**Optimisation de l'utilisation des engrais dans un cadre de gestion intégrée de la fertilité des sols**

Manuel de formation à l'optimisation

des engrais

**par**

**C. Kayuki Kaizzi1, C. S. Wortmann2**

1Organisation nationale de recherche agricole (NARO), Ouganda

2 Département d'agronomie et d'horticulture, Universite du Nebraska, Lincoln, Nebraska 68583, USA



# AVANT-PROPOS

Les petits exploitants agricoles d’Afrique sub-saharienne dépendent de l'agriculture et une grande partie d'entre eux vivent en dessous du seuil de pauvreté. Cela est dû en partie à l'inhérente faible productivité due à la faible fertilité des sols. Le taux d'épuisement des éléments fertilisants dans les sols d'Afrique sub-saharienne est alarmant : aujourd'hui, environ 80% de la superficie des terres cultivables présentent de graves problèmes physiques et/ou de fertilité.

Au cours de ces dernières années, les systèmes nationaux de recherche agricole en Afrique sub-saharienne ont développé plusieurs pratiques de gestion de la fertilité des sols grâce auxquelles d'importantes augmentations de rendement de céréales et de légumineuses ont été enregistrées, mais avec une très faible adoption par les agriculteurs. Par exemple, l'utilisation moyenne d'engrais minéraux n'est que de 8 kg par hectare et par an en Afrique sub-saharienne, bien en deçà de l'objectif convenu dans la Déclaration d'Abuja sur les engrais qui est de 50 kg/ha par an.

A ce problème de faible utilisation d'engrais s'ajoute l'absence de recommandations d'engrais appropriées aux différents sols, cultures et situations socio-économiques des paysans. En outre, le manque de connaissances sur les pratiques adéquates relatives à l'utilisation et la gestion des engrais et du fumier constitue un problème majeur chez les agents de vulgarisation, les agents de services de vulgarisation publics ou privés et les vendeurs d'intrants agricoles. Par conséquent, beaucoup de paysans ne possèdent pas les connaissances et les compétences nécessaires à une utilisation efficace d'engrais et d'autres composants de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS).

Le présent manuel est destiné aux agents de vulgarisation, aux vendeurs d'intrants agricoles et à d'autres acteurs qui accompagnent les paysans dans la gestion de la fertilité des sols. Il met en exergue les caractéristiques de base des sols d'Afrique sub-saharienne et fournit des informations essentielles sur les engrais minéraux et organiques, et un système décisionnel relatif à leur utilisation pour optimiser les bénéfices de l'agriculteur tout en augmentant la production. Nous espérons que ce manuel sera une ressource d'apprentissage et de référence utile pour tous ceux qui accompagnent le paysan.

Table des matières

[AVANT-PROPOS 0](#_Toc442547189)

[1. INTRODUCTION 3](#_Toc442547190)

[2. ELEMENTS FERTILISANTS ESSENTIELS AUX PLANTES 5](#_Toc442547191)

[L'azote (N) et sa gestion 5](#_Toc442547192)

[Le phosphore (P) et sa gestion 6](#_Toc442547193)

[Le potassium (K) et sa gestion 7](#_Toc442547194)

[Le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S) et leur gestion 8](#_Toc442547195)

[Micronutriments (oligoéléments) 9](#_Toc442547196)

[Carence en éléments fertilisants et apparition de symptômes de toxicité 9](#_Toc442547197)

[3. SOURCES DES ÉLÉMENTS FERTILISANTS DE PLANTES 10](#_Toc442547198)

[Engrais minéraux 10](#_Toc442547199)

[Engrais azotés 10](#_Toc442547200)

[Engrais phosphatés 12](#_Toc442547201)

[Engrais potassiques 13](#_Toc442547202)

[Teneur des engrais et interprétation 13](#_Toc442547203)

[Terminologies utilisées dans l'application d'engrais 14](#_Toc442547204)

[Engrais organiques 17](#_Toc442547205)

[Types d’engrais organiques 17](#_Toc442547206)

[Qualité des matières organiques 19](#_Toc442547207)

[Fixation biologique de l'azote 20](#_Toc442547208)

[4. RECOMMANDATIONS D'ENGRAIS 23](#_Toc442547209)

[5. OUTILS D'AIDE A LA PRISE DE DECISION DANS LA GESTION DE LA FERTILITÉ DES SOLS 25](#_Toc442547210)

[Outil d'optimisation de l'engrais 26](#_Toc442547211)

[6. RECOMMANDATIONS D'ENGRAIS DANS LE CONTEXTE DE LA GIFS 34](#_Toc442547212)

[7. OUTIL DE DOSAGE DE L'ENGRAIS 37](#_Toc442547213)

[Annexe : ÉLABORATION ET RÉVISION DES VERSIONS IMPRIMEES DES OUTILS D'OPTIMISATION DES ENGRAIS (FOT) 41](#_Toc442547214)

# 1. INTRODUCTION

L'Afrique sub-saharienne dispose d'une vaste gamme de sols et de conditions climatiques. Ils vont des sols pierreux et peu profonds à faibles capacités de maintien de la vie aux sols profondément altérés, qui recyclent et soutiennent de grandes quantités de biomasse. La plupart des sols sont par nature peu fertiles (particulièrement avec une faible teneur en N et P) et sont très dégradés par l'épuisement des éléments fertilisants en raison de la faible et de la non-utilisation d'intrants extérieurs. En plus de la faible fertilité inhérente, les bilans des éléments fertilisants du sol sont souvent négatifs, indiquant que les agriculteurs appauvrissent leurs sols. La baisse de la fertilité des sols et leur dégradation ont touché plus les terres dont dépendent les pauvres, menaçant ainsi la sécurité alimentaire pour les petits exploitants agricoles.

**La fertilité du sol**

La fertilité du sol est une mesure de la capacité d'un sol à fournir aux plantes les éléments essentiels en quantité suffisante et sous la forme facilement absorbable par une plante. Elle résulte de composants chimiques (éléments fertilisants, pH, etc.), biologiques (micro, méso et macro) et physiques (profondeur, structure, etc.).

L'augmentation de la matière organique du sol est liée à une amélioration de la disponibilité des éléments fertilisants pour les plantes, l'agrégation des sols, la capacité de rétention d'eau et l'activité biologique du sol. Le pH du sol est particulièrement important pour la disponibilité des éléments fertilisants et l'activité biologique des sols. La partie sable du sol contribue à une bonne infiltration et percolation de l'eau, et à sa capacité à être travaillé, tandis que la partie argile contribue à la rétention des éléments fertilisants du sol.

Un sol fertile devrait :

* être suffisamment profond pour permettre la croissance racinaire illimitée
* avoir une bonne agrégation et structure pour assurer l'infiltration de l'eau et une bonne aération pour la croissance des racines et d'autres activités biologique des sols
* avoir un pH favorable, c'est-à-dire un pH allant de 5,5 à 7,2 pour la plupart des cultures
* recevoir un bon apport en éléments fertilisants à la fois disponibles et de réserve
* pouvoir retenir les éléments nutritifs solubles
* contenir suffisamment de matière organique
* supporter une grande variété d'activités biologiques microscopiques.

**Baisse de la fertilité du sol**

Les études sur l'apport nutritif et la production d'éléments nutritifs sur les terres agricoles à travers l'Afrique sub-saharienne montrent un bilan négatif en raison de l'utilisation de peu ou pas de sources d’éléments fertilisants externes, provoquant une dégradation généralisée des terres. L'équilibre entre N, P et K dans 13 pays d'Afrique sub-saharienne concernés par le projet OFRA a montré des tendances négatives: environ 200 millions d'hectares de terres cultivées ont perdu une moyenne de 660 kg de N, 75 kg de P et 450 kg de K par hectare dans les derniers 30 ans (Source ?).

En conséquence de l'appauvrissement en éléments fertilisants, les terres fertiles à l'origine qui produisaient 2 à 4 tonnes par hectare de céréales sont devenues infertiles, généralement avec des rendements de moins de 1 tonne par hectare. Du coup, l'insécurité alimentaire sévit dans la région; certaines études indiquent que jusqu'à 90% des ménages sont obligés d'acheter de la nourriture pour compléter leur récolte.

La fertilité des sols en Afrique sub-saharienne a diminué principalement en raison de :

* l'appauvrissement en éléments fertilisants - retrait de plus d'éléments nutritifs du sol par la récolte des cultures et l'érosion qu'ils ne sont remplacés par l'apport d'engrais organiques et minéraux et d'autres pratiques de gestion recommandées.
* la perte de la couverture du sol et la perte accélérée de la matière organique du sol par destruction in-situ de la végétation (p. ex. le brûlage des résidus de cultures, des brousses, etc.), l'enlèvement des résidus de cultures et le labour.
* les propriétés physiques du sol faibles causant une faible l'infiltration de l’eau de pluie et restreint l'enracinement causées par le compactage du sol.
* la mauvaise gestion du sol (des exemples ?).

# 2. ÉLÉMENTS FERTILISANTS ESSENTIELS AUX PLANTES

Un **élément fertilisant essentiel** aux plantes est une substance sans laquelle une plante ne peut pas mener à terme son développement et sa croissance; **un élément nutritif** qui ne peut être remplacé par tout autre élément. Les éléments fertilisants généralement reconnus comme étant nécessaires au développement et à la croissance de la plante sont 16 au total. Le carbone, l'hydrogène et l'oxygène proviennent du CO2 atmosphérique et de l'eau. Les 13 autres sont généralement apportés au sol à partir des réserves présentes dans le sol ou par l'application d'engrais.

Ces 13 éléments fertilisants sont catégorisés en macronutriments (requis en grandes quantités) et micronutriments (requis en petites quantités). Les nutriments sont divisés en éléments fertilisants majeurs (N, P, K) et en éléments fertilisants secondaires (Ca, Mg, S). Les micronutriments (oligoéléments) sont le bore, le chlore, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène et le zinc. Ils sont nécessaires en quantités encore plus petites que les éléments fertilisants secondaires.

## L'azote (N) et sa gestion

L'azote abonde naturellement dans l'atmosphère, mais les plantes ne sont pas capables de l'absorber directement sous cette forme. L'azote peut être ajouté au sol au moyen d'engrais (organiques ou minéraux) et par la fixation biologique de l'azote.

**Pertes d'azote du sol**

Les pertes de N du sol sont causées par**:**

* la lixiviation - N sous forme de nitrate est transporté en solution dans l'eau vers des profondeurs si basses du sol que les racines des plantes ne peuvent pas atteindre.
* la volatilisation et la dénitrification - l'azote se perd dans l'atmosphère
* **la récolte** - chaque culture récoltée et retirée du champ provoque une perte d'azote.
* **l'érosion du sol** - en emportant la couche arable, l'érosion enlève la matière organique et l'azote

**La gestion de l'azote du sol**

Le N du sol peut être maintenu en réduisant l'élimination des éléments nutritifs et en reconstituant les substances retirées du sol par l'application d'engrais minéraux et organiques. Parmi les pratiques à cet effet, il y a entre autres:

* le recyclage des résidus de récolte
* l'apport du fumier
* l'application d'engrais minéraux tels que l'urée, le nitrate d'ammonium et de calcium (CAN), le nitrate d'ammonium, le sulfate d'ammonium, le phosphate diammonique (DAP) et NPK
* l'utilisation des cultures/plantes légumineuses comme cultures intercalaires ou de rotation.

