



FEED THE FUTURE

Initiative des Etats-Unis contre la faim et pour la sécurité alimentaire
dans le monde

MANUEL DE MELANGE D'ENGRAIS EN VRAC

Directives harmonisées de bonnes pratiques pour
Contrôle de la qualité en Afrique de l'Ouest

Août 2022



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE



West African Fertilizer Association
Association Ouest-Africaine
de l'Engrais



TABLE DES MATIÈRES.

TABLE DES MATIÈRES.....	1
LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX.....	3
ACRONYMES	4
DÉFINITIONS	5
1.0. INTRODUCTION	6
1.1. QU'EST-CE-QUE CE GUIDE.....	6
1.2. POURQUOI CE GUIDE.....	6
1.3. COMMENT UTILISER CE GUIDE.....	7
2.0. MÉLANGE D'ENGRAIS EN VRAC	9
2.1. CRÉER UN PLAN D'AFFAIRES.....	10
2.2. OPÉRATION DE MÉLANGE EN VRAC SUR LE SITE.....	10
2.2.1. DIRECTIVES SUR LE CHOIX DU SITE POUR LES OPÉRATIONS DE MÉLANGE EN VRAC.....	11
2.2.2. DIRECTIVES POUR LA CONSTRUCTION D'UNE INSTALLATION DE MÉLANGE EN VRAC.....	12
2.2.3. LIGNES DIRECTRICES POUR LA SÉLECTION DES INSTALLATIONS DE MÉLANGE EN VRAC.....	14
2.2.4. TYPES D'INSTALLATIONS DE MÉLANGE EN VRAC.....	14
2.3. SÉLECTIONNER ET S'APPROVISIONNER EN MATIÈRES PREMIÈRES.....	18
2.3.1. SOURCES DE NPK EN AFRIQUE DE L'OUEST.....	19
2.3.1.1. SOURCES D'AZOTE EN AFRIQUE DE L'OUEST.....	19
2.3.1.2. SOURCES DE PHOSPHATE EN AFRIQUE DE L'OUEST.....	19
2.3.1.3. SOURCES DE POTASSE EN AFRIQUE DE L'OUEST.....	19
2.3.2. LIGNES DIRECTRICES SUR LA MANIÈRE DE SÉLECTIONNER ET DE S'APPROVISIONNER EN MATIÈRES PREMIÈRES.....	19
2.3.2.1. Concentration des éléments nutritifs.....	20
2.3.3. DIRECTIVES SUR LA RÉCEPTION ET LE STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES.....	20
2.4. CALCUL DES INGRÉDIENTS D'UNE FORMULE DE MÉLANGE.....	26
2.5. OPÉRATIONS DE MÉLANGE ET D'ENSACHAGE D'ENGRAIS.....	30
2.5.1. ÉTIQUETAGE.....	31
2.5.2. ENTRETIEN ET SÉCURITÉ DES INSTALLATIONS.....	32
2.5.2.1. Directives pour l'entretien des plantes.....	32
2.5.2.2. Directives pour la sécurité des installations.....	33
2.5.3. ENTRETIEN MÉNAGER.....	33
2.5.3.1 Lignes directrices pour les bonnes pratiques d'entretien.....	33
3.0. STOCKAGE ET EXPÉDITION DES PRODUITS MÉLANGÉS.....	35
3.1. STOCKAGE DES ENGRAIS MÉLANGÉS.....	35
3.1.1. DIRECTIVES POUR LE STOCKAGE DES ENGRAIS MÉLANGÉS.....	35
3.2. L'EXPÉDITION DES MÉLANGES PRODUITS.....	35
3.2.1. DIRECTIVES POUR L'EXPÉDITION DES MÉLANGES PRODUITS.....	36
4.0. COMPTABILITÉ ET TENUE DE REGISTRES.....	36
4.1. DIRECTIVES POUR LA COMPTABILITÉ ET LA TENUE DE REGISTRES.....	36
4.2. AUTRES FORMES D'ARCHIVAGE.....	37
4.2.1. REGISTRES DE PRODUCTION.....	37
4.2.2. LES DOSSIERS FINANCIERS.....	38
5.0. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ.....	38

