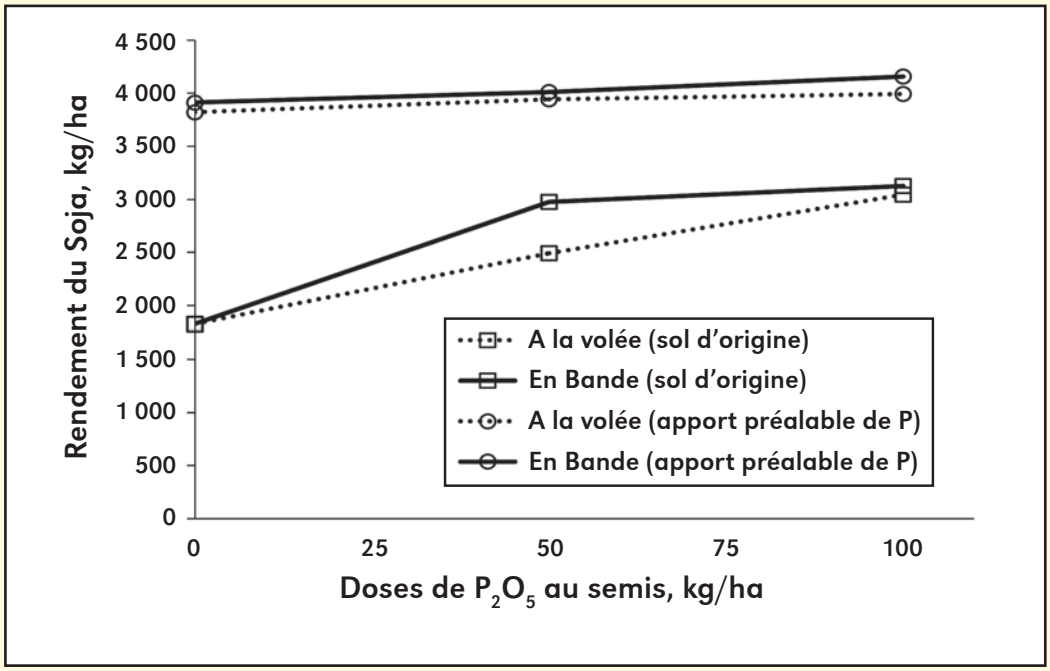


Figure 1. Rendement de grain du soja en fonction des doses de P appliquées en surface ou en bande dans deux différentes conditions du sol (sol d'origine pauvre en P et sol ayant reçu un apport de P) (Research Foundation MT, 2011 – données non publiées).

Soumis par E. Francisco, IPNI, Brazil, Janvier 2013.

Module 6.3-2 Placer le phosphore dans le sol pour protéger la qualité de l'eau dans le lac Érié. Le phosphore (P) est un nutriment essentiel à la croissance des cultures. Mais à des concentrations excessives dans les ruisseaux, les rivières et les lacs, il peut conduire à la prolifération d'algues. Dans la région du bassin versant du lac Érié dans et autour de l'état de l'Ohio, aux États-Unis, les niveaux du phosphore dissous dans les rivières et la prolifération d'algues dans les lacs avaient eu une tendance à la hausse de 1995 à 2011. Les engrais appliqués au système de culture prédominant, maïs-soja, ne sont pas la seule cause, mais sont l'une des nombreuses causes probables. Chaque fois que possible, les producteurs sont encouragés à placer l'engrais P dans le sol plutôt que sur la surface du sol, pour deux raisons principales.

Premièrement, placer le P en dessous des premiers 5 cm du sol permet de minimiser sa stratification dans le profil du sol (**Figure 1**). La stratification du P du sol peut se développer dans n'importe quel sol qui n'est pas labouré à soc. Lorsque la teneur en P du sol augmente dans les premiers 5 cm du sol, la concentration de phosphore dissous dans l'eau de ruissellement augmente également.

Deuxièmement, l'engrais phosphaté est soluble et étant en surface du sol augmente considérablement la concentration de P dissous dans les eaux de ruissellement qui peut se produire peu après l'application. Comme le montre la **Figure 2**, l'engrais appliqué en surface a mené à beaucoup plus de P dissous dans les eaux de ruissellement que les engrais incorporé dans le sol. L'incorporation de l'engrais P minimise également les niveaux de phosphore total dans les eaux de ruissellement.

L'incorporation peut augmenter la perte de P total à travers l'augmentation de l'érosion. En utilisant le minimum perturbation possible pour placer le P dans le sol est important pour gérer les pertes à la fois du P dissous et total. Les producteurs innovants couplent les pratiques de travail de consérvation du sol telles que le travail partiel du sol avec l'emplacement de P pour garder leurs systèmes de culture productifs tout en minimisant les pertes d'éléments nutritifs.

Références

Eckert, D.J. and J.W. Johnson. 1985. Agron. J. 77:789-792.
Tarkalson, D.D. and R.L. Mikkelsen. 2004. J. Environ. Qual. 33:1424–1430.

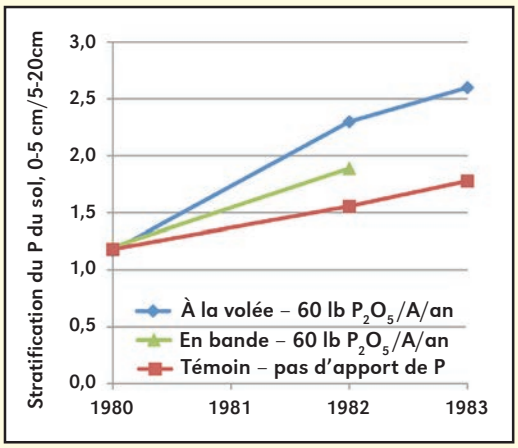


Figure 1. La stratification du P du sol - défini comme le rapport de la teneur en P du sol dans les premiers 5 cm en comparaison à celui de 5 à 20 cm de profondeur - augmente au fil du temps plus avec l'application en surface qu'avec l'application en bande. Sol limoneux près de Wooster, en Ohio; maïs en continu, sans labour depuis le printemps 1980. Les données de Eckert et Johnson (1985).

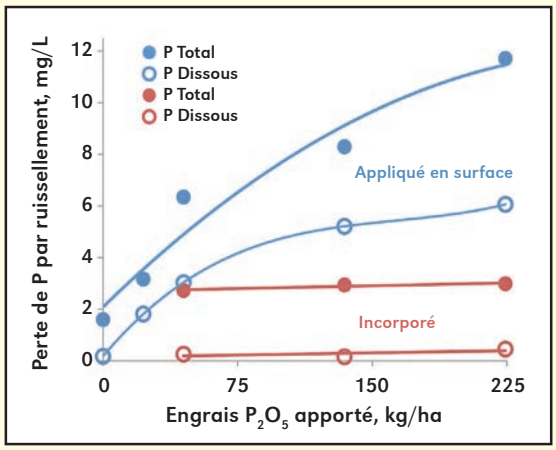


Figure 2. La concentration du phosphore dissous et total dans les eaux de ruissellement à partir d'un sol limoneux argileux de la Caroline du Nord, suite à une pluie artificielle immédiatement après l'application d'engrais de superphosphate. L'incorporation était à une profondeur de 12,5 cm par un travail rotatif du sol suivant l'application. Les données de Tarkalson et Mikkelson (2004).

Soumis par T.W. Bruulsema, IPNI, Canada, Mai 2013.

Module 6.4-1 Minimiser les pertes d'ammoniac avec le "bon endroit" pour la canne à sucre et le maïs au Brésil. Les pertes de N par la volatilisation sous forme ammoniac (NH_3) avec certaines formes d'engrais peuvent réduire l'efficacité de l'utilisation de N. La quantité d'azote volatilisée dépend fortement de la source, des conditions d'emplacement, et des conditions météorologiques. Au Brésil, la canne à sucre est récoltée en coupant et brûlant pour des décennies. Dernièrement, en raison de problèmes économiques et environnementaux, la canne à sucre est de plus en plus cultivée et récoltée mécaniquement avec un travail minimum du sol, qui au fil du temps a amélioré la couverture de la surface du sol par les résidus. Les mesures de pertes de NH_3 suite à l'application en surface de N dans ces sols ont montré qu'elles sont élevées lorsque la source de N est l'urée (**Figure 1**). Les pertes peuvent être réduites, mais elles ne sont pas éliminées en utilisant des inhibiteurs de l'uréase. D'autres études sur les sols cultivés en maïs ont montré qu'il y a une réduction importante des pertes de NH_3 lorsque les engrais contenant de l'urée ont été incorporé dans le sol (**Figure 2**). Ainsi, les engrais contenant de l'urée peuvent être utilisés pour la canne à sucre, à condition qu'ils soient incorporés ou placés dans le sol (le positionnement par l'injection ou en bandes est possible dans les systèmes sans labour). L'utilisation des inhibiteurs de l'uréase peuvent aussi aider à réduire les pertes.

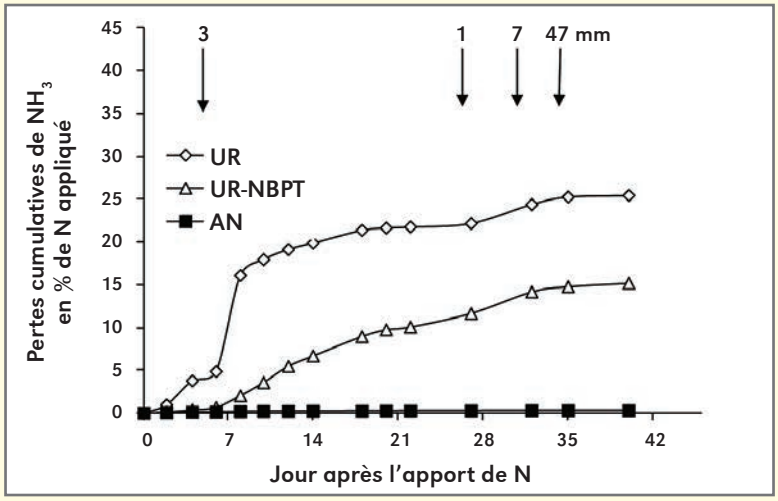


Figure 1. Les pertes cummulatives de l'ammoniac à partir de l'urée (UR), du nitrate d'ammonium (AN) et de l'urée traitée (UR-NBPT) appliqués en surface sur la canne à sucre. Les lignes indiquent les quantités (mm) et les dates des précipitations après l'apport de N. **Source:** Cantarella et al. (2008).

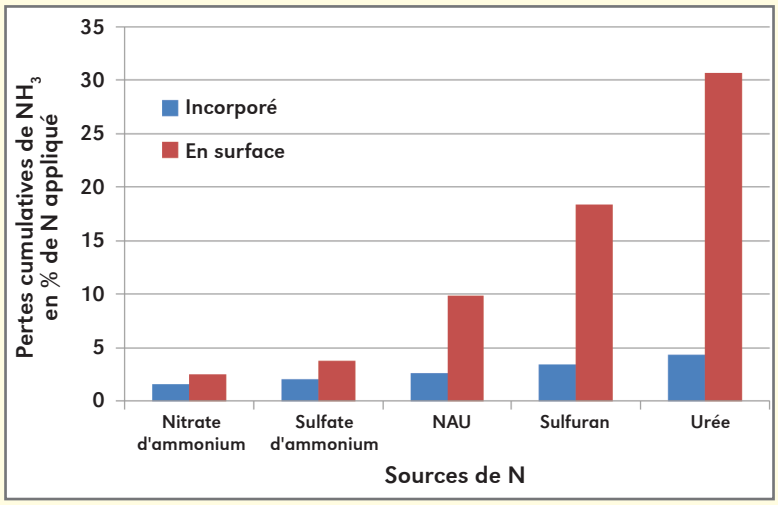


Figure 2. Les pertes par la volatilisation à partir de différentes sources d'engrais N dans le maïs. NAU = nitrate d'ammonium et d'urée; Sulfuran = NAU + sulfate d'ammonium, un liquide avec 40% de son N sous forme d'urée, 40% sous forme d'ammonium, et 20% sous forme nitrate. **Source:** Lara-Cabezas et al. (1997).

Références

Cantarella, H. et al. 2008. Sciencia Agricola 65(4):397-401.
Lara-Cabezas, W.A.R. et al. 1997. Revista Brasileira Ciência Solo 21:489-496.

Soumis par: L. Prochnow, IPNI Brazil, Janvier 2012

Chapitre 7

LES PRATIQUES ADAPTÉES À TOUTE LA FERME

LES PRINCIPES UNIVERSELS DE 4B discutés précédemment sont utilisés pour sélectionner les pratiques avec la plus grande probabilité d'atteindre les objectifs de gestion pour les systèmes de cultures dans des sites spécifiques et, en général, les objectifs économiques, sociaux et environnementaux du développement durable. Chacune de bonnes pratiques sélectionnées doit être en parfaite cohérence avec les principes de toutes les quatre "B". Les conditions locales peuvent influencer la décision sur la sélection de la pratique, ainsi que sur sa mise en œuvre.

7.1 Les Systemes de Cultures

Les pratiques de gestion des éléments nutritifs font toujours partie du système de cultures dans lequel autres facteurs de gestion tels que le travail du sol, le drainage, le choix des variétés, etc. peuvent affecter significativement l'efficacité d'une pratique spécifique. Des facteurs tels que le potentiel génétique de rendement, les mauvaises herbes, les insectes, les maladies, les mycorhizes, la texture et la structure du sol, le pH, le drainage, la compaction, la salinité, la température, les précipitations et le rayonnement solaire peuvent tous interagir avec la nutrition des plantes et l'efficacité de la pratique de gestion des nutriments.

7.2 La Gestion Adaptative

Les meilleures pratiques sont dynamiques et évoluent avec la science et la technologie, et l'expérience pratique enseigne l'observateur astucieux de ce qui peut ou ne peut pas fonctionner dans des conditions locales spécifiques. Thorup et Stewart a écrit en 1988:

> *"La recherche effectuée par chercheurs professionnels sur des fermes universitaires et des champs des agriculteurs est extrêmement précieuse. Cependant, elle n'est pas nécessairement liée directement à chaque champ. Les sols présentent une grande variabilité d'une ferme à l'autre. Les pratiques culturelles varient sensiblement d'un agriculteur à un autre. Même les facteurs climatiques peuvent varier considérablement sur de très courtes distances. Tous ces facteurs affectent les possibilités de réponse aux apports de fertilisants. Tout cela signifie que l'exploitant agricole qui a survit dans les années 1990 et au-delà doit réaliser un peu de ses propres expérimentations, tenir des registres précis, être flexible aux programmes gouvernementaux, aux fluctuations mondiales des prix du marché et aux besoins de conservation des sols et de l'eau".*

Bien que le terme n'existe pas encore, les agronomes décrivent encore la gestion adaptative des éléments nutritifs.

La gestion adaptative a été définie dans le Chapitre 2 comme un processus continu de développement de meilleures pratiques pour une production et une conservation des ressources efficaces par un apprentissage participatif et une évaluation systématique continue. **Figure 7.1** est une version simplifiée de la **Figure 2.3** qui se concentre sur la sélection de la pratique au niveau de l'exploitation en utilisant le processus de la gestion des éléments nutritifs adaptative. Une aide à la décision basée sur la science facilite l'intégration des facteurs multiples propres au site et les apports des intervenants dans une recommandation pour la bonne source et dose, et le bon moment et endroit. Cette recommandation conduit à des décisions de gestion concernant la sélection de la pratique et les actions associées. Avec le temps, la productivité, la rentabilité, et les impacts environnementaux sont connus et l'efficacité de l'utilisation des ressources peut être déterminée. Avec plus de temps, la durabilité du système en utilisant les pratiques en place devient évident et que l'expérience collective est réinjectée dans le processus de prise de décision, permettant alors de meilleures prévisions de la bonne source et dose, du bon moment et endroit, et la sélection de pratiques associées. En théorie, chaque passage à travers le cycle, a le potentiel d'aboutir à des meilleures décisions et pratiques plus appropriées. Idéalement, l'évaluation de la performance de la pratique se ferait sur la base de tous les indicateurs jugés importants pour les intervenants. Un défi dans ce processus est de ne pas réagir de façon excessive à des observations saisonnières et à toutes les données qui pourraient être recueillies. Les circonstances uniques d'une saison de croissance particulière peuvent avoir des répercussions de pratiques qui ont une faible probabilité de se reproduire. Par conséquent, il est toujours conseillé de vérifier les observations à dans la vue des principes scientifiques avant de faire des changements importants dans les pratiques.

De nombreux facteurs du site peuvent influencer ce qui constitue le meilleur ensemble de pratiques pour un lieu donné et révèle la raison pour laquelle la flexibilité locale est extrêmement importante. Par exemple (Fixen, 2007):

a) les facteurs de cultures englobent généralement le rendement potentiel et la valeur de la récolte et, dans certains cas, les concentrations en nutriments des tissus ou la couleur des feuilles du fait que plusieurs pratiques culturales peuvent affecter la gestion des éléments nutritifs;

b) les facteurs de sol souvent impliquent les indices de l'approvisionnement en nutriments dans le sol ou d'autres propriétés physiques, chimiques ou biologiques qui influencent le cycle des nutriments et la croissance des cultures;

c) les facteurs de producteur pourraient inclure le régime foncier, la disponibilité du capital, l'opportunité des coûts, l'expérience/l'éducation des agriculteurs et conseillers locaux, ou objectifs philosophiques de la gestion des éléments nutritifs;

d) les facteurs d'apport de nutriments intègrent des informations sur les sources disponibles, telles que les formes commerciales ou déchets contenant des nutriments, les coûts des engrais et les coûts de l'application;

e) les facteurs de qualité de l'eau pourraient inclure des restrictions sur l'application des éléments nutritifs dans les zones riveraines ou près des points d'eau ou des considérations en raison de la qualité des eaux souterraines;

f) certains types de systèmes d'aide basés sur des modèles sont affectés par les facteurs climatiques, alors que d'autres répondent à l'information météorologique en temps réel pour une compagne agricole spécifique et des prévisions météorologiques à court terme;

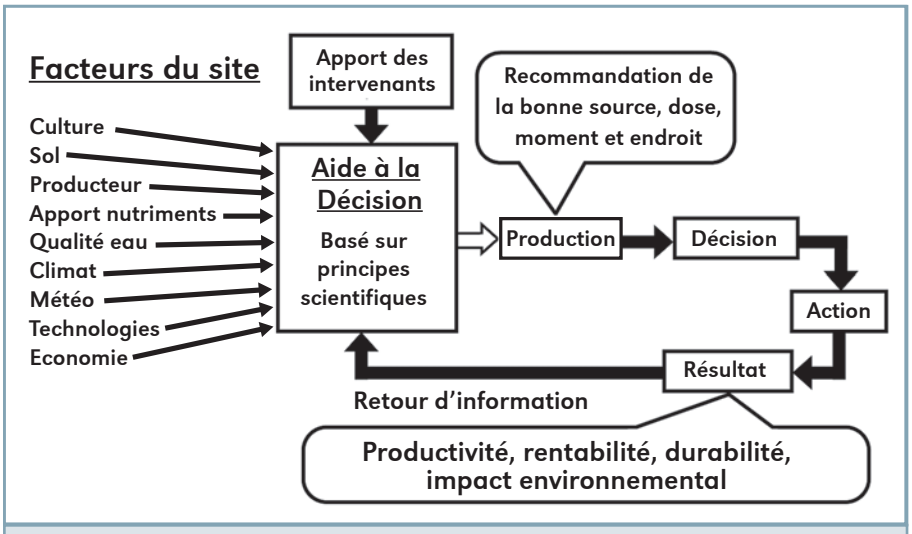


Figure 7.1 Le rôle de la gestion adaptative dans le raffinement aux pratiques pour la Gérance des nutriments 4B.

g) les technologies pertinentes disponibles sur le site en question peuvent certainement affecter la définition des meilleures pratiques (par exemple, l'ajustement des doses de N et le moment de leur application pendant la période de croissance peuvent être mieux réalisés par la technologie de capteur électronique dans certains cas et des graphiques de couleur des feuilles dans d'autres);

h) les facteurs économiques au-delà de ceux liés directement au producteur mais dans le future influencent les marchés et les risques, peuvent avoir un impact sur les décisions sur les éléments nutritifs.

7.3 Au delà Des Systèmes de Cultures

Plusieurs exploitants dans l'agriculture, soit qu'ils gèrent une ferme, un ranche, des serres ou autres, sont impliqués dans plusieurs entreprises. Un producteur de blé peut aussi avoir le bétail. Un producteur de maïs peut également produire des légumes frais pour le marché dans une partie de la ferme. Un cultivateur de riz peut également être un employé dans un autre domaine. Ce sont toutes, des situations courantes et font partie du monde agricole réel d'aujourd'hui, et ils influencent les décisions concernant les pratiques.

Les entreprises peuvent se concurrencer pour le même équipement. Un tracteur nécessaire pour un épandage d'engrais sur le maïs peut être également nécessaire pour une opération de récolte à une distance plus loin, ce qui peut affecter le moment d'apport d'engrais et le choix de la source. Les entreprises peuvent être également en compétition pour le temps du gérant. Dans ce cas, un engrais N à libération contrôlée peut être sélectionné parce que la fonction en ville empêche l'agriculteur de fractionner l'apport de l'engrais N et de l'appliquer au moment opportun.

Ces décisions de choix de pratiques doivent être toujours accompagnées par un examen des composantes du concept 4B. Souvent un ajustement dans l'un des Bs due à un facteur externe oblige l'ajustement des autres B pour rester dans l'ensemble des pratiques de gestion conforme aux 4B

7.4 L'Aide à la Décision

Plusieurs différents outils peuvent être utilisés par les producteurs et leurs conseillers pour aider à intégrer les facteurs du site, discutés auparavant, dans une approche systématique de la prise de décision concernant la gestion des éléments nutritifs. L'amélioration simultanée de plusieurs indicateurs potentiels de performance des systèmes de cultures n'est pas une affaire simple, et des outils pour supporter ce processus peuvent être très bénéfiques. Les outils de support peuvent impliquer la technologie minimale dans une ferme et être appropriée pour les régions de petits propriétaires ou être plus appropriée pour les régions avec un bon accès aux technologies sophistiquées. Un des défis du développement de support est de prendre en considération complètement les conséquences aussi bien à court terme qu'à long terme des pratiques de gestion des éléments nutritifs.

L'importance des outils de décision et des systèmes d'aide pour la gestion des éléments nutritifs augmentera en fonction de la demande pour l'amélioration de l'efficacité et de la productivité. L'intégration d'un dispositif approprié d'outil de décision dans les systèmes d'aide pour aider les nombreuses décisions interdépendantes de la gestion des éléments nutritifs, a été réalisée pour les systèmes de cultures dominants dans certaines régions. Cette intégration est nécessaire à la compréhension scientifique existante à être appliqué aux champs. Les systèmes d'aide ouverts et transparents qui facilitent la gestion adaptative à travers le retour d'information interne promettent d'améliorer la qualité des décisions prises pour la gestion des éléments nutritifs. Ces systèmes ouverts sont en mesure de capitaliser sur l'expertise locale de la gestion des éléments nutritifs et la mise en œuvre d'approches propres au site.

Les logiciels disponibles varient d'outils étroitement axés sur une pratique ou une décision, ou axés sur un vrai système d'aide à la décision qui intègre de nombreux aspects du concept 4B. Plusieurs exemples d'outils et des systèmes d'aide à la décision sont indiqués ci-dessous:

a) **Nutrient Decision Support System (NuDSS).** Le systèmem de décision sur les éléments nutritifs développé pour le riz irrigué dans le cadre d'une initiative par le Consortium de recherche sur le Riz irrigué (IRRC) afin de fournir un outil de décision sur la gestion des éléments nutritifs propres au site (SSNM). Le publique cible; scientifiques, vulgarisateurs et agronomes [en-ligne].

b) **Nutrient Expert pour maïs hybride.** Un logiciel mis au point pour aider les conseillers agricoles à formuler des recommandations en nutriments pour le maïs hybride tropical. Le logiciel est en cours d'adaptation pour faire des recommandations pour le maïs et le blé sur une plus large gamme d'environnements. L'absence d'informations sur les analyses du sol ne limite pas l'utilisation de ce logiciel. [en-ligne].

c) **Fertilizer Chooser.** Un logiciel développé comme étape finale dans le processus de recommandation. Fertilizer Chooser permet à l'utilisateur de traduire une recommandation d'éléments nutritifs en quantités exactes d'engrais disponibles, faire des comparaisons de prix pour trouver la combinaison la moins coûteuse des produits disponibles. [en-ligne].

d) **Adapt-N.** Un outil développé par l'Université Cornell pour estimer la dose de N à apporter en couverture pour le maïs. Il fournit des recommandations en N pour la production du maïs au cours de la saison basées sur les sols, la gestion de la culture, et les intrants et prend en considération les changements dans N du sol en raison de la météo au début de la saison. [en-ligne].

e) **Maize-N.** Un programme d'accompagnement pour le programme de simulation de cultures, Hybride-Corn,

développé par l'Université du Nebraska. Maize-N simule les besoins en engrais du maïs cultivé sous une gestion intensive basée sur l'information concernant la gestion de la culture précédente et celle de la saison en cours, du travail du sol et des résidus de culture, les propriétés de base du sol, la gestion des engrais du fumier, et les données météorologiques à long terme du champ. Il utilise toutes ces informations pour simuler le potentiel de rendement et N libéré par la minéralisation de la matière organique du sol, résidus de cultures et des engrais. [en-ligne].

f) **Seed-Placed Fertilizer Decision Aid.** Un outil développé par l'Université d'État du Dakota du Sud pour aider à déterminer la quantité d'engrais à placer avec la semence dans des conditions spécifiques et d'une manière raisonnable. Cet outil d'aide à la décision est basé sur des études de germination au laboratoire des cultures et engrais communs et vérifié par des données publiées de terrain là où elles existaient. [en-ligne].

g) **Phosphate Rock Decision Support System (PRDSS).** Un outil développé pour aider les utilisateurs à décider si l'apport d'une roche de phosphate spécifique (PR) est réaliste de manière agronomique et économique en comparaison avec les sources de P solubles dans l'eau et en fonction principalement de la culture, des propriétés de la roche de phosphate, des propriétés du sol, et d'autres conditions du site, telles que le climat. [en-ligne].

De nombreux systèmes et outils d'aide à la décision sont disponibles pour des systèmes de cultures spécifiques partout au monde. Ils ont un grand potentiel pour améliorer les recommandations pour la source, la dose, le moment et l'endroit d'applications d'éléments nutritifs. Les développeurs de ces systèmes doivent s'assurer qu'ils traitent tous les aspects du concept 4B pour les régions de cultures dans lesquelles ils sont utilisés. **4B**

RÉFÉRENCES

Fixen, P.E. 1994. *In* Murphy, L.M. (ed.). Proceedings of the Intensive Wheat Management Conference, Denver, CO. Potash & Phosphate Institute, pp 49-56 (now the International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA).

Fixen, P.E. 2007. *In* Fertilizer Best Management Practices, First Edition. IFA, Paris.

Thorup, J.T. and J.W.B. Stewart. 1988. *In* Proceedings of the 25th Anniversary Symposium of Division S-8, Advances in Fertilizer Technology and Use. Published for the Soil Sci. Soc. A. by the Potash & Phosphate Institute (now the International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA).

Questions ?

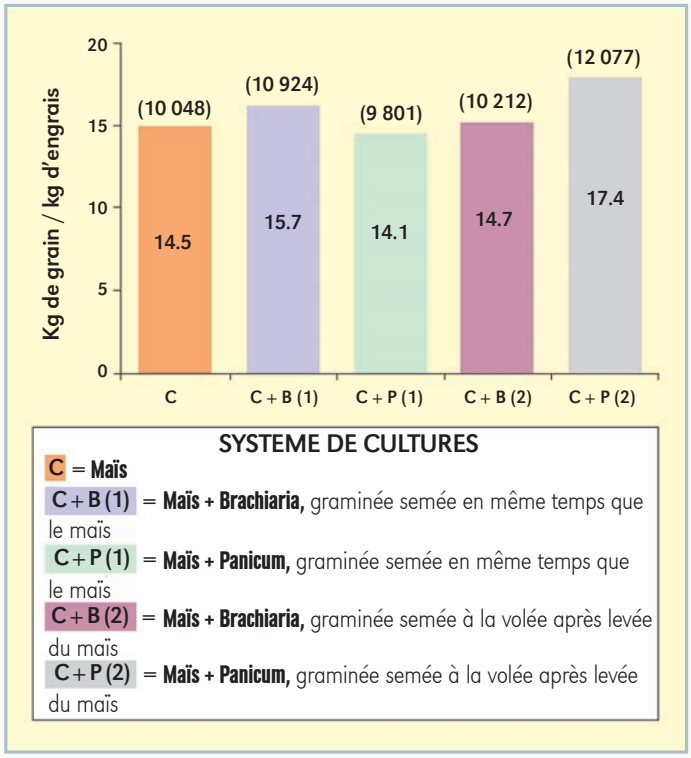
1. Partout au monde adaptative est un processus continu pour le développement des pratiques améliorées par un apprentissage participatif à traversl'
   a. évaluation du rendement des cultures.
   b. évaluation des facteurs du site.
   c. évaluation systématique et continue.
   d. évaluation des principes scientifiques.

2. Un des facteurs du site qui affecte la décision concernant la bonne source, dose, bon moment et endroit pour l'application des fertilisants est
   a. le retour d'information.
   b. les commentaires des intervenants.
   c. les résultats.
   d. le climat.

3. Les systèmes d'aide à la decision appliquent les compréhensions scientifiques pour intégrer l'information sur les différents facteurs du site pour prendre une décision sur
   a. la bonne source et dose, et le bon moment et endroit.
   b. le logiciel.
   c. les commentaires des intervenants.
   d. la gestion philosophique des nutriments.