**Réduire les pertes de N et améliorer son absorption par les plantes**

* En cas d'utilisation d'engrais minéraux :
  + Placer l'engrais basal à 4-8 cm de la graine semée pour éviter d'endommager la semence ainsi que les racines et les tiges émergentes par l'effet du sel, et près de la plante lorsqu'il s'agit de l'application d'engrais de couverture.
  + Appliquer l'engrais lorsque le sol est humide ou mouillé.
  + Couvrir l'engrais avec le sol pour éviter la volatilisation de N.
  + Faire une application fractionnée de N le cas échéant, c'est-à-dire pour l'engrais de couverture, appliquer 1 ou 2 fois pour réduire les pertes causées par la lixiviation et la volatilisation.
  + En cas d'application d'engrais de couverture, il faut la programmer de manière à coïncider avec le pic de demande d’éléments fertilisants par la culture, c'est-à-dire au cours de la période de croissance vigoureuse.
* Maitriser l'érosion du sol

## Le phosphore (P) et sa gestion

La plupart des sols d'Afrique sub-saharienne sont fortement érodés; leurs réserves en P sont très faibles. En outre, les sols érodés ont tendance à fixer P réduisant ainsi sa disponibilité pour les plantes. En conséquence, la plupart du phosphore dans ces sols provient des sources organiques.

**Pertes de phosphore du sol**

Les pertes de P sont principalement causées par:

* l'érosion du sol
* la récolte
* la fixation par les éléments constitutifs du sol, p. ex. les oxydes de fer et d'aluminium.

**La gestion du phosphore du sol**

Le P du sol peut être amélioré par:

* l'application d'engrais minéraux, p. ex. DAP, le superphosphate triple (TSP), le superphosphate simple (SSP) ou le NPK
* le recyclage des résidus de récolte
* l'épandage de fumier et d'autres fertilisants de sources biologiques.

**Réduire les pertes de P et améliorer sa disponibilité**

* Appliquer l'engrais phosphaté ou phosphoré avant ou au moment du semis, surtout sur les sols argilo-limoneux.
* Appliquer l'engrais phosphoré dans la zone d'enracinement, car P ne se déplace pas facilement dans le sol.
* Réduire l'érosion des sols
* Recycler les résidus des récoltes
* Éviter les pratiques qui provoquer l'acidification du sol, p. ex. une application excessive d'engrais N.
* Dans les sols à faible pH, appliquer les amendements calcaires, par exemple, la chaux agricole et la cendre de cuisine.

## Le potassium (K) et sa gestion

Le potassium est un élément fertilisant essentiel à la croissance des plantes. Les engrais potassiques peuvent jouer un rôle crucial dans l'amélioration de la qualité et du rendement des cultures quand la disponibilité inhérente de K dans le sol n'est pas suffisante. La production agricole entraîne toujours le retrait du potassium et sa perte supplémentaire par le lessivage et le ruissellement. .

**Pertes de potassium du sol**

Les pertes de potassium sont principalement causées par l'érosion du sol, le lessivage et surtout l’enlèvement des résidus de récolte.

**Gestion du potassium**

Améliorer l'apport de K:

* Appliquer les engrais comme le chlorure de potassium (KCl), le sulfate de potassium et le NPK.
* Éviter les pratiques qui entrainent l'acidification du sol, p. ex. l'utilisation d'engrais azoté à l'ammonium si les sols ont un faible pH.
* Recycler les résidus des récoltes

**Pour réduire les pertes de potassium**

* Réduire l'érosion des sols
* Appliquer les intrants organiques, p. ex. le fumier pour améliorer la rétention du potassium dans le sol.
* Épandre les résidus de récolte

## Le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S) et leur gestion

Le calcium et le magnésium se trouvent à l'état naturel dans les sols, mais peut être ajouté par l'application des engrais, la chaux, le frêne, le compost et d'autres matières organiques. Ils se perdent principalement en raison de l'érosion du sol et de la récolte. Un faible pH du sol est souvent lié à une faible disponibilité de Ca et Mg.

**Gestion du Ca et du Mg dans le sol**

* Maitriser l'érosion du sol
* Éviter les pratiques entrainant l'acidification du sol.
* Appliquer de la chaux, notamment de la chaux dolomitique qui contient Ca et Mg.
* Appliquer les engrais minéraux et organiques.
* Recycler les résidus organiques

**Gestion de S dans le sol**

* Environ 95% de S se trouve dans la matière organique du sol.
* Éviter la perte de la matière organique du sol, en recourant par exemple à la lutte contre l'érosion.
* La réaction au soufre appliqué est courante dans certaines zones de production.
* Appliquer S des matières organiques et de l'engrais.

## Micronutriments (oligoéléments)

**Le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le molybdène (Mo), le manganèse (Mn), le bore (B) et le chlore (Cl)**

Ces éléments fertilisants sont nécessaires pour les plantes en très petites quantités et peuvent leur être toxiques, s'ils sont présents dans la solution du sol en quantités excessives. Ils sont généralement gérés en maintenant le pH du sol entre 5,2 et 7,2. Des pratiques telles que le chaulage des sols acides et le recyclage des résidus organiques contribuent à assurer un bon apport d'oligo-éléments dans le sol. L'application d'oligoéléments peut être justifiée dans certaines situations. L'application au sol est plus rentable que l'application foliaire pour des cultures agronomiques, à quelques exceptions près.

## Carence en éléments fertilisants et apparition de symptômes de toxicité

Les plantes présentent des symptômes caractéristiques lorsqu'un élément fertilisant est présent en quantité insuffisante (Figure 1). Ces symptômes peuvent être utilisés pour diagnostiquer les carences en éléments fertilisants et décider des mesures correctives. Les symptômes de carence et de toxicité peuvent varier entre les espèces cultivées et peuvent se manifester beaucoup plus clairement dans certaines espèces que dans d'autres. Toutefois, il existe des similitudes quant à l'effet de l'insuffisance d’éléments fertilisants sur la couleur et l'apparence des tissus végétaux. La Figure 1 montre les symptômes de certaines des principales carences nutritives.

# 3. SOURCES DES NUTRIMENTS DE PLANTES

Les sols d'Afrique sub-saharienne présentent surtout des carences en N et P. L'application de N et P par l'utilisation d'engrais minéraux et organiques est plus susceptible d'être rentable par rapport à l'application d'autres éléments fertilisants.

## Engrais minéraux

Les engrais minéraux sont des substances inorganiques dans lesquelles les éléments fertilisants déclarés sont sous forme de sels inorganiques obtenus par extraction et/ou par procédés industriels physiques et/ou chimiques. Contrairement aux matières organiques, les engrais minéraux n'améliorent pas les propriétés physiques du sol.

**Les types d'engrais inorganiques**

**Les engrais contenant un seul élément fertilisant vs les engrais contenant plusieurs éléments fertilisants**

Les engrais ne contenant qu'un seul élément fertilisant (p. ex. de l'urée) fournissent un seul élément nutritif contrairement aux engrais contenant un mélange de plusieurs éléments fertilisants ou engrais composés, tels que le DAP ou le NPK, qui fournissent deux ou plusieurs éléments essentiels.

#### Engrais azotés

Les engrais azotés peuvent être classés en quatre groupes en fonction de la forme chimique sous laquelle l'azote est présent; ammonium, nitrate, urée et combinaisons de deux ou trois de ces formes. L'engrais N peut également être apporté sous forme de mélanges d'engrais, c'est-à-dire dans des mélanges et des engrais composés où l'azote est chimiquement associé à un ou plusieurs autres éléments fertilisants (Tableau 1).

**Symptômes visuels**

**visuel**

**Feuilles inferieures**

**Feuilles supérieures**

**Brunissement du bord de feuille**

**Jaunissement foliaire entre nervures**

**Couleur pourpre sur la feuille**

**Jaunissement de la feuille**

**Bords de feuilles brunis ou brûlés**

**Jaunissement foliaire entre nervures**

**Mort du point végétatif**

**Jaunissement foliaire**

**Potassium (K)**

**Magnésium (M**)

**Phosphore (P)**

**Azote (N)**

**Soufre (S)**

**Calcium (Ca)**

**Fer (Fe)**

**Manganèse (Mn)**

**Zinc (Zn)**

**Cuivre (Cu)**

**Bore (B)**

**Calcium (Ca)**

**Soufre (S)**

**Figure 1:** Les symptômes visuels de carences nutritives.

Source : Adapté de Fairhurst (2012)

**Tableau 1** Engrais azotés courants.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Engrais** | **Teneur en nutriments (%)** | | |
| **N** | **P2O5** | **K2O** |
| Sulfate d'ammonium | 21 | 0 | 0 |
| Nitrate de calcium et d'ammonium (CAN) | 21 | 0 | 0 |
| Urée | 46 | 0 | 0 |
| Phosphate monoammonique | 11 | 52 | 0 |
| Phosphate diammonique | 18 | 46 | 0 |
| Engrais NPK | varie | Varie | Varie |

La plupart des engrais azotés solubles ont essentiellement la même efficacité pour les cultures s'ils sont incorporés dans des sols bien drainés. Les effets secondaires les plus importants des engrais azotés sont : (i) l'effet d'acidification du sol de l'ammonium et de l'urée et (ii) une concentration en sel temporairement élevée.

Pour une utilisation efficace d'engrais N avec moins de pertes, appliquez l'engrais lorsque les plantes sont dans une phase de croissance vigoureuse. Sinon, le nitrate peut être lessivé et se déposer sous la zone racinaire. Cette perte, ainsi que la concurrence des mauvaises herbes et des micro-organismes, réduit l'efficacité d'utilisation de l'azote.

#### Les engrais phosphatés

Les engrais minéraux sont une source courante de P, mais le fumier contient également P. L'application de P vient en second lieu après celle de N en termes de quantité d’éléments fertilisants appliqués pour la plupart des cultures. Des exemples d'engrais phosphatés sont présentés dans le Tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2**: Les engrais phosphatés

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Engrais** | **Teneur en nutriments (%)** | | |
| **N** | **P2O5** | **K2O** |
| Superphosphate simple | 0 | 18 | 0 |
| Superphosphate triple | 0 | 46 | 0 |
| Phosphate monoammonique | 11 | 52 | 0 |
| Phosphate diammonique | 18 | 46 | 0 |
| NPK | varie | Varie | Varie |
| Phosphate minéral | 0 | Varie | 0 |

#### Les engrais potassiques

L'application de K de sources organiques et inorganiques peut être nécessaire pour assurer une bonne disponibilité de K pour les plantes, bien que les réserves de K dans le sol soient généralement suffisantes. L'apport de K n'est donc pas bénéfique au rendement des cultures. Les engrais K sont hydrosolubles (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Exemples d'engrais potassiques.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Engrais** | **Teneur en nutriments (%)** | | |
| N | P2O5 | K2O |
| Muriate de potasse (MOP) | 0 | 0 | 60 |
| Sulfate de potassium | 0 | 0 | 48 |
| Nitrate de potasse | 13 | 0 | 44 |
| Engrais NPK | varie | Varie | Varie |

#### NB : MOP= Chlorure de potassium (KCl)

#### Teneur des engrais et interprétation

Les engrais diffèrent selon les types et les quantités d’éléments fertilisants. La teneur d'un engrais en éléments fertilisants est indiquée sur l'étiquette du sac sous forme d'une série de chiffres. Pour un engrais simple qui ne contient qu'un seul élément nutritif, le pourcentage de la composition de l’élément fertilisant est indiqué suivi du symbole de cet élément fertilisant (Photo 1). Lorsque l'engrais composé qui contient plus d'un macronutriment, le pourcentage de la teneur de chaque élément nutritif sera indiqué sur le sac.

Pour les engrais contenant l'azote (N), la teneur est indiquée sous forme d’élément fertilisant élémentaire (N), alors que pour les engrais qui contiennent le phosphore (P) et le potassium (K), la teneur déclarée est généralement sous forme d'oxyde, P2O5 et K2O. Donc si l'étiquette d'un engrais porte la mention 12:6:6, cela signifie que 100 kg de l'engrais contiennent 12 kg de N, 6 kg de P2O5 et 6 kg de K2O.



