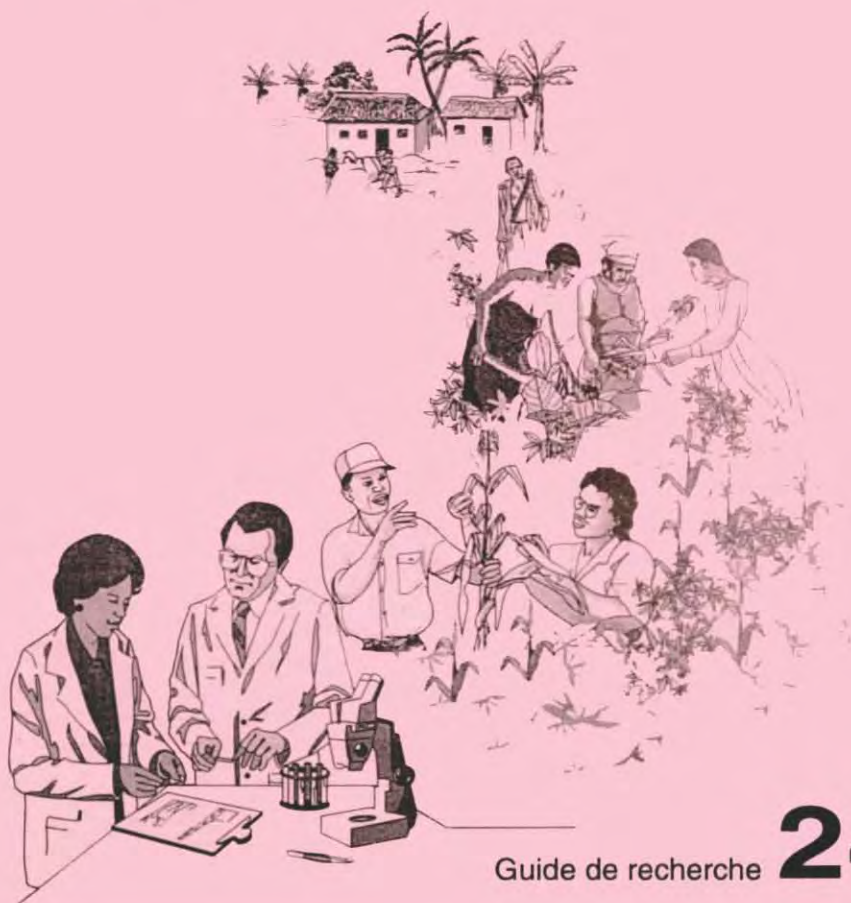




Les engrais : définitions et calculs

Biau T. Kang



Guide de recherche de l'IITA n° 24

Les engrais : définitions et calculs

Biauw T. Kang

Janvier 1997

Institut international d'agriculture tropicale (IITA)

Programme de formation

PMB 5320

Ibadan

Nigéria

Télécopie : (234-2) 241 2221

Téléphone : (234-2) 241 2626

Télex : 31417 ou 31159 TROPIC NG

Email : Internet IITA@CGNET.COM

Guides de recherche de l'IITA

Les guides de recherche de l'IITA ont pour objectif d'informer et d'orienter les chercheurs, techniciens, vulgarisateurs, éducateurs et étudiants engagés dans des activités de recherche et de formation ayant trait à l'agriculture. Ils sont périodiquement mis à jour afin de refléter l'évolution des connaissances scientifiques.

L'IITA autorise la reproduction de ce guide de recherche à des fins non lucratives. Pour toute reproduction de nature commerciale, contacter le Service des publications de l'IITA.

Dessins
Mise en page
Traduction de l'anglais
Révision
Coordination

Chiweta Onianwa
Nancy Ibikunle
Clare Lord
Hervé Songré
Rainer Zachmann

Kang, Biauw T. 1997. Les engrais : définitions et calculs. Guide de recherche de l'IITA n° 24. Programme de formation, Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, Nigéria. 28 p.

Les engrais : définition et calculs

Objectif. Ce guide a pour objectif de vous permettre :

- de discuter de la fertilité du sol et la disponibilité des éléments nutritifs;
- de définir les types et les qualités d'engrais;
- de calculer les doses d'application d'engrais;
- de mélanger convenablement les engrais.