CS

Étude de cas 7.1-1. L'effet du système de cultures sur l'efficacité des nutriments et le rendement des cultures au Brésil. Les saisons d'hiver sèches empêchent une adoption réussie des systèmes durables sans travail du sol par les agriculteurs au Brésil. En conséquence, peu de résidus de cultures sont laissés sur ces sols. Le système de cultures intercalaires des céréales avec les fourragères tropicales, (surtout Brachiaria ou Panicum) a été adopté avec succès dans plusieurs régions du Brésil comme moyen de protéger le sol et d'obtenir une efficacité élevée de l'utilisation des éléments nutritifs des rendements plus élevés et un revenu également plus élevé. La figure montre les rendements moyens du maïs pour trois ans. Le rendement du maïs a augmenté de 10 048 kg/ha à 12 077 kg/ha respectivement pour le maïs seul et le maïs avec une culture intercalaire de graminée fourragère. Le choix de la bonne graminée fourragère et la date du semis a amélioré l'efficacité de l'utilisation des engrais (rendement de grain par unité fertilisante) de 20%. À titre d'exemple de la faisabilité économique, à l'une des fermes de la société agro de Peeters au Brésil, il y avait une augmentation de 100% de son bénéfice en raison de l'adoption d'un système de cultures en alternant le soja, le maïs deuxième culture, et la graminée Brachiaria pour une année avec le coton et les autres années opposée au coton. Dans de tels systèmes, les graminées fourragères sont cultivées soit seules, soit en culture intercalaire avec les céréales. Cette information constitue un exemple clair de l'impact d'une adaptation adéquate des pratiques en matière de rotation et des cultures intercalaires correctes ce qui peut aboutir à plus de succès pour la ferme. On croit que les systèmes de cultures similaires peuvent être étendus à d'autres régions du monde.
Source: Crusciol, C.A.C., et al. 2010. Better Crops with Plant Food. 94:2, pp.14-16.



Soumis par: L. Prochnow, IPNI, Brésil, Decémbre 2011

CS

Étude de cas 7.1-2 L'adaptation de la gestion de N pour la pomme de terre irriguée en Chine. Le nord-ouest de la Chine est une zone semi-arides à aride avec une pluviométrie annuelle de 200 à 400 mm ou inférieure. Le défi est de soutenir une croissance suffisante des plantules pendant le printemps en raison du manque de l'humidité dans le sol, ce qui généralement limite la production. Pour améliorer le rendement des cultures les agriculteurs essaient d'irriguer avec des ressources en eau limitées. La pomme de terre est la culture principale et elle est souvent plantée dans des champs nivelés pour l'irrigation par inondation. Récemment, de plus en plus les agriculteurs s'orientent vers la plantation de pommes de terre sur les arêtes en utilisant le système d'irrigation goutte à goutte. Cependant, la gestion des éléments nutritifs, en particulier N, a été à la fois un défi et une opportunité dans ces conditions.

Des études ont été effectuées sur la gestion de N sous système d'irrigation par submersion et goutte à goutte pour la pomme de terre cultivées sur des sols châtains de la province de Wuchuan, en Mongolie-Intérieure. Les résultats présentés dans le **Tableau 1** ci-dessous montrent que lorsque la totalité de N recommandée a été apportée avant la plantation sous irrigation goutte à goutte, le rendement en tubercules était plus élevé, et une efficacité de la récupération de N (ERN) et une efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) également plus élevés en comparaison avec l'irrigation par submersion. Aussi, l'apport de 50% de N recommandé a donné le même rendement que celui obtenu avec un apport de 100% de N recommandé sous irrigation par submersion. La dose réduite a également amélioré l'efficacité de la récupération de N par rapport à l'irrigation par submersion, mais une faible efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) par rapport à la dose totale de N sous irrigation goutte à goutte. L'irrigation goutte à goutte a permet d'économiser de l'eau (630 m^3/ha) et des engrais azotés (105-120 kg/ha) par rapport à l'irrigation par submersion sans affecter les rendements. Le fractionnement de N et l'apport de 100% de l'application de base de N sous irrigation par submersion a produit les mêmes rendements de tubercules, mais le fractionnement a amélioré l'efficacité de l'utilisation N. Ainsi, un grand potentiel existe pour optimiser la production et l'efficacité de l'utilisation des nutriments sous les deux systèmes d'irrigation en utilisant les fertilisants dans des conditions où l'eau est limitante. **Source:** Li, S., et al. 2011, Better Crops with Plant Food, Vol. 95, No. 3, 20-23.

Tableau 1. La réponse de la pomme de terre à la gestion de N et les systèmes d'irrigation en Mongolie-Intérieure. Moyen de deux années, 2009-2010.

Gestion de N		Irrigation	Rendement moyen tubercule, t/ha	Moyen ER_N, %	Moyen EUE, kg/ha/mm
avant semis	à la floraison				
100%		goutte à goutte	37,3 a	34	431 a
50%			33,1 b	46	383 b
30%	70%	submersion	34,2 b	27	228 c
100%			33,0 b	22	220 c

Note: N-P_2O_5-K_2O=210-90-165 kg/ha en 2009, N-P_2O_5-K_2O=240-90-165 kg/ha en 2010.
Les valeurs suivies par la même lettre au sein de la même colonne ne sont significativement différents à $P<0.05$.

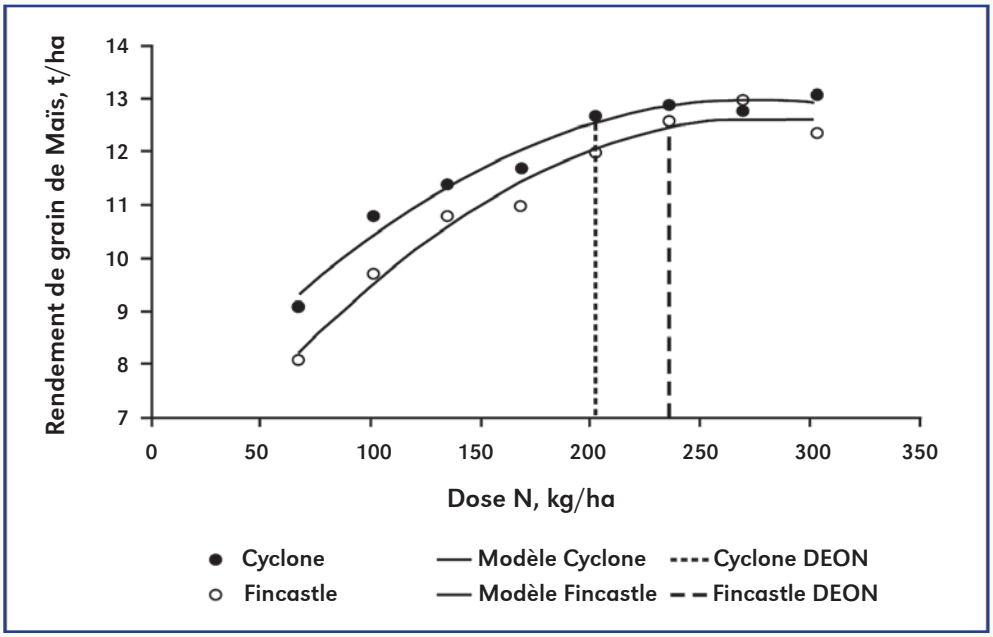
Soumis par: S. Li, IPNI, Chine, Decémbre 2011

CS

Étude de cas 7.2-1 La gestion adaptive de N pour des sols en utilisant les données locales pour le maïs du Midwest américain. Dans cet exemple de la gestion adaptative de N (Murrell, 2004), un agronome a cherché à apporter des améliorations sur les doses de N recommandées par l'université dans son état. L'agronome avait déjà établi un programme de gestion propre au site dans lequel les types de sol ont été utilisés comme base pour la création de zones de gestion au sein du champ. Le phosphore, K, et la chaux ont été modifiés selon les besoins de différentes zones. Cependant, N a été apporté à une dose uniforme à travers le champ, et l'université n'a pas fourni des orientations pour les applications propres au site.

Pour déterminer quels sont les changements qui devraient être apportés aux doses de N recommandées pour les deux sols prédominants dans cette zone, l'agronome a effectué une étude de 5 années pour tester la réponse du maïs aux différentes doses de N dans les deux sols à texture limoneuse; Fincastle et Cyclone. Les doses d'azote ont été sélectionnées pour englober les pratiques de gestion des agriculteurs ainsi que les recommandations de l'université. L'étude a été conçue de telle sorte que la rotation maïs/soja soit maintenue du fait qu'elle reflète les pratiques locales de cultures.

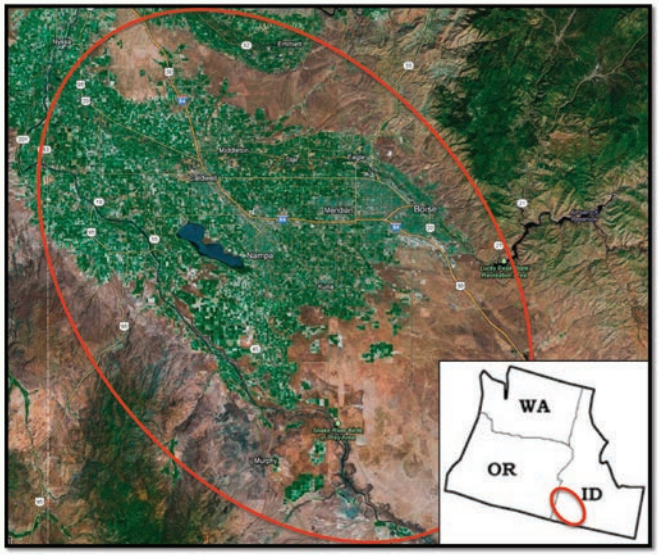
La figure présente les résultats moyens de 4 ans (une année de sécheresse est exclue). Les résultats montrent que la dose économique optimale de N (DEON) a été réduite de 35 kg/ha par rapport à la dose recommandée par l'université pour le sol Cyclone qui est riche en MO, alors que le sol Fincast qui est pauvre en MO avait besoin de la dose de N totale recommandée (235 kg N/ha). Ces résultats ont été à l'opposition de l'opinion détenue par les agriculteurs de la région parce que le sol Cyclone doit recevoir plus de N vu sa productivité élevée. Les résultats de cette étude ont été utilisés pour développer de nouvelles recommandations pour le sol Cyclone et ont créé la base scientifique pour l'agronome pour commencer un nouveau programme sur N propre au site en variant les doses en fonction du type de sol au sein du même champ.
Source: Murrell, T.S. 2004. In A.R. Mosier et al. (eds.) Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on feed production and the environment. Scope 65. Island Press, Washington, DC. p.155-165.



Soumis par: T.S. Murrell, IPNI, USA, Decémbre 2011

CS

Étude de cas 7.2-2 Améliorer les pratiques de gestion de l'azote et de l'irrigation se traduit par l'efficacité et le rendement. L'agriculture irriguée dans le sud-est de l'Oregon et le sud-ouest d'Idaho (Treasure Valley) produit des rendements élevés de l'oignon, du maïs, du blé, de la betterave à sucre, de la pomme de terre, et du haricot, en se basant sur d'importants intrants d'eau et d'engrais azotés. Avant le développement de l'irrigation, l'agriculture dans ces régions était impossible à cause de faibles précipitations pendant la période de croissance. L'agriculture irriguée est devenue possible avec la construction des barrages et des réservoirs dans le début des années 1900. Jusqu'aux années 1980, il était courant pour les agriculteurs d'apporter systématiquement 70 à 225 kg N/ha à l'automne, suivi par un autre apport 170 à 335 kg N/ha au printemps et en été. L'irrigation par rigoles était la méthode dominante pour l'apport d'eau.



Résultats

Un programme intensif d'éducation a été lancé pour aider les agriculteurs à considérer tout l'engrais N appliqué et prélevé par les cultures récoltées, pour généraliser l'analyse du sol pour les nitrates, et pour inclure les cultures à enracinement profond en rotation avec les cultures à enracinement superficiel. Cultiver des cultures comme la betterave à sucre et le blé après les oignons et les pommes de terre a permet la récupération des nitrates résiduels laissés dans le sol par les cultures précédentes. Des démonstrations sur le moment, l'endroit, et les doses d'apport d'engrais azoté ont abouti à l'amélioration de la qualité et de la productivité avec moins d'apports d'éléments nutritifs.

La considération de tout azote apporté a permis une meilleure adéquation entre les apports du nutriment et les besoins de la culture en croissance. Pour ce faire, les producteurs utilisent maintenant les recommandations en éléments nutritifs basées sur les résultats des analyses du sol. Les échantillons de pétioles des plantes sont analysés régulièrement pour la pomme de terre et la betterave à sucre, des échantillons de racines d'oignon sont analysés, et des échantillons des feuilles drapeau du blé sont testés selon les besoins.

Les apports d'azote à l'automne sont maintenant en grande partie éliminés, car il est susceptible aux pertes par le lessivage suite aux précipitations de l'hiver. En hivers secs, les engrais placés en bande à côté de la semence peuvent interférer avec l'établissement des plantules. Les apports d'engrais azoté sont maintenant printanières et fractionnés et commencent généralement au mars et se terminant en juillet. Lorsque les plantes atteignent une maturité préscrite, des échantillons de tissus sont pris pour voir si les plantes ont besoins d'autres éléments nutritifs jusqu'à la maturité.

La gestion de l'azote et celle de l'irrigation sont étroitement liés. Améliorer la gestion de N exige également des pratiques d'irrigation améliorées pour éviter le lessivage des nitrates. Par exemple, la première irrigation par sillons a augmenté le potentiel de lessivage des nitrates en dessous de la zone des racines à cause de la surface du sol friable et du sous-sol sec, qui a un taux d'infiltration élevé. L'application d'engrais azotés après la première irrigation a réduit les pertes de nitrate et a permis aux producteurs d'oignons de réduire les apports d'engrais azoté par 25% tout en maintenant le rendement et la qualité.

L'amélioration des pratiques d'irrigation a également conduit à des bénéfices en gestion des éléments nutritifs. Ceux-ci inclus:

- Nivellement des champs par Laser pour atteindre à une application plus uniforme de l'eau
- Utilisation du paillage mécanique pour réduire le mouvement du sol et la perte de sédiments
- Tuyau fermé permet une distribution plus uniforme de l'eau et une diminution de la consommation d'eau de 35%
- Bloqueurs de mauvaises herbes enlèvent les obstacles et permet un coulement de l'eau plus uniforme
- Ajout de polyacrylamide lie les particules du sol et réduit l'érosion induite par l'irrigation
- Bassins de décantation recueillent le sol perdu pour être récupéré et retourné au champ
- Adoption de l'irrigation par aspersion peut permettre à l'eau d'être appliquée de façon plus uniforme que l'irrigation par rigoles
- Passage à l'irrigation goutte à goutte permet une gestion plus précise de l'eau et des nutriments. Par exemple, des oignons cultivés sous irrigation goutte à goutte nécessitent seulement 60% d'eau que lorsqu'elle est cultivée sous irrigation par sillon.
- Dispositifs de surveillance de l'humidité des sols ont été adoptés par les agriculteurs pour les aider à planifier les irrigations.

CS

Les tendances des nitrates dans les eaux souterraines pour les 20 dernières années montrent que les concentrations des nitrates diminuent lentement à un taux légèrement inférieur à 1 ppm/an. Une baisse significative de la concentration d'autres produits chimiques agricoles est également observée.

Avec l'adoption de principes intégrés 4B, des progrès significatifs ont été accomplis dans l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs, l'augmentation de la productivité, et la réalisation des gains environnementaux.

Tableau 1 L'amélioration du rendement d'oignon et de l'utilisation d'engrais azoté dans Malheur County, Oregon de 1980 à 2008.

	Irrigation par sillon			Irrigation goutte à goutte
	1980	**1987**	**2008**	**2008**
Rendement, t/ha	27	30	44	46
Azote Total apporté, kg N/ha	448	318	288	196

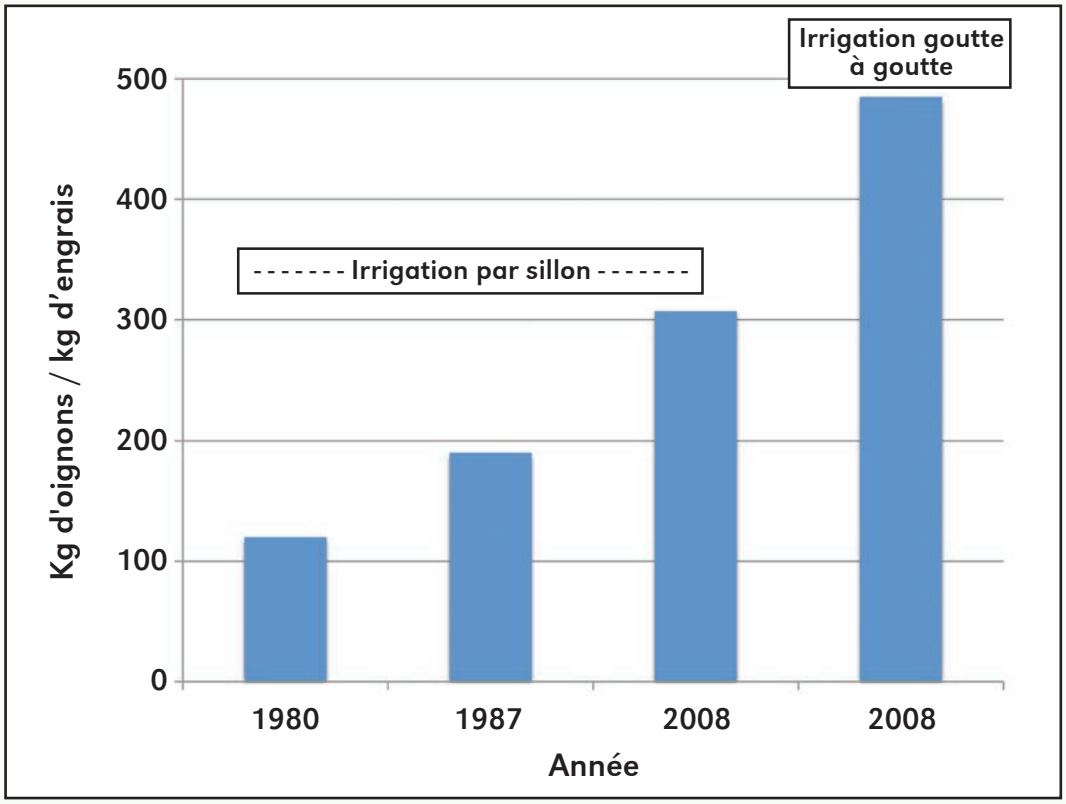


Figure 1. L'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de N (facteur partiel de productivité) en production d'oignons à Malheur County, en Oregon que le programme de nutriment et d'irrigation améliore la gestion des éléments nutritifs.

Références

Shock, C.C., and C.B. Shock. 2012. J. Integrative Agriculture. 11:14-30

Soumis par: R. Mikkelsen, IPNI, USA, Janvier 2013.

CS

Étude de cas 7.3-1 La sélection des pratiques de P pour le blé en fonction des circonstances de producteurs. Les résultats de l'atelier sur l'interprétation des analyses de sol organisé dans le cadre du Symposium international sur les analyses du sol et de l'analyse des végétaux à l'Olympia, au Washington, ont mis en évidence les circonstances dans lesquelles les agriculteurs choisissent une pratique de gestion de P (Fixen, 1994). Les participants de cet atelier étaient les professionnels d'analyse de sol de 11 pays et ont été divisés en deux groupes de 20. Chaque groupe a été divisé en quatre sous-groupes de cinq participants, et chacun des sous-groupes s'est intéressé à un agriculteur spécifique. Les quatre agriculteurs produisent tous le blé comme culture principale et sont décrit comme suit:

- Jeune agriculteur locataire. Ce jeune agriculteur est fortement endetté, limité en capital, et ne peut pas négocier un contrat pour plus de deux ans. L'agriculteur réalise des rendements plus faibles que la plupart d'autres dans la région due en partie à des contraintes de capitaux.
- Agriculteur bien établi. Cette personne n'a aucune dette, investit l'excédent du capital dans des fonds communs de placement, et réalise des rendements excellents pour la région. Le terrain en question a été récemment acheté.
- Agriculteur en expansion. Cet agriculteur a récemment acquiert des terres et il manque du capital
- Agriculteur à temps partiel. Cet agriculteur a un capital suffisant, mais il est enseignant, et en période de semis il a des conflits de temps avec sa fonction d'enseignant. Cette personne ne donne pas beaucoup d'importance au moment et mode d'apports d'engrais et préfère que le fournisseur s'occupe de cette tâche.

Tous les groupes ont reçu les mêmes données d'étalonnage, données absorption, et le niveau de l'analyse du sol et ont été invités à élaborer un plan de gestion de P à court et à long terme pour leur agriculteur. Les plans de différents groupes ont été discutés et comparés aux plans élaborés par un logiciel appelé PKMAN développé par l'Institut pour faciliter la personnalisation de l'interprétation des analyses de sol. Le programme estime le niveau d'analyse de sol à laquelle le dernier dollar dépensé sur P ou K a donné un rendement égal au revenu minimum acceptable de l'investissement fait en intrants. Ce niveau est appelé le niveau d'analyse du sol cible. La dose recommandée en fonction du niveau de l'analyse de sol cible est égale à la quantité de P ou K prélevée par la culture. Si le tableau des doses suggérées est suivi, les niveaux d'analyse de sol au fil du temps doivent augmenter ou diminuer vers le niveau cible.

On a demandé aux groupes de l'atelier de donner les quantités de P à appliquer pendant la première année et à long terme pour les niveaux d'analyse du sol cible. Leurs recommandations et celles de PKMAN sont présentées dans le tableau. Les recommandations des deux classes étaient assez semblables à l'une et l'autre et dans la plupart des cas à celles de PKMAN. L'exception était la dose de la première année pour l'agriculteur à temps partiel. Cet écart est principalement dû à la dose très faible de la première année par rapport au niveau de l'analyse du sol cible proposé par les groupes. Lorsque cela a été discuté avec les groupes, les sous-groupes ont convenu que la dose de la première année devrait être augmentée pour accroitre au niveau de l'analyse du sol cible. Ainsi, le logiciel a généré des recommandations semblables à celles mises au point spontanément par les professionnels d'analyse du sol. Cet exercice illustre la façon dont les circonstances peuvent influencer les décisions des producteurs concernant la dose, l'endroit et le moment d'apport des engrais. Il montre également que les outils informatiques peuvent faciliter la personnalisation de l'interprétation des analyses de sol par les agronomes et peuvent être une composante de valeur pour le concept 4B.
Source: Fixen, P. 1994. In L.S. Murphy (ed.) Proceedings Intensive Wheat Management Conf., Denver, Co., Potash and Phosphate Institute (now IPNI). p49-79.

	Dose à première année			Niveau d'analyse de sol cible		
	Classe			Classe		
Type d'agriculteur	1	2	PKMAN	1	2	PKMAN
	kg P_2O_5/ha			mg/kg		
Jeune locataire	17	0	12	NA	NA	5
Bien établi	56	45	55	26	25	22
En expansion	28	0	37	14	10	14
Temporaire	22	39	94	22	20	20

NA = Non approprié; Niveau initial du sol = 10 mg/kg.

Soumis par: P. Fixen, IPNI, USA, Decémbre 2011.

CS

Étude de cas 7.3-2. L'optimisation de la gestion des engrais N sous de contraintes multiples de temps. Dans plusieurs régions du monde, les petits exploitants sont en recherche continue de nouveaux moyens pour améliorer leur revenu. Au cours des dernières années en Chine, beaucoup de main d'œuvre disponible pour l'agriculture a quitté vers les villes pour travailler dans les chantiers de construction. La technologie actuelle a suggéré que dans les exploitations produisant des rendements élevés des cultures irriguées, l'apport de l'engrais azoté doit être fractionné pour améliorer le rendement de grain et optimiser l'efficacité de l'utilisation de N.

La technologie d'engrais à libération contrôlée permet aux agriculteurs d'apporter toute la dose recommandée au semis, et N sera libéré à différents moments au cours de la période de croissance. Les engrais de N à libération contrôlée sont souvent mélangés avec des engrais de N non traités pour permettre un approvisionnement en N immédiat et différé à une date ultérieure. Le coût supplémentaire de ces produits est souvent largement récompensé par les revenus non agricoles, et l'efficacité des engrais à libération contrôlée permet à l'agriculteur d'apporter sa dose normale, ou dans de nombreux cas une dose réduite.
Source: IPNI China, données non publiées.

Traitement	Sichuan	Chongqing	Hubei	Jiangxi
– – – – – – – – – – – – – – – – rendement de riz, kg/ha – – – – – – – – – – – – – – – –				
Témoin (sans N)	4 167	5 635	6 243	5 623
Urée fractionnée*	6 996	7 495	7 004	7 667
Urée/CRU**	7 120	8 352	7 524	8 134

* Urée fractionnée est 40% de N de l'urée avant la transplantation, 60% de N de l'urée 7 à 10 jours après la transplantation.
**Urée/CRU est 40% de N de l'urée avant la transplantation, 60% de CRU après la transplantation.

Soumis par: A.M. Johnston, IPNI, Canada, Decémbre 2011

CS

Étude de cas 7.3-3. Améliorer l'équilibre d'éléments nutritifs dans les exploitations laitières par la gestion de fourrage.
Dans le nord-est des États-Unis, l'élevage laitier est une grande partie de l'agriculture. Les éleveurs des vaches laitières produisent généralement leurs propres cultures fourragères (exemple foin, ensilage, et ensilage du maïs) pour l'alimentation, mais l'achat de compléments de céréales est nécessaire pour fournir l'énergie pour la digestibilité et les protéines. Les fumiers sont généralement épandus sur les champs où les fourrages et le maïs pour ensilage sont cultivés, et où une grande partie des nutriments minéraux est recyclée vers le sol.

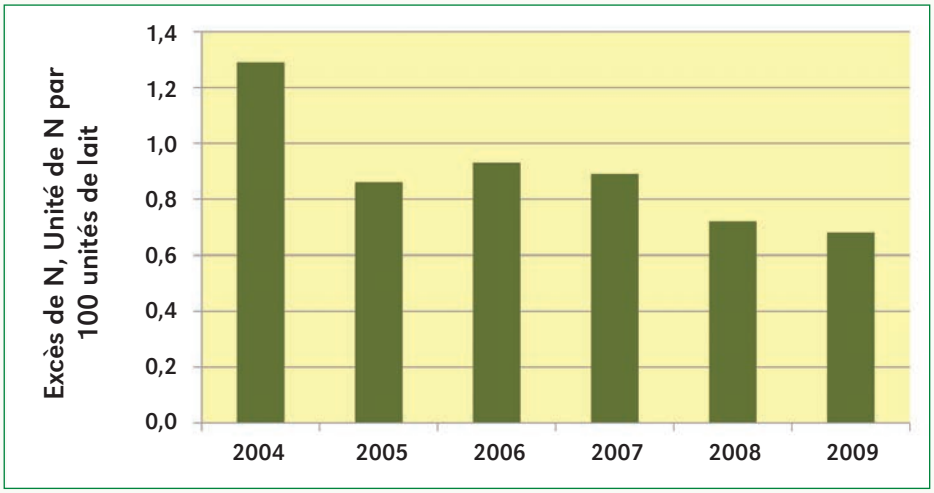
Dans plusieurs exploitations laitières, la quantité de nutriments importés sous forme de grains et de suppléments achetés dépasse la quantité des nutriments exportés sous forme de lait et d'animaux vendus. Dans ces exploitations, les excédents de nutriments retournent au sol sous forme de fumier et améliorent lentement les réserves du sol en P et K à des niveaux plus élevés que les besoins nécessaires pour la production agricole. Ces niveaux plus élevés peuvent entraîner la détérioration de la qualité de l'eau suite aux pertes d'éléments nutritifs par ruissellement.

La question de l'excédent d'éléments nutritifs peut être adressée par la gestion de fourrages pour une qualité optimale. Lorsque les vaches sont nourries des fourrages de bonne qualité, moins de suppléments sous forme de grains et de minéraux seront nécessaires dans l'alimentation.

Charles C. Stallings, Conseiller scientifique auprès Virginia Tech, déclare:

> "Maximiser la quantité de fourrage dans la ration ne peut pas seulement améliorer la santé de la vache, mais aussi réduire la nécessité pour un supplément fourrager qui est typiquement riche en P. Par exemple, la farine de soja contient 0,7% P (pois sec) en comparaison avec 0,3% pour la luzerne. Tout simplement, fournir les protéines à travers la luzerne réduira le besoin en farine de soja. En plus, beaucoup de sous-produits contiennent de fortes concentrations de P. Par exemple, les graines entières de coton (0,6%), les grains de brasserie (0,67%), et des grains de distillerie (0,83%). En utilisant plus de fourrages dans la ration réduira les besoins en ces aliments".

Comme le montre la figure, sur une exploitation de 1100 vaches laitières à New York, le passage d'une alimentation basée sur 52% de fourrages à une alimentation basée sur 60% de fourrages entre 2004 et 2009 a permis de réduire l'excès de N en presqu'une moitié (Fields, 2011). Le gestionnaire de l'exploitation a noté "Un régime alimentaire riche en fourrages est atteint par l'utilisation des fourrages de bonne qualité, alors il faut qu'on profite pleinement de la valeur nutritive du fumier produit dans la ferme. Nous sommes passés à l'injection directe au moment de l'épandage ... avec l'injection, les pertes d'azote par la volatilisation sont considérablement réduites, alors plus de N est resté disponible pour le maïs". De même, dans une autre ferme de 650 vaches laitières au centre de New York, l'augmentation de la proportion des aliments produits sur place de 43 à 59% au cours de cinq année a réduit la teneur en N et P du fumier produit de 17 et 28%, respectivement, (Tylutki et al., 2004).



L'amélioration de l'équilibre nutritif en N et P est le résultat des effets combinés de:

- Minimiser les pertes d'éléments nutritifs du fumier en stockage;
- Appliquer le fumier et les engrais à la bonne dose, au bon moment et endroit;
- Sélectionner les espèces fourragères, la rotation de cultures et la période de récolte pour atteindre les objectifs de qualité pour les protéines et fibres;
- Minimiser les pertes des aliments stockés;
- Alimenter le plus précisément possible selon les besoins en protéines et P par les animaux.

Références

Fields, L. 2011. Cornell University Nutrient Management Spear Program, Whole Farm Evaluation Series.
Stallings, C.C. 2005. Virginia Cooperative Extension.
Tylutki, T.P. et al. 2004. The Professional Animal Scientist 20:58-65.

Soumis par: T.W. Bruulsema, IPNI, Canada, Novembre 2011.

CS

Étude de cas 7.4-1. L'utilisation de l'outil de décision Nutrient Expert, augmente la rentabilité de la production du maïs. Des essais chez les agriculteurs ont été effectués en Indonésie dans la zone de production de maïs, dans la région centrale de Lampung et nord de Sumatra, pour valider l'outil Nutrient Expert. Dans chaque région, les résultats ont été tirés pour chaque pratique de cinq champs situés à proximité les uns des autres.