**Photo 1**. Les étiquettes d'engrais indiquant le pourcentage de la teneur en éléments fertilisants.

**Conversion des éléments fertilisants (de l'oxyde à la forme élémentaire et vice-versa)**

Les facteurs de conversion pour ces éléments fertilisants qui peuvent être exprimés sous forme élémentaire ou sous forme d'oxyde sont indiqués dans le Tableau 4.

**Table 4**. Facteurs de conversion des éléments fertilisants.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| De l'oxyde à la forme élémentaire | | | | | De la forme élémentaire à l'oxyde | | | | |
| P2O5 | x | 0,44 | = | P | P | x | 2,29 | = | P2O5 |
| K2O | x | 0,83 | = | K | K | x | 1,20 | = | K2O |
| CaO | x | 0,71 | = | Ca | Ca | x | 1,40 | = | CaO |
| MgO | x | 0,60 | = | Mg | Mg | x | 1,66 | = | MgO |
| SO3 | x | 0,40 | = | S | S | x | 2,50 | = | SO3 |
| B2O3 | x | 0,31 | = | B | B | x | 3,22 | = | B2O3 |

#### 

#### Terminologies utilisées dans l'application d'engrais

**a) Temps d'application d'engrais**

##### Application fractionnée

Cela signifie le fractionnement de la quantité totale d'engrais à appliquer en plusieurs petites applications à différents stades de croissance de la plante. Par exemple, si le taux recommandé est de 50 kg N/ha, une fraction de 15 kg/ha peut être appliquée au moment de la plantation et 35 kg/ha plus tard dans la saison au moment de la croissance vigoureuse des plantes. En particulier, pour les engrais N, cette technique réduit les pertes d'éléments nutritifs et améliore l'efficacité de l'utilisation des engrais.

##### Application de démarrage/basale

Lorsque l'engrais est appliqué au moment de la plantation. Tout l'engrais peut être appliqué comme basal (p. ex. pour P) ou une deuxième application peut suivre plus tard au cours de la saison de croissance (p. ex. pour N). L'engrais basal est généralement incorporé dans le lit de semence au moment du semis.

**Engrais de couverture**

C'est l'engrais qui est appliqué plusieurs semaines après la germination du plant. Il est aussi appelé engrais en bandes.

**B) Méthode d'application d'engrais**

##### Application à la volée

L'engrais appliqué à la volée est épandu sur la surface du sol où il peut être incorporé dans le sol ou non. Cette application est principalement faite avant le semis ou dans les plantes sur pied. Elle est généralement plus facile et peut être combinée avec d'autres opérations. Elle exige moins de main-d'œuvre, mais la récupération de l'engrais par les plantes peut être réduite par rapport à d'autres méthodes.

##### Application en bandes

Dans l'application en bandes, l'engrais est placé parallèlement à la rangée et à proximité de la zone des racines (5-8 cm sous la surface du sol) où les chances d'être absorbé par les cultures sont plus élevées. Cette méthode est particulièrement recommandée lorsque les quantités d'engrais sont limitées ou pour les engrais moins solubles (p. ex. le phosphore); cependant, elle est laborieuse.

##### Application localisée

Ici l'engrais est placé en petite quantité à chaque point d'ensemencement; par exemple le DAP placé dans un trou avant de semer la graine ou après un intervalle spécifique au sein d'une rangée. Il faut éviter de placer l'engrais trop près de la semence pour que l'engrais ne la "brule" pas. L'application localisée est parfois effectuée après la levée de la culture.

##### Pulvérisations foliaires

L'engrais est appliqué par pulvérisation sur les feuilles à l'aide d'un pulvérisateur à dos. Cette méthode est principalement utilisée lors de l'application d'oligoéléments, spécialement sur les cultures horticoles (fleurs, légumes, agrumes). Les engrais appliqués par pulvérisation doivent être dans des solutions très diluées pour éviter les brûlures des feuilles. Toutefois, le paysan doit pulvériser à plusieurs reprises en raison de la faible concentration des engrais. Les engrais appliqués sur les feuilles ont l'avantage d'une action rapide, parce que les éléments nutritifs sont absorbés par les feuilles, mais il s'agit d'une méthode d'application d’éléments fertilisants assez dispendieuse.

##### Incorporation

Il s'agit de couvrir les engrais avec du sol pour minimiser les pertes d'éléments nutritifs par l'érosion et la volatilisation (p. ex. l'ammoniac). Les engrais, tels que l'ammoniac et l'urée, doivent toujours être incorporés dans le sol immédiatement après l'application pour minimiser la perte d'azote par volatilisation.

##### Les 4R

La notion 4R (ou les 4 ‘bon’ 4R=4B, R représente «right» en anglais) dans la gestion des éléments fertilisants est un moyen simple d'exprimer les meilleures pratiques de gestion de l'utilisation des engrais. L'approche 4B vise à améliorer la protection de l'environnement, augmenter la productivité et la rentabilité, et améliorer la pérennité. Ce concept signifie qu’il faut utiliser la **bonne** source d'engrais, au **bon** taux, au **bon** moment, au **bon** endroit.

## Engrais organiques

Les engrais organiques sont des substances riches en carbone, dérivées de matières organiques non synthétiques d'origine végétale ou animale. Les produits d'engrais organiques [résidus de plantes, déchets humains ou d'origine animale] sont des sources utiles d’éléments fertilisants et contribuent à l'entretien ou l'amélioration de la matière organique du sol.

### Engrais organiques

**Fumier de ferme**

Le fumier de ferme est composé d'excréments et d'urine de bétail avec de la paille ou d'autres matériaux de literie. Il contient souvent beaucoup de terre. Les éléments fertilisants trouvés dans le fumier dépendent:

1. de la teneur en éléments nutritifs des aliments donnés aux animaux
2. de la teneur en éléments nutritifs de la paille pour la litière
3. du degré de compostage ou de pourriture de la paille
4. des pertes d'ammoniac par volatilisation
5. des pertes de composés solubles par lessivage
6. de la teneur du sol
7. de la teneur en eau

Le fumier de ferme est d’une valeur variable pour les cultures. Il peut être appliqué à tous les sols et cultures avant ou après le semis. Il peut être épandu de façon uniforme dans le champ ou placé en bandes ou par localisation, puis incorporé dans le sol.

**Fumier de volaille**

Il contient généralement un taux élevé d'azote et de phosphore, et un taux faible de potassium. Il peut être appliqué de la même manière que le fumier de ferme, mais l'incorporation lors de l'application est bien plus essentielle que pour le fumier de ferme à cause de la possibilité de perte du nitrate d'ammonium.

**Fumier liquide**

Le fumier liquide est fabriqué en trempant des déjections animales ou de l'herbe hachée, des feuilles et des branches vertes douces, ou en fermentant l'urine animale pendant 14 jours. Le fumier est ensuite dilué avant de l'appliquer dans le champ. Il fournit aux cultures des éléments fertilisants naturels rapidement au cours de la saison de croissance. Il est préférable d'appliquer le fumier liquide toutes les deux ou trois semaines. C'est une méthode d'application d’éléments fertilisants très laborieuse.

**Le compost**

Les déchets organiques tels que les résidus de culture, les mauvaises herbes et les ordures ménagères organiques sont convertis en compost par un processus contrôlé de décomposition. Le compost est fait en empilant des résidus organiques ou des matières organiques mélangés avec une petite quantité de sol, en humidifiant les matériaux dans le tas et en laissant ces matériaux subir une décomposition biologique. La qualité du compost, c'est-à-dire les quantités d'éléments nutritifs dans le fumier, dépend de la qualité des matières organiques compostées. Le compost est utilisé de la même manière que le fumier de ferme.

**Engrais vert**

L'engrais vert consiste à faire pousser des cultures telles que le mucuna, le dolique ou le canavalia, et à les incorporer dans le sol avant qu'elles n'atteignent la maturité lors de la préparation de terrain avant la plantation pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol. Un autre type d'engrais verts comprend des cultures de couverture, qui peuvent être ou non des légumineuses, et qui sont souvent incorporés dans le sol. Les principaux avantages de l'utilisation des cultures de couverture comme engrais vert dans les rotations culturales sont entre autres:

* l'apport de la matière organique au sol
* l'apport d'azote fixé biologiquement au sol, si l'engrais vert est une légumineuse
* la réduction de la perte d'azote minéral par lessivage
* la couverture et la protection du sol contre l'érosion, ainsi que la conservation de l'eau du sol.

**Résidus de récolte**

Les résidus de récolte contiennent des éléments fertilisants. La qualité des résidus de récolte dépend des cultures qui produisent ces résidus. Par exemple, les résidus de légumineuses sont de meilleure qualité par rapport à ceux provenant des cultures céréalières parce que les légumineuses ont une forte teneur en azote. Les résidus de récolte peuvent être compostés, utilisés comme paillis ou incorporés dans le sol au cours de la préparation de la terre.

### Qualité des matières organiques

Les matières organiques varient beaucoup en termes de qualité, ce qui constitue un obstacle majeur à leur utilisation dans la gestion de la fertilité des sols. Par exemple, la qualité du fumier animal dépend de l'âge de l'animal, de la qualité des aliments que l'animal consomme et de la gestion du fumier. Le Tableau 5 illustre les éléments fertilisants contenus dans une variété de matières organiques.

**Table 5:** La concentration moyenne des éléments fertilisants (%) sur base d'une substance sèche de matières organiques sélectionnées prélevées en Afrique de l'Est et australe.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Matière** | **N (**%) | **P (**%) | **K (**%) |
| **Résidu de récolte** | | | |
| Tiges de maïs | 0,6 | 0,1 | 0,7 |
| Déchets de haricots | 0,7 | 0,1 | 1,4 |
| Feuilles de bananier | 1,9 | 0,2 | 2,2 |
| Feuilles de patate douce | 2,3 | 0,4 | -- |
| Déchets de canne à sucre | 0,8 | 0,1 | 1,0 |
| Paille de riz | 0,7 | 0,1 | 1,4 |
| Coques de café | 1,6 | 0,4 | -- |
| Déchets compostés | 2,0 | 0,7 | 2,0 |
| **Fumiers d'animaux** | | | |
| Bovins |  |  |  |
| Haute qualité (le bétail se nourrit de concentrés) | 2,3 | 1,1 | 0,6 |
| Faible qualité | 0,7 | 0,1 | 0,8 |
| Volailles | 2,4 | 0,7 | 1,4 |
| **Arbres légumineux (feuilles)** | | | |
| *Calliandra calothyrsus* | 3,4 | 0,2 | 1,1 |
| *Gliricidia sepium* | 3,3 | 0,15 | 2,1 |
| *Leucaena leucocephala* | 3,4 | 0,15 | 2,1 |
| *Sesbania sesban* | 3,4 | 0,15 | 1,1 |
| *Senna spectabilis* (sans fixation de N 2) | 3,3 | 0,2 | 1,6 |
| **Arbres et arbustes non-légumineux (feuilles)** | | | |
| *Chromolaena ordorata* | 3,8 | 0,24 | 1,5 |
| *Grevillea robusta* | 1,4 | < 0,1 | 0,6 |
| *Lantana camara* | 2,7 | 0,24 | 2,1 |
| *Tithonia diversifolia* | 3,6 | 0,27 | 4,3 |
| **Cultures de couverture légumineuses** | | | |
| *Crotalaria ochroleuca* | 4,2 | 0,16 | 0,9 |
| *Dolochos lablab* | 4,1 | 0,22 | 1,3 |
| *Mucuna pruriens* | 3,5 | 0,2 | 0,7 |
| **Éléments fertilisants (kg) nécessaires pour produire 2 tonnes de grains + 3 tonnes de tiges de maïs** | **80** | **18** | **60** |

Source: Palm et al. (1997)

## Fixation biologique de l'azote

La fixation biologique de l'azote est le processus de conversion de l'azote atmosphérique (N2) par des microorganismes en une forme utile aux plantes.La fixation symbiotique de l'azote qui est effectuée par l'association entre certaines bactéries et racines de légumineuses est la plus importante et la plus avantageuse du point de vue agricole. La fixation symbiotique de l'azote peut être gérée au profit des systèmes agricoles.