Matériel nécessaire

- Echantillons d'engrais.
- Exemples de recommandations d'application d'engrais.

Travaux pratiques

- Identifier les engrais couramment utilisés.
- Calculer la conversion d'oxyde en base élémentaire, et vice versa.
- Calculer les doses d'application pour différents niveaux de recommandations et différents types d'engrais.
- Utiliser les tableaux 4, 5 et 6.
- Mélanger les engrais.

Questions

- 1 Pouvez-vous citer neuf noms de macroéléments ?
- 2 Quels sont les macroéléments fournis par l'air et l'eau ?
- 3 Pouvez-vous citer les noms de sept oligo-éléments ?
- 4 En plus des 16 éléments essentiels, quels autres éléments peuvent améliorer le rendement et la qualité des cultures ?
- 5 Pourquoi ne peut-on pas utiliser uniquement la solubilité dans l'eau comme mesure de la disponibilité des éléments nutritifs ?
- 6 De quelles méthodes dispose-t-on pour évaluer la quantité de phosphate assimilable dans les engrais ?
- 7 Quelle est la définition d'un "engrais" ?
- 8 Quelle est la définition d'un "dosage" d'engrais ?
- 9 Que représente "10-15-18" ?
- 10 Comment sont exprimés les dosages d'azote, de phosphore et de potassium dans la plupart de pays ?
- 11 Quel est l'effet chimique résiduel de la plupart des engrais azotés ?
- 12 Comment sont formulées les recommandations d'application d'engrais ?
- 13 Quels sont les cinq étapes pour calculer la quantité d'engrais nécessaire dans le cas d'un engrais simple ?
- 14 Comment faut-il choisir un engrais ?
- 15 Quelles données sont nécessaires pour calculer la dose d'application d'un engrais ?
- 16 Quels sont les facteurs à prendre en compte quand on veut mélanger des engrais ?

Les engrais : définitions et calculs

- 1 La fertilité du sol et la disponibilité des éléments nutritifs
- 2 Définitions et terminologie
- 3 Calculs d'engrais
- 4 Comment mélanger les engrais
- 5 Bibliographie
- 6 Conseils aux formateurs

Résumé. Les engrais fournissent les éléments nutritifs nécessaires aux végétaux pour leur développement. D'une manière général, les végétaux absorbent les éléments nutritifs dissous dans l'eau. Toutefois, on ne peut pas se servir uniquement de la solubilité dans l'eau pour mesurer la quantité d'éléments nutritifs disponibles aux végétaux. Il existe plusieurs définitions et termes d'importance pour décrire les engrais. Le "dosage" d'un engrais, par exemple, décrit sa teneur en N-P₂O₅-K₂O en pourcentage du poids. La quantité exacte d'engrais nécessaire doit être calculée selon le type d'engrais et la superficie à traiter. Mélanger les engrais rend le travail d'épandage plus facile; toutefois, ce ne sont pas tous les engrais qui peuvent être mélangés.

1 La fertilité du sol et la disponibilité des éléments nutritifs

La fertilité d'un sol dépend de son état par rapport à sa capacité de fournir les éléments nutritifs essentiels aux développements des végétaux. Un sol fertile satisfait les besoins des plantes en leur fournissant des éléments nutritifs en quantité suffisante et équilibrée et en leur évitant des concentrations toxiques.

Les engrais, qu'ils soient organiques ou inorganiques, naturels ou synthétiques, fournissent des éléments nutritifs aux plantes. La liste des éléments nutritifs considérés comme essentiels à la nutrition végétale s'est allongée au fil des années et comprend actuellement un total de 16 éléments (voir tableau 1).

Tableau 1. Eléments nutritifs essentiels.

Macro-éléments	Disponibles dans l'air et l'eau	Carbone Hydrogène Oxygène
	Eléments primaires	Azote Phosphore Potassium
	Eléments secondaires	Calcium Magnésium Soufre
Oligo-éléments ou éléments mineurs		Bore Chlore Cuivre Fer Manganèse Molybdène Zinc

Les neuf premiers éléments sont nécessaires en quantités assez importantes et s'appellent les macroéléments. Trois de ces macroéléments, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, sont fournis par l'air et par l'eau. Les autres se subdivisent en éléments primaires (azote, phosphore, potassium) et éléments secondaires (calcium, magnésium, soufre). Les sept éléments restants sont requis en petites quantités et s'appellent les oligo-éléments.