L'outil Nutrient Expert utilise les informations de l'approvisionnement en nutriments dans le sol dérivé soit 'des parcelles expérimentales à élément manquant "omission plots" ou des sites et des caractéristiques de gestion qui servent de procurations pour l'approvisionnement en nutriments. L'outil recommande des doses et moment d'application de N, P et K qui diffèrent des pratiques des agriculteurs, qui sont basés sur une recommandation générale « une dose pour toute situation » ou sur des estimations qui habituellement ne considèrent pas les nutriments indigène et propre au site.

Dans ce cas, la dose de nutriment à apporter a été estimée à partir des informations sur la texture, la profondeur, et la couleur du sol, ainsi que sur l'historique de la culture et de la fertilisation. Les rendements du maïs atteints dans ces deux environnements favorables sont de l'ordre de 9 t/ha, qui a été utilisé comme rendement objectif. Les semences, l'engrais et le prix des céréales sont des valeurs réelles enregistrées au cours de la conduite des essais.

En moyenne, l'utilisation de l'outil Nutrient Expert en Indonésie a obtenu des rendements plus élevés avec moins d'apport d'engrais. Une efficacité et une rentabilité élevées ont été obtenues en faisant correspondre plus étroitement la dose de chaque nutriment appliqué aux besoins en ce nutriment du site et à travers des apports fractionnés.

Tableau 1. Le rendement et la probabilité de production du maïs en comparant la pratique de l'agriculteur basée sur des recommandations traditionnelles (FFP) et l'outil d'aide à la décision Nutrient Expert (NE).
Source: IPNI Southeast Asia (les données non publiées).

Paramètres de gestion du maïs Valeurs par hectare	Centre de Lampung		Nord de Sumatra	
	FFP	NE	FFP	NE
Rendement (15.5% moisture, t)	**7,60**	**8,99**	**8,20**	**9,03**
Revenu (USD)	**2 085**	**2 480**	**2 258**	**2 490**
Coût des engrais minéraux (USD)	130	124	173	163
N (kg)	218	195	175	168
P_2O_5 (kg)	40	34	59	23
K_2O (kg)	23	34	42	53
Coût des engrais organiques (USD)	199	86	-	46
N (kg)	43	20	-	4
P_2O_5 (kg)	24	11	-	4
K_2O (kg)	41	18	-	4
Coût des semences et engrais (USD)	444	322	286	321
Bénéfice prévu (USD)	**1 640**	**2 158**	**1 972**	**2 169**

Références

Pampolino, M. et al. 2011. IPNI, Penang, Malaysia. [en-ligne].
Witt, C. et al. 2009. IPNI, Penang, Malaysia. [en-ligne].

Soumis par: M. Pampolino, IPNI, Malaysia, Decémbre 2011.

Notes

Chapitre 8

PRATIQUES DE SOUTIEN

Certaines pratiques jouent un rôle important dans la fourniture de l'information pour la prise de décision pour une gestion efficace de la bonne source de fertilisants, la bonne dose, et le bon moment et endroit et qui ne font pas partie de ces quatre catégories. La première de ces pratiques de soutien est l'observation visuelle ou l'information sur la culture, qui est fondamentale pour la gestion des cultures. Cette pratique est souvent associée à une deuxième pratique de soutien l'échantillonnage et l'analyse des sols et des plantes. Un bon échantillonnage est essentiel pour que les échantillons soient représentatifs du champ. L'étape suivante est que les méthodes d'analyse des échantillons de sol et de plantes soient fiables.

Une fois que les résultats d'analyse sont obtenus, il est important de les interpréter correctement pour formuler une recommandation efficace des nutriments. L'utilisation du GPS et SIG assistée par ordinateur et le développement du matériel permettant l'application des doses variables ont permis aux agriculteurs de subdiviser leurs champs en unités homogènes, de gérer plus efficacement la variabilité naturelle du sol, et d'appliquer des doses appropriées pour les différentes parties du champ. En combinaison avec d'autres informations spatiales provenant de surveillance et capteurs de rendement, ces technologies permettent une interprétation plus précise de l'analyse du sol et de la plante.

8.1. Le Dépistage de la Culture et des Symptômes de Carence

La méthode de dépistage du champ est importante pour l'identification des problèmes potentiels de production qui peuvent être corrigés, ou évités. Le dépistage est fait pour contrôler les infestations potentielles de ravageurs (insectes, maladies ou adventices), les carences en nutriments et les problèmes de gestion du sol qui peuvent être corrigés. Les carences en éléments nutritifs sont discutées dans cette section, mais il est important que le diagnostic soit fait sans être partiel par n'importe quelle discipline de la gestion des cultures, (par exemple, problèmes d'infestations par ravageurs, de carences en nutriments, ou de la gestion du sol). Si la personne faisant le diagnostic ne s'intéresse que d'un problème, il peut rater d'autres problèmes qui peuvent affecter considérablement le rendement potentiel de la culture.

Identifier les carences en nutriments est la base d'une production agricole rentable. Plusieurs méthodes sont disponibles qui peuvent être utilisées pour développer la compétence de l'identification des carences en éléments nutritifs. Ces méthodes incluent des bulletins, des graphiques et des livres qui montrent des images en couleur ou décrivent divers symptômes de carence. La **Figure 8.1** montre les localisations typiques des symptômes de carence. En outre, de petites bandes au champ avec des doses variables d'élément nutritif en question peuvent aider à former les observateurs à identifier les carences potentielles en nutriments. Certaines cultures ne peuvent pas présenter des symptômes de carence parce que la disponibilité du nutriment dans le sol est faible mais pas déficient pour manifester des carences. C'est pourquoi il existe des méthodes alternatives pour l'évaluation de la disponibilité des nutriments autres que l'observation visuelle. Cependant, une connaissance pratique des symptômes de carence en éléments nutritifs les plus courants peut être une compétence précieuse. Certaines carences, si elles sont observées à un stade de croissance précoce peuvent être corrigées en appliquant une fertilisation supplémentaire. Mais d'autres carences ne sont pas effectivement corrigées par un apport supplémentaire durant la période de croissance mais elles seront corrigées pour les saisons futures. La clé suivante décrit les symptômes de carence pour la plupart des cultures, mais certaines espèces peuvent avoir des symptômes de carence plus spécifiques pour un élément déficient.

Rappelez-vous: Les symptômes de carence ne sont pas souvent clairement observables. Les carences en d'autres nutriments, les maladies ou attaques d'insectes, ou des stresses climatiques (sécheresse, inondations, ou température) peuvent empêcher un diagnostic visuel précis des carences en éléments nutritifs.

Tableau 8.1	Clé de symptômes de carence dans les cultures.
Nutriment	Changement de couleur dans les feuilles de bas (translocation des nutriments)
N	Petites plantes avec une coloration vert-pâle à jaunâtre...jaunissement des feuilles âgées (chlorose) en premier lieu.... Jaunissement commence au sommet de la feuille et se propage le long des nervures centrales dans le maïs et le sorgho.
P	Plantes vert foncé avec coloration violette...petites feuilles et plantes.
K	Coloration jaune/brune et brûlure au bord des marges des vielles feuilles.... Commence au sommet de la feuille chez le maïs et le sorgho.
Mg	Coloration vert pâle à côté du sommet de la feuille.... Devient jaune clair entre les nervures, en fin tourne rosâtre-violet des bordures vers l'intérieur.
Nutriment	Changement de couleur des jeunes feuilles (Pas de translocation des nutriments). Bourgeon terminal meurt.
Ca	Emergence des feuilles primaires retardée.... bourgeons terminaux se détériorent. Sommet des feuilles peuvent collés les uns aux autres dans le maïs.
B	Feuilles à côté du point de croissance deviennent jaunes... bourgeons en croissance semblent à des tissus mort avec une couleur blanche ou brune claire
Nutriment	Changement de couleur des jeunes feuilles (Pas de translocation des nutriments). Bourgeon terminal reste vivant.
S	Feuilles, y compris les veines, tournent en vert pâle à jaune ... les jeunes feuilles en premier.
Zn	Chlorose entre les veines et bronzage des feuilles chez les agrumes. Sur le maïs, bandes larges de couleur blanche à jaune apparaissent sur chaque côté de la nervure centrale de la feuille. Petites plantes, nœuds raccourcis. Nouvelle croissance peut mourir dans certaines espèces d'haricots.
Fe	Chlorose apparaît d'abord dans les jeunes feuilles à l'extrémité des pousses, la couleur des feuilles change uniformément vers le jaune, à l'exception des veines, tâches brunes ou de tissus morts apparaissent lorsque la carence est sévère.
Mn	Feuilles gris-jaunâtre ou gris rougeâtre avec des veines vertes, chlorose sur les marges ou entre les nervures, les feuilles chlorotiques conservent leur forme normale.
Cu	Les jeunes feuilles uniformément jaune pâle, ou peuvent flétrir et dépérir sans chlorose. Dans les céréales il peut y avoir une croissance groupée, jeunes feuilles torsadées avec sommets nécrotiques, verse avec mauvaise formation de grain dans les épis.
Cl^-	Flétrissement des feuilles supérieures, suivie par la chlorose. Dans les céréales il peut y avoir une évolution des tâches chlorotiques en tâches nécrotiques sur les feuilles de certaines variétés.
Mo	Les jeunes feuilles flétrissent et deviennent nécrotiques au bord des marges. Chlorose des feuilles âgées en raison de l'incapacité d'utiliser correctement le N.
Ni	Apex des feuilles courbés avec des tâches sombres.

Notez que des symptômes semblables à celles-ci peuvent être confondus avec des symptômes de dommages causés par les herbicides, les maladies ou les insectes. Des sols inondés ou secs ou dégâts par le vent peuvent aussi créer des problèmes qui imitent les carences. Le diagnostic doit également considérer la distribution des symptômes dans le champ et leur relation avec les conditions du sol, ou des insectes et des maladies présentes.

Rappelez-vous: Les symptômes de carence indiquent souvent une carence sévère et ne peuvent pas être observées si l'approvisionnement dans le sol sol en élément nutritif en question est légèrement faible. Dans certains cas, les symptômes peuvent apparaitre sans réduire économiquement le rendement, par exemple les symptômes de carence en N et K qui apparaissent sur les feuilles bas des céréales en fin de saison.

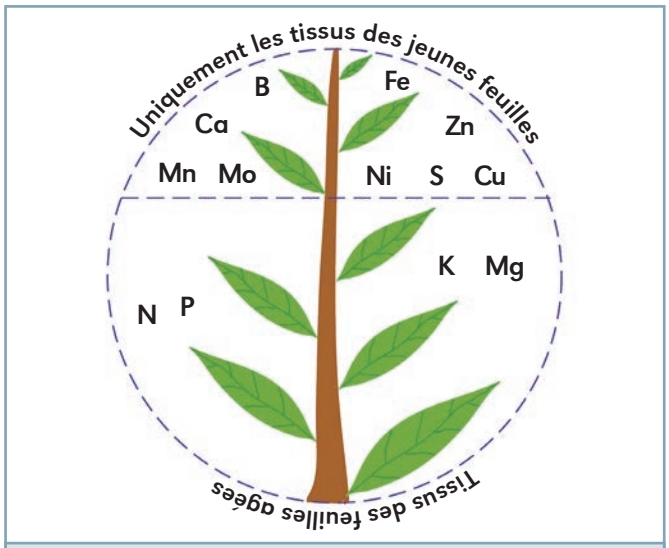


Figure 8.1 Diagramme général de la portion de la plante où les symptômes de carence de différents nutriments peuvent être observées.

Rappelez-vous: Le rendement de plusieurs cultures est affecté bien avant l'apparition des symptômes de carence. Cette carence est appelée FAIM INSOUPÇONNÉE.

La faim insoupçonnée peut réduire significativement le rendement et la qualité sans que la culture manifeste des symptômes de carence. De plus en plus les champs souffrent des carences en éléments nutritifs, mais aucune symptôme de carence sévère n'est clairement observée.

8.2 L'Analyse du de Sol

L'analyse du sol est la méthode la plus souvent utilisée pour prédire les carences en nutriments. Il est devenu un outil de gestion le plus efficace pour les exploitants, les consultants et les chercheurs, et fournit des informations allant du surveillance de la santé du sol jusqu'à l'évaluation des besoins en fertilisants et de l'impact négatif potentiel sur l'environnement. L'analyse du sol peut être utilisée pour:

a) identifier les facteurs limitant les rendement, notamment les carences en nutriments dans le sol;

b) indiquer la capacité de l'approvisionnement en nutriments dans le sol analysé, et où commencer l'élaboration de recommandations d'engrais et de la chaux;

c) élaborer des plans de gestion des éléments nutritifs en considérant l'information sur la production telles que l'historique de la culture, les cartes pédologiques ou les cartes de rendement;

d) suivre la fertilité du sol et sa tendance avec le temps pour que les programmes de gestion des éléments nutritifs puisse être ajustés pour répondre aux objectifs de la gestion;

e) gérer le risque, en déterminant où les plus grandes réponses aux nutriments sont susceptibles de se produire.

L'échantillonnage du sol se fait généralement avant le semis pour les cultures annuelles ou avant la saison de croissance active pour les cultures pérennes. L'échantillonnage est le plus grand potentiel d'erreur dans l'analyse du sol.

La précision des méthodes d'analyse du sol dépend de la représentativité de l'échantillon. La collecte d'échantillons représentatifs nécessite des soins et de la compétence. Dans la plupart des situations, l'échantillon représente plus de dix millions de fois la quantité de sol envoyé au laboratoire. Donc, il est important de faire plusieurs prélèvements dans un champ quelque soit sa taille. Ces prélèvements doivent être rassemblés, bien mélangés pour en prendre un échantillon composite

Questions ?

1. Lorsque les feuilles supérieures du soja présentent un jaunissement entre les nervures, l'élément manquant que l'on peut soupçonner serait
   a. Ca.
   b. N.
   c. Mg.
   d. Mn.

2. Lorsque les jeunes feuilles du maïs présentent une couleur jaune au sommet et au bord des marges, la plante peut avoir une carence en
   a. N.
   b. P.
   c. K.
   d. Mg.

3. Quand la culture de blé au stade montaison est uniformément vert foncé mais jaune dans les zones engorgées d'eau, la cause la plus probable est
   a. la carence en N.
   b. les dégâts d'insectes.
   c. le faible drainage.
   d. les dommages par le vent.

4. La carence en nutriment qui affecte la croissance et le rendement des cultures sans montrer de symptômes visiuelles
   a. est nommée la faim insoupçonnée.
   b. est causée par des insectes et maladies.
   c. se produit uniquement avec les nutriments facilement transloqués.
   d. peut être corrigée au cours de la saison.

réellement représentatif de l'analyse. Si l'échantillon prélevé est représentatif, les résultats de l'analyse peuvent fournir une estimation fiable du statut de la fertilité du sol. Les laboratoires d'analyse du sol, en général, fournissent des instructions pour l'échantillonnage qui peuvent inclure les étapes suivantes:

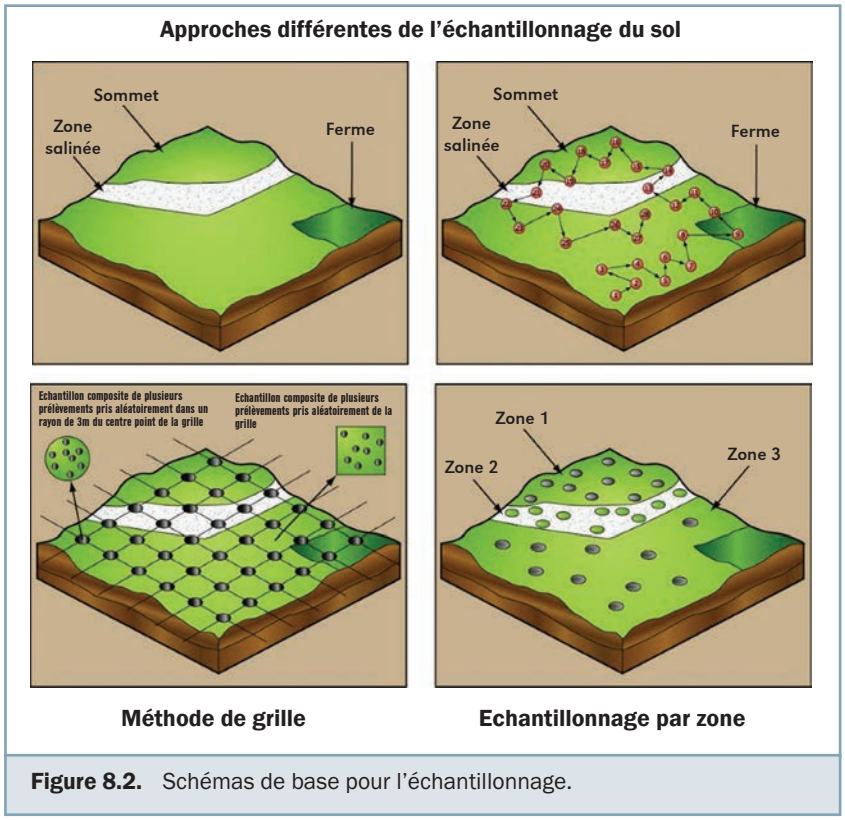


Figure 8.2. Schémas de base pour l'échantillonnage.

Pour l'échantillonnage du Terrain

a) Un échantillon de sol doit être prélevé par zone homogène (même topographie, même types de sol, même couleur, ou même pratiques culturales). Ainsi, un grand champ peut être divisé en zones uniformes ou zones de culture dans le passé en fonction du site spécifique. Attribuez un numéro d'identification permanent. Notez les numéros des champs. Gardez une carte des zones de l'échantillon. Si une unité GPS est disponible, enregistrez et sauvegardez la position des points de prélèvement pour référence future.

b) Utilisez un seau en plastique propre, en particulier pour l'analyse des micronutriments. Les seaux métalliques peuvent contaminer l'échantillon.

c) Échantillonez à la profondeur recommandée par le laboratoire d'analyse de sol.

d) Des échantillons supplémentaires du sous-sol peuvent être prélevés jusqu'à la profondeur des racines de la culture prévue s'il y a un potentiel de lessivage. Ceci est plus important pour les nutriments mobiles tels que N, S et Cl, mais moins important pour les éléments nutritifs moins mobiles tels que P et K, et beaucoup d'autres micronutriments.

e) Dans la plupart des cas, au moins 15 à 20 échantillons doivent être prélevés au hasard pour constituer l'échantillon composite à partir duquel un sous-échantillon est pris pour l'envoi au laboratoire d'analyse.

f) Les échantillons peuvent être prélevés en utilisant l'un des divers outils d'échantillonnage (par exemple tarière, pelle, sape etc.). L'échantillon composite peut peser de un à plusieurs kilogrammes.

g) Mélangez bien tous les prélèvements de la zone échantillonnée à partir duquel un sous-échantillon représentatif est prélevé pour l'analyse. Cette étape est extrêmement importante. Les mottes doivent être écrasées tout en mélangeant. Un mélange non approprié peut aboutir à un échantillon non représentatif. Si le sol est trop humide pour être mélangé, séché partiellement à l'air.

h) Plusieurs types de sachet peuvent être utilisés pour l'envoi de l'échantillon au laboratoire. Certains laboratoires fournissent des sachets plastifiés à l'intérieur, placés dans une boîte de papier, ou dans un sac en papier qui a une couche de plastique interne collée à la couche extérieure de papier. Si le laboratoire ne fournit pas de boites pour le transport, on peut utiliser des sacs en plastique fort et nouveaux.

i) Pour éviter la contamination de certains micronutriments par vos mains portez des gants en latex lors de la manipulation de l'échantillon de sol.

j) Il est conseillé de conserver les échantillons de sol dans une glacière ou un réfrigérateur jusqu'à leur envoi au laboratoire. Si l'échantillon va restera plus que quelques jours avant l'envoi au laboratoire, il doit être étalé uniformément et séché à l'air libre. Il faut informer le laboratoire du séchage à l'air libre.

k) Remplissez la fiche d'information complètement.

l) La plupart des champs doivent être échantillonnées toutes les 2 à 3 ans ... plus souvent si nécessaire.

m) Gardez une trace des résultats.

Pour Diagnostiquer des Zones à Faible Croissance ou Problématiques

a) Collectez des échantillons séparés de bonnes et mauvaises zones en utilisant les techniques décrites ci-dessus.

b) Prenez aussi bien un échantillon de surface et de profondeur.

c) Incluez la description des symptômes observées de faible croissance et envoyez-la avec les échantillons.

d) Si un appareil photo numérique est disponible, une photo peut être prise pour les plantes cultivées aussi bien dans la zone à faible ou à bonne croissance. Ces photos peuvent aider à diagnostiquer le problème.

Tableau 8.2 La comparaison de méthodes d'extraction utilisées, le temps de l'extraction et le ratio sol : solution d'extraction pour neuf méthodes calibrées pour la détermination de P dans le sol.

Méthode	Solution d'extraction	Référence	pH du sol à considérer
Olsen P	0,5 M bicarbonate de sodium (pH 8,5) 0,5 h extraction dans 1:20 sol:solution	Olsen et al. 1954. USDA Circular No. 939	Utilisée dans les sols peu acides, neutres, faible à fortement basiques et calcaires et alcalins (ex. pH du sol 6,0 à >7,2)
Colwell P	0,5 M bicarbonate de sodium (pH 8,5) 16 h extraction dans 1:100 soil:solution	Colwell 1963. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 3, 190-198	
Lactate P	0,02 M lactate de calcium 1,5 h extraction dans 1:50 sol:solution	Colwell 1970. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10, 774-782	
Bray P1	0,03 M florure d'ammonium dans 0,025 M HCl 1 min. extraction dans 1:7 sol:solution	Bray and Kurtz 1945. Soil Sci. 59, 39-45	Sols acides à légèrement basiques (i.e. pH <7,2). N'est pas bien adaptée aux sols alcalins à teneurs élevée en carbonate de calcium.
Bray P2	0,03 M florure d'ammonium dans 0,1 M HCl 40 sec. extraction dans 1:7 sol:solution OU 1 min. 1:10 sol:solution.	Bray and Kurtz 1945. Soil Sci. 59, 39-45; Chu, P. 1997. A&L Labs, Richmond, VA	Sols acides à légèrement basiques (i.e. pH <7,2) La méthode Bray 2 utilise 0,1 M HCl en comparaison avec 0,025 M HCl pour Bray 1. Elle dissoudra d'autres composées de P dans les sols alcalins. N'est pas adaptée pour les sols alcalins à teneurs élevée en carbonate de calcium.
Mehlich-1 P	0,05 M HCl dans 0,0125 M H_2SO_4 5 min. 1:4 sol:solution	Mehlich 1953. North Carolina Soil Test Div. Publ. 1-53	Sols acide à légèrement basiques (i.e. pH <6,0 à 7,2)
Mehlich-3 P	0,2 M acide acétique, 0,25 M NH_4-NO_3, 0,015 M NH4F, and 0,13 M HNO_3 in 0,001 M EDTA 5 min. extraction dans 1:10 sol:solution	Mehlich 1984. Comun. Soil Sci. Plant Anal. 15, 1409-1416	Sols acides à légèrement basiques (i.e. pH <7,2). Capable d'extraire et d'analyser plusieurs nutriments en comparaison avec Mehlich 1 P. N'est pas bien adaptée aux sols alcalins à teneur élevée en carbonate de calcium.
$CaCl_2$ Dilué P	0,005 M chlorure de calcium pour 18 h extraction dans 1:5 sol:solution	Moody et al. 1988. Aust. J. Exp. Agric. 23, 38-42	
P extractible à l'acide	0,005 M acide sulfurique pour 16 h extraction dans 1:200 sol:solution	Kerr and von Steiglitz 1938. BSES Tech. Comm. No 9	
Résine d'échange des ions	Mélange de résines anioniques et cationiques	Van Raij et al. 1986. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 17(5)	
Morgan	0,54 M CH_3COOH + 0,72 M $NaCH_2COOH$ – pH 4,8 for 0,25 h extraction dans 1:5 sol:solution	Morgan, 1941. Connecticut Ag. Exp. Sta. Bull. 450	
Morgan Modifié	0,62 M NH_4OH + 1,25 M CH_3COOH – pH 4,8 for 0,25 h extraction dans 1:5 sol:solution	McIntosh, 1969. Agron J. 61:259-265	

L'Échantillonnage du Sol pour l'Application des Engrais en Bande.

L'échantillonnage du sol pour l'analyse des nutriments relativement immobiles dans le sol, tels que P, qui sont appliqués en bande, nécessite une attention particulière. Dans de telles situations, l'échantillonnage aléatoire peut donner des valeurs d'analyse élevées si seulement quelques bandes ont été incluses dans l'échantillon. Des études conduites en Australie ont suggéré que lorsque la localisation des bandes ou des lignes de semis sont connues, l'échantillon est collecté entre et sur la bande avec un ratio de 1:20, 1:16 et 1:18 respectivement pour l'espace entre les bandes de 75 cm, 60 cm et 30 cm. Une alternative est de prendre une tranché de sol à travers les lignes pour inclure la bande et l'inter-bande. Cependant, la fiabilité de cette méthode n'a pas été évaluée pour prédire des réponses aux engrais par rapport aux autres méthodes d'échantillonnage.

8.3 Méthodes d'Analyse du Sol

Il existe un grand nombre d'analyses de sol disponibles, et le choix de l'analyse appropriée est critique pour la collecte de la bonne information. Il serait utile d'en discuter avec les agronomes ou les responsables des laboratoires d'analyse. La plupart des laboratoires utilisent des méthodes d'extraction et d'analyse spécifiques pour chaque nutriment ou groupe de nutriments mais peuvent utiliser d'autres méthodes si des conditions spécifiques du sol sont rencontrées. Comment calibrer les méthodes d'extraction?

Une analyse spécifique est développée en analysant un sol par différentes méthodes pour extraire une partie du nutriment en question et ceci est rapporté en retour au poids de l'échantillon analysé. Idéalement, la valeur de l'analyse de l'élément nutritif est calibrée avec une série d'essais régionaux au champ qui évaluent la réponse de la culture au nutriment en question. Ces essais concernent l'application de doses croissantes d'une forme d'engrais disponible, par exemple, l'apport de zéro jusqu'à une dose excessive à intervalles de croissance égaux. Le choix d'une analyse particulière du sol est souvent lié au choix de la méthode d'extraction qui évalue mieux la quantité de nutriment dans la solution du sol disponible pour l'absorption par les racines des plantes et la quantité qui peut devenir disponible au cours de la période de croissance. Dans de différents environnements et différents types de sol, certaines procédures donnent une meilleure évaluation de la disponibilité des éléments nutritifs, en particulier la quantité qui peut être accessible à partir d'une réserve moins disponible pendant la période de croissance. Le phosphore, par exemple, est présent dans le sol sous forme organique et minérale. Il n'y a pas de méthode d'extraction unique qui peut prédire la quantité de P disponible aux plantes dans toutes les conditions du sol. En conséquence, une gamme de méthode d'extraction a été développée pour l'utilisation dans des situations particulières et certains exemples de ces méthodes d'extraction sont présentés dans le **Tableau 8.2**. Chaque procédure d'extraction a son propre valeur critique, donc les résultats d'analyse doivent être interprétés par rapport aux valeurs critiques de la méthode utilisée.

Bien que les analyses de sol donnent des informations utiles, il y a quelques hypothèses implicites dans leurs interprétations. Tout d'abord, les analyses de sol sont généralement faites de la couche superficielle du sol, où se trouve la plupart des nutriments moins mobiles tels que le P. Cependant, les éléments nutritifs mobiles tels que le N et S peuvent se déplacer au-dessous de la profondeur d'échantillonnage et les résultats d'analyse indiqueront des valeurs plus faibles que les valeurs réelles. L'analyse de la couche superficielle est faite avec l'hypothèse que la quantité du nutriment analysé est proportionnelle à l'approvisionnement total disponible pour la plante jusqu'à la profondeur effective d'enracinement de la culture.

Deuxièmement, une analyse de sol peut donner une estimation raisonnable de l'approvisionnement en nutriments dans le sol, mais elle ne donne pas une estimation de la demande imposée par la culture ou le pâturage. Dans des environnements variables, la demande peut varier de trois ou quatre fois plus pour les éléments nutritifs, alors que des analyses de sol sont généralement calibrées pour fournir les éléments nutritifs dans une saison «moyenne» avec des prix moyens d'engrais et de grain.

Les courbes de réponse sont développées en supposant que d'autres nutriments ou conditions de sol ne sont pas limitants et que la réponse observée est une conséquence de l'ajout du nutriment le plus limitant. En outre, un résultat d'analyse de sol doit être interprété en matière de texture et de pH du sol, comme ces deux facteurs sont souvent essentiels pour définir les réponses potentielles.

Enfin, la "valeur" fournie dans un rapport d'analyse de sol relate tous les erreurs des facteurs mentionnés précédemment, ainsi que l'incertitude sur les futures quantités fournies par des formes moins disponibles dans le sol. Il doit être interprété à l'intérieur des gammes ; très faible, faible, moyen, élevé ou très élevé ; mais plus précisement selon la taille et la probabilité de réponse prévues (**Tableau 8.3**). Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les résultats d'analyse du sol sont faits sur un certain nombre d'années pour montrer les tendances de la fertilité du sol sous la gestion actuelle, au lieu de s'attendre à ce qu'un valeur unique donne une prévision précise de la dose d'éléments nutritifs à appliquer.

Tableau 8.3 Un exemple des classes d'analyse de sol et probabilité de réponse.

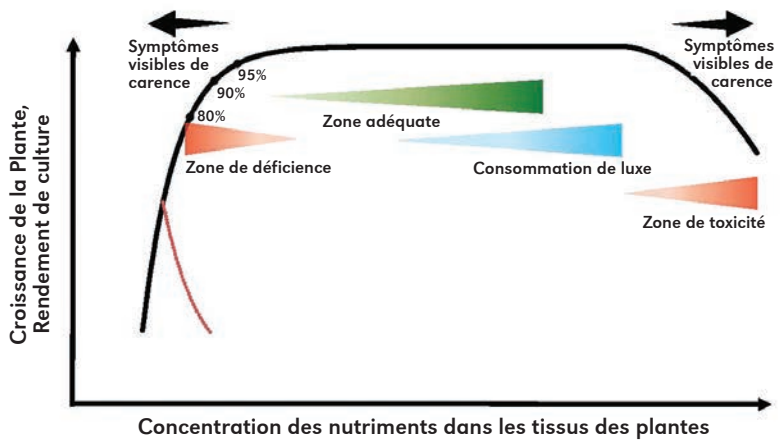
Classe d'analyse de sol	Probabilité de résponse
Très faible	Réponse rentable dans tous les cas sauf cas rares
Faible	Réponse rentable presque dans toutes les saisons
Moyen	Moyenne des réponses au fil des années est rentable
Elevé	Réponse rentable occasionnelle
Très élevé	Réponse rentable au cours de la saison d'apport est peu probable

Questions ?