**La symbiose Rhizobium-légumineuse**

La symbiose de fixation de l'azote plus bénéfique à l'agriculture est celle entre les bactéries du sol appelées rhizobiums et les légumineuses. La famille des légumineuses est assez large et comprend les légumineuses à grains, comme les haricots, l'arachide, le soja, le niébé et le pois cajan. Elle inclut également les légumineuses herbacées comme le mucuna, le canavalia, le dolique; les légumineuses fourragères comme la luzerne; et d'espèces d'arbres comme le leucaena.

Les légumineuses développent de petites excroissances appelées nodules sur leurs racines. La nodulation est renforcée par l'application de P et l'inoculation de rhizobiums.

La fixation biologique de l'azote peut fournir à la légumineuse l’essentiel ou la totalité de l'azote dont elle a besoin pour produire un rendement optimal. Avec une nodulation efficace, il peut ne pas être nécessaire d'appliquer des engrais azotés. Certaines cultures peuvent former des nodules efficaces avec plus d'un type de rhizobiums, tandis que d'autres forment des nodules avec des rhizobiums spécifiques. Par exemple, le niébé peut former des nodules avec une large gamme de rhizobiums, tandis que le pois chiche et certaines variétés de soja ne forment des nodules efficaces qu'avec certaines souches de bactéries.

Les rhizobiums peuvent être présents dans le sol, mais sans produire des nodules ni fixer assez d'azote pour la croissance des plantes, soit à cause de leur nombre réduit ou de leur faible capacité à fixer N. Pour améliorer la fixation biologique de l'azote, les semences ou le lit de semence peuvent être inoculés avec les rhizobiums recommandés. Les inoculants de rhizobium sont produits commercialement pour la plupart des légumineuses agricoles importantes.

**Les légumineuses dans la rotation des cultures**

Les légumineuses (p. ex. à grains, herbacées) peuvent apporter d'importantes quantités d'azote dans le sol qui peuvent profiter à la culture suivante, même s'il est plus courant d'enlever une plus grande quantité de N, lors de la récolte et par les légumineuses fourragères, que celle fixée par la culture. Les légumineuses, cependant, diffèrent en termes de quantité d'azote qu'elles fixent et en termes de quantité d'azote absorbée par le grain.

**L'utilisation de légumineuses comme engrais vert ou jachère améliorée**

Cultiver les légumineuses comme le mucuna, le dolique ou le canavalia, et ensuite les incorporer entièrement dans le sol quand elles sont encore vertes, apporte facilement de la matière organique décomposée qui dégage beaucoup de N. L'augmentation du rendement du sorgho et le rendement obtenu après une jachère de niébé ou de mucuna, démontrent l'importance des légumineuses dans la gestion de la fertilité des sols, et dans l'accroissement du rendement des cultures (tableau 6).

**Table 6:** Rendement du sorgho et rendements de la rotation culturale, du mucuna et de l'engrais azoté.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Culture précédente et taux de N** | **Rendement en grains tonnes par hectare** | **Rendements au-dessus du coût des engrais en Shillings ougandais par ha** |
| Sorgho, sans N | 1,21 | 374.000 |
| Niébé, sans N | 2,01 | 536.000 |
| Sorgho, 30 kg de N par ha | 2,33 | 372.000 |
| Mucuna, sans N | 2,75 | 455.000 |

Source: Kaizzi et al. (2007). Donner un taux de conversion indicatif en 2007 du shilling ougandais par rapport au USD

**Utilisation de légumineuses herbacées comme cultures de couverture**

Des cultures légumineuses à croissance rapide, telles que le mucuna et  *l'Arachis pintoi,* sont cultivées comme cultures de couverture entre les rangs de cultures pérennes pour protéger le sol contre l'érosion. En plus de protéger le sol, la plante de couverture fixe N qui est apporté au sol et profite à la culture pérenne.

**Utilisation d'arbres légumineux et d'espèces fourragères comme jachères améliorées**

Laisser la terre se reposer pour restaurer la fertilité du sol a toujours été une pratique courante en Afrique subsaharienne. Cependant, elle n'est plus possible dans plusieurs parties d'Afrique sub-saharienne en raison de la pression démographique croissante. L'alternative est une culture intercalaire où les espèces de légumineuses sont plantées lorsque la culture vivrière, généralement une culture annuelle, est encore dans le champ, mais quand celle-ci est bien établie et que la légumineuse ne va pas entrer en compétition avec elle de façon significative pour l'eau, les éléments fertilisants et d'autres ressources. Après la récolte de la culture vivrière, la légumineuse continue de croître pendant 3 mois pour le cas des légumineuses à court terme comme le canavalia, le crotolaria, le mucuna, ou pendant 6 mois ou 1 an pour le cas des arbres agroforestiers comme le caliandra. Quand on a besoin de la terre pour la prochaine récolte, la légumineuse est coupée et incorporée dans le sol lors de la préparation du lit de semence. Le principal avantage des jachères améliorées est que la fertilité des sols est restaurée dans un délai assez court.

# 4. RECOMMANDATIONS D'ENGRAIS

Les recommandations actuelles d'engrais en Afrique sub-saharienne ont été élaborées dans le but de maximiser le rendement ou le bénéfice par hectare, et sont parfois appropriées pour les agriculteurs financièrement capables d'appliquer l'engrais sur l'ensemble de leurs terres cultivées, afin de maximiser le rendement net par hectare. L'utilisation moyenne d'engrais en Afrique sub-saharienne est beaucoup moins que la quantité recommandée en raison de l'inefficacité de l'ensemble de la chaîne de valeur de l'engrais avec un faible niveau d'accès, des coûts d'achat élevés et une faible capacité financière des agriculteurs. Par ailleurs, les recommandations existantes ne permettent pas aux petits exploitants de maximiser le retour net sur de petits investissements.

**Effet du prix sur les recommandations économiquement optimales relatives aux engrais**

Le coût de l'engrais (C) peut être exprimé comme quantité du produit (P) qu'un paysan doit vendre pour acheter 1 kg d’éléments fertilisants - le ratio C:P. Les ratios C:P sont généralement élevés pour la plupart des céréales et relativement bas pour le riz de plateau et les légumineuses à cause du prix sortie exploitation de ces dernières qui est plus élevé.

Par exemple, si le coût de l'engrais à base d'urée (46 % N) est de 35 US$ par sac de 50 kg et le prix du maïs de 0,12 US$ par kg, alors:

*Prix de 1 kg d'urée = 35/50 = 0,70 US$*

*Prix de 1 kg de N = 0,7 x 100/46 = 1,52 US$*

*Coût de l’élément fertilisant/prix sortie exploitation du maïs = 1,52 / 0,12 = 13*

Ainsi, le coût de 1 kg de N est équivalent à la valeur de 13 kg de grains de maïs. Mais si le coût de l'engrais a été comparé avec la valeur du riz, en supposant que le prix du riz était de 0,35 US$ par kg, alors:

*Coût de l’élément fertilisant/prix sortie exploitation du riz = 1,52 / 0,35 = 4,3*

Ainsi, le coût de 1 kg d'azote est égal à 4,3 kg de riz.

Si l'argent n'est pas une contrainte, la quantité d'engrais qui permet de maximiser le rendement par superficie de terres (taux économiquement optimal, EOR) peut être appliquée. Mais s'il y a des contraintes financières, ce qui est presque toujours le cas, la quantité d'engrais qui permet de maximiser le retour sur l'argent investi, ce qui est inférieur à EOR, devrait être appliquée.

Si le prix sortie exploitation du produit baisse ou le prix de l'engrais augmente, les paysans doivent appliquer moins d'engrais pour maintenir le taux économiquement optimal. Par exemple, dans les essais effectués en Ouganda (Figure 3), l'EOR pour le maïs a diminué de 44 à 33 kg de N par hectare alors que le rapport C:P augmentait, passant de 10 à 20. Les agriculteurs confrontés aux contraintes financières pourraient obtenir le maximum de bénéfices, c'est-à-dire le ratio avantages-coûts le plus élevé [région indiquée avec un cercle ovale rouge dans la Figure 2] en appliquant moins de 30 kg de N par hectare.

Figure 2 : Le rendement de maïs en réponse à la fertilisation azotée et l'effet de changement du rapport coût du élément fertilisant / prix sortie exploitation sur la quantité d'engrais économiquement optimale.

# 5. OUTILS D'AIDE A LA PRISE DE DECISION DANS LA GESTION DE LA FERTILITÉ DES SOLS

Les engrais sont une composante de la GIFS. De bons conseils techniques sur l'utilisation d'engrais ainsi que le choix optimal de combinaisons culture-élément fertilisant-taux d'application peuvent augmenter considérablement les rendements nets sur l'utilisation de fertilisants. Les outils d'aide à la prise de décision peuvent être utilisés par le personnel de vulgarisation et d'autres travailleurs de première ligne pour mieux prodiguer aux agriculteurs des conseils sur la bonne quantité d'engrais à appliquer et les meilleures cultures sur lesquelles l'appliquer de façon à ce que les cultivateurs obtiennent les rendements les plus élevés.

Par exemple, le coût de l'engrais N utilisé dans la production du maïs est souvent de 15 à 20 fois supérieur à celui du maïs (kg/kg) pour les petits exploitants d'Afrique sub-saharienne, comparativement à moins de 5 fois aux États-Unis. Par conséquent, les petits exploitants disposant de peu de moyens financiers ne sont généralement pas en mesure d'appliquer de l'engrais sur toutes leurs terres cultivées, s'ils l'appliquent à des taux permettant de maximiser les rendements nets par hectare. Souvent, ils ne peuvent appliquer de l'engrais que sur une petite partie de leur ferme et doivent donc faire des choix qui maximisent le ratio avantages-coûts. Ceci implique que l'application doit être basée sur les combinaisons culture-élément fertilisant-taux qui donnent les retours nets les plus importants sur leur capacité d'investissement.

## Outil d'optimisation de l'engrais

À la suite d'une première collaboration de recherche en Ouganda entre l'Organisation nationale de recherche agricole (NARO), l'Alliance pour une révolution verte en Afrique (AGRA) et l'Université de Nebraska-Lincoln (UNL), et plus tard par le biais de CABI, UNL et 13 services nationaux de recherche agricole en Afrique sub-saharienne, une série d'outils décisionnels qu'on appelle outils d'optimisation de l'engrais [FOT : Fertilizer Optimizer Tool en anglais] (Figures 9 et 10) ont été élaborés et sont en train d'être adoptés par les 13 pays du projet Optimisation des recommandations relatives aux engrais en Afrique (OFRA - Optimizing Fertilizer Recommendations in Africa en anglais).

Grâce à la programmation linéaire, l'outil OFT génère des combinaisons culture-élément fertilisant-taux qui permettent d'optimiser les retours sur investissement, lorsque les contraintes financières limitent l'utilisation d'engrais. La programmation linéaire utilise Excel avec le complément Solveur.