5.1. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES PRODUITS FINIS.	38
5.1.1 DIRECTIVES POUR LE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES PRODUITS FINIS.....	38
5.1.1.1. Échantillonnage.....	38
5.1.1.2. Tolérance.....	39
5.1.1.3. Test.....	39
5.2. SÉCURITÉ GÉNÉRALE.	39
6.0. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	40
RÉFÉRENCES.....	44
ANNEXE.....	46
A1 : Installations de fabrication d'azote et de phosphore dans la CEDEAO.....	46
A2 : Installations de fabrication d'engrais organiques dans la CEDEAO.....	46
A3 : Installations de fabrication de suppléments de sol et de micronutriments dans la CEDEAO.....	46
B : Estimation indicative des coûts nécessaires pour mettre en place une opération de mélange en vrac clé en main.....	47
C : Schéma architectural indicatif d'une installation de mélange en vrac.....	47
D : Coûts indicatifs du bâtiment et des OPEX.....	47
E : Coûts indicatifs des installations de mélange en vrac.....	48
F : Quelques types de systèmes de mélange.....	49
G : Liste de quelques fabricants d'installations de mélange en vrac.....	50
H : nutriments essentiels des plantes.....	50
I : Tableau de compatibilité des engrais.....	51
J : Caractéristiques de quelques matières premières d'engrais.....	52
K : Tableau d'humidité relative critique.....	54
L : Diagrammes d'essai en pot et exemples de distribution de la taille des particules.....	54
M : Comment déterminer SGN et UI à l'aide de la méthode graphique.....	55
N : Comment déterminer SGN et UI en utilisant la méthode mathématique.....	56
O : L'échelle SGN et comment déterminer le SGN en utilisant la méthode de l'échelle SGN.....	58
P : Liste de contrôle indicative pour les opérations de mélange et d'ensachage.....	59
Q : Liste de contrôle indicative pour l'entretien des plantes.....	59
R : Liste de contrôle indicative pour la sécurité des installations.....	60
S : Méthodes d'échantillonnage.....	62
Sacs d'échantillonnage ($\leq 50\text{Kg}$).....	62
Sacs d'échantillonnage en vrac ($\geq 1\text{mT}$).....	62
Quantité d'échantillonnage.....	63
Équipement d'échantillonnage.....	64
Diviseur d'échantillon.....	65
T : Lignes directrices pour les tailles de stockage pour différentes usines et capacités de tonnage annuel.....	66
U: Test.....	66
Analyse chimique.....	66
Tests physiques.....	66
Méthode d'essai pour l'analyse granulométrique.....	67
Procédure d'essai.....	67
Méthode d'essai pour la densité apparente en vrac.....	67
Méthode d'essai pour l'angle de repos.....	68

LISTE DES FIGURES

Figure #	Caption	Page
Figure 1	Process flow on how to produce quality blends	9
Figure 2	Schematic diagram for a (single hopper) batch blending plant	15
Figure 3	Schematic diagram for a (floor style, single hopper) batch blending plant. Side View	15
Figure 4	Schematic diagram for a (floor style, multi hopper) continuous blending plant. Elevation and Top View	16
Figure 5	CRH curves. Temperature vs CRH %	19
Figure 6	Indicative raw material receipt and storage layout	23
Figure 7	ECOWAS fertilizer bag labelling regulation	29
Figure 8	Fertilizer bag with PE liner and transparent sides	39
Figure 9	Variables that impact blend quality	40
Figure 10A	Bulk Bag Sampling	58
Figure 10B	Bulk Bag Sampling	59
Figure 11	Example of sampling cup and how to use it	60
Figure 12	Double Tube Trier in open and closed positions	60
Figure 13	Riffle Box and Rotary Sample Divider	61
Figure 14	Loose density measuring equipment	63
Figure 15	Angle of repose measuring equipment	64

LISTE DES TABLEAUX

Table #	Caption	Page
Table 1	Pros and Cons of siting an operation at the port vs in-country	10
Table 2	Size guidelines for various plants and throughput capacities	12
Table 3	Pros and Cons of the types of bulk blending plants	14
Table 4	Some important physical properties of fertilizer raw materials	22
Table 5	Indictive guidelines for storage	23