En plus des 16 éléments énumérés plus haut, certains autres aident à améliorer le rendement et la qualité des cultures. Il s'agit, par exemple, du sodium, du silicium, du cobalt et du sélénium.

La plupart des engrais commercialisés contiennent au moins un des éléments primaires dans une forme qui permet aux végétaux de l'assimiler en quantités précises. En général, les plantes absorbent les éléments nutritifs dissous dans l'eau. Aussi, la solubilité dans l'eau constitue une mesure de la disponibilité des éléments nutritifs aux plantes.

Malheureusement, la situation est trop complexe pour que la solubilité dans l'eau à elle seule suffise pour mesurer la disponibilité. Tous les éléments, même les plus "insolubles", se dissolvent, à un certain degré, dans l'eau.

Beaucoup d'éléments nutritifs partiellement solubles peuvent être assimilés par les végétaux et, dans certains cas, ils sont même plus efficaces que ceux qui se dissolvent facilement dans l'eau (par ex. les engrais-retard). Certaines substances, toutefois, sont si insolubles qu'elles ne peuvent pas servir comme engrais. Aussi, la plupart de pays précisent le degré de solubilité des éléments nutritifs dans l'eau ou dans d'autres réactifs.

Les engrais organiques naturels, par exemple, peuvent s'avérer acceptables à cause de leur teneur totale en N,

en P_2O_5 ou en K_2O . S'ils sont partiellement solubles, les engrais organiques synthétiques peuvent nécessiter des méthodes particulières d'analyse, surtout si on veut les utiliser comme des engrais-retard. De même, des tests spéciaux peuvent s'avérer nécessaires pour les engrais-retard enrobés.

Vu que la plupart des engrais communs azotés et potassés sont facilement solubles dans l'eau, la solubilité dans l'eau est généralement admise comme mesure de la disponibilité des éléments nutritifs. On applique des méthodes spéciales avec des éléments moins solubles seulement lorsque la solubilité plus faible (ou contrôlée) peut s'avérer avantageuse.

Les engrais phosphatés ont une large gamme de solubilité dans l'eau. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer leur disponibilité dont les plus répandues, hormis la solubilité dans l'eau, se basent sur la solubilité du P_2O_5 dans des solutions neutres ou alcalins de citrate d'ammonium, ou des solutions d'acides citrique ou formique. En plus, la teneur totale en P_2O_5 peut être acceptable dans le cas de certains engrais. Voici des exemples de contrôle de la qualité des engrais phosphatés :

- *République fédérale d'Allemagne.* Le phosphate est exprimé comme la somme de P_2O_5 soluble dans l'eau et dans le citrate d'ammonium (alcalin). Pour les superphosphates, au moins 90 % de cette somme doit être soluble dans l'eau. Pour les engrais composés, au moins 30 % doit être soluble dans l'eau.
- *Belgique.* Pour le superphosphate triple, seule la quantité de P_2O_5 soluble dans l'eau peut être garantie. Le produit doit comporter au moins 38 % de P_2O_5 soluble dans l'eau.

Le phosphate naturel doit comporter au moins 25 % de P_2O_5 soluble dans des acides minéraux, dont au moins 50 % doit être soluble dans l'acide formique. Il doit être broyé pour qu'au moins 90 % passe par un tamis aux mailles mesurant 0,15 mm.

Pour les engrais composés, la teneur en P_2O_5 peut s'exprimer en P_2O_5 soluble dans l'eau, dans le citrate d'ammonium, ou les deux. Si l'engrais composé contient des scories Thomas comme unique source de phosphate, la teneur en P_2O_5 est exprimée en P_2O_5 soluble dans de l'acide citrique.