Cet outil permet de réaliser l'objectif de maximiser le revenu net total prévu sur l'utilisation d'engrais en déterminant la combinaison optimale cultures-nutriments-dose, en fonction des contraintes Budget et Réponse.

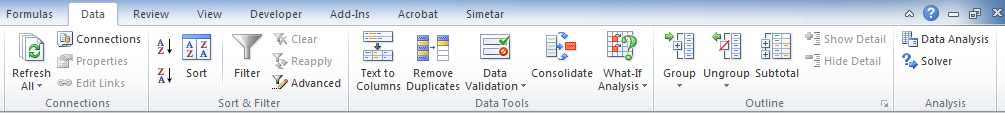
Les coûts pour la quantité totale d'engrais recommandée ne peuvent pas dépasser les ressources financières disponibles pour l'investissement.

Une fois les combinaisons optimales culture-nutriment-doses d’engrais déterminées, les résultats sont affichés, y compris les doses d'application optimales-culture pour les 15 combinaisons culture-nutriment possibles (5 cultures x 3 nutriments), les effets escomptés sur le rendement et le retour net sur l'utilisation d'engrais, et le retour total net escompté sur l'investissement pour l'utilisation d'engrais.

Chaque ensemble de contraintes imposées par l'utilisateur - combien d'argent l'agriculteur est disposé à investir dans les engrais, les cultures e retenues et la superficie ensemencée pour chaque culture, plus le prix prévu du produit agricole au moment de la récolte - donne une solution unique, mais optimisée sur la base des caractéristiques pertinentes au travail d'exploitation du paysan.

**Le Solveur de Microsoft (Microsoft Solver)**

Le complément Solveur doit être activé pour que la feuille de calcul d'optimisation d'engrais fonctionne convenablement. Lorsqu'il est activé, le complément Solveur s'affiche sous l'onglet Données de la barre d'outils Accès rapide.



**Complément**

**Solveur**

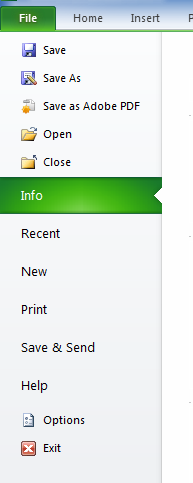
**Onglet**

**Données**

**Activer le Solveur dans Excel**

Les étapes suivantes montrent comment ajouter le complément Solveur à l'onglet Données de la barre d'outils Accès rapide dans Excel:

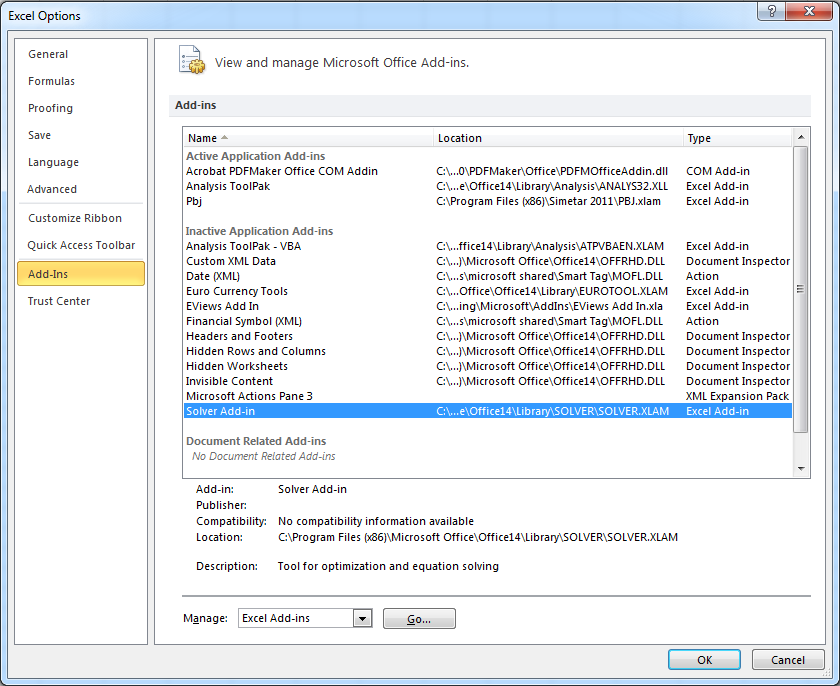
**Étape 1**



**Étape 2**

1) Sélectionnez l'onglet Fichier de la barre d'outils Accès rapide

2) Sélectionnez Options sur le menu déroulant



**Étape 5**

**Étape 3**

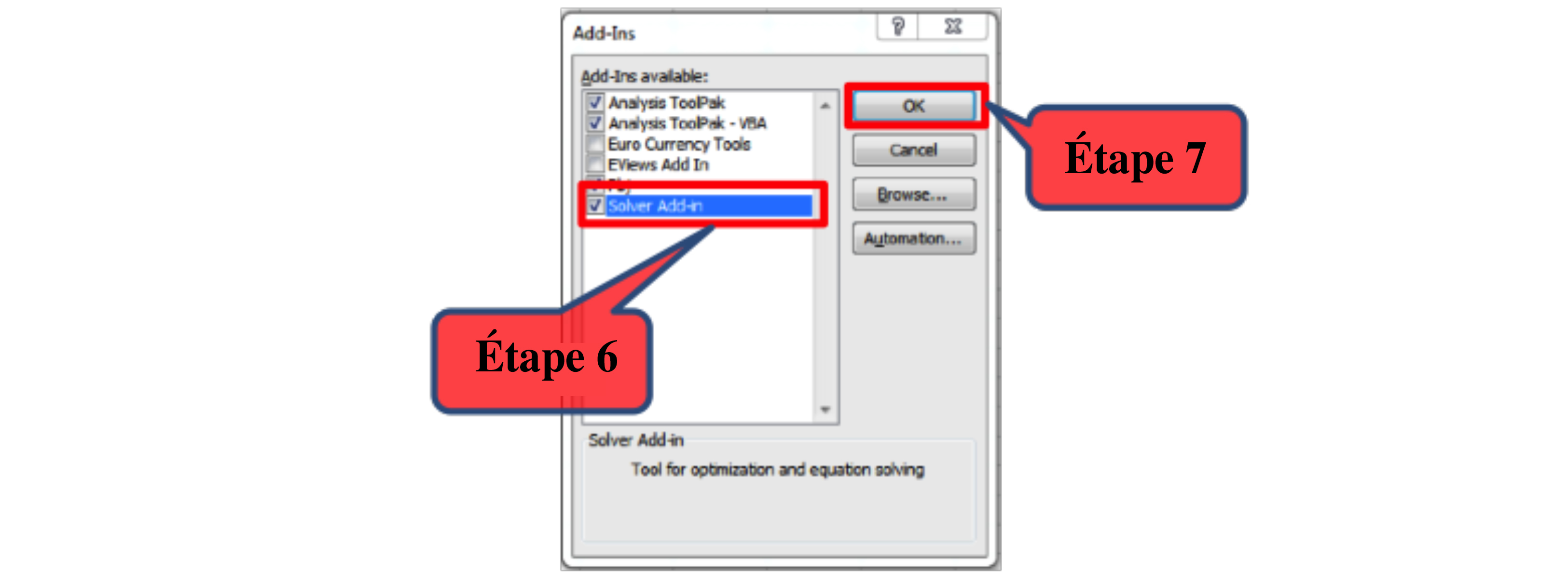
**Étape 4**

3) Sélectionnez Compléments sur le côté gauche de la fenêtre Options

4) Si la liste déroulante des compléments, sélectionnez l'option complément Solveur

5) Sélectionnez OK

Après avoir cliqué sur OK, la fenêtre des Options Compléments s'affiche



**Comment obtenir l'outil d'optimisation de l'engrais**

Les outils d'optimisation de l'engrais ont été développés pour différentes zones agroécologiques dans les pays respectifs et peuvent facilement être obtenus auprès des équipes nationales de recherche sur la fertilité du sol. La version Excel est alors chargée sur l'ordinateur et l'utilisateur est conseillé de suivre les étapes (pour activer le Solveur) décrites ci-dessus pour que l'outil d'optimisation de l'engrais (FOT) puisse fonctionner.

L'utilisateur doit d'abord activer les macros avant de charger le Solveur en suivant les instructions indiquées dans la feuille de travail d'aide qui se trouve dans le fichier FOT Excel.

**Comment utiliser l'outil d'optimisation de l'engrais**

**Entrées**

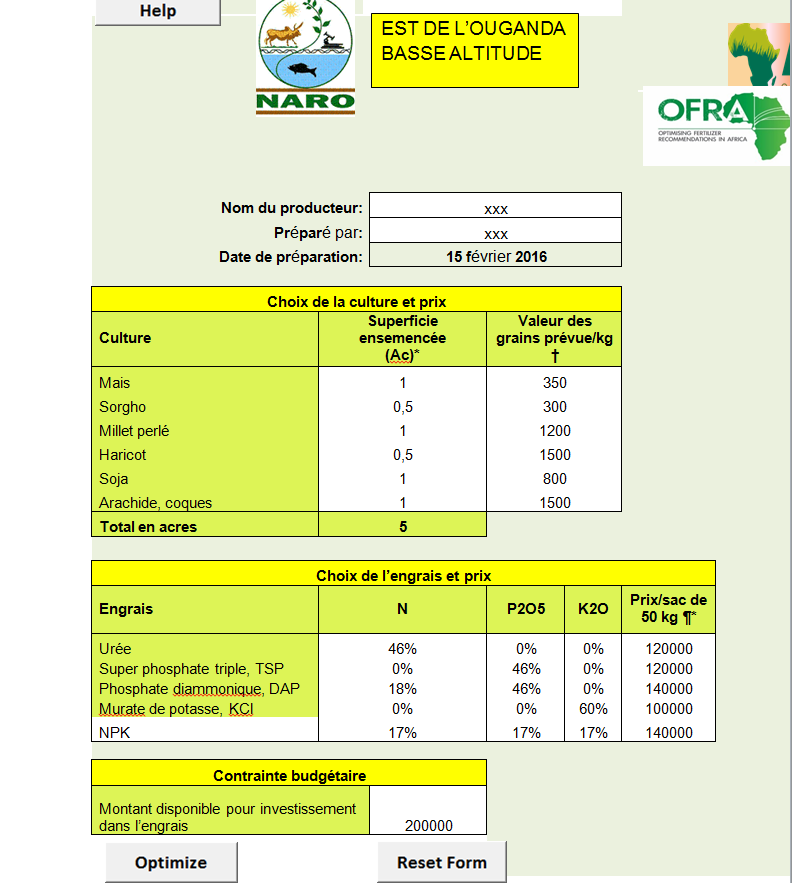
Dans le panneau Entrées (Figure 3), l'utilisateur entre la valeur estimée de la surface à ensemencer et le prix du marché prévu pour chaque culture, les prix des engrais disponibles et le montant d'argent que l'agriculteur veux investir dans l'engrais. Cliquez sur le bouton 'Optimiser' pour exécuter les calculs d'optimisation.

Le panneau Résultats (Figure 4) affiche la dose d'engrais recommandée pour chacune des cultures, l'augmentation de rendement escomptée, le rendement net pour chaque culture et le retour net total prévu sur l'investissement dans les engrais. La fluctuation saisonnière du taux de rentabilité de l'utilisation d'engrais exige un accès facile aux informations sur les prix des engrais et sur les prix du marché des céréales, afin de mieux déterminer la dose de nutriments économiquement optimale (EONR - Economically Optimum Nutrient Rate en anglais) pour la saison en cours.