ACRONYMES

AP	- ammonium phosphate
ATM	- Atmosphere/Atmospheric
B	- boron
Ca	- calcium
CAPEX	- Capital Expenditure
CBN	- Central Bank of Nigeria
CIF	- Cost Insurance Freight
Cu	- copper
DAP	- diammonium phosphate
DGIS	- Directorate-General for International Cooperation
DPC	- Damp Proof Course
EBITDA	- Earnings Before Interest, Tax, Depreciation and Amortization
ECOWAS	- Economic Community of West African States
EFBA	- European Fertilizer Blenders Association
EIA	- Environmental Impact Assessment
EMP	- Environmental Management Plan
EPCM	- Engineering, Procurement, Construction and Management
ETC	- et Cetera
Fe	- iron
FF	- Fertilizer Factor
FX	- Foreign Exchange
GSI	- Granulometric Spread Index
HQA	- Holistic Quality Approach
IFDC	- International Fertilizer Development Center
K	- potassium
MAP	- monoammonium phosphate
Mg	- magnesium
MIR	- Marketing Inputs Regionally
Mn	- manganese
Mo	- molybdenum
MOP	- muriate of potash
MSDS	- Material Safety Data Sheet
N	- nitrogen
NPV	- Net Present Value
OPEX	- Operational Expenditure
P	- phosphorus
PMBOK	- Project Management Body of Knowledge
PPE	- Personal Protective Equipment
PPM	- Parts Per Million
RM	- Raw Materials
RP	- rock phosphate
RR	- Recommended Rate
RSSF	- Real Sector Support Facility
S	- sulfur
SHERQ	- Safety, Health, Environment, Risk, Quality
SOP	- sulfate of potash
SSP	- single superphosphate
TSP	- triple superphosphate
UEMOA	- West African Economic and Monetary Union Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
vs	- versus
YR	- Year
Zn	- zinc

DÉFINITIONS

Binder	Material sometimes added to a blend to aid in preventing segregation
Complete Fertilizer	A fertilizer raw material which contains more than two nutrients, usually the three macronutrients. They are physical mixtures of fertilizer raw materials containing the three main plant nutrients prepared through a bulk blending process.
Conditioners	For Soils: Products added to soil to improve the soil's physical qualities, usually its fertility (ability to provide nutrition for plants) and sometimes its mechanics. In general, can be categorized as soil amendments (or soil improvement, soil condition), which includes a wide range of fertilizers and non-organic materials (SSSA, 2012). For Fertilizers: Substances added to enhance physical conditions of fertilizer mixtures and also reduce the hygroscopic nature e.g. peat, groundnut shell, paddy husk
Countries in ECOWAS	Benin, Burkina Faso, Cabo Verde, Côte d'Ivoire, The Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Liberia, Mali, Niger, Nigeria, Senegal, Sierra Leone, and Togo
Double Element Fertilizer	A fertilizer raw material which contains two nutrients, usually macronutrients e.g., DAP 18%N 46%P ₂ O ₅ , potassium nitrate 13%N 46%K ₂ O and may contain some micronutrients. They are physical mixtures of fertilizer raw materials containing two plant nutrients. Also known as Complex Fertilizer.
Holistic Quality Approach (HQA)	A fertilizer bulk blending approach that encompasses the various sets of procedures adopted by each of the 15 countries of ECOWAS and synchronizes them into one
Farm Area Computation	10,000 sq m = 1 ha
Fertilizer	Any substance which is intended to be used as a nutrient(s) source to the crops for increasing agricultural production (ECOWAS REGULATION C/REG. 13/12/12). Organic and mineral substances utilized to ensure proper plant nutrition and supplement the nutrients already available in the soil, which are essential for plants to grow, thrive and be healthy (IFA, 2020)
Fertilizer Grade	Percentage content of total nitrogen, available phosphorus (phosphoric acid) and soluble potassium (potash) e.g. 20:10:10 15:15:15 27:13:13
Fertilizer Raw Material (RM)	These are inorganic sources of one or more of the essential nutrients required by plants for growth. They are required for preparing blended fertilizers.
Fertilizer Requirement (FR)	Quantity, type and blend of fertilizer needed by the soil and crop for optimum yield. It is defined by soil type and nutrient content and can be calculated as follows: (Recommended Rate RR ÷ % Nutrient Content in fertilizer raw material) * 100 * Area (ha), where "100" represents the reduced weight of the fertilizer raw material to 100Kg.
Filler	Materials added to fertilizers to help in the uniform distribution of nutrients within a given volume of the fertilizer product
Guarantee	The minimum amount of nutrient content contained in fertilizer raw materials or fertilizer blends, expressed in percentage. Excluding phosphorus (P ₂ O ₅) and potassium (K ₂ O), they are expressed in simple element form e.g. sulfur (S). But for chlorine (Cl) content, the guarantee should not be more than the amount shown e.g. 46-0-0 18-46-0 0-0-60
Macronutrient	Any of the following nutrients that is essential for the normal growth of plants and that may need to be added, in smaller quantities, to the growth medium: boron, chlorine, cobalt, copper, iron, manganese, molybdenum, sodium and zinc
Micronutrient	Any of the following nutrients that is essential for the normal growth of plants and that may need to be added, in smaller quantities, to the growth medium: boron, chlorine, cobalt, copper, iron, manganese, molybdenum, sodium and zinc
Mineral Nutrients	Nutrients whose sources occur in soils.
Neutralizers	Substances added to counteract the acidity or basicity of soils or fertilizers e.g., dolomitic limestone (basic) is added to ammonium sulfate (acidic) mixed fertilizers (Kostiner Edwards, 1992 and Shkhashiri Bassam Z, 1989)
Nutrient	Essential elements required by plants to make their own food through photosynthesis so they can grow. Essential nutrients are those required in varying quantities. For example, the elements discussed in this manual i.e., N, P, K, Ca, Mg, S, F, Cu, Mo, and B.
Nitrogen N	This can be considered to be the most important nutrient. It makes plants grow big and strong and is also known as the "Green Up" nutrient.
Percentage Nutrient Content (NC)	Percentage quantity of each fertilizer nutrient in a fertilizer raw material
Phosphorus P	This is the nutrient that is crucial in all reproductive phases of a plant e.g. seedling, fruiting, flowering and blooming phase. Thus it is also known as the "blooming" nutrient.
Potassium K	This nutrient is key to plants in that it regulates their activation of enzymes, uptake of carbon dioxide and water. It aids the plants to build strong and healthy seeds and stems. Hence it is also known as the plant "photosynthesis" nutrient.
Recommended Rate (RR)	Quantity in weight of fertilizer nutrients to be applied in the soil as recommended by an agronomist, soil expert or from a soil test analysis. In other words, it is the total NPK expressed in kg/ha basis. This recommendation is based on crop requirement, soil fertility, soil texture and planting season.
Segregation	Differential movement of particles within a mixture due to differences in their size, shape, or density
Single Element Fertilizer	A fertilizer raw material which contains only one nutrient, usually one macronutrient e.g., urea 46%N, SSP 16%P ₂ O ₅ , MOP 60%K ₂ O, SOP 50%K ₂ O and may contain some micronutrients. Also called straight element fertilizer.
Unit of Recommended Rate	Amount of fertilizer nutrient required per area, usually expressed per hectare.