- *Etats-Unis*. La teneur garantie en P_2O_5 de tout engrais est basée sur la teneur en "acide phosphorique assimilable" (APA) qui est la teneur en P_2O_5 soluble dans du citrate d'ammonium neutre, y compris le P_2O_5 soluble dans l'eau. L'APA ne précise pas la teneur en P_2O_5 soluble dans l'eau. La teneur totale en P_2O_5 peut être notée, mais ne figure pas dans la teneur garantie d'APA.
- *Communauté européenne (CE)*. Des règlements adoptés en 1977 recommandent les solvants admissibles suivants comme base de l'évaluation des engrais phosphatés :
 - de l'eau, le cas échéant;
 - de l'acide formique (2 %) pour les phosphates *doux* naturels;
 - de l'acide citrique (2 %) pour les scories;
 - une solution de citrate d'ammonium neutre pour tous les engrais.

Vu la gamme très large de substances naturelles et synthétiques qui sont bénéfiques aux végétaux, un nombre illimité de tels produits pourraient s'appeler des "engrais" et être ainsi commercialisés. Il est, par conséquent, important de réglementer le marché des engrais afin que les paysans puissent être sûrs que chaque lot d'engrais présente la même efficacité.

2 Définitions et terminologie

Engrais. Un engrais est un produit fabriqué qui contient une quantité importante d'un ou plusieurs macro-éléments primaires ou secondaires ou oligo-éléments.

Dans certains pays, les termes "engrais chimiques", "engrais minéraux" et "engrais inorganiques" sont utilisés pour faire la différence entre les produits fabriqués et les produits naturels organiques d'origine végétale ou animale qui s'appellent les "engrais organiques".

Dosage. Le dosage d'un engrais est sa teneur en éléments nutritifs en pourcentage de poids de N, de P_2O_5 et de K_2O , dans l'ordre N-P-K. Le dosage n'est que la quantité d'un élément nutritif identifiée selon des procédures analytiques prescrites, sauf tout élément nutritif non assimilable par les végétaux. A titre d'exemple, un dosage de "10-15-18" indique un engrais qui contient 10 % de N, 15 % de P_2O_5 et 18 % de K_2O .

Dans la plupart de pays, le dosage est exprimé comme suit : l'azote en azote élémentaire (N), le phosphore en pentoxyde de phosphore (P_2O_5) et le potassium en oxyde de potassium (K_2O).

Les éléments secondaires et les oligo-éléments s'expriment aussi sur une base élémentaire, bien que le calcium et le magnésium soient parfois exprimés sous forme d'oxydes. Plusieurs pays ont adopté le système de base élémentaire pour tous les éléments nutritifs des végétaux.

Récemment la FAO a également adopté la forme élémentaire mais maintiendra les deux formes pour le phosphore (P et P_2O_5) et le potassium (K et K_2O) pendant une période de transition.

Le dosage peut également être appelé "analyse" ou "formule".

Le tableau 2 présente les coefficients nécessaires pour convertir les oxydes en base élémentaire. Par exemple, le dosage 10-15-18 devient 10-6.5-14.9.

Engrais simple. Un engrais qui ne contient qu'un seul élément nutritif, tel que l'urée ou le superphosphate.

Engrais composé ou complexe. Un engrais qui contient deux ou davantage d'éléments nutritifs.

Tableau 2. Coefficients de conversion pour les éléments nutritifs des végétaux.

P ₂ O ₅	x	0.44	=	P
P	x	2.29	=	P ₂ O ₅
K ₂ O	x	0.83	=	K
K	x	1.20	=	K ₂ O
CaO	x	0.71	=	Ca
Ca	x	1.40	=	CaO
MgO	x	0.60	=	Mg
Mg	x	1.66	=	MgO
SO ₂	x	0.50	=	S
S	x	2.00	=	SO ₂

Engrais granulé. Un engrais en forme de particules, avec des limites supérieure et inférieure de taille de particule, ou d'une taille entre deux numéros de tamis, en général entre 1 et 4 mm. Le terme "granulé" en tant que tel n'indique pas de méthode spécifique de préparation. On peut aboutir à la taille souhaitée en :

- compactant des particules plus petites;
- écrasant et tamisant des particules plus grandes;
- limitant la taille des cristaux pendant le processus de cristallisation;
- séparant, en tamisant, une fraction de minerai potassé broyé enrichi;
- granulant une substance.

Très souvent, le nom du produit indique la manière de sa préparation, comme dans le cas d'un engrais compacté ou cristallin.