Le FOT présente une excellente opportunité d'accroître l'utilisation d'engrais dans la production agricole, car il prend en compte à la fois les contraintes agronomiques et économiques. L'approche s'efforce d'optimiser la rentabilité de l'utilisation d'engrais en tenant compte de la contrainte financière de l'agriculteur, des coûts des engrais et des prix des produits agricoles à la récolte, et de son système de culture. Elle identifie les combinaisons culture-éléments fertilisants-et les doses susceptibles de maximiser les revenus sur investissements dans les engrais.

**Exemple : Résultats de l'outil d'optimisation de l'engrais pour les agriculteurs investissant 200.000 UGSH (shillings ougandais, soit 60 US$) et 350.000 UGSH (shillings ougandais, soit 100 US$) dans la zone agroécologique à basse altitude dans l'Est de l'Ouganda**

La section ci-après illustre les résultats du FOT pour les agriculteurs disposant respectivement de 200.000 UGSH et 350.000 UGSH à investir dans l’engrais.



**Cliquez sur le bouton Optimiser**

**Entrez le prix d'un sac de 50 kg plus le coût du transport et de l'application de chaque engrais qui vous intéresse.  
 Un autre engrais, par ex. le NPK 17-17-17 a été ajouté dans cet exemple**

**Entrez le montant que l'agriculteur peut investir dans l'utilisation d'engrais: 200.000**

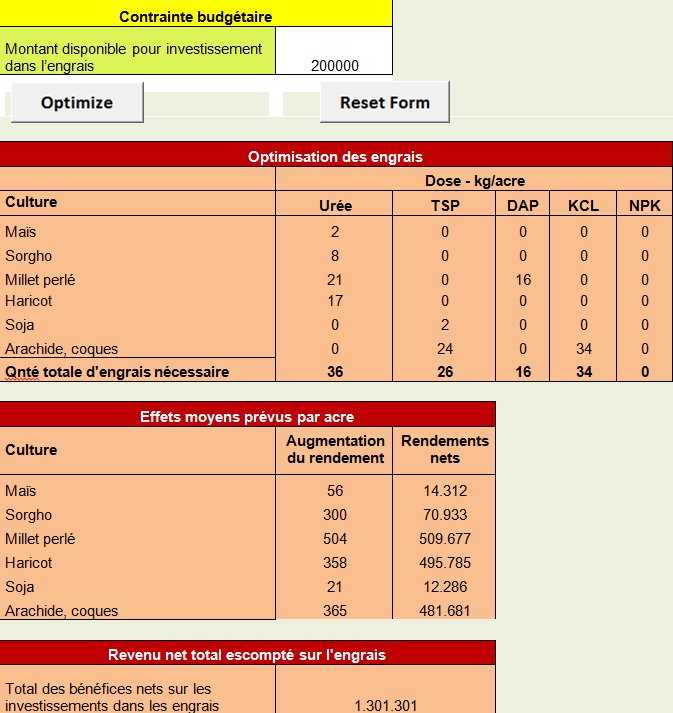
**Entrez la superficie à ensemencer pour chaque culture et la valeur de grains attendue dans le champ.**

**Figure 3:** Panneau FOT pour la saisie de données.

Après avoir suivi les étapes décrites ci-dessus, les Figure 4 et 5 montrent les résultats. Donc, pour l'agriculteur qui investit 200.000 UGSH dans l'achat d’engrais, le retour sur investissement total sera d'environ 1,2 millions UGSH (Figure 4). Si l'agriculteur investit 350.000 UGSH dans l’engrais, alors le retour sur investissement passe à 1,45 millions UGSH (Figure 5); le rapport bénéfice/coût diminue, mais l'investissement est encore rentable.

La dose à appliquer

(kg/acre) est donnée pour chaque culture et chaque engrais



**L’effet moyen estimatif de l’application d’engrais recommandée est donné: un rendement accru kg/acre) et le retour net sur l'utilisation de l'engrais (Sh/acre)**

**Le retour net total sur l' investissement dans les engrais est de 1.301.301 pour les 200.000 investis dans l'engrais, soit un rapport bénéfice/coût de 6.**

**Figure 4:** Le panneau FOT affichant le résultat pour un investissement de 200.000 UGSH dans l'engrais.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Contrainte budgétaire** | |  |  |  |  |
| Amount available to invest in fertilizer | 350000 |  |  |  |  |
| C:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\msohtmlclip1\01\clip_image001.png   |  | | --- | |  | | C:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\msohtmlclip1\01\clip_image002.png   |  | | --- | |  | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **Optimisation des engrais** | | | | | |
|  | **Dose - kg/acre** | | | | |
| **Culture** | **Urée** | **TSP** | **DAP** | **KCL** | **NPK** |
| Maïs | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sorgho | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Millet perlé | 31 | 0 | 22 | 0 | 0 |
| Haricot | 16 | 0 | 17 | 0 | 0 |
| Soja | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| Arachide, coques | 0 | 35 | 0 | 40 | 0 |
| **Qnté totale d'engrais nécessaire** | **57** | **50** | **31** | **40** | **0** |
|  |  |  |  |  |  |
| **Effets moyens prévus par acre** | | |  |  |  |
| **Culture** | **Augmentation de rendement** | **Rendements nets** |  |  |  |
| Maïs | 188 | 42,299 |  |  |  |
| Sorgho | 458 | 99,648 |  |  |  |
| Millet perlé | 593 | 574,051 |  |  |  |
| Haricot | 432 | 564,235  **Le total des revenus nets a augmenté passant de 1,3 millions à 1,53 million. Le rapport bénéfice/coût a baissé passant de 6 à 4, mais encore rentable** |  |  |  |
| Soja | 117 | 58,494 |  |  |  |
| Arachide, coques | 412 | 525,420 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| **Revenus net total escompt**é**s sur les engrais** | | |  |  |  |
| Total bénéfice nets sur les investissements dans les engrais | 1,532,191 | |  |  |  |

**Figure 5:** Le panneau FOT affichant le résultat pour un investissement de 350.000 UGSH dans l'engrais.

**Conseils et points à ne pas oublier lors de l'utilisation de l'outil**

1. Parfois les taux d'engrais suggérés par l'outil peuvent être très faibles, inférieurs à 25 kg par hectare ou 10 kg par acre, ce qui est une quantité trop petite pour être appliquée. Par exemple dans la Figure 4, il a suggéré 2 et 7 kg/ha d'urée pour le maïs et le sorgho, respectivement, 3 kg/ha de DAP pour le haricot, 2 kg/ha de TSP pour le soja, et 4 kg/ha de KCl pour l'arachide. Si cette situation se produit, il serait mieux de :

* Réaffecter cet argent à d'autres cultures-nutriments par exemple en augmentant: l'urée appliquée à l'éleusine et au haricot de 5 et 4 kg/ha, respectivement ; le DAP appliqué à l'éleusine de 3 kg/ha; et le TSP appliqué à l'arachide de 2 kg/ha. Les 4 kg/ha de KCl pour l'arachide ont une valeur de 8000 UGSH qui pourraient être utilisés pour augmenter davantage le DAP appliqué à l'éleusine de 3 kg/ha.

1. Éviter de mélanger deux formulations d’engrais ou plus ensemble pour faciliter l'application. L'engrais le plus dense aura tendance à se déposer au fond du récipient. Il vaut mieux appliquer chaque engrais séparément.
2. Les doses d'application d'engrais recommandées sont inévitablement basses avec un petit investissement. Toutefois, le retour sur investissement sera élevé. L'augmentation du retour net permettra à un agriculteur d'avoir un meilleur revenu qui lui permettra d'augmenter progressivement l'utilisation d'engrais pour ses prochaines cultures.

Étant donné que les facteurs socio-économiques limitent l'utilisation de l'engrais, l'outil d'optimisation de l'engrais offre un énorme potentiel d’appui à la prise de décision au niveau de l'exploitation quant à l'endroit où placer l'engrais dans les systèmes de culture mixtes et aux meilleures combinaisons culture-nutriments pour générer un maximum de retombées économiques.

# 6. RECOMMANDATIONS D'ENGRAIS DANS LE CONTEXTE DE LA GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS (GIFS)

Le résultat de l’outil d’optimisation de l’engrais (FOT) est la quantité optimale d'engrais qu'un agriculteur doit appliquer pour maximiser les profits en fonction des ressources disponibles, mais avec quelques exceptions. Les engrais ne sont pas la seule source de nutriments, par conséquent il est important que d'autres pratiques de l'agriculteur soient prises en considération lorsqu’on lui donne des conseils sur la quantité d'engrais qui devrait être appliquée. Nous devons prendre en considération:

* le moment, la quantité et la qualité de toute application de fumier récente
* Si la culture précédente était une légumineuse (effet rotation)
* la culture intercalaire de légumineuses et de céréales
* l'utilisation d'engrais verts

Les recommandations d'engrais obtenues à partir du FOT doivent être ajustées dans le cadre GIFS affiché au Tableau 8. Les valeurs de substitution dans le tableau ont été développées pour l'Ouganda. Toutefois, ce cadre peut être ajusté sur la base des informations disponibles (issues de la recherche ou des avis d'experts) afin de développer des résultats relatifs à la substitution de nutriments pour chaque composant de la GIFS valable pour d'autres pays et/ou zones agroécologiques. Les doses d'engrais doivent également être ajustées par rapport aux valeurs résultant de l’analyse du sol.

**Tableau 8 :** Cadre de substitution d'engrais/nutriments et implication de l’analyse du sol; un exemple de l'Ouganda.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Pratique de la GIFS** | **N** | **P2O5** | **K2O** |
| **Réduction des nutriments, en kg/ha ou %** | | |
| La culture précédente était une culture d'engrais vert | 100% | 100% | 100% |
| Matériel végétal frais (par exemple l'élagage du Lantana ou Tithonia) appliqué, par tonne de matériel frais | 5 kg | 2 kg | 3 kg |
| Fumier de ferme par tonne de matière sèche | 0 kg | 2 kg | 3 kg |
| Valeur résiduelle du fumier de ferme appliqué sur la culture précédente, par tonne | 0 kg | 1 kg | 1 kg |
| Fumier d'étable ou de volaille$ , par tonne de matière sèche | 5 kg | 3 kg | 8 kg |
| Valeur résiduelle du fumier d'étable et/ou de volaille appliqué sur la culture précédente, par tonne | 2 kg | 2 kg | 1 kg |
| Compost appliqué par tonne de matière sèche | 3 kg | 3 kg | 5 kg |
| Valeur résiduelle du compost appliqué sur la culture précédente, par tonne | 3 kg | 2 kg | 1 kg |
| Rotation | 0% de réduction, mais plus de rendement attendu | | |
| Culture intercalaire de céréales et de haricots | Augmenter le P2O5  de 8 kg / ha, mais pas de changement pour N & K par rapport à l'engrais pour céréales seules | | |
| Culture intercalaire de céréales et d'autres légumineuses (efficace dans la fixation de N) | Augmenter le P2O5  de 12 kg / ha, réduire N de 10 kg / ha, et maintenir le K par rapport à l'engrais pour céréales seules | | |
| Si Mehlich III P> 15 ppm | Ne pas appliquer de P | | |
| Si l'analyse du sol du K <100 ppm | Appliquer 50 kg/ha de KCl par bande | | |

# 7. OUTIL DE DOSAGE DE L'ENGRAIS

Les petits exploitants agricoles en Afrique subsaharienne n'ont pas accès à des balances pour peser l'engrais. En outre, il se pourrait qu'ils ne connaissent pas les dimensions exactes de leurs parcelles, afin de mettre en œuvre les recommandations en matière d'engrais. Pour surmonter ce problème, un outil de dosage de l'engrais (figure 6) a été mis au point[[1]](#footnote-1). L'outil convertit la dose d'engrais recommandée, qui est souvent exprimée en kg d'engrais par acre ou par hectare, en une mesure plus convenable pour le paysan. Par conséquent, les agents de services de vulgarisation devraient donner aux agriculteurs les informations nécessaires, afin qu'ils puissent calibrer leur vue et leur toucher pour appliquer l'engrais à la dose désirée, en utilisant des récipients faciles à trouver, par exemple des bouteilles d'eau en plastique, des capsules de bouteilles d'eau, d'autres capsules de bouteilles, des boîtes de conserve et des boîtes d'allumettes. On s'attend à ce que les agriculteurs utilisent leurs doigts plutôt que ces unités pour l’application, mais ils devraient être conseillés de vérifier périodiquement leur dosage avec l'unité de mesure calibrée.