5. Le nombre de carottes d'échantillon recommandé pour représenter un champ est
   a. 5 à 10.
   b. 15 à 20.
   c. 30 à 40.
   d. autant de prélèvement pour remplir la boîte d'échantillon.

6. Echantillonner à une profondeur recommandée et constante, est important pour
   a. N et S.
   b. P et K.
   c. les micronutriments.
   d. tous les éléments.

7. En comparaison avec les nutriments moins mobiles comme P et K, l'échantillonnage pour les nutriments mobiles tel que nitrate, sulfate, et chlore doivent être
   a. moins profond.
   b. à la même profondeur.
   c. plus profond.
   d. fait moins fréquent.



	Déficient	Faible	Adéquat	Élevé	Toxique
% P	< 0,16	0,16 - 0,25	0,26 - 0,50	0,51 - 0,80	> 0,80
% K	< 1,26	1,26 - 1,70	1,71 - 2,50	2,51 - 2,75	> 2,75
Mn mg/kg	<,15	15 - 20	21 - 100	101 - 250	> 250

Figure 8.3. La relation entre la concentration en nutriments des tissus et la croissance ou le rendement, par exemple, les concentrations de P, K and Mn dans la matière sèche des feuilles du soja en fonction de différentes doses apportées (donnée de Jones 1967) (**Adapté de:** Marschner, 1995).

8.4 L'Analyse des Plantes

Le terme "analyse de la plante" se réfère à l'analyse totale ou quantitative pour les nutriments dans les tissus végétaux. L'analyse du sol et de la plante vont de pair; l'une n'est pas un substitut de l'autre. Les deux sont des outils utiles pour le diagnostic, et plusieurs producteurs utilisent les deux. L'analyse de la plante a été utilisée pour les cultures, telles que le café, les oranges, les pêches, les pommes, les pécans, et autres noix, fruits et légumes. L'analyse de la plante est particulièrement utile pour la détermination de l'état nutritionnel de ces cultures, du fait que ces cultures sont pérennes et ayant un système racinaire bien développé.

Les scientifiques ont des nouvelles méthodes d'analyses et de nouveaux équipements tels que l'absorption atomique, et surtout le spectrographe d'émission, qui peut analyser simultanément et rapidement 10 ou plus d'éléments. Ainsi, un nombre considérable de laboratoires dans de différents pays ont maintenant la capacité de faire des analyses de la plante. La demande pour ce service continuera à augmenter du fait que la recherche met l'accent sur la possibilité de gérer la disponibilité des nutriments au cours de la période de croissance.

L'analyse de la plante est utilisée pour:

a) Confirmer un diagnostic fait à partir des symptômes visibles;

b) Identifier la faim insoupçonnée où aucune symptôme n'apparaisse;

c) Déterminer si les éléments nutritifs apportés ont été absorbés par la plante;

d) Étudier le fonctionnement interne des nutriments dans les plantes;

e) Proposer des essais ou des études supplémentaires pour l'identification d'un problème de production des cultures.

Comme c'est le cas des analyses de sol, l'échantillonnage de la plante est une étape importante. La composition des plantes varie selon l'âge, la partie de la plante échantillonnée, l'état de la plante, la variété, le climat et d'autres facteurs. Par conséquent, il est nécessaire de suivre les instructions d'échantillonnage confirmées.

La plupart des laboratoires fournissent des fiches d'instruction pour l'échantillonnage de différentes cultures, ainsi que des fiches d'information et les directions pour l'envoi des échantillons. Ils suggèrent généralement l'envoi d'un échantillon à partir de bonnes zones et de celles problématiques pour comparaison, si possible. Du fait que l'expérience et les connaissances sont essentielles pour un échantillonnage correcte des plantes, le travail est souvent réalisée par des conseillers agricoles ou des spécialistes.

Les Gammes de Déficience et Suffisance.

Habituellement, une analyse de la plante est interprétée par comparaison de la concentration élémentaire avec une gamme de suffisance standard pour la partie de la plante, l'espèce cultivée, et le stade de croissance établi par la recherche. Lorsque les standards normalisés pour une situation donnée ne sont pas disponibles, l'analyse de la plante peut encore être utile pour identifier les problèmes de stresse en éléments nutritifs si des échantillons de plantes sont collectés à la fois des zones de bonne et mauvaise croissance au sein du champ ou parmi les champs avoisinants.

Les meilleures valeurs critiques spécifiques pour carence, suffisance ou toxicité sont obtenus des guides locaux ou régionaux de la production des cultures. Le seuil critique pour la carence est généralement défini comme celui qui résulte en 90% du rendement ou de la croissance avec l'élément nutritif non limitant. La **Figure 8.3** est un exemple de la relation entre la concentration en élément nutritif et la croissance ou rendement relatif à la culture de soja, avec des valeurs spécifiques pour P, K, et Mn (Marschner, 1995).

Pour certains éléments, il est possible que la concentration augmente au lieu de diminuer avec un déficit extrême, si la carence retarde la croissance à un niveau où la dilution normale par la croissance des plantes ne se produit pas. Alternativement, dans des conditions de bonne croissance, la dilution par la croissance des plantes peut faire apparaitre certains nutriments déficients lorsqu'ils ne le sont pas. Pour cette raison, le diagnostic des zones problématiques est parfois plus précis si on compare la zone moyennement affectée au lieu de la plus touchée avec une zone normale à proximité.

Les teneurs en éléments nutritifs dans la gamme de la consommation en luxe diminuent les risques que ces nutriments deviennent déficients dans des conditions défavorables pour l'absorption par les racines (par exemple la sécheresse) ou lorsque la demande interne est élevée (par exemple pendant la fructification ou remplissage des grains).

Le Système Intégré de Diagnostic et de Recommandation (DRIS)

Les résultats de l'analyse de la plante peuvent être difficiles à interpréter, parce que la concentration critique d'un nutriment dans le tissu végétal varie en fonction des concentrations d'autres nutriments. Le diagnostique effectué à l'aide du système (DRIS) est basé sur des ratios relatifs des concentrations en éléments nutritifs plutôt que sur les concentrations absolues dans les tissus végétaux par unité de matière sèche. Les normes pour ces ratios sont déterminées en comparant l'analyse complète des cultures dans des situations de rendements élevés et faibles. Du fait que les ratios sont utilisés, la dilution de la matière sèche selon l'âge de la culture a moins d'effet sur l'interprétation, et le moment d'échantillonnage peut être plus flexible (Sumner, 1977).

Initialement, il a été suggéré que les normes pour DRIS établies à une région peuvent être également appliquées à d'autres régions. Cependant, les résultats de nombreuses études sur le maïs, le blé, le soja, la luzerne et la pomme de terre ont indiqué que les normes élaborées à l'echelle locale ou régionale sont plus précises dans le diagnostic des déficiences (Munson et Nelson, 1990; Jones, 1993).

Dans certains pays, y compris les États-Unis, le Brésil, le Canada, et Chine, et al l'Inde, des conseillers agricoles publics et privés ont adopté DRIS dans le cadre de leur technique de diagnostic dans les zones sélectionnées.

Il est désormais également possible d'utiliser DRIS en combinaison avec SIG pour délimiter les zones de productivité pour une culture donnée dans une région. Cette délimitation permet d'identifier les sites potentiels pour l'objectif de la planification pour l'utilisation de la terre et de surveiller les tendances de la productivité des cultures.

Malgré que plusieurs chercheurs ont montré que le système DRIS produit souvent du diagnostic plus précis de l'élément nutritif déficient que les approches conventionnelles, son utilisation est limitée par la complexité de sa méthodologie. De différentes modifications de la méthodologie ont été proposées pour simplifier l'utilisation et l'interprétation. Certaines de ces modifications comprennent le calcul simplifié des fonctions intermédiaires, la sélection de paramètre et critères modifiés pour prédire la réponse à un apport supplémentaire de l'engrais. En outre, des programmes informatiques ont été développés pour rendre les calculs dans DRIS plus rapides.

L'amélioration du système DRIS inclut le diagnostic de composition des nutriments (DCN) qui a été appliqué dans la province de Québec au Canada (Parent et al., 2009).

Les Analyses Rapides

Une analyse de tissu au champ est la détermination de la quantité des éléments nutritifs dans la sève de la plante. C'est une mesure semi-quantitative de la teneur soluble non absorbée.

Une grande quantité d'un nutriment non absorbé dans la sève de la plante indique que la plante contient suffisamment du nutriment analysé pour une bonne croissance. Si la quantité est faible, il y a une grande chance que le nutriment soit déficient ou n'est pas absorbé par la plante en raison du manque d'humidité dans le sol ou d'autres facteurs.

Les analyses de tissus peuvent être faites facilement et rapidement sur le terrain. Les tissus verts de la plante peuvent être testés pour plusieurs nutriments tel que NO_3-N, P, K, et parfois Mg, Mn, et Fe. Cependant, il faut beaucoup de pratique et d'expérience pour interpréter les résultats, en particulier ceux de Mg et des micronutriments.

Les analyses de tissu sont utilisées pour identifier l'élément nutritif (N, P ou K) qui peut être limitant pour le rendement des cultures. Si la concentration en nutriment est très faible, les autres éléments peuvent s'accumuler dans la sève du fait que la croissance de la plante est restreinte. De ce fait, il peut y avoir une mauvaise interprétation des données. Si la croissance de la culture est vigoreuse suite à une correction de carence en nutriment, on pourrait trouver d'autres nutriments présents à de faibles quantités limitantes ainsi le rendement de la culture. En fait, le nutriment identifié ou analysé comme limitant est pour un stade de croissance donné.

Ces analyses peuvent être très utiles pour un expert. Des carences en N peuvent être identifiées et des mesures de correction soient proposées sans quitter le champ. Ce gain du temps est très utile. Comme le cas pour l'analyse totale des plantes, il est utile de comparer les plantes saines avec les plantes carencées là où il est possible.

Des trousses ayant des instructions et des réactifs pour faire des analyses de tissu sont disponibles. Plusieurs d'entre elles comprennent des instructions et des réactifs pour déterminer le pH du sol, et même l'approvisionnement en P, K et Zn dans le sol. Avant d'utiliser ces tests, il faut avoir une formation qualifiée pour développer les compétences de diagnostic.

8.5 L'Interprétation des Analyses du Sol et de la Plante

Les agriculteurs font analyser leur sol et leurs plantes régulièrement pour s'assurer que leur production ne soit pas limitée par la faible disponibilité d'un nutriment dans le sol. Ils veulent aussi s'assurer que les engrais qu'ils achètent génèrent un plus-value, et que la fertilité et la productivité de leurs sols soit maintenues tout en protégeant l'environnement.

Les analyses de sol lorsqu'elles sont correctement utilisées peuvent fournir un excellent guide pour déterminer les besoins en engrais et en chaux et élaborer des plans de la gestion des éléments nutritifs.

Une recommandation adéquate doit considérer toutes les composantes du concept 4B – source, dose, moment et endroit – ainsi que l'objectif de la durabilité de l'exploitation. Ces recommandations en plus de l'analyse de sol, exigent considérablement plus d'informations sur la disponibilité de l'équipement et les sources d'éléments nutritifs propre à la ferme, les systèmes de cultures et les travaux du sol, les propriétés physiques du sol, et les objectifs de rendement et de la qualité de la culture.

Les recommandations peuvent traiter les situations suivantes:

a) veiller à ce que tous les éléments nutritifs soient maintenues à des niveaux non limitants, du semis à la récolte;

b) avoir un équilibre entre les éléments nutritifs pour assurer une utilisation efficace de chaque nutriment;

c) appliquer des quantités nécessaires pour augmenter les niveaux d'analyse de sol à la gamme optimale pendant un nombre d'année déterminé;

d) opportunité pour réduire les teneurs élevées du sol en nutriments immobiles tel que P ou K qui se sont accumulés dans le sol.

Les réponses des cultures aux éléments nutritifs tels que P et K sont affectées par plusieurs facteurs, en plus du niveau d'analyse du sol. Les réponses peuvent être plus ou moins importantes, et peuvent nécessiter plus ou moins un apport de nutriments, selon le potentiel de rendement de la culture, la date de semis, la culture précédente, le travail du sol, la compaction, la température, le taux d'humidité, le pH et les le niveau du sol en d'autres nutriments. En raison de ces facteurs, l'analyse du sol se comporte plus comme un indicateur correct de la probabilité de réponse de la culture, plutôt qu'un indicateur précis de la réponse réelle de la culture et de la quantité des éléments nutritifs à apporter pour y atteindre. Il est donc essentiel que les résultats d'analyses de sol soient interprétés avec prudence et par un agronome bien formé et expérimenté.

Les agriculteurs diffèrent également dans leurs objectifs pour la production agricole. Certains ont plus de temps, d'intérêt et de capacité de la gestion pour réaliser des rendements très proches du maximum réalisable. Certains ont plus de concurrence pour leur temps que d'autres, alors que d'autres ont plus ou moins accès à une large gamme d'intrants agricoles, et leur capacité de procurer ces intrants varie également. Ces différences peuvent avoir un grand effet sur leur gestion de la nutrition des plantes.

Ces facteurs ont également conduit à l'élaboration de deux approches distinctes et largement reconnues pour la gestion de la fertilité des sols; l'approche de suffisance des éléments nutritifs et l'approche de construire et de maintenir. Le choix de l'approche affecte la source, la dose, le moment et l'endroit, recommandé pour l'application des fertilisants. Les deux sections suivantes, adaptées de Leikam et al. (2003), expliquent les deux approches.

Approche de Suffisance

L'objectif de l'approche de suffisance est d'appliquer une quantité d'un nutriment donné juste pour maximiser la rentabilité de l'année en cours, mais minimiser le coût des engrais. Pendant que la variabilité inhérente dans la réponse au nutriment entre et dans les champs et au fil du temps peut conduire à plus ou moins de nutriments étant réellement nécessaires pour une rentabilité maximale que ce qui est recommandé, des doses proches de l'optimale seront recommandées à plus long terme. Lorsque cette approche est adoptée, peu de flexibilité existe dans l'application des fertilisants d'une année à l'autre parce que les apports sont exigés chaque année pour éliminer les risque de perte de profit, sauf si les niveaux d'analyse du sol sont élevées et le sol peut fournir tous les besoins en nutriments de la culture.

Les choix pour l'emplacement sont aussi limités, car à des faibles niveaux d'analyse de sol, il est plus important d'appliquer les éléments nutritifs en bande près de la semence. Les recommandations de suffisance sont basées sur des données de calibration des analyses de sol en milieu réel collectées sur plusieurs sites et plusieurs années. Pour répondre à la question complexe et en constante évolution sur le revenu marginal de l'apport, ces recommandations sont généralement développés pour fournir 90 à 95% du rendement maximal, ou du rendement généralement obtenus de la dose optimale économique. La réponse de la culture et l'application de dose recommandée sont plus élevées lorsque les niveaux d'analyse de sol sont faibles. Les doses de fertilisants recommandées diminuent vers zéro lorsque les niveaux d'analyse de sol augmentent vers le seuil critique. Le seuil critique est la teneur à laquelle le sol est normalement capable de fournir des quantités suffisantes de P et/ou K pour obtenir 90 à 95% du rendement maximum. Les résultats de l'analyse de sol ne sont pas considérés comme variable gérable et il y a peu de considération des valeurs futures des analyses de sol.

L'approche de suffisance est souvent utilisée dans des situations où les fonds d'investissement ne sont pas disponibles, les coûts d'intérêt sont élevés, ou lorsque la terre est louée par des contrats à court terme.

L'Approche de Construire et de Maintenir

L'objectif de l'approche de construire et de maintenir est de gérer les niveaux d'analyse de sol en P et/ou K comme variables contrôlables. Aux valeurs inférieures d'analyse de sol, la recommandation de l'approche construire-maintenir est d'apporter suffisamment de P et/ou K pour répondre aux besoins de la culture en cours et améliorer les niveaux d'analyse de sol à des valeurs non-limitatives au-dessus du seuil critique. Le seuil critique est le même que celui de l'approche de suffisance et sa détermination demande autant de données aux champs sur la calibration des

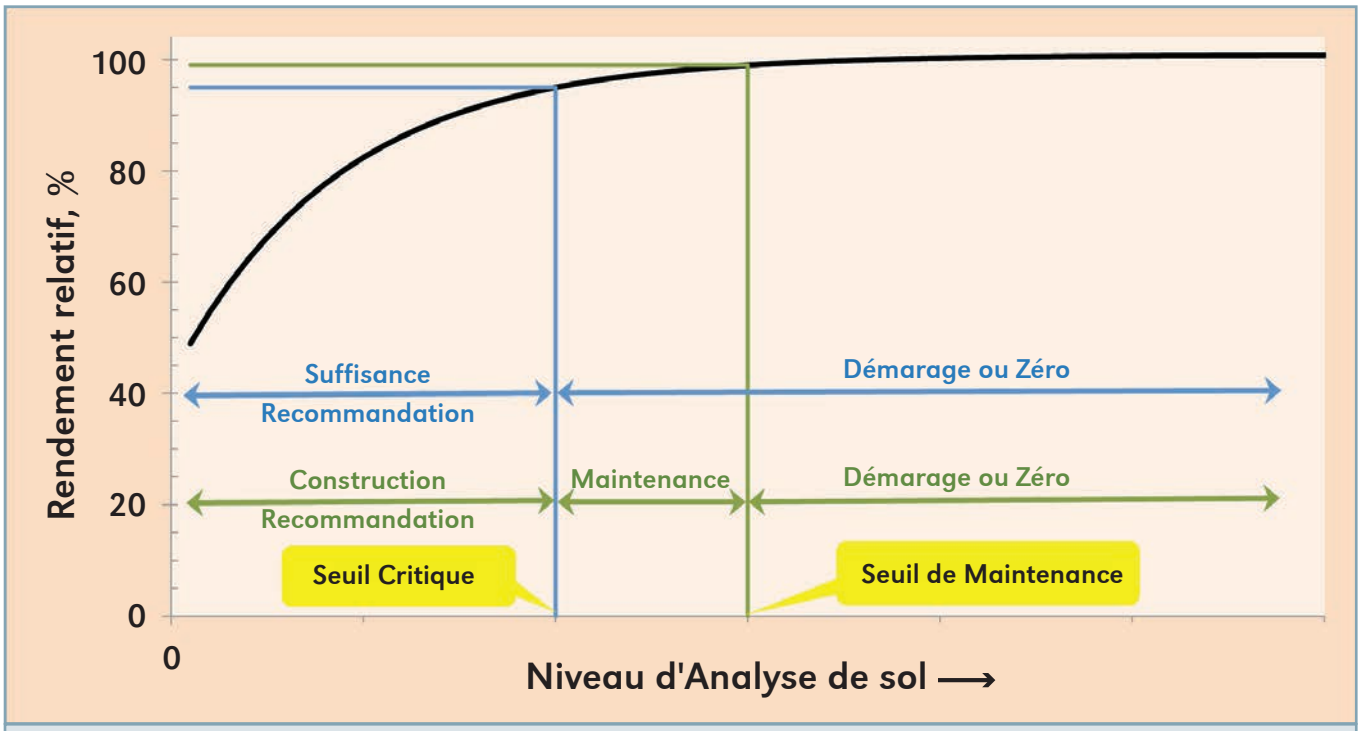


Figure 8.4 À mesure que le niveau d'analyse de sol d'un élément augmente, plus le rendement relatif (Rendement du témoin en proportion du rendement ou l'élément est non limitant) augmente. La taille et la probabilité de réponse de la culture diminuent avec l'augmentation du niveau d'analyse de sol. Les recommandations de suffisance visent à offrir un revenu économique dans l'année d'apport, et de réduire l'apport à zéro au seuil critique ou à une quantité inférieure aux exportations par la culture, souvent appliquée en bande à côté des semences, et appelée démarrage. L'approche entretien-construire-maintenir recommande des quantités supérieures aux exportations par la culture au-dessous du seuil critique, des quantités égales aux exportations dans l'intervalle de la maintenance, et des quantités inférieures aux exportations et tendent vers zéro, au-dessus de la limite de la maintenance. (**Adapté de:** Leikam et al., 2003)

analyses de sol. L'approche de construire et de maintenir tend à être moins sensible économiquement à l'incertitude dans les recommandations, en raison de risques réduits de perte de rendement aux niveaux élevés d'analyse de sol. Typiquement, l'amélioration du niveau d'analyse de sol se produit après quelques temps (habituellement 4 à 8 ans). Une fois que le niveau d'analyse de sol dépasse le seuil critique, les recommandations en fertilisants sont faites seulement pour maintenir les niveaux d'analyse sol à des niveaux d'analyse cibles.

La fourchette cible des niveaux d'analyse de sol est généralement légèrement supérieure au seuil critique, où le sol peut généralement fournir des quantités adéquates de nutriments pour répondre aux besoins nutritionnels des cultures en cours ('moyennes' à 'élevés'). Une fois que le niveau d'analyse de sol d'un élément a été amenée à la fourchette cible, les agriculteurs ont plus de flexibilité sur le moment et le mode d'application des engrais. Au-dessus du seuil critique, le sol est largement capable de fournir les nutriments nécessaires pour une année donnée. Les agriculteurs peuvent ainsi choisir d'appliquer de l'engrais chaque année, ou de combiner des applications et d'apporter les engrais tous les deux ou trois ans. Ceci permet de gérer le temps, la trésorerie, et les variations des prix du marché pour les engrais et les cultures.

Les programmes de fertilité, construire-maintenir, ne sont pas destinés à avoir un revenu optimal économique pour une année donnée, mais plutôt d'essayer de minimiser la possibilité de P et/ou K d'être limitant pour la croissance des cultures tout en produisant un rendement près du maximum, permettre des flexibilités pour les producteurs et avoir de bons revenus à long-terme. L'inconvénient de l'approche construire-maintenir est que les doses apportées sont normalement supérieures à celles recommandées par l'approche de suffisance en nutriments.

Choisir la Bonne Approche

Sur une période prolongée, les deux approches permettent aux agriculteurs d'avoir le choix entre un système qui recommande des faibles doses à des niveaux faibles d'analyse de sol en éléments nutritifs faibles mais chaque année (approche de suffisance), et un investissement dans des doses plus élevés pour les 4 à 8 ans pour avoir plus de flexibilité et faire des économies en faisant des apports multi annuels lorsque c'est plus pratique et plus économique (approche construire-maintenir). La relation entre les niveaux d'analyse critiques du sol et les doses appliquées est présentée dans la **Figure 8.4**.

Bien que la différence à court terme dans le coût entre les deux approches peut être considérable, les avantages de la flexibilité dans le programme global de la fertilité, les coûts

d'application réduits, l'amélioration des moments d'apport, et la gestion de la trésorerie, peuvent rendre l'approche construire-maintenir plus intéressante. Une fois que les agriculteurs comprennent les deux approches, ils peuvent décider si le coût de l'investissement pour augmenter les niveaux d'analyse de sol est raisonnable. Si l'exploitation dispose du fumier organique, l'approche construire-maintenir est plus favorable. Même avec une source organique en éléments nutritifs, il est conseillé de cesser l'application des doses qui augmentent le niveau d'analyse de sol à des niveaux au-delà d'un seuil environnemental (généralement supérieur à la limite de maintenance), pour éviter des déséquilibres nutritifs et le risque d'effets néfastes sur l'environnement (voir la section 9.8.2 et **Figure 9.2**).

Les agriculteurs qui cherchent plus de profits ont souvent besoin de plus d'une recommandation en fertilisants. Ils ont besoin d'un plan complet de gestion des éléments nutritifs en plus des informations sur les variétés appropriées, les pratiques culturelles, la date de semis, les stratégies appropriées de protection des cultures, etc. L'analyse de sol n'est qu'une partie d'un global de de gestion qui assure un rendement rentable et efficace toute en minimisant les pertes d'éléments nutritifs qui pourraient nuire à l'environnement. Les plans de gestion des nutriments sont discutés davantage dans le chapitre 9.

8.6 Les Parcelles d'Omission

Lorsque l'analyse de sol ou de tissus végétaux n'est pas possible, l'approvisionnement en nutriments dans le sol peut être estimée en utilisant la technique de parcelles d'omission. Ceci est fait en ayant des parcelles élémentaires où le nutriment à étudier est omis, alors que tous les autres éléments sont apportés en quantités adéquates. Il y a également une parcelle recevant tous les nutriments et une autre en tant que témoin ne reçoit aucun nutriment. S'il n'y a pas de diminution du rendement dans la parcelle où l'élément est manquant en comparaison avec celui de la parcelle recevant tous les nutriments, il est supposé que le sol a fourni des quantités suffisantes du nutriment en question.

RÉFÉRENCES

Jones, J.B., Jr. 1967. In, Soil Testing and Plant Analysis, Part II: Plant Analysis. SSSA, Madison, WI. p. 49-58

Jones, J.B., Jr. 1993. Aust. J. Exp. Agric. 33:1039-1043.

Leikam, D.F., R.E. Lamond, and D.B. Mengel. 2003. Better Crops 87(3):6-10

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. *2nd ed.* Academic Press, London. 889 pp.

Munson, R.D. and W.L. Nelson. 1990. Ch. 14 In, Soil Testing and Plant Analysis, 3rd ed. SSSA Book Series, No. 3.

Parent, L. E., Natale, W. and Ziadi, N. 2009. Can. J. Soil Sci. 89: 383-390.

Sumner, M.E. 1977. Plant Soil 46:359-369.

Questions ?

8. De différents extracteurs utilisés dans l'analyse de sol pour P disponible sont interprétés en utilisant
   a. de différentes profondeurs d'échantillonnage.
   b. de différents seuils critiques.
   c. de différents nutriments limitants.
   d. de différentes estimations du besoin en nutriment.

9. Dans l'analyse de la plante, le seuil critique pour K souvent résulte à 90% du rendement de la culture par rapport au
   a. rendement maximum.
   b. rendement maximum économique.
   c. rendement avec tous les nutriments non limitants.
   d. rendement dans les mêmes conditions de K non limitant.

10. Dans le programme de construire et de maintenir, quand le niveau du P dans le sol est supérieur à la limite de maintenance, la quantité de P recommandée doit
    a. être zéro ou démarage seulement.
    b. remplacer les quantités prélevées.
    c. continuer à construire le niveau du P dans le sol.
    d. éviter la diminution du niveau du P dans le sol.

CS

Étude de cas 8.1-1 L'histoire culturale affecte les décisions sur la profondeur de l'échantillonnage de sol. L'importance de connaître l'histoire culturale d'un champ a été démontrée dans un cas, près de Calgary, en Alberta, au Canada. Un nouveau propriétaire voulait produire de l'avoine pour le foin sur un champ de 65 ha. Une société de service a été contactée pour prendre des échantillons de sol et élaborer une recommandation en fertilisants avant le semis de l'avoine en mi-mai. Le personnel de la société a pris 15 prélèvements de sol aléatoires à une profondeur de 15 cm, mélangé l'ensemble pour prendre un échantillon composé qui a été envoyé au laboratoire d'analyse de sol pour être analysés. Le rapport de l'analyse de sol concerne les concentrations en macronutriments N, P, K, et S, et la recommandation d'engrais basée sur ces analyses était de 132 kg N, 11 kg P_2O_5 et 17 kg K_2O/ha pour un rendement cible de 9 t/ha. L'engrais appliqué à la rangée de semence est composée d'un mélange de phosphate d'ammonium (11-52-0) et de chlorure de potassium qui a fourni 2 kg N/ha. Le reste de N a été apporté à la volée sous forme d'urée à une dose de 282 kg/ha, fournissant 130 kg de N/ha. L'urée a été incorporée par le travail du sol avant le semis. La culture avait une bonne croissance et un bon développement à cause des pluies du début d'été suivie par une période (juillet et août) chaude et sèche. Le rendement en foin obtenu était proche du rendement cible.

Tout allait bien jusqu'à ce que l'agriculteur a fait des analyses de qualité de son foin. Les analyses ont montré que les concentrations en nitrates de 6 000 mg/kg, était largement supérieur au niveau (1 500 mg/kg) généralement considéré sans danger pour l'alimentation des bovins de boucherie (Cash et al., 2007). L'agriculteur s'est plaint que la recommandation en N de la société de service était trop élevée et avait causé des niveaux excessifs de nitrates dans le foin. Une enquête plus poussée faite par un agronome de la société a constaté que le champ était planté en luzerne pendant 5 ans, enfui à la fin d'été de la cinquième année, et le champ a resté en jachère avant qu'il soit vendu au nouveau propriétaire. L'année de la jachère a eu des précipitations supérieures à la moyenne et donc l'agronome soupçonne que N minéralisé de la luzerne en décomposition, pendant l'année de jachère, a été lessivé en dessous de 15 cm de profondeur. Un échantillonnage à une profondeur de 120 cm fait par l'agronome à la fin de l'été de l'année de l'avoine, a montré que N résiduel dans le sol sous forme nitrate est de 80 kg/ha. Les concentrations élevées des nitrates dans le foin était due au niveau très élevé des nitrates dans le sol sous la profondeur de l'échantillonnage d'origine combiné avec N ajoutée dans l'engrais minéral. Le temps chaud et sec en juillet et août a rendu l'accumulation de nitrates dans l'avoine encore pire.

En sagesse rétrospective, si l'histoire culturale du champ été investiguée, il aurait été sage de prendre des échantillons de sol à une profondeur supérieure à 15 cm. Dans ce type de situation trois profondeurs d'échantillons de sol sont recommandées: 0 à 15, 15 à 60 et 60 à 120 cm. L'azote résiduel aurait été comptabilisé et une recommandation de doses de N beaucoup plus faible aurait été donnée.

Références

Cash, D. et al. 2007. Nitrate Toxicity of Montana Forages, Montana State University. [en-ligne].

Soumis par: T.L. Jensen, IPNI, Canada, Février 2012.

Chapitre 9

PLANIFICATION DE LA GESTION DES NUTRIMENTS ET RESPONSABILITÉ

Gérer la nutrition des plantes selon la Gérance des nutriments 4B comprend la responsabilité des impacts totaux sur la durabilité: économiques, environnementaux et sociaux. Ce chapitre examine et compare les approches utilisées pour la planification de gestion des éléments nutritifs et la mesure de la performance en matière de durabilité.