Engrais granulé. Un engrais granulé à des grains ronds.

Engrais enrobé. Un engrais granulé enrobé d'une couche mince de substances comme l'argile ou le soufre pour éviter l'agglomération ou pour régler le taux de dissolution.

Engrais non granulé (en poudre). Un engrais qui contient des particules fines, à une limite supérieure de taille, comme par exemple de 3 mm, mais sans limite inférieure.

Engrais conditionné. Un engrais traité avec un adjuvant pour améliorer sa condition physique ou pour éviter l'agglomération. La substance conditionnante peut être appliquée sous forme d'enrobage ou incorporée dans le produit.

Tableau 3. Engrais communs.

AN	Nitrate d'ammonium	33-34 % N
ANL	Ammonitrate de chaux (voir CAN)	
AS	Sulfate d'ammonium	21 % N
ASN	Sulfonitrate d'ammonium	26 % N
CN	Nitrate de calcium	15 % N
CAN	Mélange de nitrate d'ammonium et de carbonate de calcium (peut contenir de la craie, du marne, de la dolomite, du calcaire ou du carbonate de calcium précipité chimiquement. S'appelle aussi nitrate d'ammonium et de calcium et ammonitrate de chaux (ANL))	20-28 % N
UAN	Nitrate d'ammonium d'urée (solution)	28-32 % N
APN	Nitrate de phosphate d'ammonium	30-10-0 à 18-36-0
APS	Sulfophosphate d'ammonium	16-20-0
DAP	Phosphate diammonique	18-46-0
MAP	Phosphate monoammonique	11-55-0
APP	Polyphosphate d'ammonium (solution)	10-34-0
NK	Nitrate de potassium	13-0-44
MOP	Chlorure de potassium (qualité engrais)	60-62 % K ₂ O
SOP	Sulfate de potassium (qualité engrais)	50 % K ₂ O
SSP	Superphosphate simple	16-22 % P ₂ O ₅
TSP	Superphosphate triple	44-48 % P ₂ O ₅
KMP	Métaphosphate de potassium	0-55-37
MKP	Phosphate monopotassique	0-47-31
KP	Phosphate de potassium (voir MKP et KMP)	

Engrais en vrac. Un engrais non ensaché.

Engrais mélangé en vrac. Deux ou plusieurs engrais granulés de tailles semblables mélangés pour donner un engrais composé.

Engrais liquide. Un terme général pour décrire les engrais liquides, y compris ceux qui sont facilement ou partiellement solubles, des liquides clairs, des liquides qui contiennent des solides en suspension et (en général) l'ammoniaque anhydre. Ce dernier, toutefois, est parfois appelé un engrais gazeux bien qu'appliqué sous forme liquide.

Engrais en solution. Un engrais liquide dissous dans de l'eau et exempt de particules solides.

Réaction des engrais. L'effet résiduel des engrais. La plupart des engrais azotés ont un effet acidifiant [(NH₄)₂SO₄ > Urée > CAN]. Cet effet augmente avec la dose d'application.

Efficacité des engrais. Une mesure de l'efficacité de l'engrais appliqué. L'efficacité dépend du dosage, de la source, de l'opportunité et du mode d'application de l'engrais.

Au tableau 3 figurent les abréviations et les dosages des engrais communément utilisés.

3 Calculs d'engrais

Les recommandations pour les engrais sont exprimées en kilogrammes d'éléments nutritifs par hectare (kg/ha) dans l'ordre N-P₂O₅-K₂O (ou N-P-K). Si l'azote est le seul élément requis, par exemple, la dose est exprimée en kilogrammes d'azote (N) par hectare.

Les doses d'engrais sont formulées sur la base des résultats d'essais aux champs ou d'analyses des sols.

Calcul d'un engrais simple :

1 Choisir un engrais qui est :

- disponible localement;
- le moins cher;
- convenable aux conditions pédologiques (sur un sol acide, éviter ou minimiser l'utilisation d'engrais à un effet résiduel acidifiant);
- apte au stockage;
- utilisable avec le matériel disponible.

2 Noter les données à exploiter :

- le dosage recommandé (R) (kg/ha);
- l'analyse (C) de l'engrais (%);
- la superficie à traiter (m²).