Ce principe est illustré par l'exemple de l'Afrique de l'Ouest à l'aide de mesures de dosage couramment disponibles - la capsule d'une bouteille d'eau en plastique et une boite de conserve de pâte de tomate de marque Gino. Le volume d'une unité de mesure est déterminé en le remplissant avec de l'eau et en déterminant le poids de l'eau. Les engrais ont une densité différente et le poids d'un volume donné varie selon les engrais (tableau 9) : le volume de la mesure multiplié par la densité de l'engrais donne le poids de l'engrais dans ce conteneur. Dans le cas de bouteilles d'eau en plastique, ces dernières peuvent être coupées à différentes hauteurs pour créer une mesure appropriée.



**Figure 6** Outil de dosage de l'engrais.

**Tableau 9:** Poids (g) d'engrais dans des récipients de dosage qu'on trouve couramment en Afrique de l’ouest et centrale.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Couvercle de bouteille d'eau en plastique, volume 8 ml**  **(g)** | **Boite de conserve de pâte de tomate de marque Gino, volume 70 ml**  **(g)** |
| **DAP** | 13,0 | 113,0 |
| **KCl** | 15,8 | 139,0 |
| **NPK 15-15-15** | 10,5 | 92,0 |
| **SSP** | 9,0 | 78,4 |
| **TSP** | 17,8 | 155 |
| **Urée** | 10,6 | 92,4 |
| **Zn** **SO4** | 15,8 | 139,0 |

La distance approximative couverte par une quantité donnée de fertilisant est obtenue en se basant sur la méthode d'application, comme illustré ci-dessous.

**Localisation de l'engrais**

Points par mesure (PM)

PM = poids de la mesure en g (M) / [taux d'engrais en kg/ha (R) \* 10.000 m2  / 1000 g / (espacement entre les lignes en m (RS) \* espacement entre points en m (PS))]

PM = M / R \* 10 / (RS \* PS) = Points par récipient de dosage

Exemple :

1. Appliquer 50 kg / ha de DAP (R).

2. La densité des plants est de 53.300 plants/ ha : espacement 0,25 m x 0,75 m (PS x RS)

3. Le récipient de dosage contient 13 g (M)

Par conséquent, 13 / 50 \* 10 / (0,25 \* 0,75) = 13,9 points/récipient de dosage, qui peut être arrondi à 14 points par récipient de dosage.

**Epandage de l'engrais en bandes**

Mètres/mesure (MM)

MM = poids de la mesure en g (M) / [dose d'engrais en kg/ha (R) \* 10,000 m2 / (1,000 g / (espacement entre les rangs en m(RS))]

PM = M / R \* 10/RS = mètres/mesure

Exemple :

1. Appliquer 50 kg / ha de DAP (R)

2. L'espacement des lignes est de 0,5 m (RS)

3. Le récipient de dosage contient 13 g (M)

Par conséquent, 13 / 50 \* 10 / 0,50 = 5,2 mètres par récipient de dosage

**Application de l'engrais à la volée**

Mètres/mesure (MM)

MM = poids du récipient de dosage en g (M) / [dose d'engrais en kg/ha (R) \* 10.000 m2 / 1000 g / largeur du passage en m (PW)]

MM = M / R \* 10 / PW

Exemple :

1. Appliquer 50 kg/ha de DAP (R)

2. Largeur du passage de 2,25 m (PW)

3. Le récipient de dosage contient 113 g (M)

Par conséquent, 113 / 50 \* 10 / 2,25 = 10 mètres (2,25 m de largeur), par récipient de dosage.

**LECTURES SUPPLÉMENTAIRES**

De plus en amples informations sur les bonnes pratiques de gestion sont accessibles sur le site  [http://www.cabi.org/ashc/](Http://www.cabi.org/ashc/)

# Annexe: ÉLABORATION ET RÉVISION DES VERSIONS IMPRIMEES DES OUTILS D'OPTIMISATION DES ENGRAIS (FOT)

Le FOT s'exécute actuellement sur ordinateur portable, mais très souvent les vulgarisateurs et les paysans n'ont pas accès aux ordinateurs. Pour élargir les avantages du FOT à ces individus, une version simple de l'outil sur papier peut être élaborée, au niveau national ou régional par exemple, où les ordinateurs sont disponibles.

Différents outils FOT imprimés doivent être produits pour chaque zone agroécologique pour laquelle un FOT a été élaboré. De nouveaux FOT imprimés doivent être élaborés chaque saison afin de refléter l'évolution des prix des engrais et des produits agricoles.

**Pour élaborer un FOT imprimé**

1. Utilisez la version Excel du FOT.
   1. Assurez-vous que les valeurs des cultures (considérant le prix et la valeur sortie exploitation prévus si la récolte est réservée à la consommation familiale) et les coûts d'utilisation de l'engrais (prix et coûts d’achat et d'application) saisis dans le FOT sont corrects.
   2. Entrez 1 acre ou 1 ha pour chaque culture.
   3. Lancez le FOT en utilisant une contrainte financière très élevée (équivalente à environ 20.000 US$ dans l'exemple ci-dessous) pour s'assurer que les recommandations sont à des niveaux permettant de maximiser le rendement net par acre ou hectare.
   4. Optimisez
   5. Obtenez la somme du montant total (c51-g51) x son coût pour chaque type d'engrais (f26-f30). Cette somme est le montant exact nécessaire pour maximiser le rendement net par acre ou ha.
   6. Consultez les images du FOT de la province centrale du Kenya.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Province centrale du Kenya** | |  |  |  |
| **Nom du producteur:** |  | |  |  |  |  |
| **Préparé par:** |  | |  |  |  |  |
| **Date de préparation:** | **25 février 2016** | |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Choix de la culture et prix** | | |  |  |  |  |
| **Culture** | **Superficie ensemencée  (Ac)\*** | **Valeur des grains prévue/kg †** |  |  |  |  |
| Maïs HP >4t | 1 | 25 |  |  |  |  |
| Maïs LP <4t | 0.5 | 25 |  |  |  |  |
| Haricot | 0.25 | 60 |  |  |  |  |
| Maïs-Haricot | 0.25 | 0 | Entrez les valeurs des grains pour le maïs et le haricot en monoculture. | | | |
| Riz | 1.5 | 50 |  |  |  |  |
| Blé HP >3t | 0.5 | 30 |  |  |  |  |
| Blé LP <3t | 1 | 30 |  |  |  |  |
| **Total** | **5** |  |  |  |  |  |
| **Choix de l’engrais et prix** | | | | |  |  |
| **Engrais** | **N** | **P2O5** | **K2O** | **Prix/sac de 50 kg ¶\*** |  |  |
| Urée | 46% | 0% | 0% | 2850 |  |  |
| Super phosphate triple, TSP | 0% | 46% | 0% | 4000 |  |  |
| Phosphate,diammonique DAP | 18% | 46% | 0% | 3600 |  |  |
| Murate de potasse, KCL | 0% | 0% | 60% | 3600 |  |  |
| CAN | 26% | % | % | 0 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Contrainte budgétaire** | |  |  |  |  |  |
| Montant disponible pour investissement dans l’ engrais | 40000 |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Optimisation de l’engrais** | | | | | |
|  | **Dose - kg/acre** | | | | |
| **Culture** | **Urée** | **TSP** | **DAP** | **KCL** | **CAN** |
| Maïs HP >4t | 27 | 0 | 81 | 0 | 0 |
| Maïs LP <4t | 32 | 0 | 47 | 0 | 0 |
| Haricot | 0 | 0 | 26 | 0 | 0 |
| Maïs-Haricot | 42 | 0 | 38 | 6 | 0 |
| Riz | 61 | 0 | 48 | 27 | 0 |
| Blé HP >3t | 23 | 0 | 53 | 16 | 0 |
| Blé LP <3t | 46 | 0 | 39 | 17 | 0 |
| Qnté totale d'engrais nécessaire | 231 | 0 | 333 | 67 | 0 |
| **Effets moyens prévus par acre** | | |  |  |  |
| **Culture** | **Augmentation de rendement** | **Rendements nets** |  |  |  |
| Maïs HP >4t | 1,006 | 17,760 |  |  |  |
| Maïs LP <4t | 665 | 11,366 |  |  |  |
| Haricot | 110 | 4,742 |  |  |  |
| Maïs-Haricot | 1,017 | 19,828 |  |  |  |
| Riz | 1,532 | 67,676 |  |  |  |
| Blé HP >3t | 703 | 14,773 |  |  |  |
| Blé LP <3t | 626 | 12,189 |  |  |  |
| **Revenu net total escompté sur l'engrais** | | |  |  |  |
| Total des bénéfices nets sur les investissements dans les engrais | 150,675 | |  |  |  |

1. Les calculs du coût total de l'engrais pour maximiser le rendement net par acre sont indiqués ci-dessous, suivis par les montants en shillings qui constituent la contrainte financière pour les niveaux de contrainte financière 1, 2 et 3 (1/3, 2/3, 3/3 du total des coûts): exemple coût total pour l’urée : (2850KSh/50kg)\*231kg = 13 170 KSh

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Urée | TSP | DAP | KCL |
| La quantité d'engrais nécessaire pour maximiser le rendement net par acre (kg) | 231 | 0 | 333 | 67 |
| Coût par 50 kg d'engrais (KSh) | 2.850 | 4.000 | 3.600 | 3.600 |
| Coût total pour chaque type d'engrais (KSh) | 13.170 | 0 | 23.975 | 4.790 |
| Coût total de l'engrais (KSh) |  |  |  | 41.935 |
| Montant pour le niveau financier 1 (KSh) |  |  |  | 13.979 |
| Montant pour le niveau financier 2 (KSh) |  |  |  | 27.957 |
| Montant pour le niveau financier 3 (KSh) |  |  |  | 41.936 |

1. Lancer le FOT pour chacune de ces contraintes financières afin de déterminer les quantités d'engrais à utiliser pour chaque niveau de contrainte financière.