9.1 Les Plans de Gestion des Fertilsants

Dans plusieurs régions où l'intensité de production animale et de volailles a entraîné des excédents d'éléments nutritifs (où plus de nutriments sont excrétés dans le fumier que ceux prélevés par les cultures dans les champs), des plans officiels de gestion des éléments nutritifs ont été rendues obligatoires. Dans certaines régions, une bonne conformité et des impacts positifs ont été accomplis. Cependant, l'extension de cette approche aux petites exploitations agricoles et aux opérations focalisées principalement sur la production agricole a été limitée. Les obstacles à la participation incluent le temps nécessaire pour assembler les informations détaillées, le manque de souplesse pour apporter des changements pour répondre aux conditions météorologiques et aux marchés, et le manque de connexion avec le plan d'affaire de l'exploitation agricole.

9.2 Les Plans de la Gérance des Nutriments par le Concept 4B

Un plan de gestion des éléments nutritifs vise à servir deux objectifs pour toutes les opérations utilisants des fertilisants. Premièrement, il doit suivre et enregistrer toutes les pratiques appropriées de la gestion des cultures qui sont appliquées pour la nutrition des plantes dans le cadre d'un cycle de la gestion adaptative. Cette information est essentiellement au profit du gestionnaire et des conseillers, pour une utilisation dans la prise de décisions sur les pratiques à adopter ou à réviser pour le prochain cycle de production, comme discuté dans les Chapitres 2 et 7. Deuxièmement, les plans doivent suivre les performances et le résultat de la mise en œuvre d'un ensemble de pratiques.

Les gens demandent de plus en plus d'informations sur la performance et son amélioration au fil du temps. Les acheteurs d'un produit des cultures veulent connaitre son empreinte environnementale basée sur la performance du système entier. Par exemple, les grandes entreprises de l'industrie alimentaire ont lancé ou s'apprêtent à lancer des initiatives mondiales pour promouvoir l'agriculture durable, pour aider les entreprises à donner une valeur économique aux impacts environnementaux et sociaux de leurs chaînes d'approvisionnement. Dans un article du 25 août 2011, le support médiatique Businessgreen.com a décrit une telle initiative pour inclure

> …*"gestion des ressources, telle que l'eau, énergie et emissions, ainsi que la productivité de la ferme, preservation de la fetilité du sol, et biodiversité. Il va aussi couvrir les impacts sociaux, tels que l'effet*

sur la communauté des exploitants, droits de l'homme, et conformité avec les lois locales, standards et réglementation."

Le processus d'établissement des objectifs de développement durable doit inclure le choix des cibles spécifiques de performance. La performance est évaluée par des mesures et des indicateurs liés aux résultats économiques, environnementaux et sociaux. Il concerne tous les résultats jugés importants aux intervenants (y compris les agriculteurs, l'agro-industrie, les clients et les consommateurs).

Lorsque les principes de la Gérance des nutriments 4B sont appliqués à l'élaboration de plans de gestion des éléments nutritifs des cultures, l'information recueillie est orientée vers les objectifs économiques, sociaux et environnementaux les plus importants. Au-delà des rendements agronomiques et des impacts environnementaux, la durabilité à long terme est la considération fondamentale, et le plan de gestion des éléments nutritifs devraient devenir une partie intégrante du plan d'affaires de l'exploitation agricole. **La focalisation de l'information relative à la performance sur les priorités économiques, environnementales et sociales établies par les intervenants distingue un plan de Gérance des nutriments 4B des autres plans de gestion des éléments nutritifs.**

Dans le Chapitre 2, il a été noté que, le concept 4B relate les pratiques de gestion (sélection de la source, la dose, et le moment de l'application) aux objectifs de la durabilité de l'entreprise. Alors, la première étape dans l'élaboration d'un plan du concept 4B est d'établir les objectifs de durabilité de l'entreprise, que ce soit une ferme, un terrain de golf ou un jardin publique. Cela exige un haut niveau d'engagement du producteur ou du gestionnaire et encourage l'engagement avec les intervenants. Comme les intervenants peuvent contribuer au processus d'établissement des objectifs, les gestionnaires choisissent les pratiques. Les objectifs généraux de durabilité sont établis en partenariat avec les personnes qui ont un intérêt dans les impacts de l'entreprise sur des choses qui sont importantes pour eux. Les objectifs spécifiques de l'entreprise doivent s'aligner sur ces objectifs généraux.

Les impacts de la gestion des engrais sont exprimés dans la performance des systèmes de culture ou des écosystème sol-plante-air dans lesquels ils sont appliqués. La performance comprend l'augmentation du rendement, la qualité, et le profit résultant d'une application d'engrais et s'étend aux effets à long terme sur les niveaux de fertilité du sol et sur les pertes de nutriments vers l'eau et l'air. Il comprend également les impacts sur l'économie régionale et conditions sociales, par exemple, des aliments abordables. Tous les aspects de performance ne peuvent pas être mesurés dans chaque exploitation, mais tous devraient être évalués. Des indices acceptés scientifiquement et des modèles informatiques peuvent être utilisés pour ces évaluations.

9.3 Les Mesures et Indicateurs de Performance

Les mesures de rendement sont des mesures détaillées des résultats efficaces de la mise en œuvre d'une pratique de gestion particulière à un système particulier de cultures. Elles peuvent être très coûteuses et difficiles à faire. Les mesures de performance sont effectuées principalement par des chercheurs agronomes et sont utilisées pour valider les pratiques de gestion, souvent dans un milieu contrôlé conçu pour être extrapolé à un grand nombre de situations et pratiques d'exploitations agricoles. Un exemple peut être un essai au champ dans une station expérimentale dans lequel deux ou plusieurs pratiques sont comparées et où les mesures incluent le rendement des cultures, l'absorption des nutriments, les pertes d'ammoniac et d'oxyde nitreux dans l'air, les pertes d'éléments nutritifs dans les eaux de ruissellement et de drainage, etc.

Le concept 4B guide la recherche et la vulgarisation vers la validation des pratiques les plus pertinentes à la réalisation des résultats économiques, sociaux et environnementaux que les intervenants jugent importants. Les indicateurs de performance sont plus simples que les mesures et peuvent être réalisés plus facilement sur des exploitations réelles. Les intervenants doivent se mettre d'accord à ce que ces indicateurs reflètent leurs aspirations pour une performance et qu'ils sont bien corrélés aux mesures réelles. Par exemple, là où l'érosion des sols est un problème majeur de perte d'éléments nutritifs, un indicateur mesurant la couverture du sol par des résidus de cultures à des moments critiques peut être approprié.

Qui choisit les indicateurs?

La contribution des intervenants est nécessaire pour sélectionner les indicateurs de performance montrant un progrès par rapport aux objectifs jugés importants par tous. En un mot, un

Questions ?

1. Les plans appropriés pour la gestion des nutriments des cultures incluent des informations sur
   a. les practiques de la gestion.
   b. la performance.
   c. les pratiques de gestion et performance.
   d. les détails onéreux.

2. La première étape dans l'élaboration d'un plan 4B de gestion des éléments nutritifs d'une exploitation agricole est d'établir les:
   a. indicateurs de performance.
   b. objectifs de durabilité.
   c. objectifs de rendement.
   d. doses de fertilisants.

3. Les indicateurs de performance reflètent les progrès entrainés par la gestion des engrais dans l'amélioration
   a. de la qualité de l'eau.
   b. de la qualité de l'air.
   c. du rendement de culture.
   d. de la durabilité.

plan 4B de gestion des éléments nutritifs implique les producteurs et leurs conseillers dans le choix de la bonne combinaison (source - dose - moment - endroit) à partir des pratiques validées par des recherches effectuées par des agronomes. Les objectifs des progrès économiques, environnementaux et sociaux de l'entreprise -et les indicateurs de performance correspondants- sont choisis en parallèle avec les objectifs généraux de durabilité dans lesquels les intervenants du système de production de culture ont contribué. Le plan documente à la fois les pratiques mises en œuvre et la performance selon ces indicateurs.

Tableau 9.1 Les exemples de mesures et indicateurs de performance de gestion de la nutrition des plantes.

Mesures et Indicateurs de Performance*	Description
Rendement	Quantité récoltée par culture et par unité de surface et par unité de temps
Qualité	Sucre, protéines, minéraux, vitamines ou d'autres attributs qui donnent une valeur ajoutée à la récolté.
Efficacité de l'utilisation des nutriments	Rendement ou nutriment prélevé par unité de fertilisants apporté.
Efficacité de l'utilisation de l'eau	Rendement par unité d'eau apportée ou disponible.
Utilisation Efficiente du travail	Productivité du travail, liée au nombre et au calendrier des activités au champ.
Efficacité de l'utilisation d'énergie	Rendement de la culture par unité d'énergie utilisée.
Revenue net	Revenue de production par rapport au coût global de la production.
Retour sur investissement	Bénéfice par rapport à l'investissement en capital.
Adoption	Proportion des producteurs utilisant ou recevant des technologies de MPG particulières.
Productivité du sol	Niveau de fertilité du sol et autres indicateurs de qualité du sol.
Carbone organique du sol	Affecte la structure du sol et la qualité ainsi que l'équilibre de gaz à effet de serre.
Stabilité de rendement	Résistance des rendements des cultures aux variations météorologiques et aux ravageurs.
Revenu de l'exploitation	Amélioration du niveau de vie
Conditions de travail	Questions de la qualité de vie, la satisfaction des travailleurs, la rotation du personnel.
Qualité de l'eau et de l'air	Concentration et charge en éléments nutritifs dans les bassins versants ou l'atmosphère.
Services pour l'écosystème	Beautification de la campagne, prédateurs naturels et pollinisateurs, piquenique à l'extérieur, la chasse, la pêche, etc.
Biodiversité	Difficile de quantifier – peut être descriptive.
Érosion du sol	Degré de couverture du sol par des cultures en croissance et des résidus de cultures, et/ou des réductions de la quantité du sol perdue par unité de surface.
Pertes de nutriments du champ	Les pertes totales en éléments nutritifs des surfaces cultivées, des bordures des champs, des zones au-dessous du système racinaire, et de la surface du couvert végétal.
Équilibre des nutriments	Comptabilisation totale de tous les entrées et sorties d'éléments nutritifs, à la surface du sol ou à la ferme.

* L'importance relative parmi ces indicateurs et autres indicateurs doit être déterminée par l'apport des intervenants.

Quels sont les indicateurs possibles?

Comme les apports d'engrais ont des impacts multiples, aucune mesure ou indicateur unique ne fournit une réflexion complète de la performance, et tous les impacts possibles ne peuvent pas être mesurés. Les intervenants doivent sélectionner les mesures et indicateurs de performance qui se rapportent aux questions les plus préoccupantes. Une liste partielle des indicateurs à est présentée dans le **Tableau 9.1**. Il est important de reconnaître qu'aucun d'entre eux n'est affecté par la gestion des fertilisants. Tous peuvent être améliorés par l'application de la Gérance des nutriments 4B, mais ils dépendent aussi de la bonne gestion de toutes les pratiques appliquées au système de cultures ou à l'écosystème de la plante. Par exemple, un bon programme de fertilistion pour le gazon n'assurera pas un contrôle de l'érosion si la gestion de la coupe et le choix de l'espèce est inapropriée. Comme autre exemple, le choix d'une variété de blé mal adaptée aura une faible efficacité de l'utilisation de N, malgré les meilleurs choix possibles de la source, la dose, le moment et l'endroit d'application de N.

Le soutien économique de la performance environnementale et sociale

Les agriculteurs et les gestionnaires reconnaissent les aspects environnementaux et sociaux liés au maintien de leurs entreprises viables pour les générations futures. La rentabilité économique, cependant, est essentielle pour la viabilité de toute entreprise, et peut parfois entrer en conflit avec les objectifs environnementaux et sociaux de la performance. La motivation des gestionnaires d'aborder plus en détail les trois aspects peut être fournie par des programmes qui incluent la reconnaissance (par exemple un certificat de conformité environnementale ou label) ou les paiements directs pour les biens et services écologiques (par exemple, les compensations de carbone liées à la réduction des gaz à effet de serre). De tels programmes peuvent assurer une amélioration continue de la productivité ainsi que des progrès sur les questions environnementales et sociales.

9.4 L'Efficacité de l'Utilisation des Nutriments Comme Indicateur de Performance

Les mesures et indicateurs de performance comprennent souvent les rendements des cultures et d'informations suffisantes pour calculer les retombées économiques. En outre, ils devront refléter la performance environnementale et sociale. Ceux choisis peuvent varier en fonction des priorités des intervenants, mais souvent comprennent soit des bilans d'éléments nutritifs ou l'efficacité de l'utilisation des nutriments. De nombreux impacts environnementaux sont minimisés lorsque les excès d'éléments nutritifs sont évités et quand l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs est améliorée. Par exemple, dans les sols sableux, la perte de nitrate par le lessivage peut représenter une fraction considérable de l'azote apporté, de sorte que les pratiques choisies pour améliorer l'efficacité de l'utilisation des nutriments permettront simultanément de réduire les pertes des nitrates dans les eaux souterraines et améliorer l'absorption par les plantes. De telles pratiques peuvent inclure l'utilisation de l'application fractionnée pour réduire les pertes, ou l'utilisation de produits qui maintiennent l'azote sous forme ammoniacale. La plupart des pertes d'éléments nutritifs ayant des impacts sur l'environnement sont difficiles à mesurer. Le bilan des nutriments et l'efficacité de l'utilisation des nutriments fournissent une mesure indirecte de ces pertes et ne sont pas aussi difficiles à calculer, estimer ou mesurer.

Il y a des exemples de situations ou de très petites pertes résultent à un impact environnemental. Considérons par example le ruissellement du P soluble, ou les émissions d'oxyde nitreux. Dans les deux cas, les pertes s'élèvent souvent à seulement 1 à 3% de l'élément nutritif appliqué, et la perte elle-même n'est pas assez grande pour rendre l'apport moins efficace ou moins disponible pour la nutrition des cultures. Améliorer l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs et réduire les excès peuvent partiellement réduire l'impact environnemental, mais des pratiques comme le choix de la source, le moment et l'endroit peuvent également être envisagés pour diminuer l'impact sur l'environnement à des niveaux satisfaisants.

Il est souvent supposé que l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs est le plus important indicateur de performance pour

Tableau 9.2 Quatre definitions de l'Efficacité de l'Utilisation des Nutriments (EUN).

Terme EUN	Calcul	Examples rapportés
PPF - Productivité Partielle des Facteurs d'élément nutritif appliqué	Y/F	40 à 80 unités de grain de céréale par unité d'N
EA - Efficacité Agronomique du nutriment appliqué	$(Y-Y_0)/F$	10 à 30 unités de grain de céréale par unité d'N
BPN - Bilan Partiel du Nutriment (ratio Prélèvement sur utilisation)	U_H/F	0 à un peu plus de 1,0 - selon la fertilité native du sol et des objectifs de maintenance de la fertilité <1 dans les systèmes déficients en nutriments (amélioration de la fertilité) >1 dans les systèmes de surplus de nutriments (sous-remplacement) Un peu moins de 1 à 1 (maintient la fertilité des sols)
ER - Efficience de la Récupération apparente de la culture pour le nutriment appliqué	$(U-U_0)/F$	0,1 à 0,3 – proportion de P apporté récupérée la première année 0,5 à 0,9 – proportion de P apporté récupérée par les cultures dans les systèmes de cultures à long terme 0,3 à 0,5 – récupération d'azote dans les céréales - typique 0,5 to 0,8 – récupération d'azote dans les céréales – meilleure gestion

F – Quantité d'élément fertilisant apportée
Y – rendement de culture avec le nutriment apporté
Y_0 – rendement de culture sans apport de nutriment
U_H – teneur en nutriment de la partie récoltée de la culture
U – absorption totale d'éléments nutritifs dans la biomasse hors-sol avec apport d'engrais
U_0 – absorption totale d'éléments nutritifs dans la biomasse hors-sol sans apport d'engrais

l'utilisation des engrais. Ceci n'est pas le cas. Les nutriments sont apportés pour augmenter la performance globale du système de cultures. L'efficacité de l'utiisation des éléments nutritifs n'est qu'un aspect de cette performance, comme indiqué dans le **Tableau 9.1**. L'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs a de nombreuses définitions, reflétant la récupération des nutriments, l'équilibre des éléments nutritifs, ou le rendement produit par unité d'élément nutritif apporté. Chaque définition fournit des indications du potentiel d'amélioration de la gestion des engrais, mais aucune ne fournit une représentation complète de l'impact sur la performance globale.

Efficacité de Production. La forme la plus simple de l'efficacité de production de la culture est appelée productivité partielle des facteurs (PPF). Elle est calculée en unités de rendement des cultures par unité de nutriment apporté. Un autre terme, l'efficacité agronomique (EA), est calculée en unités **d'augmentation de rendement** par unité de nutriment apporté. Il reflète de plus près l'impact des éléments nutritifs apportés. Le premier est facilement calculé pour chaque exploitation qui tient un registre des entrées et sorties. Le dernier nécessite une parcelle sans apport de nutriments, ainsi il n'est connu que lorsque des essais de recherche ont été mis en œuvre à l'exploitation.

La PPF répond à la question "Quel est le niveau de productivité de ce système de culture en comparison avec son apport en éléments nutritifs", l'EA répond à une question plus directe: "Combien de gain de productivité a été obtenu par l'utilisation de l'élément nutritif apporté"

Efficacité de la récupération. L'efficacité de la récupération (ER) des éléments nutritifs comporte également au moins deux formes. La forme simple, la production par unité d'apport de nutriment, est parfois appelée un bilan nutritif partiel (BNP). Il est calculé comme la quantité des nutriment dans la partie récoltée de la culture par unité de nutriment apporté. Rapporté comme un rapport de "prélèvement sur utilisation", il est assez facile à mesurer et utile aux producteurs. Il peut être rapporté pour n'importe quel nombre de saisons de croissance.

La forme la plus complexe - préférée par les scientistes qui étudient la culture- est appelé l'efficacité de la récupération (ER), définie comme l'augmentation de l'absorption des éléments nutritifs dans les parties aériennes de la plante en réponse à l'apport de l'élément nutritif. Comme c'est le cas pour l'EA, la mesure de l'ER nécessite la mise en œuvre de parcelles de recherche, sans apport de nutriments. Le BNP répond à la question: " Quelle est la quantité de nutriments qui est exportée du système par rapport à celle apportée?", et l'ER répond à la question: " Combien de l'élément nutritif apporté a été absorbé par la plante? "

Habituellement, EA et ER sont calculées pour décrire les résultats à court terme: soit pour un apport de nutriment simple ou pour la réponse pendant une seule compagne agricole. Cependant, lorsqu'elles sont calculées sur le long terme, les résultats peuvent différer sensiblement, en particulier pour P, comme indiqué dans le **Tableau 9.2**.

9.5 Les Étapes de l'Élaboration d'un Plan de Gérance des Nutriments 4B

Ce qui suit fournit un ensemble généralisé d'étapes pour établir et mettre en œuvre un plan de Gérance des nutriments 4B qui permet de rendre compte des progrès envers des niveaux plus élevés de la durabilité. Ces étapes sont conçues pour être compatibles avec les principes de la gestion adaptative comme ils sont décrits dans le Chapitre 7.

1. Établir des objectifs de durabilité – pour toute l'exploitation agricole ou entreprise:

a) Prendre en considération les intervenants. Cela peut inclure les voisins, les clients, les groupes d'intérêts publics locaux, des associations d'entreprises ou d'exploitations agricoles ou d'autres organisations actives dans la promotion volontaire d'amélioration de la durabilité.

b) Lorsque la terre agricole est louée, les discussions devraient se produire entre le propriétaire du terrain et le producteur afin de déterminer qui est responsable de la mise en œuvre des pratiques de durabilité et du suivi de leur efficacité.

c) Établir des objectifs économiques, environnementaux et sociaux pour l'entreprise, avec des indicateurs de performance choisis en tenant compte des préoccupations des personnes énumérées ci-dessus.

d) Choisir une stratégie appropriée de gestion des éléments nutritifs qui soutiendra les objectifs de durabilité de l'entreprise. Un exemple d'une liste des objectifs de durabilité environnementale d'une ferme est fourni dans un article de la série évaluation de l'exploitation agricole entière de l'Université de Cornell (see #1 by Karl Czymmek).

2. Collecter l'information de production nécessaire – pour chaque champ:

a) Nature de la culture.

b) Rendement et qualité cibles (e.g., proteine, teneur en oligoéléments, couleur, ou d'autres caracteristiques affectées par la gestion des nutriments).

c) Caractéristiques du sol y compris la texture, la matière organique, le pH, et les teneurs disponibles des nutriments.

d) Historique cultural et pratiques anterieures de gestion des nutriments.

e) Le nombre prévu de jours avec des conditions adéquates du sol pour les opérations de terrain (apports des nutriments, travail du sol, semis, protection des cultures et récolte) basés sur les types de sols et les conditions météorologiques typiques.

f) Drainage de l'eau, taux d'infiltration, sensibilité au lessivage, proximité à l'eau de surface.

g) Localisation, dimensions et superficie (description légale, coordonnées GPS, carte).

h) Opportunité et potentiel d'application des doses variables de nutriments à l'échelle de la parcelle.

i) Equipement disponible pour l'application des nutriments.

j) Des recommandations et des outils d'aide à la prise de décision fiables pour une combinaison optimale de: la source, la dose, le moment et l'endroit de l'apport des nutriments, étant donné les conditions ci-dessus.

3. Développer le plan - pour chaque champ:

a) Déterminer les besoins en nutriments pour atteindre le rendement et la qualité cibles

b) Estimer la capacité du sol à fournir des élements nutritifs.

c) Tenir compte de l'approvisionnement en tous les nutriments disponibles et choisir la source d'éléments nutritifs la plus réalisable et la dose, le moment et l'endroit appropriés pour l'application.

4. Mettre en oeuvre les techniques retenues, appliquer les bonnes sources d'éléments nutritifs à la bonne dose, au bon moment et bon endroit pour atteindre la performance maximale. Cela peut être fait par le gérant de la ferme ou conjointement avec les conseillers, les détaillants d'engrais ou sociétés de service, les acheteurs, et le personnel de réglementation. L'enregistrement et le suivi précis de ce qui a été fait est une partie importante du cycle de la gestion adaptative, et devrait également inclure le suivi de l'état de la culture.

Questions ?

4. L'indicateur de performance le plus important de la gestion des éléments nutritifs est
   a. la productivité partielle des facteurs.
   b. l'efficacité de l'utilisation des nutriments.
   c. l'efficacité agronomique.
   d. etroitement lié aux objectifs de durabilité.

5. Le processus d'élaboration et de mise en œuvre d'un plan de Gérance des nutriments 4B pour une exploitation agricole
   a. est compatible avec les principes de la gestion adaptative.
   b. augmente le fardeau des règlements gouvernementaux.
   c. est indépendant du plan d'affaires de l'exploitation agricole.
   d. permet d'éliminer les préoccupations des intervenants

6. Un plan de Gérance des nutriments 4B doit contenir des informations pour chaque champ sur
   a. les pratiques appliquées et performance en comparaison avec l'année précédente.
   b. les objectifs de durabilité et les indicateurs de performance.
   c. tous les indicateurs de performance possibles.
   d. les sources alternatives de nutriments.

5. Surveiller l'efficacité des pratiques effectuées. La dernière étape dans le cycle de la gestion adaptative évalue la performance avec les indicateurs choisis pour déterminer si les pratiques sélectionnées ont atteint les résultats escomptés. Cette évaluation influe ensuite sur le prochain cycle de décisions de planification (i.e., l'étape 2). L'impact de nombreuses pratiques ne peut pas être facilement mesuré dans une seule saison de croissance et devra être évalué sur plusieurs années afin de documenter des améliorations.

Un tel suivi peut être aussi simple que la détermination des rendements des cultures et l'évaluation ils étaient proches des rendements visés sur la base du plan. Mais souvent, en fonction des objectifs prioritaires de durabilité, le suivi peut également inclure une simulation d'exercice comptable de suivi de l'utilisation des éléments nutritifs comme suit:

a) le suivi des concentrations en nutriments des cultures au cours de la saison et à la récolte;

b) la détermination de nutriments résiduels dans le sol après la récolte, et dans certains cas les concentrations d'éléments nutritifs dans les résidus (principalement N);

c) évaluer si le rendement cible a été atteint, tenant compte du rendement potentiel en fonction des conditions météorologiques vécues (par exemple la pluviométrie et l'irrigation ont-elles été adéquates et en temps opportun? Y avait-il suffisament de température pour le développement des cultures? Y avaient-ils d'autres facteurs qui ont interférés avec le développement normal de la plante?);

d) le calcul des bilans et de l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs;

e) le suivi de la quantité et de la qualité de l'eau quittant la ferme dans les issues de drainage;

f) la mesure ou l'appréciation de la qualité du sol en utilisant des indicateurs appropriés

9.6 Exemple de Feuille de Travail du Plan 4B

En pièce jointe ci-dessous est un exemple d'une feuille de travail qui pourrait être utilisée par un consultant ou un conseiller argicole pour aider un agriculteur à élaborer un plan de gérance des éléments nutritifs pour un champ.

1) Information de l'exploitation agricole

Nom de l'entreprise: (nom de l'exploitation ou entreprise)	
Coordonnées-Agriculteur: (Nom, addresse, téléphone, courriel)	
Coordonnées-Conseiller: (Nom, addresse, téléphone, courriel du conseiller agricole certifié ou consultant agronome)	
Description de l'Enterprise: (Nombre de champs, cultures, cheptel vivant ou volaille, sources disponibles de nutriments)	

Objectifs et indicateurs de durabilité en relation avec les éléments nutritifs:		
	Objectifs	**Indicateur(s) de Performance** liés à la gestion des éléments nutritifs pour chaque objectif
Economique		
Environmental		
Social		

2) Information du champ *(pour chaque champ):*

Nom ou Numéro du champ ou de la zone à gérer	
Localisation GPS et coordonnées légales	
Carte et description	
Superficie (taille)	
Précedent cultural	
Culture(s) spécifique(s) pour cet événement de planification	
Rendements cibles réalistes	
Topographie du paysage et Caractéristiques de drainage du sol	

Caractéristiques du sol		**Niveaux d'analyse du sol**			
Matière organique		**N**		**Ca**	
Texture		**P**		**Mg**	
pH		**K**		**Zn**	

Apports de nutriments Planifiés (recommandés)				
Application	**Bonne source (analyse)**	**Bonnes Doses**	**Bon moment (date, stade de croissance des cultures)**	**Bon endroit (profondeur, méthode)**
1				
2				
Nutriment apporté				
Apport	**SOURCE**	**DOSES**	**MOMENT**	**ENDROIT**
1				
2				

Résumé du bilan d'éléments nutritifs						
	N	**P_2O_5**	**K_2O**	**S**		
Apporté						
Absorption						
Prélèvement						

Indicateurs de Performance *(peut inclure niveaux de fertilité du sol, efficacité de l'utilisation des nutriments, bilans, rendement de culture, etc. compatibles avec les objectifs de durabilité. Graphique pour montrer les tendances au fil du temps):*

Indicateur	**Année passée**	**Année passée**	**Année passée**	**Année en cours**
Rendement				
Revenu net				
Bilan nutritif partiel — N				
Bilan nutritif partiel — P				
Bilan nutritif partiel — K				

9.7 La Comparaison des Normes Réglementaires et Volontaires pour les Plans de Gestion des Éléments Nutritifs

Le rôle adéquat de la législation est débattu dans chaque pays et société. Chaque système de culture et politique a une opinion différente concernant le rôle approprié du gouvernement dans le contrôle des activités des individus et des groupes. Pour la réglementation environnementale, il est reconnu que la qualité de la vie collective est affectée par de nombreuses activités humaines qui influent sur les ressources naturelles comme l'air, le sol et l'eau. Ces impacts sont parfois atténués par un contrôle gouvernemental à l'échelle locale, régionale, ou nationale. Certains impacts environnementaux sont mieux traités au niveau local, tandis que d'autres questions environnementales sont de portée mondiale et requièrent des accords multinationaux.

Il est clair que lorsque les nutriments ne sont pas correctement gérés et quittent par inadvertance le champ, ils peuvent contribuer à des effets environnementaux négatifs. Mais il n'est pas toujours clair si les réponses volontaires ou obligatoires abordent mieux ces questions environnementales. Certains arguments pour et contre les approches obligatoires et volontaires sont indiqués ci-dessous.

Standards obligatoires:

a) Déclaration obligatoire des résultats dans des approches normalisées qui fournissent des informations crédibles pour répondre aux préoccupations et questions des intervenants.

b) Un ensemble de standard d'exigences qui exige un niveau de transparence opérationnelle répondant aux enjeux environnementaux spécifiques.

c) Il n'y a actuellement aucune approche standard pour la tenue des données, ni la responsabilité pour les décisions sur nutriments -ce qui rend difficile la documentation des progrès envers les objectifs environnementaux sans normes uniformes.

d) Il est admis que les règlements obligatoires peuvent finalement conduire les agriculteurs à une plus grande efficacité, des profits plus élevés, et plus de bien-être sociale à long terme. Les opinions sur cette affirmation diffèrent.

e) Dans les régions où une large gamme de cultures commerciales est pratiquée, la capacité des législateurs à établir des règles obligatoires pour répondre aux besoins spécifiques de chaque culture serait sérieusement remise en question.

f) Les approches obligatoires manquent souvent de la souplesse nécessaire pour s'adapter aux nouvelles circonstances, aux conditions environnementales, aux changements du marché et aux progrès technologiques. Cela peut constituer un fardeau pour les exploitations qui opèrent dans un environnement commercial mondial.

g) Des réglementations strictes compromettent l'innovation et réduisent l'incitation à aller au-delà des exigences minimales et la tenue des registres.

h) De nombreuses réglementations ont des "gagnants et perdants", ce qui rend l'élaboration des règles une question politique plutôt qu'un résultat scientifique.

i) Il est difficile pour les organismes de réglementation de surveiller la conformité aux règlements dans une exploitation agricole, ce qui peut compromettre la confiance dans les règlements et rendre la mise en oeuvre apparaîsse imprévisible.