3 Calculer la quantité d'engrais nécessaire par hectare (ha) en divisant le dosage (R) par l'analyse (C).

Equation 1 :

$$\text{Engrais nécessaire (kg/ha)} = \frac{\text{R (kg/ha)} \times 100}{\text{C}}$$

-
-
- 4 Calculer la quantité d'engrais nécessaire par m² en divisant la quantité nécessaire par ha par 10.000 (1 ha = 10.000 m²).
 - 5 Calculer la quantité d'engrais nécessaire pour la superficie à traiter. Multiplier la quantité nécessaire par m² par le nombre de m² de la superficie à traiter.

Calculs de combinaisons d'engrais simples (exemple) :

Une dose recommandée de 80N-30P₂O₅-30K₂O kg/ha peut être appliquée en combinant des engrais simples, comme l'urée, le superphosphate triple et le chlorure de potassium.

Il faut d'abord calculer la quantité d'urée (45 % N) nécessaire, ensuite la quantité de superphosphate triple (45 % P₂O₅) et de chlorure de potassium (60 % K₂O) pour satisfaire à la recommandation de 80-30-30 kg/ha en utilisant l'équation 1 :

$$\frac{80 \text{ kg/ha} \times 100}{45 \%} = 178 \text{ kg/ha d'urée}$$

$$\frac{30 \text{ kg/ha} \times 100}{45 \%} = 67 \text{ kg/ha de superphosphate triple}$$

$$\frac{30 \text{ kg/ha} \times 100}{60 \%} = 50 \text{ kg/ha de chlorure de potassium}$$

Calcul de combinaisons d'engrais simples et d'engrais composés (exemple) :

Une dose de 80-30-30 kg/ha peut être appliquée en combinant des engrais simples avec des engrais composés.

Hypothèse :

Un engrais 15-15-15 et l'urée (45 % N) sont recommandés pour le dosage de 80-30-30 kg/ha.

Dans la dose recommandée de 80N-30P₂O₅-30K₂O kg/ha, il faut moins de phosphore et de potassium. Il faut ainsi calculer le phosphore et le potassium d'abord :

$$\frac{30 \text{ kg/ha} \times 100}{15 \%} = 200 \text{ kg/ha}$$

200 kg d'un engrais composé 15-15-15 ne fournit que 30 kg d'azote par hectare. Ceci veut dire qu'il faut fournir encore 50 kg d'azote au moyen de l'urée :

$$\frac{50 \text{ kg/ha} \times 100}{45 \%} = 111 \text{ kg/ha}$$

Calcul de la quantité d'engrais nécessaire pour une superficie donnée (exemple) :

dose recommandée	120-40-0
superficie à traiter	350 m ²
urée	45 % N
nitrate d'ammonium de calcium	26 % N
superphosphate simple	18 % P ₂ O ₅
superphosphate triple	45 % P ₂ O ₅
phosphate monoammonique	11-55-0

Si vous utilisez de l'urée et du superphosphate triple, la quantité à appliquer sur 350 m² (0,0350 ha) est la suivante :

$$\frac{120 \text{ kg/ha} \times 100 \times 0,0350 \text{ ha}}{45 \%} = 9,1 \text{ kg d'urée}$$

$$\frac{40 \text{ kg/ha} \times 100 \times 0,0350 \text{ ha}}{45 \%} = 3,1 \text{ kg de superphosphate triple}$$

Si vous utilisez du phosphate monoammonique (MAP) et de l'urée, la quantité de P₂O₅ nécessaire pour 350 m² est la suivante :

$$\frac{40 \text{ kg/ha} \times 100 \times 0,0350 \text{ ha}}{55 \%} = 2,54 \text{ kg MAP}$$

Ces 2,54 kg de MAP fournissent non seulement le phosphore nécessaire, mais également 11 % d'azote, ce qui correspond à :

$$2,54 \text{ kg} \times 0,11 = 0,2794 \text{ kg N par } 350 \text{ m}^2$$

ou

$$\frac{0,2794 \text{ kg N} \times 10.000 \text{ m}^2}{350 \text{ m}^2} = 8 \text{ kg N/ha}$$

Selon le dosage recommandé, il faudrait y ajouter 120-8 = 112 kg N/ha. Il faut donc fournir de l'urée supplémentaire :

$$(120-8) \text{ kg N/ha} \times \frac{100 \times 0,0350 \text{ ha}}{45 \%} = 8,7 \text{ kg urée/350 m}^2$$

Tableau 4. Conversion d'éléments purs en quantités d'engrais **azoté** (kg/ha).