1.0. INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, la fertilité des sols diminue en raison d'une mauvaise utilisation des terres, de l'érosion des sols et de l'épuisement des nutriments par les cultures et le bétail. Les sols dégradés entraînent de faibles rendements et des pertes de revenus pour les agriculteurs. Pour assurer la sécurité alimentaire et l'autosuffisance de la région, une approche de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) est nécessaire. La GIFS implique l'utilisation d'engrais de qualité (inorganiques et organiques), de variétés de cultures améliorées et de bonnes pratiques agricoles. La combinaison d'engrais inorganiques de qualité et de la gestion des ressources organiques est encouragée au niveau régional, puisque l'agriculture de subsistance, à petite et à grande échelle, est pratiquée dans la région. La production de mélanges d'engrais inorganiques de qualité dépend de trois facteurs : la qualité des matières premières, la qualité du processus de mélange et les facteurs environnementaux autour du site de mélange. Pour les matières premières d'engrais, il faut noter que la plupart des quantités utilisées pour le mélange dans la région sont importées : L'annexe A1 liste les installations de fabrication d'azote et de phosphore dans la CEDEAO, l'annexe A2 liste les installations de fabrication d'engrais organiques dans la CEDEAO. L'annexe A3 liste les installations de fabrication de compléments de sol et de micronutriments dans la CEDEAO.

1.1. QU'EST-CE-QUE CE GUIDE.

Ce guide aborde les étapes nécessaires à la production de mélanges d'engrais de qualité. Le guide est divisé en sept sections. Chaque section représente une étape unique du processus essentiel à l'obtention de résultats de haute qualité.

- i. La première section présente ce qu'est le guide, sa raison d'être, la manière de l'utiliser et les paramètres environnementaux à prendre en compte pour produire des mélanges d'engrais de qualité.
- ii. La deuxième section détaille l'ensemble du processus de mélange en vrac en partant de zéro. Elle explique en détail comment produire des mélanges d'engrais de qualité pour les exploitations nouvelles et existantes.
- iii. La troisième section met en évidence les directives relatives au stockage et à l'expédition des mélanges produits afin de ne pas compromettre la qualité des mélanges.
- iv. La section quatre explique l'importance de la comptabilité et de la tenue de registres dans le processus de production de mélanges de qualité.
- v. La section cinq fournit des informations sur les aspects du contrôle de la qualité de la production de mélanges de qualité. Le contrôle de la qualité est un aspect essentiel de la production de mélanges de qualité.
- vi. La sixième section conclut sur les aspects importants du guide.
- vii. La septième section donne des recommandations sur la manière de produire des mélanges de qualité.