Normes volontaires:

a) Les normes environnementales sont encore en développement et des mesures volontaires poussent les agriculteurs dans la bonne direction au fur et à mesure que la science arrive à maturité.

b) Les approches volontaires permettent aux informations actuelles de l'industrie d'être déployée rapidement dans la pratique. Les organismes de réglementation sont souvent occupés à "rattraper le retard" pour modifier la politique pour refléter les conditions en évolution.

c) L'autorégulation offre plus de souplesse que la réglementation stricte, permettant le choix de pratiques de gestion répondant mieux aux défis locaux. Cela évite la difficulté à faire face aux situations politiques difficiles auquelles les organismes de réglementation doivent faire face à chaque fois qu'une loi est modifiée.

d) Si les participants sont impliqués dans le choix des pratiques de gestion appropriés pour un champ spécifique, plus de résultats appropriés seront possibles que l'approche une taille unique pour tous.

e) L'autorégulation peut conduire à un niveau plus élevé de conformité. Lorsque les individus sont impliqués dans la définition des règles, elles leur apparaîtront probablement plus raisonnables.

f) Les normes volontaires peuvent permettre à chacun de se mettre en conformité puisque le groupe pousse les membres individuels à atteindre des objectifs communs dans l'intérêt de l'ensemble de l'industrie.

g) Les approches volontaires ne peuvent pas offrir une motivation suffisante pour la participation individuelle ou de groupe pour atteindre les résultats souhaités.

h) Le respect des normes volontaires peut impliquer la divulgation non souhaitée d'informations négatives et ne peut pas être accessibles.

i) Les initiatives d'auto régulation sont basées sur un partage de l'information, ce qui peut poser un conflit d'intérêts.

j) Les organisations d'auto régulation peuvent être réticentes à imposer des sanctions appropriées aux contrevenants graves parmi leur homologues.

k) Lorsque les intérêts individuels spécifiques semblent s'écarter des objectifs globaux de la société, les conflits d'intérêts rendent l'auto-surveillance et la mise en oeuvre plus difficile.

l) De nombreux agriculteurs opèrent sur des marchés contrôlés par la conjoncture mondiale. Lorsque les marchés étrangers ne sont pas contraints aux règlements, l'autorégulation peut être un désavantage concurrentiel (bien que ceci s'applique aussi à la réglementation obligatoire).

m) Les approches volontaires ne peuvent pas aborder certains impacts environnementaux et sociaux de certaines décisions spécifiques de gestion.

n) Les approches volontaires ne peuvent pas fournir une vérification de performance suffisante pour répondre aux désirs de tous les intervenants.

9.8 La Gestion des Impacts Environnementaux

Un objectif de base de la nutrition des plantes selon le concept 4B est de gérer et réduire les pertes de nutriments qui influent sur l'environnement. L'avenir de l'humanité dépend de la manière dont nous utilisons les engrais N et P et d'autres ressources disponibles de nutriments pour produire une nourriture abondante, saine et nutritive ... et de la façon dont nous obtenons une plus grande protection et restauration de la qualité de l'air et de l'eau. Les cycles d'azote et de phosphore sont intimement liés aux cycles d'autres nutriments essentiels, qui maintiennent toute vie sur la Terre. Nos actions actuelles de gestion des éléments nutritifs, sur la base du concept 4B, dicteront les résultats économiques, sociaux et environnementaux actuels et futurs. Chaque consommateur d'engrais devrait faire des choix de gestion tout en se demandant: mes décisions de gestion et actions aboutiront-elles à un resultat rentable, un meuilleur environnement, ou un bénéfice social net?

Ces questions sont difficiles à répondre, principalement parce que les impacts environnementaux sont difficiles à mesurer au niveau de la ferme. Par exemple, il n'est pas réaliste de s'attendre à ce que tous les agriculteurs mesurent leurs émissions d'oxyde nitreux dans l'atmosphère, ou de leurs pertes de P dans l'eau de drainage. Ces deux exemples impliquent des pertes sporadiques dans des conditions de sol et des conditions météorologiques très spécifiques. En outre, aucune pratique unique ne peut être utilisée dans toutes les conditions agricoles pour atténuer ces pertes - il n'y a pas de solution "une taille unique pour tous". La science a identifié les conditions dans lesquelles des combinaisons spécifiques de source d'engrais, des does, du moment et endroit permetteront de faibles pertes sans limiter la productivité. Ces conditions sont décrites dans les indices, protocoles et autres instruments liés à l'information contenue dans les plans de gestion des éléments nutritifs, plusieurs études de cas sont cité dans ce chapitre.

Les deux sections suivantes porteront plus spécifiquement sur les deux nutriments N et P les plus souvent associés à des impacts environnementaux.

9.8.1 La Gestion des Impacts Environnementaux de l'Azote

La mise en œuvre de la Gérance des nutriments 4B de manière propre au site peut améliorer la récupération de N du sol par les plantes. Ces améliorations de la récupération de l'azote par la plante minimisent le potentiel de pertes qui réduisent la rentabilité et augmentent les risques de la déterioration de l'environnement. L'augmentation de la récupération de N apporté réduit les pertes qui pourraientt nuire à la qualité de l'eau et de l'air. Il réduit également le transfert potentiel de N aux zones non-agricoles vierges où il pourrait nuire à la biodiversité naturelle.

Plusieurs voies de perte de N

Malheureusement, la récupération de N apporté par la plupart des céréales pendant la période de croissance est souvent loin d'être complet. Elle peut varier de 30 à 70% ou même plus. La partie restante de l'azote appliqué peut être:

a. stockée sur des sites d'échange du sol sous forme d'ammonium;

b. stockée dans la matière organique du sol;

c. perdue par le lessivage au-dessous de la zone active des racines avec un risque de contamination des eaux souterraines;

d. perdue par ruissellement dans les eaux de surface, lessivage et / ou décharge de drainage;

e. perdue dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac volatilisé, ou;

f. perdue dans l'atmosphère comme oxyde nitreux (N_2O, un gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement de la planète et au changement climatique) ou gaz N_2, origine de tous les engrais azotés.

Certains sols sont assujettis à de plus grandes pertes d'azote par l'intermédiaire de certaines des principales voies de perte de N mentionnées ci-dessus. Par exemple, les sols sableux profonds peuvent être assujettis à des pertes plus élevées de N sous forme de nitrate; les sols argilo-limoneux à texture fine dans les zones basses peuvent être soumis à des pertes plus élevées par la dénitrification et émissions dans l'atmosphère sous forme de N_2O et / ou N_2.

La gestion des pertes de N nécessite la connaissance

L'utilisation de source appropriées de N, l'utilisation d'uréase et / ou d'inhibiteurs de nitrification, la synchronisation des apports de N apports avec les périodes et les besoins d'absorption des cultures, et l'application de N au bon endroit en utilisant des méthodes appropriées de l'emplacement nécessite une meilleure connaissance:

1) des sources de l'engrais azoté;
2) des caractéristiques et propriétés du sol;
3) des conditions climatiques (humidité, température);
4) des besoins en nutriments et équilibre du système de culture;
5) de la complexité du cycle de N, et;
6) de l'efficacité de la gestion de l'eau et de l'irrigation.

Par exemple, les pertes de N par la volatilisation sous forme d'ammoniac peuvent être importantes lorsque l'urée ou des sources d'engrais azotés contenant de l'urée sont appliquées en surface et n'ont pas été suivies de suffisamment de pluie ou d'eau d'irrigation dans les 48 heures suivant l'application. Cela peut également se produire lorsque le sulfate d'ammonium est appliqué en surface des sols calcaires.

Pour de nombreux agriculteurs et producteurs qui passent la majorité de leur temps à faire des décisions d'achats et de commercialisation, les compétences disciplinaires d'un consultant agricole professionnel (par exemple, un conseiller accrédité des cultures) ou un agent de vulgarisation expérimenté peuvent être indispensables. Ces professionnels peuvent aider les agriculteurs et producteurs à planifier et mettre en œuvre des pratiques judicieuses de gestion de N, entrainant des avantages économiques, environnementaux et sociaux.

Plusieurs voies pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de N

Les Voies pour améliorer la récupération par la culture et la rétention de N appliqué par le sol comprennent:

a) l'amélioration génétique des cultures;
b) les plus recentes technologies des engrais;
c) la meilleure synchronisation et application fractionnée;
d) les progrès des technologies d'application d'engrais;
e) l'accessibilité et mise en œuvre d'outils de SIG et GPS;
f) l'adoption de pratiques de conservation qui améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

La gestion adaptative, comme décrite dans le chapitre 8, peut aider les agriculteurs à faire des choix parmi les voies répertoriées ci-dessus.

9.8.2 La Gestion des Impacts Environnementaux du P

Le phosphore doit être ajouté périodiquement à la plupart des sols pour maintenir un approvisionnement adéquat pour soutenir la croissance des cultures et remplacer les éléments nutritifs prélevés par la récolte. Alors que P est un nutriment essentiel pour les plantes et les animaux, des concentrations élevées dans les rivières et les lacs d'eau douce peuvent hyperstimuler la productivité biologique. La croissance excessive des plantes dans les eaux de surface suite à l'enrichissement en nutriments est appelée l'eutrophisation. L'eutrophisation est le plus souvent causée par les activités humaines, mais c'est aussi un processus naturel, en particulier dans les lacs. Certaines agences gouvernementales considèrent l'eutrophisation comme la cause principale de la dégradation des eaux de surface.

La quantité totale de P perdue d'un champ agricole peut être très petite, mais accélère l'eutrophisation indésirable dans les ruisseaux, les rivières et les lacs (par exemple, dans certains lacs des proliférations d'algues peuvent résulter des concentrations aussi faibles que 0,02 mg P/L). L'eutrophisation peut conduire à de graves impacts économiques, sanitaires et esthétiques.

Les voies de perte de P commencent à la surface

Le phosphore du sol se trouve dans la matière organique et également en association avec de nombreux composants inorganiques dans le sol, incluant la rétention en surface des argiles et oxydes de minéraux, et la précipitation avec des cations tels que, Al, Fe, ou Ca. Le phosphate n'est pas très mobile dans la plupart des sols et il est principalement attaché aux particules solides plutôt que dissous dans l'eau. Par conséquent la perte de P est plus souvent associée à l'érosion de surface des sols qui transporte les particules en dehors du champ (**Figure 9.1**).

Lorsque le fumier ou l'engrais P est laissé sur la surface du sol ou incorporé superficiellement, la couche supérieure du sol s'enrichit en P et devient la zone la plus vulnérable à la perte avec l'eau courante. Dans ces zones, la perte de P se produit principalement par les eaux de ruissellement. Cela peut se produire lors de la précipitation, la fonte des neiges, ou durant l'irrigation. Le lessivage peut également transporter le P à travers le sol jusqu'aux fossés et canaux souterrains de drainage qui se déversent dans les eaux de surface. Un tel mouvement dans le sol peut se produire avec des combinaisons de faibles capacités de fixation de P, des niveaux élevés d'analyse du sol, et de l'écoulement préférentiel à travers les macropores du sol qui souvent proviennent de la surface du sol. Ainsi, la plupart des formes de perte de P peuvent être gérées et minimisées par l'emplacement de nutriments appliqués en bande sous la surface du sol. La gestion de l'eau peut aussi être une composante pour minimiser la perte du P.

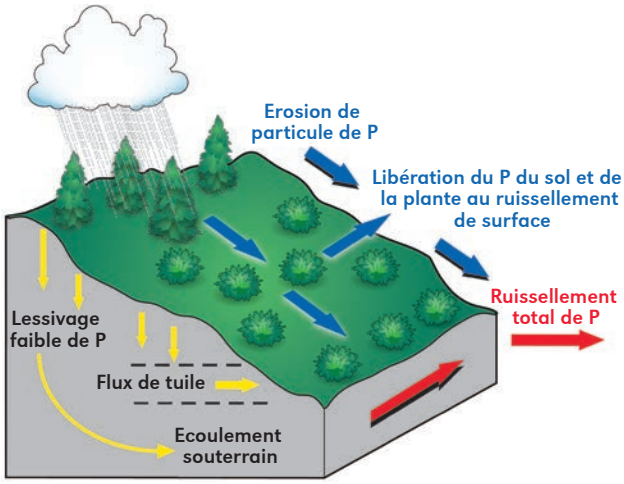


Figure 9.1 La voie principale de perte du P est le ruissellement de surface, mais dans certains sols le lessivage peut transporter le P aux canalisations de drainage. **Adapté de:** Sharpley et al. (2003)

Gérer les doses de P pour contrôler l'accumulation dans le sol

Il existe plusieurs sources potentielles de P qui peuvent enrichir les eaux de surface. Lorsque les agriculteurs utilisent des engrais commerciaux comme source primaire de P, il y a généralement moins de d'application excessive du P puisque l'ajout d'engrais au-delà d'une concentration économiquement appréciable représente un gaspillage d'argent. Un suivi avec l'analyse périodique du sol est nécessaire pour éviter que les concentrations de P ne dépassent pas la gamme requise pour la production agricole. L'application à long terme d'engrais phosphatés à des doses qui dépassent largement le prélèvement des cultures peut augmenter les concentrations de P du sol à des niveaux indésirables.

Questions ?

7. Un avantage des normes volontaires par rapport aux normes obligatoires, c'est qu'elles
   a. permettent des solutions qui sont plus sensibles aux contraintes spécifiques au site.
   b. limitent la flexibilité de prise de décision pour répondre aux conditions en évolution.
   c. compromettent l'innovation.
   d. imposent des sanctions appropriées aux contrevenants graves.

8. Les deux nutriments les plus essentiels pour l'avenir de l'humanité mondiale sont
   a. N et P.
   b. cobalt (Co) et selenium (Se).
   c. cellulose et lignine.
   d. cadmium (Cd) et fluore (F).

9. La récupération (absorption) de N apporté par la plupart des cultures céréalières au cours de la saison de croissance est généralement:
   a. supérieur à 70-90%
   b. moins de 30%
   c. 50 à 60%
   d. 30 à 70%

La production intensive d'animaux peut conduire à un excédent de fumier et de nutriments à l'intérieur d'une région localisée. L'épandage répété de fumier sur les terres agricoles entraîne souvent à l'accumulation du phosphore en excès par rapport au prélèvement des cultures et finalement augmente le risque de perte de nutriments dans l'eau de ruissellement. Les doses d'application annuelles peuvent dépasser plusieurs fois le prélèvement des cultures dans certaines régions. Des méthodes améliorées de distribution régionale de fumier peuvent être nécessaires pour déplacer le surplus de nutriments vers les zones où il ya un besoin agronomique. L'application continue d'éléments nutritifs en excès par rapport aux besoins des cultures peut conduire à une accumulation indésirable et une préoccupation environnementale potentielle. Le principe de l'équilibre entre les entrées et sorties de nutriments est important pour toutes les formes.

Gérer à la fois le P et l'eau pour minimiser les pertes

L'adoption de deux techniques agricoles aidera à protéger l'eau douce de l'eutrophisation:

a) Le phosphore dans les sols doit être géré pour équilibrer les apports de fumier et d'engrais avec les récoltes. Cela peut être fait en tenant compte des éléments nutritifs ajoutés à chaque champ et les éléments nutritifs prélevés par les récoltes ou par des animaux de pâturage. Les analyses périodiques du sol informeront si les concentrations de P du sol augmentent ou diminuent au fil du temps. Les ajustements des doses d'apport des nutriments peuvent être effectués en fonction des tendances à long terme.

b) La plus grande perte de P se produit lorsque les sédiments quittent la surface du champ dans l'eau de ruissellement. Les pratiques de conservation qui réduisent l'érosion et le ruissellement permettront également de réduire la perte du P. Certaines pratiques de conservation à la ferme qui pourraient être envisagées pour la réduction de la perte de P comprennent:

Travail réduit du sol	Pratiques d'irrigation
Les zones humides	Gestion des zones riveraines
Les cultures de couverture	Gestion des débits massiques
Gestion des canaux	Cultures en bandes
Contrôle de l'érosion	Récupération de l'eau d'irrigation en aval
Voies d'eau gazonnées	Emplacement des nutriments
Calibration de l'épandeur	Moment d'apport des nutriments

Indices de risque aident à minimiser les pertes de P

Les sources de pollution par le ruissellement peuvent être difficiles à identifier et à réglementer. La plupart de P perdu dans les eaux de ruissellement vient généralement d'une zone assez restreinte du champ. Une attention particulière devrait être accordée à ces zones à haut risque. Des pratiques de conservation des sols appropriées devraient être mises en œuvre dans ces zones pour arrêter le transport de particules aux eaux de surface.

De différentes approches ont été utilisées pour identifier les champs individuels avec un risque élevé de perte de P. Des techniques pour réaliser ces estimations varient de simples évaluations de perte de P à des modèles informatiques sophistiqués.

Toutes ces estimations doivent être étalonnées pour les conditions locales du sol, la météo et la culture. En général, ces approches tiennent compte de la contribution de la source de P et du potentiel de transport du P à l'eau. Ces facteurs sont énumérés dans le **Tableau 9.3**

Tableau 9.3 Facteurs contrôlant la perte de P à partir des terres cultivées.

Facteurs source du phosphore
Concentration en P du sol
Dose, moment et endroit d'application de l'engrais phosphaté
Dose, moment et endroit d'application du fumier
Concentration en phosphore du fumier
Propriétés physiques du fumier
Solubilité de la source du phosphore
Facteurs transport du phosphore
Potentiel de ruissellement de l'eau de surface
Potentiel de l'érosion du sol
Drainage souterrain
Pouvoir tampon de la végétation de bordure
Proximité et connectivité à l'eau
Texture du sol et classe de drainage

Les analyses du sol orientent la gestion du phosphore pour des objectifs aussi bien économiques qu'environnementaux

De nouvelles analyses du sol en cours de développement peuvent améliorer à la fois la prévision de la réponse des cultures et le risque de la perte potentielle de P. Un exemple de ces analyses est le rapport P/Al du test Mehlich 3, utilisé comme une estimation de la saturation du sol en P. Ces nouvelles analyses de sol doivent tenir compte des facteurs tels que le moment d'échantillonnage du sol, la profondeur, les méthodes appropriées de manipulation, et les techniques d'extraction de laboratoire.

Des mesures pratiques peuvent être immédiatement mises en œuvre pour réduire le risque de perte de P et de l'eutrophisation. L'analyse du sol pour minimiser l'accumulation excessive de P peut facilement être initiée. Les apports d'engrais et de fumier doivent être programmés à des moments de l'année où le risque de perte est minime. Les décisions relatives à l'épandage du fumier et de l'engrais phosphaté doivent envisager la façon de réduire au minimum les pertes de ruissellement. Les pratiques de conservation sur le terrain pour réduire l'érosion du sol devraient être une partie importante de toutes les opérations agricoles, indépendamment de la taille du champ, l'état nutritionnel, et la capacité de gestion.

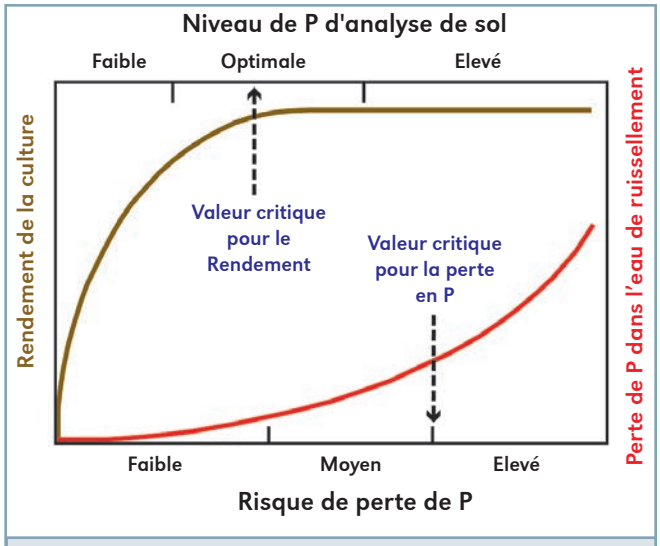


Figure 9.2 Le rendement de culture et le risque de perte du P augmentent en fonction du le P du sol. **Source:** Sharpley et al. (2003))

9.9 La Synergie de la Gérance

Le processus reliant la source, la dose, le moment et l'endroit des éléments nutritifs aux résultats de la durabilité peut être décourageant. Les impacts de la durabilité sont très complexes, propres au site et variables au temps. Ils impliquent l'incertitude et nécessitent des recherches plus poussées pour appuyer l'amélioration continue basée sur la science. Cependant, une réflexion pratique de bon sens -guidée par un cadre global approprié- peut changer les pratiques et améliorer les résultats à la fois à des échéances de court et long termes.

À court terme, il encourage une action pratique au niveau du sol envers des solutions synergiques. Par exemple, une fois qu'un agriculteur comprenne que l'emplacement en bande d'un engrais de démarrage peut à la fois augmenter le rendement de la culture et réduire le P du ruissellement, le changement de la pratique peut être mis en place presque immédiatement.

À long terme, il oriente les efforts de la recherche scientifique et de la vulgarisation vers les pratiques les plus efficaces qui traitent les problèmes prioritaires de la durabilité. Souvent ce sont des questions qui sont difficiles à résoudre à la ferme, par exemple, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'azote des cultures céréalières.

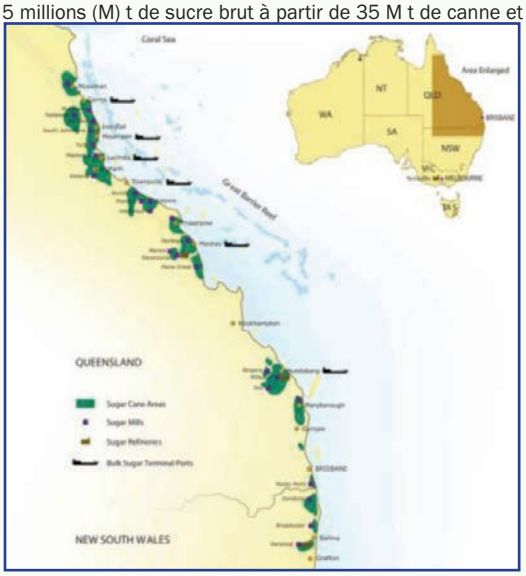
Les pratiques directrices à l'égard de la nutrition des plantes pour une productivité optimale peuvent aider à résoudre un bon nombre de problèmes actuels liés à l'utilisation des éléments nutritifs des plantes. **4B**

RÉFÉRENCE

Sharpley, A.N. et al. 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. 2nd Ed. [en-ligne].

CS

Étude de cas 9.1-1 Les plans de gestion des éléments nutritifs pour la canne à sucre dans les zones tropicales humides de l'Australie. L'industrie australienne de sucre produit environ 5 millions (M) t de sucre brut à partir de 35 M t de canne et 4 000 exploitations agricoles. La canne à sucre est cultivée dans les régions de fortes précipitations et irriguées au long des plaines côtières et des rivières dans le nord-est de la côte de l'Australie du Queensland à Nouvelle-Galles du Sud (voir la carte). La culture de la canne et la production du sucre soutiennent l'économie de nombreuses communautés côtières et elle est la deuxième après l'industrie du tourisme ayant son impact économique régional.



le Gouvernement et les industriels s'associent pour développer le programme "Six étapes faciles" pour protéger la Grande Barrière

Les régions nord de la canne sont dans les régions tropicales humides avec 2 000 à 4 000 mm de précipitations annuelles et sont adjacentes aux sections de la Grande barrière, zone de patrimoine mondial. La Grande Barrière est un écosystème unique et précieux.

La Grande Barrière est déjà sous le stress de la pêche, de la croissance urbaine dans ses bassins de captage, des eaux usées et de l'exploitation minière, ainsi que des impacts des changements climatiques tels que l'acidification des océans et le réchauffement. Les coraux et d'autres organismes récifaux qui composent la Grande Barrière sont affectés par les variables de la qualité des eaux tels que la température, certains pesticides, la salinité, les nutriments et les sédiments en suspension

La production de la canne à sucre en Australie est une industrie hautement spécialisée qui a répondu à l'évolution des aspects économiques et sociaux avec les techniques agronomiques nouvelles et améliorées. Toute la canne est plantée et récoltée mécaniquement; la plus grande partie est cultivée sous une couche de déchets verts au lieu de les brûler avant la récolte. Le travail minimum du sol est largement pratiqué et de nombreux producteurs ont adopté la gestion propre au site des éléments nutritifs dans leurs champs. Les agriculteurs développent également des zones riveraines dans leurs fermes comme pièges de nutriments et de sédiments.

Des objectifs ont été fixés pour protéger la qualité de l'eau de la zone récifale en réduisant les apports de nutriments et de pesticides à partir des zones avoisinant la production de la canne à sucre. Toute personne qui cultive la canne à sucre commercialement sur plus de 70 ha dans les bassins tropiques humides est tenue de préparer un plan de gestion des risques environnementaux (PGRE), dont les exigences comprennent:

- une identification de tous les risques à la ferme qui peuvent provoquer la libération de contaminants dans l'eau entrant dans le récif.
- des objectifs et des indicateurs de performance mesurables pour améliorer la qualité de l'eau évacuée de la ferme.
- l'inclusion d'un plan de gestion qui permet la gestion des éléments nutritifs épandus sur le sol, les produits chimiques agricoles, et la perte de sédiments à partir de la ferme.
- un historique de la quantité optimale sans excès d'engrais N et P pour le sol, en fonction des propriétés du sol, d'autres sources (par exemple, sous-produits du moulin) et le rendement potentiel de la canne à sucre.
- un historique des résultats des analyses de sol et l'application des engrais. Dans certaines régions, les analyses de sol doivent être prises avant que les nutriments ne soient appliqués à la culture. L'analyse du sol doit inclure une mesure de N minéralisable et du P disponible pour les plantes.
- des variations par rapport à ces recommandations ne peuvent être effectuées qu'avec le consentement d'un conseiller technique accrédité.

Le PGRE pour chaque ferme est ensuite évalué par le Département de la Gestion de l'Environnement et des ressources (DGER) du Queensland. Après avoir évalué et retenu, le plan aura une durée d'accréditation de un à cinq ans. Les plans comprendraient des cartes de la ferme, des plans de gestion des éléments nutritifs et des plans de gestion de la lutte intégrée contre les pestes et les adventices. Ces plans sont enregistrés et vérifiés par le DGER, de sorte qu'un plan de gestion des éléments nutritifs - habituellement formé autour de l'approche des SIX ÉTAPES FACILES de la BSES Limited (une organisation de producteurs de canne à sucre) devienne une déclaration juridique de la façon dont un producteur de la canne utilisera des engrais dans ses exploitations.

Le programme des SIX ÉTAPES FACILES est un outil de gestion intégrée des éléments nutritifs qui permet l'adoption des bonnes pratiques de gestion des éléments nutritifs pour les producteurs de la canne à sucre, et ces outils peuvent être utilisés pour élaborer des plans de gestion des nutriments nécessaires dans le PGER. Les Six Étapes sont:

- connaissance et compréhension de vos sols
- compréhension et gestion des processus et des pertes des éléments nutritifs
- analyses régulières du sol
- adoption des lignes directrices de la gestion des éléments nutritifs spécifiques au sol
- vérification de l'adéquation des apports de nutriments (par exemple, en utilisant des analyses foliaires)
- tenir des registres précis afin de pouvoir modifier les apports de nutriments lorsque cela est nécessaire

Le programme est transmis par un cours de courte durée développé avec les producteurs. L'objectif est de fournir un guide de mise en œuvre de la nutrition équilibrée à la ferme, l'optimisation de la productivité et de la rentabilité, sans causer d'effets indésirables non agricoles.

Pour plus d'information:
The SIX EASY STEPS approach. [en-ligne].
ReefWise Farming. Qld. Government, Australia. [en-ligne].

Soumis par R. Norton, IPNI, Australia, Décembre 2011.

CS

Étude de cas 9.1-2 La façon dont la Gérance des nutriments 4B réduit les émissions de gaz à effet de serre. Un plan de gestion des nutriments selon la Gérance des nutriments constitue la base du Protocole de Réduction des Émissions d'Oxyde Nitreux (PREN) pour des crédits de carbone à l'echelle de l'exploitation agricole d'une manière quantifiable, crédible et vérifiable en Alberta, au Canada. Ce protocole a été développé par ClimateCHECK et par l'Institut canadien des engrais, et a été officiellement approuvé par Environnement Alberta (gouvernement de l'Alberta) en octobre 2010.

Au cours du développement du PREN, l'une des premières questions soulevées était le compromis potentiel entre les réductions des émissions d'oxyde nitreux (N_2O) et la perte de rendement de la culture. Cependant, l'approche à deux volets pour la quantification des émissions de N_2O essaie de tenir compte de cela. L'approche "Tier 2" acceptée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques pour l'inventaire de gaz à effet de serre du Canada attribue un facteur d'émission spécifique à la région en fonction de la dose de N apportée. Ce facteur d'émission varie au Canada d'environ 0,2 à 1,7% de N appliqué émis comme N_2O.

Pour tenir compte des trois autres B, à savoir bonne source, bon moment et bon endroit, un modificateur de réduction, dérivé du jugement d'expert, est appliqué à chaque niveau de performance. Trois niveaux de performance des pratiques de gestion bénéfiques (PGB) variant de base à l'intermédiaire et avancé permettent l'adoption de différents niveaux de PGB et de l'intensité de suivi des données avec un degré croissant de la gestion dirrigée par le paysage. Plus le niveau de performance est élevé, plus il y a du potentiel pour la réduction des émissions, comme en témoigne le petit modificateur de réduction. Des exemples de meilleures pratiques de gestion pour les sols des prairies de l'Ouest canadien spécifiques pour un niveau de performance de base comprennent l'utilisation de la formulation à base d'ammonium, l'apport en printemps ou apport fractionné et en bandes. Le niveau intermédiaire exige également des formulations à base d'ammonium, mais doit également utiliser des engrais ou inhibiteurs à libération lente/contrôlée. Dans la catégorie avancée la dose d'apport de N est basée sur des informations quantifiées de terrain dérivées de la grille d'échantillonnage, des images satellites ou des cartes pédologiques numérisées

En appliquant les principes du concept 4B de la gérance des nutriments le PREN cherche à:

- "Optimiser la réponse des cultures par unité d'azote ajoutée" et,
- "Réduire la possibilité pour l'azote sous forme de nitrate de s'accumuler ou de persister dans le sol où il est potentiellement dénitrifié, et / ou émis directement ou indirectement sous forme de N_2O ou perdu dans le système par lessivage".

Le protocole définit un rôle pour les conseillers professionnels accrédités (CPA) afin d'aider les agriculteurs à instaurer et mettre en œuvre leurs plans des 4B et dans le calcul des crédits associés de carbone. Des agronomes professionnels (AgP) et/ou des conseillers certifiés des cultures (CCC) peuvent être qualifiés comme CPA en suivant une formation spécialisée dans la gestion des éléments nutritifs selon le procédé des 4B et les exigences du PREN, et en réussissant un examen d'accréditation. Seuls les CPA sont autorisés à signer le plan. Des exigences additionnelles peuvent aussi s'appliquer, en fonction des lois et règlements locaux.