Dosage de N (kg/ha)	Sulfate d'ammonium (20 % N)	Urée (45 % N)	Ammoniaque aqueux (25 % N)	Ammoniaque anhydre (82 % N)
10	50	22	40	12
20	100	44	80	24
30	150	67	120	37
40	200	89	160	49
50	200	111	200	61
60	300	133	240	73
70	350	156	280	85
80	400	178	320	98
90	450	200	360	110
100	500	222	400	122
110	550	244	440	134
120	600	267	480	146
130	650	289	520	159
140	700	311	560	171
150	750	333	600	183

Pour calculer la quantité d'engrais requise, multiplier le dosage de N (azote) par des coefficients de conversion de 5,0 pour le sulfate d'ammonium, 2,2 pour l'urée, 4,0 pour l'ammoniaque aqueux et 1,2 pour l'ammoniaque anhydre.

Tableau 5. Conversion d'éléments purs en quantités d'engrais **phosphaté** (kg/ha).

Dosage de P ₂ O ₅ (kg/ha)	Superphosphate simple (20 % P ₂ O ₅)	Superphosphate triple (45 % P ₂ O ₅)
10	50	22
20	100	44
30	150	67
40	200	89
50	250	111
60	300	133
70	350	156
80	400	178
90	450	200
100	500	222
110	550	244
120	600	267
130	650	289
140	700	311
150	750	333

Pour calculer la quantité d'engrais requise, multiplier le dosage de P₂O (phosphore) par des coefficients de conversion de 5,0 pour le superphosphate simple et 2,2 pour le superphosphate triple.

Tableau 6. Conversion d'éléments purs en quantités d'engrais **potassé** (kg/ha).

Dosage de K ₂ O application (kg/ha)	Chlorure de potassium (60 % K ₂ O)	Sulfate de potassium (50 % K ₂ O)
10	17	20
20	33	40
30	50	60
40	67	80
50	83	100
60	100	120
70	117	140
80	133	160
90	150	180
100	167	200
110	183	220
120	200	240
130	217	260
140	233	280
150	250	300

Pour calculer la quantité d'engrais requise, multiplier le dosage de K₂O (potassium) par des coefficients de conversion de 1,7 pour le chlorure de potassium et 2,0 pour le sulfate de potassium.

4 Mélanger les engrais

Si l'application d'engrais nécessite plus d'un élément, il faudra probablement combiner des engrais simples et des engrais composés. On peut les peser et les épandre séparément ou les mélanger. Cette dernière solution est la plus facile puisqu'elle rend l'épandage moins onéreux, surtout dans le cas de grandes exploitations mécanisées.

Toutefois, ce ne sont pas tous les engrais qui peuvent être mélangés. Des engrais forts de base, comme la chaux, par exemple, ne doivent pas être mélangés avec l'urée; il peut en résulter des pertes d'azote par dégagement d'ammoniac.

S'il faut appliquer de l'azote et du phosphore, ne mélangez pas le sulfate d'ammonium avec des phosphates naturels, ou l'urée avec du superphosphate. Si vous le faites, les différents éléments réagiront les uns contre les autres et l'un d'entre eux deviendra moins efficace (figure 1).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 nitrate de calcium
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 nitrate de soude du chili
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 nitrate d'ammonium et de calcium
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4 sulfonitrate d'ammonium
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5 nitropotasse
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6 sulfate d'ammonium
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7 magnésie d'azote
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8 urée
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9 cyanamide de calcium
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10 phosphate diammonique
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11 superphosphate
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12 superphosphate triple
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13 scories
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14 phosphate naturel
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15 chlorure de potassium
16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16 sulfate de potassium
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	17 sulfate de potasse et de magnésie

<input type="checkbox"/>	peuvent être mélangés et stockés
<input type="checkbox"/>	peuvent être mélangés, mais pas stockés au-delà de 2 à 3 jours
<input type="checkbox"/>	ne peuvent pas être mélangés

Figure 1. Guide de compatibilité des engrais.