**Contrainte financière de Niveau 1: environ 14.000 shillings (140 USD) pour 7 acres**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Contrainte budgétaire** | | | |  |  |  | |  |
| Montant disponible pour investissement dans l’engrais | | 13979 | |  |  |  | |  |
|  | | | |  |  |  | |  |
|  | |  | |  |  |  | |  |
| C:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\msohtmlclip1\01\clip_image001.png   |  | | --- | |  | | | C:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\msohtmlclip1\01\clip_image002.png   |  | | --- | |  | | |  |  |  | |  |
|  | |  | |  |  |  | |  |
|  | |  | |  |  |  | |  |
|  | |  | |  |  |  | |  |
| **Optimisation de l’engrais** | | | | | | | | |
|  | **Dose - kg/acre** | | | | | | | |
| **Culture** | **Urée** | | **TSP** | **DAP** | **KCL** | | **CAN** | |
| Maïs HP >4t | 25 | | 0 | 6 | 0 | | 0 | |
| Maïs LP <4t | 20 | | 0 | 4 | 0 | | 0 | |
| Haricot | 2 | | 0 | 7 | 0 | | 0 | |
| Maïs -Haricot | 23 | | 0 | 16 | 0 | | 0 | |
| Riz | 48 | | 0 | 22 | 17 | | 0 | |
| Blé HP >3t | 22 | | 0 | 9 | 1 | | 0 | |
| Blé LP <3t | 24 | | 0 | 0 | 1 | | 0 | |
| Qnté totale d'engrais nécessaire | 164 | | 0 | 64 | 18 | | 0 | |

**Contrainte financière de Niveau 2: environ 28.000 shillings (275 USD) pour 7 acres**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Contrainte budgétaire** | | | |  | |  | |  |
| Montant disponible pour investissement dans l’engrais | | 27.957 | |  | |  | |  |
| C:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\OICE_D4D527AE-29EB-4D5C-854E-EFB51FC187FD.0\msohtmlclip1\01\clip_image002.pngC:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\OICE_D4D527AE-29EB-4D5C-854E-EFB51FC187FD.0\msohtmlclip1\01\clip_image001.png | | | |  | |  | |  |
| |  | | --- | |  | | | |  | | --- | |  | | |  | |  | |  |
|  | |  | |  | |  | |  |
| **Optimisation de l'engrais** | | | | | | | | |
|  | **Dose - kg / acre** | | | | | | | |
| **Culture** | **Urée** | | **TSP** | **DAP** | **KCL** | | **CAN** | |
| Maïs HP> 4 t | 23 | | 0 | 48 | 0 | | 0 | |
| Maïs LP < 4 t | 25 | | 0 | 23 | 0 | | 0 | |
| Haricot | 1 | | 0 | 16 | 0 | | 0 | |
| Maïs-haricot | 31 | | 0 | 26 | 1 | | 0 | |
| Riz | 60 | | 0 | 31 | 22 | | 0 | |
| Blé HP > 3 t | 30 | | 0 | 28 | 8 | | 0 | |
| Blé LP < 3 t | 35 | | 0 | 15 | 8 | | 0 | |

**Contrainte financière de Niveau 3: environ 42.000 shillings (410 USD) pour 7 acres**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Contrainte budgétaire** | | | |  | | |  | | |  |  |
| Montant disponible pour investissement dans l’engrais | | 41936 | |  | | |  | | |  |  |
|  | |  | |  | | |  | | |  |  |
| C:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\msohtmlclip1\01\clip_image001.png   |  | | --- | |  | | | C:\Users\bayum\AppData\Local\Temp\msohtmlclip1\01\clip_image002.png   |  | | --- | |  | | |  | | |  | | |  |  |
|  | |  | |  | | |  | | |  |  |
| **Optimisation de l’engrais** | | | | | | | | |
|  | **Dose - kg/acre** | | | | | | | |
| **Culture** | **Urée** | | **TSP** | | **DAP** | **KCL** | | **CAN** |
| Maïs HP >4t | 27 | | 0 | | 81 | 0 | | 0 |
| Maïs LP <4t | 32 | | 0 | | 47 | 0 | | 0 |
| Haricot | 0 | | 0 | | 26 | 0 | | 0 |
| Maïs-Haricot | 42 | | 0 | | 38 | 6 | | 0 |
| Riz | 61 | | 0 | | 48 | 27 | | 0 |
| Blé HP >3t | 23 | | 0 | | 53 | 16 | | 0 |
| Blé LP <3t | 46 | | 0 | | 39 | 17 | | 0 |
| Qnté totale d'engrais nécessaire | 231 | | 0 | | 333 | 67 | | 0 |

1. Servez-vous de ces 3 niveaux de fertilisation pour construire une version imprimée du FOT, tel qu'illustré dans les exemples ci-dessous.
2. Déterminez vos unités de mesure de dosage et leur volume. Dans l'exemple ci-dessous, les unités de mesure sont du Ghana : la plus petite mesure, telle qu'une capsule de bouteille d'eau, devrait mesurer moins de 10 ml – dans cet exemple, elle mesure 8 ml ; la seconde devrait se situer entre 40 et 80 ml – dans cet exemple le volume de la boite de conserve de pâte de tomate Gino est de 70 ml. Ces deux mesures devraient être faciles à trouver dans les zones rurales. Ces unités doivent aider l'agriculteur à doser la dose d'application visuellement et tactilement, mais, au-delà de cette vérification initiale et occasionnelle du dosage, l'application effective va probablement se faire à la main et sans l'utilisation de l’unité de mesure. Effectuez les changements nécessaires comme indiqué ci-dessous.
3. Après avoir confirmé que les hypothèses sont correctement écrites, procédez comme suit. Vous voudrez peut-être changer ce que j'ai écrit pour les pratiques 4R. Le dosage devra être refait avec vos unités de mesure et à l'aide de l'outil de dosage de l'engrais OFRA.
4. Si la dose d'application proposée par le FOT est inférieure à 10 kg / ac (25 kg / ha), ignorez cette recommandation.
5. Pour d'autres zones agroécologiques, commencez avec un formulaire FOT dûment rempli et renommé et revoyez les changements des cultures et des doses d'engrais, tels que déterminés avec ce FOT des zones agroécologiques et les dosages (entre parenthèses).
6. Si vous souhaitez remplacer ou utiliser partiellement le nitrate de calcium et d’ammonium (CAN) à la place de l'urée, veuillez effectuer les calculs nécessaires séparément si leur coût de N est similaire ou, en dessous de celui donné par l’exécution de la fonction «coût total» du FOT, réduisez suffisamment les UreaMax de l'urée pour forcer un peu d’engrais azoté dans le CAN. Consulter quelqu'un qui sait comment désactiver la protection et modifier l'UreaMax en révisant les cellules T18 à T23 du FOT.
7. Veuillez contacter [cwortmann2@unl.edu](mailto:cwortmann2@unl.edu) si vous avez des questions.

**Optimiseur de l'utilisation de l'engrais dans la province centrale du Kenya: version imprimée, novembre 2015 (illustration)**

**On suppose que :**

La mesure de dosage se fait avec une

* capsule de bouteille d'eau (capsule, 8 ml) qui peut contenir 10,6 g d'urée, 13,0 g de DAP, 17,8 g de TSP ou 15,8 g de KCL ; ou une
* boite de conserve de pâte de tomate de marque Gino (Gino, 70 ml) qui peut contenir 92,4 g d'urée, 113 g de DAP, 155 g de TSP ou 139 g de KCl.

On suppose que le maïs et le haricot sont semés avec des espacements de 75 cm et 50 cm respectivement entre les rangs.

On suppose que les prix des grains par kg (KSh) sont de : 25 pour le maïs ; 60 pour le haricot ; 50 pour le riz ; 30 pour le blé.

On suppose que l'utilisation de 50 kg d'engrais coûte (KSh) : 2.850 pour l'urée ; 4.000 pour le TSP; 3.600 pour le DAP et le KCL.

Les recommandations d'engrais sont toutes exprimées en kg / acre

WAP = semaines après le semis HP = haute production LP = faible production

**Capacité financière de niveau 1**

**Riz** , appliquez à la volée 21 kg de DAP et 17 kg de KCl au semis (1,2 de capsule pour 1,0 m et 1,9 m respectivement, sur une largeur de 2 m); effectuer un épandage à la volée de 47 kg d'urée au début de l'initiation paniculaire (1 Gino pour une bande de 4,2 m à 2 m de largeur).

**Culture intercalaire de maïs-haricot**, appliquez 15 kg de DAP en bandes au semis (1 capsule pour 5.0 m) et effectuez un épandage en bandes de 22 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 2,5 m).

**Maïs HP** > 4 t, effectuez un épandage en bandes de 26 kg 6 WAP d'urée (1 capsule pour 2,0 m).

**Blé (HP et LP)**, effectuer un épandage à la volée de 22 kg d'urée au début de l'initiation paniculaire (1 capsule pour 1 m à 2 m de largeur).

**LP du maïs**<4t, effectuer un épandage en bandes de 19 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 3,0 m).

**Capacité financière de niveau 2**

**Riz**, appliquez à la volée au semis 33 kg de DAP (1 capsule pour 1,0 m à 2 m de largeur) et 27 kg de KCL (1 capsule pour 1,0 m à 2 m de largeur) effectuez ensuite un épandage à la volée de 28 kg d'urée lors du tallage et de 28 kg d'urée lors de l'initiation paniculaire (1 Gino pour 6.5 m à 2 m de largeur).

**Culture intercalaire de maïs-haricot**, appliquez 25 kg de DAP en bandes au semis (1 capsule pour 2,0 m) et effectuer un épandage de 33 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 2,5 m) en bandes.

**Maïs HP** > 4 t, appliquez 28 kg de DAP en bandes au semis (1 capsule pour 2,5 m) et effectuer un épandage de 33 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 1,5 m).

**Blé HP** > 3 t, appliquez à la volée 25 kg de DAP au semis (1 capsule pour 1 m à 2 m de largeur) et effectuez un épandage à la volée de 31 kg d'urée au début de l'initiation paniculaire (1 Gino pour 6 m à 2 m de largeur).

**Blé LP** <3t, appliquez à la volée 19 kg de DAP (1 capsule pour 1,5 m à 2 m de largeur) et effectuer un épandage à la volée de 30 kg d'urée au début de l'initiation paniculaire (1 Gino pour 6 m à 2 m de largeur).

**Maïs LP**<4t, appliquez en bandes 21 kg de DAP au semis (1 capsule pour 3,0 m) et effectuez un épandage de 27 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 2,5 m)

**Haricots**, appliquez en bandes 13 kg de DAP au semis (1 capsule pour 5,5 m).

**Capacité financière de niveau 3**

**Riz**, appliquez à la voler lors du semis 48 kg de DAP (1 Gino pour 5,0 m à 2 m de largeur) et 27 kg de KCL (1 capsule de 2,5 m à 2 m de largeur) et effectuez un épandage en bandes de 61 kg d'urée 6WAP (1 Gino pour 3,1 m à 2 m de largeur).

**Culture intercalaire de maïs-haricot**, appliquez en bandes 38 kg de DAP au semis (1 capsule pour 2,0 m) et effectuer un épandage en bandes de 42 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 1,5 m).

**Maïs HP** > 4 t, appliquez en bandes 81 kg de DAP au semis (1 capsule pour 1,0 m) et effectuez un épandage de 27 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 1,0 m).

**Maïs LP**<4t, appliquez en bandes 47 kg de DAP au semis (1 capsule pour 1,5 m) et effectuez un épandage en bandes de 32 kg d'urée 6 WAP (1 capsule pour 2,0 m)

**Blé HP** > 3 t, appliquez 53 kg de DAP au semis (1 Gino pour 4,5 m à 2 m de large) et 16 kg de KCL (1 capsule pour 2,0 m à 2 m de largeur), et effectuez un épandage à la volée de 21 kg d'urée au début de l'initiation paniculaire (1 Gino pour 9,0 m à 2 m de large).

**Blé LP** <3t, appliquez à la volée 39 kg de DAP au semis (1 Gino pour 6,0 m à 2 m de large) et 16 kg de KCL (1 capsule pour 2,0 m à 2 m de largeur) et effectuez un épandage à la volée de 23 kg d'urée lors du tallage et 23 kg d'urée au début de l'initiation paniculaire (1 Gino pour 8,0 m à 2 m de largeur).

**Haricot** appliquez 26 kg de DAP lors du semis (1 capsule pour 12,5 m)

1. Disponible sur le site http://africasoilhealth.cabi.org/tools/fertilizer-tools/the-fertilizer-calibration-tool/ [↑](#footnote-ref-1)