L'approche de quantification de la PREN est basée sur les méthodes utilisées dans le Rapport national d'inventaire des gaz à effet de serre du Canada, qui est préparé pour répondre aux exigences de déclaration du Canada en vertu de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Le PREN a été développé selon la norme ISO 14064-2, qui répond aux exigences du système de compensations de l'Alberta, et est compatible avec les intentions déclarées du système de compensation du Canada, du "Climate Action Reserve", et d'autres programmes volontaires de gaz à effet de serre dans l'Amérique du Nord. Le PREN de l'Alberta est le premier de son genre dans le monde. Le PREN est en cours d'évaluation pour une éventuelle mise en œuvre aux États-Unis par l'Institut des Fertilisants.

Le PREN a été élaboré grâce à un processus de consultation exhaustif et transparent avec des professionnels scientifiques pour approbation dans le cadre du Système de Compensation de l'Alberta. Ces professionnels scientifiques représentent les grandes universités agricoles au Canada, l'Agriculture et l'Agroalimentaire du Canada, l'Institut international de la nutrition des plantes, les spécialistes provinciaux des sols et les intervenants de l'industrie. Des professionnels internationaux ont aussi été inclus

Lors de l'atelier de consultation initiale pour le PREN tenue à Calgary en 2008, les experts participants ont approuvé la conception générale du PREN conformément au concept des 4B. Bien qu'un consensus ait été atteint sur les principaux éléments du PREN, les experts participants ont identifié certaines lacunes nécessitant un approfondissement. Ces lacunes ont par la suite été décrites dans un document de décision, qui a été soumis aux professionnels scientifiques dans un format webinaire en ligne pour faire avancer le processus de construction d'un consensus. Les participants au webinaire ont résolu le développement du PREN pour permettre la normalisation et la soumission à la révision formelle et au processus d'approbation du système de compensation de l'Alberta. Ce processus est un excellent exemple de la façon dont les principes des 4B et l'implication des intervenants peuvent être appliqués pour répondre aux préoccupations sociales, spécifiques et aux défis de gestion des éléments nutritifs.

Référence

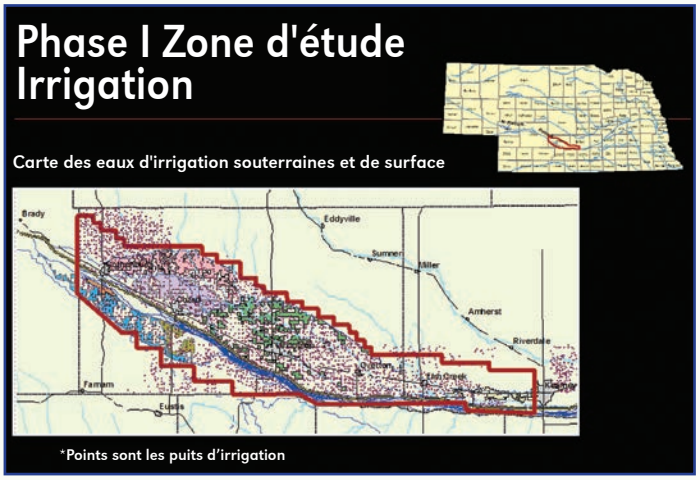
Alberta Environment. 2010. Quantification Protocol for Agricultural Nitrous Oxide Emissions. [en-ligne].

Soumis par C. Snyder, IPNI, USA, Janvier 2012.

CS

Étude de cas 9.1-3 Les pratiques de la gestion de l'eau et des éléments nutritifs améliorent la qualité des eaux souterraines dans le Nebraska, aux États-Unis.

Depuis 1985, les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines et de surface ont été suivies à travers la Platte Inférieure du District des Ressources Naturelles (DRN) du Nebraska, aux États-Unis.



La zone de terrasse dans le nord du district a des sols limoneux et moyennement à finement sableux avec une nappe à 1,5 à 7,5 m de profondeur, et elle est intensivement cultivée au maïs irrigué. Dans cette zone de terrasse, les niveaux de nitrates des eaux souterraines ont constamment dépassé la norme de l'eau potable qui est de 10 mg de nitrate-N/L.

Trois niveaux (phases) de gestion de N ont été mis(es) en œuvre, en fonction des niveaux du N-nitrate dans l'eau souterraine. Les zones où les concentrations d'eau d'irrigation en nitrates sont en moyenne ≤7,5, de 7,6 à 15, et ≥15,1 mg/L, sont désignées Phase I, II, et III, respectivement. Depuis 1987, la plupart des agriculteurs devraient respecter les exigences de la Phase I, avec peu d'entre eux sont appelés à respecter les phases II, III, et IV. Tous les opérateurs utilisant des engrais doivent être certifiés tous les 4 ans, et sont encouragés à utiliser les pratiques des phases avancées même lorsqu'elles ne sont pas nécessaires. Les recommandations pour la dose de N sont basées sur les objectifs de rendement (fixé à 105% des 5 dernières années) tenant compte des cultures précédentes, de N dans l'eau d'irrigation, et du nitrate du sol jusqu'à 90 cm de profondeur. Certaines des exigences liées à la gestion des éléments nutritifs sont énumérées ci-dessous.

Phase I

- L'apport d'engrais azotés à l'automne sur des sols non-sablonneux est interdit avant le 1er novembre.
- L'apport d'engrais azotés sur les sols sableux est interdit avant le 1er mars.

Phase II

- Des analyses annuelles du sol et de l'eau d'irrigation pour N-nitrate.
- Des rapports annuels d'application des engrais.
- Les engrais azotés autorisés uniquement sur des sols non-sablonneux du 1 novembre au 1 mars. seulement si un inhibiteur de nitrification agréé est utilisé, avec des archives du revendeur d'engrais.

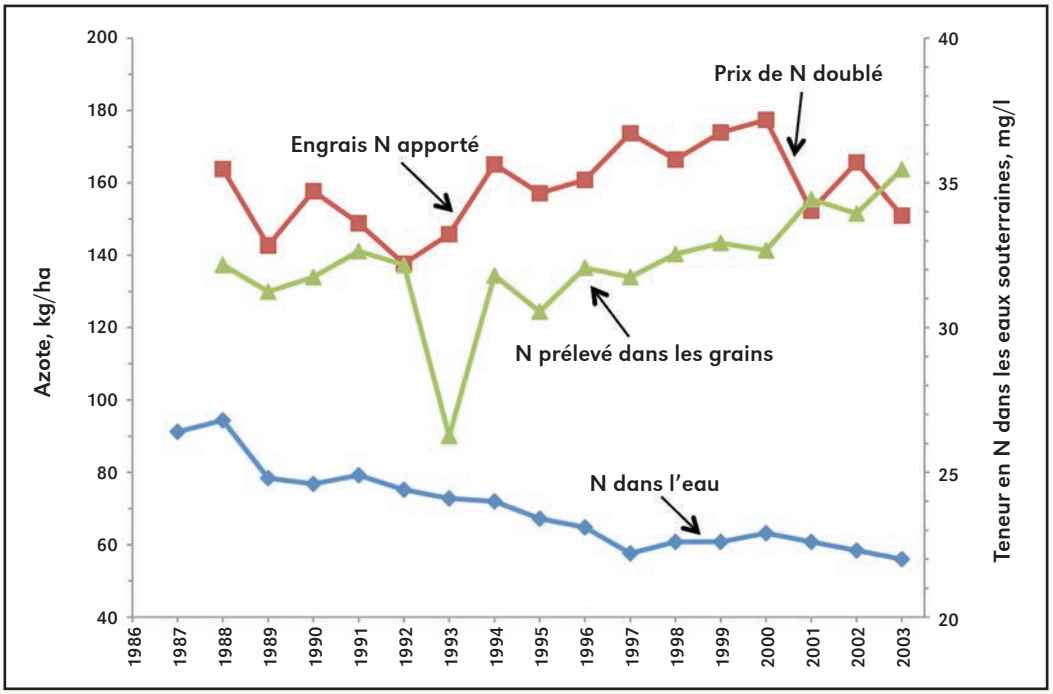
Phase III

- L'apport d'engrais azotés est interdit à l'atuomne et en hiver sur tous les sols avant le 1er mars.
- L'apport d'engrais azotés au printemps nécessite d'être fractionné (pré-semis et de couverture) ou l'utilisation d'un inhibiteur de nitrification agréé, avec des archives nécessaires d'un fournisseur d'engrais si 50% ou plus d'engrais azoté est appliqué en pré-semis.

Phase IV (pour les zones où le nitrate des eaux souterraines ne diminue pas à un taux acceptable)

- Objectif de rendement des cultures fixé par la dose de N recommandée (DNR).
- Les doses d'engrais N ne doivent pas dépasser la dose recommandée.
- Le personnel du DRN travaille directement avec les opérateurs sur les meilleures pratiques de gestion.

Resultats: Le nitrate des eaux souterraines dans la zone de terrasse (nord) a diminué de 1987 à la fin de l'étude en 2005 (voir figure). Environ 20% de la baisse est attribué à l'augmentation de prélèvement de N par les récoltes, et 50% est attribué aux changements de l'irrigation gravitaire à l'irrigation par aspersion. Peut-être, par différence, on peut conclure que les 30% restants de la baisse ont résulté des changements du moment de l'apport et de la source (augmentation de l'utilisation des inhibiteurs de nitrification). D'autres réductions du nitrate des eaux souterraines peuvent nécessiter l'adoption accrue de meilleures pratiques de gestion, ou l'adoption de technologies supplémentaires, telles que l'engrais azotés à libération contrôlée et l'utilisation des senseurs de N du couvert végétal.



Au fur et à mésure que les rendements des cultures et le prélèvement de N ont augmenté au fil du temps, les niveaux de nitrates des eaux souterraines ont diminué.

Note: Ces données sont pour l'engrais N commercial appliqué et N prélevé par les grains de maïs en irriguée sur la terrasse de la zone d'étude PAEC du NE dans la platte centrale du District des Ressources Naturelles et de la concentration de nitrate dans l'aquifère primaire au-dessous de la terrasse. **Adapté de** Exner, M.E., H. Perea-Estrada, and R.F. Spalding. 2010. The Scientific World Journal 10: 286-297. Data for Figure provided by Dr. R. Ferguson and Dr. M. Exner, U. of Nebraska.

Environ la moitié de la baisse du nitrate des eaux souterraines a été attribuée aux changements de l'irrigation gravitaire à l'irrigation par aspersion

Soumis par C. Snyder, IPNI, USA, Janvier 2012.

CS

Étude de cas 9.1-4 La gestion des engrais P selon le niveau d'analyse du sol améliore la production alimentaire et la performance environnementale en Chine.

La Chine est un pays avec une grande population et une ressource limitée en terres. Pour assurer la sécurité alimentaire et l'augmentation soutenue de la production agricole, la Chine a accordé une grande attention au cours des 60 dernières années à l'amélioration de la fertilité des sols.

Avec une histoire de plusieurs milliers d'années de dépendance sur la matière organique du sol et le recyclage des résidus de cultures comme sources d'éléments nutritifs pour le maintien de la fertilité des sols, la plupart des terres ont montré une faible fertilité et productivité au début des années 1950. Depuis lors, l'utilisation d'engrais azotés est devenue une pratique courante et le rendement de culture a augmenté, tout en prèlevant plus de P et d'autres éléments nutritifs du sol. Puisque une grande partie du P absorbé par les cultures est dans la partie récoltée (environ 80% pour les cultures à graines), le P du sol a été rapidement épuisé, et la faible teneur en P du sol est devenue un facteur limitant sévèrement le rendement pour la production agricole. Suite à la deuxième enquête nationale sur la fertilité des sols conduite dans les années 1980, il a été montré qu'environ 48% des terres arables étaient très faible en P Olsen (en dessous de 5 mg/kg), et 30% faible (en dessous de 10 mg/kg).

Étant donné l'état du sol en P, et avec l'objectif national pour assurer la sécurité alimentaire et à reconstruire la fertilité des sols, les engrais phosphatés sont devenus une partie importante du programme de fertilisation dans toute la Chine, débutant au sud et s'étendant peu à peu vers le nord. Il a été estimé que de 1981 à 2000, un total d'environ 133 millions de tonnes de P_2O_5 a été appliqué aux terres arables en Chine comme engrais chimiques. En supposant que le taux d'utilisation cumulé (efficacité de la récupération) du P appliqué était de 50%, environ 480 kg/ha de P_2O_5, en moyenne, serait accumulée dans le sol. Si les sources organiques de phosphore ont été prises en considération, l'accumulation de P dans le sol serait encore plus grande (Li, 2003).

Le bilan global du P du sol (i.e. entrée P – sortie P) a rapidement changé après la longue période des bilans négatifs pendant les années 1950 et qui ont continués jusqu'aux années 1970. Dès les années 1980, le bilan du P dans les terres arables est redevenu positif et le P a commencé à s'accumuler dans les sols. Il a été estimé que les sols en Chine ont reçu un excédent de P d'environ 79 kg de P_2O_5/ha en 2005. Le bilan de P dans les systèmes sol-cultures est alors reconstitué progressivement et la fertilité phosphatée du sol s'est améliorée. Bien qu'il n'y ait pas de données directes pour vérifier cela, il est maintenant généralement admis que le pourcentage des terres arables carencées en P (i.e.le niveau du P-Olsen inférieur à 10 mg/kg) a chuté à moins de 50%. Les résultats des analyses du sol pour P effectuées par le Laboratoire du CAAS-IPNI sur 43 156 échantillons de sol prélevés entre 1991 à 2007 ont également montré que 48% des sols analysés étaient déficients en P.

Dans l'histoire récente, les doses élevées de la fertilisation en P a aidé la Chine à augmenter la production agricole et à reconstruire la fertilité du sol en P. Toutefois, cette augmentation de l'accumulation de P dans le sol, augmente également le risque de pertes de P des sols et son effet sur l'environnement. Bien qu'il n' y ait que peu d'informations disponibles sur la contribution des pertes de P des sols cultivés à la pollution de l'eau de surface, il a été rapporté que 14 à 68% du phosphore total dans des lacs sélectionnés provenaient des terres agricoles (Li, 2003).

Avec ces changements dans les niveaux de fertilité phosphatée des sols en Chine, les points suivants peuvent être pris en considération lors du développement d'une stratégie de la fertilisation phosphatée, à la fois pour des avantages économiques et environnementaux:

1. La stratégie de l'apport de P devrait être selon l'analyse du sol. Appliquer suffisament pour reconstruire les niveaux de P du sol lorsque l'analyse Olsen du sol est en dessous de 20 mg/kg pour la plupart des cultures. Reapprovisionner les prélèvements des cultures sur les sols au-dessus de ce niveau, et ne pas appliquer P sur les sols ayant des niveaux très élevés.

2. Pour toutes les conditions, une attention particulière est nécessaire pour contrôler les pertes de P du sol à travers l'érosion.

3. Un Programme de fertilisation en P devrait être élaboré pour tout le système de culture et non pas pour une culture, avec une attention à l'augmentation de l'efficacité globale de l'utilisation de l'engrais phosphaté. Donner également une attention particulière à l'efficacité de la récupération de P accumulé à long terme pour différents systèmes de cultures.

4. Il faut être concient que les cultures ont des besoins différents en P (légumes vs cultures à grains), et que le seuil critique est également différent pour différents rendements objectifs. Ces seuils critiques peuvent aussi être identifiés.

CS

Réponse du soja (à droite) au P due à un traitement "optimal"(OPT) de fertilisation appliqué dans la province du Heilongjiang, Nord-Est de la Chine

Le changement de l'efficacité des engrais en Chine a suivi la loi du minimum et d'autres principes associés dans la nutrition des plantes. Avant les années 1950, les agriculteurs chinois utilisaient principalement des fumiers organiques pour maintenir l'équilibre des éléments nutritifs dans les systèmes cultures/sol avec un potentiel de production relativement faible. Après les années 1950 et avec l'augmentation du rendement des cultures et l'utilisation accrue de N et P, les prélèvements élevés de K du sol par les cultures a entraîné un épuisement du sol en K disponible et a causé l'apparition de bilans négatifs pour le K dans les systèmes sol/cultures. Baseé sur l'étude et l'équilibre des nutriments estimé par Li Jiakang en 2003, le bilan entrées-sorties de N et P dans le système sol/culture est devenu positif dans les années 1980, alors que le bilan pour K était encore négatif en 2000 (**Tableau 1**).

Tableau 1. Le bilan entrée-sortie des éléments nutritifs dans les terres agricoles en Chine (en 1000 tonnes).

		Année	1965	1975	1985	1995	2000
	Fumier organique	N	2 930	4 100	5 030	6 110	6 520
		P_2O_5	1 380	1 940	2 560	3 300	3 440
		K_2O	3 060	4 620	6 210	7 600	8 320
	Engrais inorganique	N	1 210	3 640	12 590	22 240	25 140
		P_2O_5	550	1 610	4 190	10 350	9 730
		K_2O	3	130	980	3 360	6 590
Sorties		N	5 220	7 490	11 140	13 730	16 620
		P_2O_5	2 370	3 340	4 790	5 770	6 640
		K_2O	5 600	8 130	12 080	14 550	17 390
Bilan		N	-1 690	-1 570	190	3 500	2 470
		P_2O_5	-600	-280	710	4 890	3 610
		K_2O	-2 540	-3 380	-4 890	-3 550	-2 480

Source: Li Jiakang et al. 2003.

Références

Jin, J. Y. 2008. In Li, H.D. (ed.) "Plant Nutrient Management in Sustainable Agriculture." Jiangxi People's Press. Nanchang, China. p 9-18.

Lu, R. 2003. "Phosphate and Compound Fertilizer", Vol 18, No 1, 4-8. (in Chinese)

Li, J., B. Lin, and G. Liang. 2003. In Lin Bao (ed.) Chemical Fertilizer and No-pollution Agriculture. China Agriculture Press. 2003, 175-188. (in Chinese)

Soumis par J. Jin, IPNI, Chine, Janvier 2012.

Glossary

Absorption — Processus par lequel une substance est absorbée et incluse dans une autre substance, i.e., absorption du gaz, de l'eau, des nutriments ou d'autres substances par les plantes.

Absorption des nutriments — Le processus d'absorption par la plante des nutriments, généralement par les racines. De petites quantités de nutriments peuvent être absorbées par les feuilles après application foliaire de nutriments.

Acide — Une substance qui libère H^+; un état dans lequel l'activité de H^+ est supérieure à celle de OH^-.

Acidité, active — L'activité de H^+ dans la phase aqueuse d'un sol. Elle est mesurée et exprimée en tant que valeur de pH.

Acidité, potentielle ou de reserve — La quantité de H^+ échangeable dans un sol qui peut être libérée dans la solution du sol par échange de cations, ou générée par l'hydrolyse de Al_3^+.

Acidité résiduelle — L'acidité ultime qui se développe de l'utilisation d'engrais dans un horizon particulier du sol après que les sels résiduels sont éliminés de cet horizon par le lessivage.

Adhésion — L'attraction moléculaire entre les surfaces qui détient des substances ensemble. L'eau adhère aux particules du sol.

Adsorption — Adhérence à une couche extrêmement mince de molécules à la surface des solides ou des liquides avec lesquels ils sont en contact.

Adsorption, électrostatique — Adsorption causée par l'attraction électrique d'ions à une surface chargée.

Aération — processus par lequel l'air dans le sol est remplacé par l'air de l'atmosphère. Le taux d'aération dépend en grande partie du volume et de la continuité des pores dans le sol.

Aération du sol — Le processus par lequel l'air dans le sol est remplacé par l'air de l'atmosphère.

Agrégats — particules individuelles de sable, limon et d'argile liées ensemble dans une particule plus grande. Les Agrégats peuvent être des sphères, des cubes, plaques, des prismes ou des colonnes

Alcalin — contenant ou libérant un excès de OH^- par rapport à H^+.

Amendement du sol — Tout matériel, comme la chaux agricole, le gypse, la sciure de bois, ou la matière synthétique, qui est incorporé dans le sol pour le rendre plus favorable à la croissance des plantes. Le terme se réfère généralement à des matériaux ajoutés autres que ceux utilisés principalement comme fertilisants.

Ammonification — Le processus biochimique par lequel l'azote d'ammoniac est libéré des composés organiques contenant de l'azote.

Analyse des plantes — Une analyse quantitative de laboratoire pour déterminer la teneur totale d'un ou plusieurs nutriments dans les tissus végétaux.

Analyse des tissus — Une analyse au champ rapide, qualitative, colorimétrique pour déterminer l'approvisionnement en éléments nutritifs solubles non assimilés, de la sève des tissus végétaux.

Analyse du sol — Une analyse chimique de la composition du sol, habituellement destinée à estimer la disponibilité des éléments nutritifs, mais aussi à mesurer l'acidité et l'alcalinité du sol et des mesures physiques de conductivité électrique du sol.

Amendement, sol — substance ajoutée au sol pour améliorer son pH ou ses propriétés physiques, par exemple, la chaux agricole, le gypse, la tourbe, le compost, etc.

Application à la volée — Application de l'engrais solide ou liquide, ou d'autres matériaux, sur la surface du sol avec ou sans incorporation ultérieure par le travail du sol. Aucun emplacement spécifique par rapport à la plante n'est visé. Les nutriments peuvent être appliqués avant ou après le semis.

Application en bande à la surface — Placement d'un engrais liquide ou solide soit par écoulement libre ou jet forcé sur la surface du sol.

Application en couteau — Processus où les matières fertilisantes sont incorporées dans le sol avec un outil en couteau mince.

Application en couverture — L'application des fertilisants à la surface du sol après l'installation de la culture.

Application en flottage — Un type d'applicateur d'engrais qui est équipé de grands pneus à pression basse pour répartir le poids du véhicule sur une plus grande surface du sol afin de minimiser son compactage.

Application fractionnée — engrais appliquée deux fois ou plus au cours de la période de croissance des cultures. Souvent, une application en pré—semis et un ou plus en post-levée sont effectuées.

Argile — particules cristallines inorganiques d'origine naturelle dans les sols et d'autres parties de la croûte terrestre. Les particules d'argile sont inférieures à 0,002 millimètres (mm) de diamètre.

Azote (N) — Un élément nutritif essentiel primaire, un constituant de chaque cellule, plante ou animal vivant. Chez les plantes, il fait partie de la molécule de chlorophylle, des acides aminés, des protéines et de nombreux autres composés.

Bactéries symbiotiques — Dans l'agriculture, la définition se rapporte habituellement à des bactéries dans les nodules qui poussent sur les racines des légumineuses qui ont la capacité de fixer N_2 atmosphérique dans des formes qui peuvent être utilisées par les plantes légumineuses hôtes.

Base — Substance qui réagit avec les ions H^+ ou libère des ions OH^-; une substance qui neutralise l'acide et augmente le pH.

Base échangeable — Un cation adsorbé sur un colloïde de sol, mais qui peut être remplacé par H^+ ou un autre cation.

Besoin en chaux — besoin en chaux est la quantité de la chaux agricole de bonne qualité requise pour établir la gamme de pH du sol souhaitée pour le système de culture utilisé. Les besoins en chaux sont déterminés dans le laboratoire en utilisant un pH tampon en équilibre avec le sol.

Besoins en engrais — La quantité de certains éléments nutritifs des plantes nécessaires, en plus de la quantité fournie par le sol, d'accroître la croissance de la plante à un optimum désigné.

Billon — Dans la conservation des sols, bande de terre plus ou moins plane ou horizontale, généralement construite sur un contour pour réduire l'érosion.

Bore (B) — Un élément essentiel qui peut être impliqué dans le transport des glucides. Essentiel pour la croissance des tubes polliniques, la germination des grains de pollen. C'est probablement le nutriment dont la carence est la plus courante dans la croissance des cultures.

Calcium (Ca) — Un nutriment essentiel, un constituant de la paroi cellulaire de la plante; exigé par certaines enzymes. Agit dans la régulation métabolique du calcium.

Capacité au champ — Le pourcentage d'eau restant dans un

sol deux ou trois jours après avoir été saturé et après que le drainage libre a pratiquement cessé. Ce n'est pas une quantité precise.

Capacité d'échange des cations (CEC) — La somme totale des cations échangeables qu'un sol peut absorber.

Capacité d'échange d'anions (AEC) — La somme totale des anions échangeables qu'un sol peut absorber.

Carbonate — Un sédiment formé par précipitation organique ou minérale à partir d'une solution aqueuse de carbonates de calcium, de magnésium ou de fer, tels que le calcaire ou la dolomite.

Carbohydrates — substance biologique (organique) avec la formule générale $(CH_2O)_n$, par exemple sucres et polysaccharides.

Cation — Un atome, un groupe d'atomes, ou des composés qui sont positivement chargés électriquement à la suite de la perte d'électrons.

Cellulose — le carbohydrate le plus abondant dans les plantes.

Chaux — Le terme "chaux", ou "chaux agricole" est appliqué au calcaire broyé contenant du carbonate de calcium ($CaCO_3$) et du carbonate de magnésium ($MgCO_3$), de la chaux hydratée (hydroxyde de calcium, NaOH) ou de la chaux brûlée (oxyde de calcium, CaO). La chaux est utilisée pour réduire l'acidité des sols et fournir du Ca et du Mg comme élément nutritif essentiel.

Chimigation — Application des engrais et / ou des pesticides dans l'eau d'irrigation pour fertiliser les cultures et contrôler des ravageurs.

Chlore (Cl^-) — Un nutriment indispensable, nécessaire aux plantes pour les réactions photosynthétiques impliquées dans l'évolution de l'oxygène. Il peut agir dans la régulation osmotique.

Chlorophylle — pigment vert; attrape la lumière pour la photosynthèse dans des plantes, des algues et quelques bactéries.

Chlorose — Une situation anormale des plantes dans laquelle les parties vertes perdent leur couleur ou jaunissent.

Cobalt (Co) — le Cobalt est essentiel pour les animaux et pour la fixation de N. Il peut agir dans l'activation des enzymes pour d'autres plantes.

Colloides — Particules organiques ou minérales de moins de 0,001 mm de diamètre. Les colloïdes ont une grande superficie, sont souvent très réactive.

Complexe d'échange — Tous les matériaux (argile, humus) qui contribuent à la capacité d'échange d'un sol.

Consommation Utilisée — L'eau utilisée par la transpiration et la croissance des plantes, ainsi que la perte de la vapeur d'eau à partir du sol adjacent ou de la neige ou des précipitations interceptées.

Couche arable — la couche arable se réfère à la couche superficielle du sol, y compris la plupart du contenu du profil du sol en matière organique. Techniquement, cette couche est considérée comme l'horizon A de couleur sombre du profil du sol.

Courbe de rétention d'eau — Graphique montrant la teneur en humidité du sol en fonction de l'énergie appliquée à éliminer l'eau (courbe de libération de l'humidité).

Cuivre (Cu) — Un nutriment essentiel, un constituant de plusieurs enzymes dans les plantes. Nécessaire pour la formation de la chlorophylle dans les plantes.

Culture en bandes — Une technique pour réduire l'érosion du sol dans laquelle des bandes en jachère ou des bandes de cultures en rangs sont alternées avec des cultures à petits grains, des graminées ou des légumineuses fourragères.

Cycle de carbone — l'ordre de transformations par lequel le dioxyde de carbone (le CO_2) est fixé dans des organismes vivants par la photosynthèse ou par la chimiosynthèse, libéré par la respiration et par la mort et la décomposition de l'organisme de fixation, utilisé par des espèces hétérotrophes et rendu en fin de compte à son état original.

Cycle de l'azote — Les voies empruntées par N de l'atmosphère à travers les sols, les plantes, les animaux et l'homme, et retour dans l'atmosphère.

Débit massique — Mouvement de fluide en réponse à la pression. Mouvement de chaleur, des gaz et des solutés avec le fluide en écoulement dans lequel il se trouvent. Par exemple, NO_3^--N se déplace par le débit massique dans le sol.

Densité apparente — Dans les sols, la masse sèche (poids) de sol par unité de volume en vrac.

Dénitrification — La réduction biochimique du nitrate (NO_3^-) ou du nitrite (NO_2^-) à des formes gazeuses N_2, NO, ou N_2O. Se produit sous des conditions de déficience en oxygène.

Désorption — Libération d'un ion ou d'une molécule à partir d'une surface. Le contraire d'adsorption.

Diagnostic foliaire — Estimation de l'état nutritionnel d'une plante ou les besoins en éléments nutritifs du sol pour produire une récolte à travers des analyses chimiques ou manifestations de couleur des feuilles des plantes, ou par les deux méthodes.

Diffusion — mouvement moléculaire selon un gradient. La Diffusion de l'eau se produit des zones humides aux zones sèches. La diffusion de gaz et de solutés se produit à partir des zones de forte concentration aux zones de faible concentration.

Disperser — Briser les particules constituantes, tels que des agrégats, à des particules individuelles, ou de distribuer ou suspendre les particules fines, comme l'argile, dans ou à travers un milieu de dispersion, tel que l'eau.

Disponibilité (de nutriments) — Un terme général, fréquemment utilisé dans la description de l'offre ou de l'adéquation des nutriments absorbés par les plantes.

Dolomite — Un minéral composé de carbonates de Ca et de Mg; terme appliqué au calcaire contenant du Mg.

Double placement — placement simultané de deux matières fertilisantes dans les bandes sous la surface.

Eau disponible — La partie de l'eau dans un sol qui peut être facilement absorbée par les racines des plantes. Considérée par certains comme l'eau retenue dans le sol contre une pression allant jusqu'à environ 1,5 M Pa.

Échange des cations — L'échange entre un cation en solution et un autre cation sur la surface d'un matériau tel que de colloïde d'argile ou de colloïde organique.

Échange d'ions — L'échange entre un ion dans une solution et un autre ion sur la surface de n'importe quelle surface — matériau actif tel que l'argile ou de l'humus.

Efficacité de l'utilisation d'engrais — Une expression des unités de rendement par unité de nutriments fournis pour la culture.

Electrons — petites particules chargées négativement qui font partie de la structure d'un atome.

Élément — Toute substance qui ne peut pas être séparée que par désintégration nucléaire.

Élément nutritif primaire — Un des trois éléments nutritifs ... N, P et K ... qui sont le plus souvent limitants dans la production agricole.