5 Bibliographie

Forth, H.D.; Ellis, B.G. 1988. Soil fertility. John Wiley & Sons, New York.

Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D. 1985. Soil fertility and fertilizers. 4th edition. Macmillan, New York. 754 p.

6 Conseils aux formateurs

Si vous choisissez d'utiliser ce guide pour la formation, voici ...

quelques conseils généraux :

- Distribuez les photocopiés (y compris ce Guide de recherche) aux stagiaires, un ou plusieurs jours **avant** votre cours, ou à la **fin** de celui-ci.
- **Ne** distribuez **pas** de photocopiés au début d'un cours. Autrement, les stagiaires se mettront à lire au lieu de vous écouter.
- Demandez aux stagiaires de **ne pas** prendre des notes, mais de concentrer toute leur attention sur le cours. Expliquez-leur que vos photocopiés (y compris ce Guide de recherche) contiennent toutes les informations dont ils ont besoin.
- Veillez à ce que les activités de formation soient pratiques. Limitez la théorie au minimum nécessaire à la compréhension des exercices pratiques.
- Utilisez toutes (ou une partie) des questions proposées à la page 4 pour les tests (interrogation rapide, contrôle périodique des connaissances, etc.). Lors de ces tests, permettez aux stagiaires de consulter les photocopiés et autres documents.
- Encouragez les échanges entre les stagiaires. Acceptez qu'ils vous posent des questions, mais ne vous écartez pas du sujet.
- Respectez le temps imparti.

quelques conseils spécifiques :

- **Discutez avec les stagiaires de leurs expériences, des besoins et de la possibilité de l'application d'engrais dans les conditions locales d'agriculture.**
- **Présentez et discutez du contenu de ce Guide, en exploitant le matériel didactique proposé à la page 3 (90 minutes). Vous pouvez photocopier les tableaux, les formules et les figures sur des transparents pour les projeter à l'aide d'un rétroprojecteur.**
- **Organisez les travaux pratiques proposés à la page 3, en groupes de 3 à 4 stagiaires (2 heures). Veillez à ce que chaque stagiaire ait la possibilité de participer activement. Mettez des personnes ressources dans chaque groupe pour chaque exercice.**

Donnez à chaque groupe les mêmes données pour le calculs d'engrais. Demandez à chaque groupe de présenter les résultats d'un exemple; invitez les autres groupes à comparer ces résultats avec leurs calculs.



International Institute of Tropical Agriculture (IITA)
Institut international d'agriculture tropicale (IITA)
Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA)

The international institute of Tropical Agriculture (IITA) is an international agricultural research center in the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), which is an association of about 50 countries, international and regional organizations, and private foundations. IITA seeks to increase agricultural production in a sustainable way, in order to improve the nutritional status and well-being of people in tropical sub-Saharan Africa. To achieve this goal, IITA conducts research and training, provides information, collects and exchanges germplasm, and encourages transfer of technology, in partnership with African national agricultural research and development programs.

L'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) est un centre international de recherche agricole, membre du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI), une association regroupant quelque 50 pays, organisations internationales et régionales et fondations privées. L'IITA a pour objectif d'accroître durablement la production agricole, afin d'améliorer l'alimentation et le bien-être des populations de l'Afrique tropicale subsaharienne. Pour atteindre cet objectif, l'IITA mène des activités de recherche et de formation, divulgue des informations, réunit et échange du matériel génétique et encourage le transfert de technologies en collaboration avec les programmes nationaux africains de recherche et développement.

O Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) é um centro internacional de investigação agrícola pertencendo ao Grupo Consultivo para Investigação Agrícola Internacional (GCIAI), uma associação de cerca de 50 países, organizações internacionais e regionais e fundações privadas. O IITA procura aumentar duravelmente a produção agrícola para melhorar a alimentação e o bem-estar das populações da África tropical ao sul do Sahara. Para alcançar esse objetivo, o IITA conduz actividades de investigação e treinamento, fornece informações, reúne e troca material genético e favorece a transferência de tecnologias em colaboração com os programas nacionais africanos de investigação e desenvolvimento.