Éléments nutritifs secondaires — calcium, Mg et S sont appelés nutriments secondaires parce qu'ils sont essentiels à la croissance des plantes, mais moins fréquemment déficients que les éléments nutritifs primaires.

Éléments traces — éléments présents en faibles concentrations, y compris les micronutriments.

Emplacement d'engrais — Concentration d'engrais dans une bande ou bandelettes à un emplacement spécifique sur ou sous la surface du sol.

En bande — Une méthode d'application d'engrais. En bande, est un terme général pour les applications qui concentrent les engrais dans des zones étroites qui sont conservées intacts pour fournir une source concentrée de nutriments. Les applications peuvent être faites avant, pendant ou après le semis.

Engrais "pop—up" — engrais appliquée au semis en contact direct avec les semences. Une forme d'engrais de démarrage.

Engrais en bandes à côté de la rangée — Placement d'engrais en bandes sur un ou les deux côtés de la rangée de semences (plantules).

Engrais "side—dressed" — Applications d'engrais sur le côté des rangées de cultures après la levée des plantes.

Engrais de démarrage — engrais appliqué au semis soit en contact direct avec les semences ou sur le côté ou en dessous de la graine.

Engrais de présemis — engrais appliqué au sol avant la plantation.

Engrais en bandes — Placement d'engrais dans une zone concentrée soit sur ou sous la surface du sol.

Engrais en suspension — Un fluide contenant des composés nutritifs dissous et non dissous de la plante. La suspension de matières non dissoutes est généralement produite à l'aide d'un agent de mise en suspension n'ayant pas les propriétés d'un engrais (argile). Une agitation mécanique ou par l'air peut être nécessaire pour faciliter une suspension uniforme des éléments nutritifs non dissous.

Engrais liquides (fluides) — Ce terme s'applique à l'ammoniaque NH_3 anhydre et liquide, solutions d'azote et des engrais liquides mixtes, y compris le liquide clair et les suspensions de solides dans des liquides.

Engrais organique — matière organique qui libère ou fournit des quantités utiles d'un élément nutritif organique lorsqu'elle est ajoutée à un sol.

Engrais par bande — engrais appliqués dans des bandes de surface qui peuvent être incorporés par le travail du sol ou v sur la surface du sol (résidus).

Engrais vert — Les plantes cultivées pour être incorporées dans le sol pour améliorer sa fertilité.

Enzymes — Catalyseurs qui orientent et contrôlent les réactions biochimiques de la cellule.

Équilibre — L'état d'une réaction chimique ou tout un écosystème dans lequel il y a des changements mineurs des situations au fil du temps.

Équivalent — Le poids en grammes (g) d'un ion ou un composé qui se combine avec ou remplace 1 g de H^+. Le poids de la masse atomique ou formule atomique divisé par sa valence.

Érosion — L'usure de la surface de la terre par l'eau courante, le vent, la glace ou des agents géologiques. L'érosion accélérée est l'érosion eolienne ou hydrique plus rapide que les taux normaux ou géologiques, généralement associée aux activités humaines.

État physique — Les conditions physiques du sol liées à sa facilité de travail, sa mise en forme pour le lit de semence, et sa résistance à la levée et à la pénétration des racines.

Eutrophisation — Croissance abondante de plantes aquatiques menant à des conditions de carence en oxygène dans les lacs ou les cours d'eau, accélérée par l'enrichissement en nutriments.

Évaporation — La perte de la vapeur d'eau à partir du sol ou de l'eau libre directement dans l'atmosphère.

Évapotranspiration — Perte de l'eau du sol par évaporation plus les pertes par la transpiration des plantes.

Fer (Fe) — Un micronutriment métallique essentiel qui est absorbé par les plantes sous forme ion ferreux (Fe^{2+}). Le fer est un catalyseur de la formation de la chlorophylle et agit comme un transporteur d'oxygène. Il contribue également à former certains systèmes enzymatiques respiratoires dans la plante.

Fertilisant — Tout matériau naturel ou fabriqué ajouté au sol afin de fournir un ou plusieurs éléments nutritifs des plantes. Le terme s'applique généralement à des matériaux fabriqués autres que la chaux agricole ou le gypse.

Fertilisation à doses variable — Une technique qui modifie les doses d'application des éléments nutritifs en fonction des changements dans les niveaux de nutriments disponibles dans le sol au fur et à mesure que l'applicateur se déplace sur le terrain.

Fertilisation par bandes profondes — application en présemis de nutriments en bandes concentrées placés 10 à 20 cm sous la surface du sol. Certaines applications sont plus profondes, allant jusqu'à 40 cm. Les nutriments peuvent être appliquées sous des formes solides, liquides ou gazeuses.

Fertilisation goutte à goutte — application par des gouttelettes ou bandes est une forme d'emplacement qui implique l'application d'engrais solides ou liquides sous forme de bandes ou de bandelettes de largeurs variables sur la surface du sol ou à la surface des résidus de cultures.

Fertilité résiduelle — approvisionnement en éléments nutritifs disponibles dans le sol reporté à la prochaine culture après la fertilisation de la culture précédente.

Fertilité, sol — Le statut d'un sol en ce qui concerne la quantité et la disponibilité d'éléments nutritifs (nutriments) nécessaires à la croissance des plantes.

Fixation — Processus par lequel les nutriments disponibles sont rendus temporairement indisponibles par réaction avec des composants du sol. Généralement, elle se réfère à des réactions de P, NH_4^+, et K conduisant à une disponibilité réduite.

Fixation biologique de N — Réduction et l'assimilation de N atmosphérique (N_2), une capacité de certaines bactéries libres ou en symbiose.

Floculation — Assemblage de particules colloïdales pour former des groupes.

Formule d'engrais — L'analyse minimmale garantie, en pourcentage, des principaux éléments nutritifs des plantes contenus dans un matérial d'engrais ou un engrais mixte, exprimée comme le total et disponible P_2O_5, K_2O et soluble.

Forces Capillaires — Les forces entre l'eau et surface de sol dans les petits pores (capillaires).

Gestion propre au site — Gestion des apports des nutriments, des applications de pesticides, des cultures et d'autres pratiques du système de cultures en fonction des changements dans les caractéristiques et la composition du sol.

Gestion des éléments nutritifs — L'utilisation de bonnes pratiques de gestion (BPG) qui maximisent l'efficacité de l'utilisation des nutriments et minimisent les pertes de nutriments dans les eaux superficielles et souterraines.

Glucose — Un sucre commun (carbohydrate) avec six atomes de carbone par molécule. Présent dans toutes les cellules. Un constituant de la cellulose, de l'amidon et d'autres polysaccharides.

GPS — système de positionnement global. Un réseau de satellites qui génèrent des signaux continus identifiant leurs positions. Des récepteurs électroniques sur la terre utilisent ces informations pour calculer localement les emplacements au sol.

Gypse — Une roche minérale composée de sulfate de calcium ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

Horizon, sol — Une couche de sol à peu près parallèle à la surface de la terre.

Humidité disponible aux plantes — L'eau du sol faiblement retenue que les plantes peuvent extraire facilement pour l'utilisation.

Humus — La fraction stable, de couleur sombre de la matière organique du sol restant après que la majorité des résidus végétaux et animaux ajoutés sont décomposés.

Hydraté — Avoir de l'eau attachée ou incorporée dans une structure chimique.

Hydroxyle — ions OH^- ou groupe.

Immobilisation — La transformation des nutriment sous forme inorganique en forme organique par leur incorporation dans des tissus microbiens ou de plante, ce qui les rend moins disponibles pour les plantes.

Incorporation — Le mélange mécanique des matières fertilisantes (ou herbicides) avec la surface du sol.

Indice de sel — Un indice utilisé pour comparer la solubilité des composés chimiques utilisés comme engrais. La plupart des composés N et K ont des indices élevés, tandis que les composés de phosphore ont de faibles indices. Composés à indice de salinité élevé appliqués en contact directe avec les semences à des doses trop élevées peuvent causer des dommages aux plantules en raison de la forte affinité des composés pour l'eau.

Infiltration — Entrée de l'eau dans le sol.

Injection — Emplacement en bande d'engrais liquide ou de l'ammoniac anhydre (NH_3) dans le sol, que ce soit par l'utilisation de systèmes à pression ou sans pression.

Injection de point — Utilisation d'une roue à rayons pour injecter des engrais liquides dans la zone d'enracinement (10—12 cm) à des points espacés d'environ 20 cm. L'injection de rayons est synonyme de l'injection de point.

Injection par soc — Utilisation d'un soc à disque étroit pour placer un engrais liquide, sec, ou granulaire dans une bande verticale sous la surface du sol à la profondeur de pénétration des socs. Une variante de l'application d'engrais en bandes.

Inhibiteur de nitrification — composés tels que nitrapyrine (N—service) et dicyandiamide (DCD) qui retardent l'oxydation bactérienne de l'ion ammonium en nitrite et donc la production lente de NO_3^- L'objectif de l'utilisation de ces composés est de contrôler le lessivage de NO_3^- en gardant N sous forme NH_4^+ plus longtemps, pour empêcher la dénitrification de NO_3^--N, et pour fournir NH_4^--N pour les plantes sur une plus longue période.

Ions échangeables — Ions détenus par l'attraction électrique sur des surfaces chargées; peuvent être déplacés par échange avec d'autres ions.

Irrigation fertilisante — Application des engrais dans l'eau d'irrigation.

Lessivage — L'élimination des matériaux en solution par le passage de l'eau à travers le sol. Dans l'agriculture, le lessivage se réfère au mouvement descendant de l'eau libre (percolation) hors de la zone des racines des plantes.

Le travail minimum du sol — système de travail du sol (labour) qui réduit le nombre d'opérations de machines au minimum nécessaire pour créer des conditions appropriées pour le semis et la germination des semences.

Limon — Une particule minérale ayant un diamètre compris entre 0,05 mm et 0,002 mm.

Macronutriments — (éléments majeurs) — Les éléments nutritifs essentiels dont les plantes ont besoin en grandes quantités.

Macropores — Les grands pores, souvent formés par les racines et les petits animaux du sol et les vers.

Magnésium (Mg) — Un nutriment essentiel classé comme élément nutritif secondaire avec le Ca et le S. C'est un constituant de la chlorophylle et est activement impliqué dans la photosynthèse. Magnésium aide au métabolisme du P, à l'utilisation des sucres par la plante, et à l'activation de plusieurs systèmes enzymatiques.

Manganèse (Mn) — Un micronutriment métallique fonctionnant essentiellement comme une partie de systèmes enzymatiques dans les plantes. Il active plusieurs réactions métaboliques importantes et joue un rôle direct dans la photosynthèse en aidant la synthèse de la chlorophylle.

Matériau de chaulage — matériau de chaulage agricole, un produit dont les composés à base de Ca et de Mg sont capables de neutraliser l'acidité du sol.

Matériel parent — Le matériel non consolidé, minérale ou organique, à partir de laquelle le sol se développe.

Matrice du sol — la combinaison des solides et des pores dans un sol.

Micronutriments — (oligo-élément) — nutriments dont les plantes n'ont besoin que de petites quantités ou des traces. Les micronutriments essentiels sont B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, et Zn.

Microorganisme, sol — bactéries du sol, les champignons et autres organismes qui recyclent les nutriments et améliorent la disponibilité des nutriments. Des organismes pathogènes peuvent avoir des impacts négatifs sur les plantes.

Minéralisation — Libération des nutriments sous forme organique à la forme inorganique au cours de la décomposition de la matière organique contenant ces nutriments. Les procédés sont effectués par les microorganismes du sol.

Molybdène (Mo) — Un micronutriment métallique dont les besoins sont les plus faibles pour tous les éléments essentiels. Le molybdène est nécessaire pour la synthèse et l'activité de l'enzyme réductase des nitrates. Le molybdène est également vital pour le processus de la fixation symbiotique de l'azote par les bactéries Rhizobium dans les nodules racinaires des légumineuses.

Mycorhizes — L'association, généralement symbiotique, de champignons avec les racines des plantes. Une telle association augmente la zone racianaire et l'absorption des nutriments.

Nécrose — Mort des tissus de la plante.

Nickel (Ni) — Un élément essentiel pour les plantes et est classé comme un micronutriment. Il est absorbé par les plantes sous forme Ni^{2+}. Le nickel est le composant métallique de l'uréase qui catalyse la transformation de l'urée en ammoniac. Il joue également un rôle bénéfique dans le métabolisme de N des légumineuses.

Nitrification — La formation dans les sols de nitrite (NO_2^-) et de nitrate (NO_3^-) à partir des ions ammonium (NH_4^+) à travers les activités de certaines bactéries du sol; l'oxydation biochimique de NH_4^+ en NO_3^-

Nitrobacter — Un genre de bactéries du sol chimiotrophes à aérobie obligatoire qui oxydent les ions de NO_2^- en NO_3^- dans la phase finale du processus de nitrification.

Nitrosomonas — Un genre de bactéries du sol chimio—autotrophes à aérobie obligatoire qui oxydent les ions NH_4^+ au NO_2^- dans la première étape du processus de nitrification. Des inhibiteurs de nitrification tels que nitrapyrine inhibent spécifiquement l'activité de ces organismes.

Niveau hydrostatique — La limite supérieure des eaux souterraines ou le niveau en dessous duquel le sol est saturé avec de l'eau.

Non—labour, culture sans travail du sol, zéro travail du sol — Un système de production dans lequel une culture est plantée dans le résidu d'une culture précédente sans travail du sol.

Nutriment — élément nutritif qui contribue à la croissance et à la santé d'un organisme.

Nutriment essentiel — Un élément nutritif nécessaire pour la plante afin de compléter son cycle de vie. Les 17 éléments essentiels à la croissance des plantes sont les suivants: carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O), l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le soufre (S), le cuivre (Cu), le chlore (Cl^-), le fer (Fe), le bore (B), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le nickel (Ni) et le molybdène (Mo).

Nutriments mobiles — Nutriments qui peuvent être transférs dans la plante des tissus âgés aux jeunes tissus.

Orthophosphate — Une classe générale de composés de phosphate fabriqués à partir de l'acide phosphorique (H_3PO_4) incluant principalement les sels d'ammonium NH_4^+ et de Ca.

Oxydation — Un changement chimique impliquant l'ajout d'O_2 ou son équivalent chimique. Il implique la perte d'électrons d'un atome, d'un ion ou d'une molécule au cours d'une réaction chimique. Il peut augmenter la charge positive d'un élément ou d'un composé.

Oxygène — Un gas incolore, sans gout et sans odeur (O_2); l'élément le plus abondant et le plus largement répandu dans la nature. L'air en comprend environ 21% par volume.

Paillis — Toute matière répandue sur la surface du sol pour protéger le sol des gouttes de pluie, du soleil, du gel et de l'évaporation.

Percolation — Le mouvement vers le bas d'un fluide dans le sol.

Perméabilité — La facilité avec laquelle un milieu poreux transmet des fluides.

pH — Une désignation numérique de l'acidité et l'alcalinité. Techniquement, le pH est le logarithme décimal de l'inverse de l'activité H^+ d'une solution. Un pH de 7 indique la neutralité précise. Les valeurs comprises entre 7 et 14 indiquent une alcalinité croissante, et la valeur entre 7 et 0 indique une acidité croissante.

Phosphate — Un sel d'un ester d'acide phosphorique. Dans l'industrie des engrais, cependant, le terme phosphate est généralement appliqué à toute matière contenant du P utilisée comme engrais. Il est également utilisé en référence à P_2O_5, une expression de la teneur en P des engrais.

Phosphore (P) — Un des nutriments essentiels requis par les plantes et classé comme l'un des trois éléments nutritifs primaires. Le phosphore, un élément mobile dans la plante, joue des rôles clés dans la photosynthèse, la respiration (utilisation des sucres), le stockage et le transfert de l'énergie, la division cellulaire, l'élargissement de la cellule, le codage génétique et plusieurs autres procédés de la plante.

Photosynthèse — processus par lequel les plantes vertes captent l'énergie de la lumière en combinant l'eau et le dioxyde de carbone pour former des hydrates de carbone. Le pigment chlorophylle est nécessaire pour la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

Point de flétrissement permanent — Le niveau d'humidité d'un sol auquel les plantes flétrissent et ne retrouvent pas leur turgescence en présence d'humidité. Sa valeur n'est pas une constante.

Polyphosphate — Une classe générale de composés de phosphate, caractérisée par des molécules contenant deux ou plusieurs atomes de P. Les polyphosphates sont composés de deux ou plusieurs molécules d'orthophosphate avec la perte d'une molécule d'eau entre chaque unité orthophosphate. Dérivé de l'acide superphosphorique. Disponible principalement dans des engrais liquides comme polyphosphates d'ammonium.

Pores — L'espace non occupé par des particules solides dans le volume apparent du sol.

Potassium (K) — Le potassium est un élément essentiel, l'un des trois éléments nutritifs primaires. Il est exigé par la plupart des plantes à peu près aux mêmes quantités que l'azote. Le potassium a des rôles importants dans l'activation des systèmes enzymatiques, il est indispensable à la photosynthèse et à la formation et à l'utilisation de sucres, Il joue un rôle essentiel dans la synthèse des protéines et de la maintenance de la structure des protéines et aide la plante à utiliser l'eau plus efficacement.

Pourcentage de saturation de base — Le pourcentage de la CEC totale occupé par des cations (Ca_2^+, Mg_2^+, K^+ et Na^+).

Pourcentage de sodium échangeable (PSE) — Le degré de saturation du complexe d'échange du sol avec Na^+.

Précipitation effective — La portion de la précipitation totale qui devient disponible pour la croissance des plantes.

Profil du sol — Une coupe verticale du sol s'étendant depuis la surface à travers tous les horizons et dans la roche mère.

Ratio carbone: azote — Le rapport de la masse du carbone organique à la masse de l'azote (N) totale dans un sol ou dans une matière organique. Il est obtenu en divisant le pourcentage du carbone organique par le pourcentage d'azote total.

Régulation osmotique — Le mouvement d'électrolytes tels que des sucres et des ions solubles à travers les membranes cellulaires pour maintenir le potentiel de l'eau à l'intérieur des cellules végétales.

Rendement, soutenu — Un rendement de plante ou de matière végétale vagatal annuel ou périodique continu; implique des pratiques de gestion qui mainteniront la capacité productive de la terre.

Réserve (potentielle) d'Acidité — Les ions H^+ échangeables détenus sur les colloïdes du sol et Al_3^+ hydrolysable sont désignés comme une réserve ou un potentiel d'acidité. La réserve d'acidité est en équilibre dynamique avec les ions H^+ dans la solution du sol (acidité active). Des estimations conservatrices suggèrent que la réserve d'acidité peut être 1 000 à 100 000 fois plus élevée pour un sol argileux que l'acidité active.

Rhizobium — bactéries capables de vivre en symbiose avec les plantes supérieures, habituellement des légumineuses, d'où elles reçoivent leur énergie, et capables d'utiliser N_2, en le transformant en formes que les plantes peuvent utiliser.

Roche mère — La roche sous—jacente des sols et roche altérée à des profondeurs allant de zéro (exposée à l'érosion) à plusieurs centaines de mètres.

Roche phosphatée — une roche naturelle contenant un ou plusieurs minéraux de phosphate de calcium d'une quantité et pureté suffisantes pour permettre son utilisation, que ce soit directement ou après la concentration, dans la fabrication de produits commerciaux. La plupart des gisements de la roche phosphatée utilisés dans la fabrication d'engrais aux États—Unis et au Canada sont à base de la classe d'apatite de minéraux, principalement des phosphates de calcium.

Ruissellement — eau qui s'écoule de la surface du sol au lieu de s'infiltrer.

Sable — particule minérale avec une taille comprise entre 2,00 et 0,05 mm de diamètre.

SIG — système d'information géographique. Un terme générique pour les systèmes qui stockent, affichent et analysent des données de cartographie numérique.

Sol — La couche supérieure de la terre où poussent les plantes.

Sol acide — Sol contenant une prévalence de H^+ dans la solution du sol (acidité active) et à la surface des colloïdes du sol (acidité de réserve ou potentiel). Plus précisément, un sol avec une valeur de pH inférieure à 7.

Sol alcalin — tout sol avec un pH supérieur à 7,0.

Sol alkalin — Un sol avec un degré élevé d'alcalinité (pH de 8,5 ou plus) ou avec une teneur élevée en Na+ échangeable (15% ou plus de la capacité d'échange), ou les deux à la fois

Sol calcaire — sol contenant de la chaux libre (carbonates) qui montrent une effervescence visible lorsqu'ils sont traités avec de l'acide chlorhydrique dilué (1:10).

Sol neutre — Un sol avec un pourcentage élevé (80% à 90%) de la capacité d'échange occupés par des ions Ca et Mg et le pH du sol est à proximité de 7.

Sol organique — sol qui contient un pourcentage élevé de matière organique dans son ensemble.

Sol salin — Un sol non alcalin contenant du sel soluble à des quantitiés qui interfèrent avec la croissance de la plupart des plantes cultivées; contenant une quantité appréciable de sels solubles.

Sol salin—alcalin — Un sol contenant une proportion élevée de sels solubles, avec soit un degré élevé d'alcalinité ou une grande quantité de Na échangeable, ou les deux, de sorte que la croissance de la plupart des cultures est inférieure à la normale.

Sol sodique — Un sol qui a été touché par de fortes concentrations en sel et Na. Les sols sodiques sont relativement faibles en sels solubles, mais sont riches en Na échangeable.

Soluté — Un matériau dissous dans un solvant pour former une solution.

Solutions Azotées — Solutions d'engrais azotés dans l'eau. Solutions azotées sont utilisées dans la fabrication des engrais liquides ou engrais solides mélangés et / ou appliquées au sol soit avec des applicateurs spéciaux ou dans l'eau d'irrigation. Le plus souvent, le terme se réfère aux solutions du nitrate d'ammonium et d'urée (NAU), fabriquées à partir d'un mélange d'urée et de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) contenant 28 à 32% d'azote.

Solution du sol — La phase liquide du sol et ses solutés.

Soufre (S) — un élément nutritif essentiel secondaire, essentiel dans la formation de protéines végétales parce qu'il fait partie de certains acides aminés. Comme il fait partie des protéines végétales, il est essentiel pour l'activité enzymatique. Impliqué dans la formation de nodules et de fixation de l'azote dans les légumineuses. Essentiel dans la formation de la chlorophylle bien qu'il n'est pas un constituant de la molécule de chlorophylle.

Sous—sol — Les horizons sous la surface du sol qui peuvent contenir moins de matière organique et plus de caractéristiques de la roche mère du sol.

Superphosphate — Le superphosphate est un produit de la roche phosphatée traitée avec de l'acide sulfurique ou l'acide phosphorique ou un mélange des deux acides. Le superphosphate normal, "ordinaire" ou "simple" fait référence à toutes les catégories contenant jusqu'à 22% de P_2O_5 qui sont couramment faites par l'acidification de la roche phosphatée avec de l'acide sulfurique. Il contient essentiellement du phosphate monocalcique, en addition d'une quantité importante de gypse.

Superphosphate triple — Fait référence à toutes les catégories contenant 40% ou plus de P_2O_5 disponible qui sont couramment faites par l'acidification de la roche phosphatée avec de l'acide phosphorique. Le Superphosphate normal contient une proportion appréciable de S (phosphogypse), le superphosphate triple ne l'a pas. Le phosphore est présent essentiellement sous forme de phosphate monocalcique.

Structure — Dans le sol, l'agencement des particules primaires en unités secondaires ou agrégats avec une taille et une forme particulière.

Symbiotique — La relation entre deux organismes vivants dans laquelle les deux en bénéficient, tels que la fixation d'azote par rhizobium dans les nodules sur les racines des légumineuses.

Tampon pH — Une mesure liée à la quantité de la chaux nécessaire à neutraliser l'acidité dans un sol particulier.

Tamponnage — Processus qui limite ou réduit le changement du pH lorsque des acides ou des bases sont ajoutés. Plus généralement, les procédés qui limitent les changements dans la concentration de n'importe quel ion dissous quand il est ajouté à ou retiré du système.

Texture du sol — Les proportions relatives des particules de différentes dimensions constituant le sol. Ces particules sont souvent appelées constituants distincts du sol et comprennent le sable, le limon et l'argile.

Texture fine — Constituée ou contenant de grandes quantités de petites particules, dans un sol, se référant à un pourcentage élevé de limon et d'argile.

Transpiration — Évaporation à partir de feuilles; l'écoulement de l'eau à partir du sol vers l'atmosphère à travers les plantes.

Travail conventionnel du sol — Les systèmes conventionnels de travail du sol varient considérablement d'une région à l'autre et d'une culture à l'autre. À l'origine, le travail conventionnel du sol impliquait l'utilisation de la charrue à socs ou à disques, et le hersage pour niveler la surface du sol avant le semis. Cependant, actuellement, les systèmes conventionnels de travail du sol ont évolué pour l'utilisation d'autres outils de travail du sol, y compris l'utilisation répandue du chisel comme un travail préliminaire du sol.

Travail de consérvation du sol — Tout système de travail du sol qui maintient un minimum d'environ 30% de couverture de résidus de culture après la plantation par rapport au travail propre du sol, où tous les résidus de culture sont incorporés dans le sol.

Travail du sol — Une opération utilisée dans la préparation de terres pour les semis ou la transplantation ou plus tard pour contrôler les mauvaises herbes et pour ameublir le sol.

Uréase — Une enzyme nécessaire pour la décomposition de l'urée en NH_3; commun à toutes les plantes.

Volume apparent — Le volume, y compris les particules solides et les pores, d'une masse arbitraire de sol.

Weed—and—Feed — Un terme utilisé dans l'industrie chimique agricole pour désigner le mélange d'une application d'engrais et d'herbicides.

Zinc (Zn) — Un micronutriment métallique, un des premiers reconnus comme essentiels pour les plantes. Le zinc aide à la synthèse de substances de croissance des plantes et aux systèmes enzymatiques et il est essentiel pour la promotion de certaines réactions métaboliques. Il est nécessaire pour la production de la chlorophylle et des hydrates de carbone.

Zone d'épuisement — Zone étroite à côté des racines où les concentrations de nutriments immobiles dans le sol deviennent nettement faibles.

Zone de rétention — zone du sol où les nutriments sont concentrés à la suite d'une application d'engrais. Se réfère généralement à une sorte d'application en bandes.

Réponses aux Questions

Chapitre 2

1. d, 2. b, 3. c, 4. a, 5. b, 6. c, 7. b, 8. d, 9. d, 10. d

Chapitre 3

1. b, 2. c, 3. d, 4. a, 5. c, 6. b, 7. a, 8. a, 9. d, 10. b

Chapitre 4

1. a, 2. b, 3. d, 4. a, 5. b, 6. c, 7. b, 8. b, 9. c, 10. c

Chapitre 5

1. b, 2. a, 3. c, 4. b, 5. a, 6. d, 7. a, 8. b, 9. c, 10. a

Chapitre 6

1. b, 2. d, 3. c, 4. a, 5. b, 6. d, 7. a, 8. c, 9. b, 10. a

Chapitre 7

1. c, 2. d, 3. a

Chapitre 8

1. d, 2. c, 3. c, 4. a, 5. b, 6. d, 7. c, 8. b, 9. d, 10. a

Chapitre 9

1. c, 2. b, 3. d, 4. d, 5. a, 6. a, 7. a, 8. a, 9. d

FACTEURS DE CONVERSION POUR LE SYSTEME U.S. ET METRIQUE

Convertir Col. 1 en Col. 2, multiplier par:	Column 1	Column 2	Convertir Col. 2 en Col. 1, multiplier par:
Longueur			
0,621	kilomètre	mile, mi	1,609
1,094	mètre, m	yard, yd	0,914
0,394	centimètre, cm	inch, in.	2,54
Superficie			
2,471	hectare, ha	acre, A	0,405
Volume			
1,057	litre, L	quart (liquid), qt	0,946
Masse			
1,102	tonne[1] (metric, 1,000 kg)	short ton (U.S. 2,000 lb)	0,9072
0,035	gramme, g	ounce	28,35
Rendement ou Doses			
0,446	tonne/ha	ton/A	2,242
0,891	kg/ha	lb/A	1,12
0,0159	kg/ha	bu/A, maïs	62,7
0,0149	kg/ha	bu/A, blé or soja	67,2

[1]L'écriture "tonne" indique tonne metrique (1 000 kg). L'écriture "ton" indique tonne courte US (2 000 lb). Lorsqu'il est utilisé comme unité de mesure, tonne ou ton peut être abrégé, comme dans 9 t/ha. Une expression métrique assume t = tonne; une expression US assume t = ton.

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Sont énumérés ici des symboles/abréviations pour les éléments nutritifs et les termes connexes fréquemment utilisés dans cette publication.

Al	Aluminium
B	Bore
C	Carbone
Ca	Calcium
$CaCO_3$	Carbonate de calcium
$CaCl_2$	Chlorure de calcium
$CaSO_4 \bullet 2H_2O$	Sulphate de calcium (gypse)
$Ca(NO_3)_2$	Nitrate de calcium
CH_4	Méthane
Cl/Cl^-	Chlore/Chlorure
Cu	Cuivre
$CuSO_4$	Sulphate de cuivre
Fe	Fer
$FeSO_4$	Sulphate ferreux
H^+	Proton ou ion hydrogéne
HCO_3^-	Bicarbonate
K	Potassium
KCl	Chlorure de potassium
K_2O	Oxide de potassium
KNO_3	Nitrate de potassium
K_2SO_4	Sulphate de potassium
Mg	Magnésium
$MgSO_4$	Sulphate de magnésium
$MgCl_2$	Chlorure de magnésium
Mn	Manganèse
Mo	Molybdène
N	Azote
NH_3	L'ammoniac
NH_4^+	Ammonium
$(NH_4)_2SO_4$	Sulphate d'ammonium
NO_2^-	Nitrite
NO_3^-	Nitrate
N_2	Azote de l'air
NO_x/N_2O	Oxides d'azote/Oxides nitrous
P	Phosphore
PDA	Phosphate diammonium
PMA	Phosphate monoammonium
PMC	Phosphate monocalcium
ppb	Parties par billion
ppm	Parties par million
S	Soufre
SO_4^{2-}	Sulphate
SPT	Superphosphate Triple
Zn	Zinc
$ZnSO_4$	Sulphate de zinc

Notes

PUBLIÉ PAR:

International Plant nutrition Institute
3500 Parkway Lane, Suite 550
Peachtree Corners, GA 30092 USA
770-447-0335
www.ipni.net

ISBN 978-0-9960199-3-4
© Droit d'auteur (2016) International Plant Nutrition Institute.