1.2. POURQUOI CE GUIDE.

Les revendications croissantes concernant l'intégrité des mélanges d'engrais dans la région ont déclenché un rapport conjoint de la CEDEAO, de l'UEMOA et de l'IFDC évaluant la qualité des engrais commercialisés en Afrique de l'Ouest, y compris les facteurs influençant la qualité des engrais dans la région. Cette étude a été réalisée entre 2010 et 2013. Les résultats ont

déterminé que les problèmes de qualité suivants des engrais mélangés ont un impact sur la qualité des engrais dans la région :

1. Les sacs de faible poids sont fréquents.
2. La qualité d'une même formule de mélange en vrac varie d'un pays à l'autre.
3. L'ajout insuffisant de nutriments pendant les opérations de mélange est la principale cause des carences en nutriments dans les produits mélangés.
4. Les caractéristiques physiques des matières premières des engrais ont un impact direct sur la qualité des produits mélangés.
5. Les mélanges NPK présentent plus de cas de mauvaise qualité du produit que les composés NPK.
6. La ségrégation est un problème majeur pour la qualité des mélanges mais n'a qu'un effet minime sur les carences en nutriments des produits mélangés.
7. Les produits mélangés frelatés sont minimes.

Ces résultats ont rendu nécessaire la création d'un guide de mélange, qui sera un ensemble harmonisé de pratiques de mélange, à adopter par les opérateurs de mélange en Afrique de l'Ouest.

Les objectifs de ce guide sont les suivants :

1. Donner aux mélangeurs les informations dont ils ont besoin pour produire des engrais mélangés de qualité qui répondent aux normes de la CEDEAO et aux normes internationales.
2. Sensibiliser et encourager la participation de tous les acteurs concernés pour garantir son utilisation dans toute la région.

Les objectifs de ce guide sont les suivants :

1. S'assurer que les directives proposées correspondent aux réalités des parties prenantes.
2. S'assurer de la stricte conformité des directives avec les réglementations actuelles sur les engrais dans la région de la CEDEAO.
3. Assurer l'alignement sur les meilleures pratiques agricoles promues par l'IFDC en ce qui concerne les engrais.
4. Fournir des directives claires et détaillées sur toutes les procédures nécessaires pour garantir des mélanges de bonne qualité, illustrées par des images et des graphiques en couleur si nécessaire.
5. Fournir des modèles de formulaires et de documents techniques qui peuvent être utiles pour l'application des lignes directrices.
6. Fournir des références claires et accessibles à la documentation et à la législation existantes auxquelles les lignes directrices font référence.

1.3. COMMENT UTILISER CE GUIDE.

Ce guide est un outil de référence qui aidera les opérateurs de mélange en vrac à produire des mélanges d'engrais de qualité. Il doit être utilisé en conjonction avec le cadre réglementaire de la CEDEAO sur les mélanges de qualité. Il s'agit de fournir des engrais de haute qualité, à temps et à des coûts abordables, à des agriculteurs bien formés, en utilisant un système de chaîne d'approvisionnement professionnel dirigé par le secteur privé. Selon la CEDEAO, cela permettra aux marchés nationaux et régionaux des engrais de fonctionner de manière optimale.

Par conséquent, il est conseillé de consulter les documents suivants et les règlements de la CEDEAO lors de l'utilisation de ce guide :

1. Les séries de procédures opérationnelles standard développées en interne par chaque opérateur de mélange.
2. Le manuel technique de l'installation de l'opérateur de mélange fourni par le fabricant.
3. Règlement de la CEDEAO C/REG. 13/12/12, relatif au contrôle de la qualité des engrais
4. Règlement d'application ECW/PEC/IR/02/03/16, étiquetage et limites de tolérance des engrais commercialisés dans la CEDEAO.
5. Règlement d'application ECW/PEC/IR/05/12/16, rôles, organisation et fonctionnement du Comité Ouest Africain de Contrôle des Engrais (WACoFeC)
6. Règlement d'application ECW/PEC/IR/06/12/16, analyse des engrais dans l'espace CEDEAO
7. Règlement d'application ECW/PEC/IR/07/12/16, inspection des engrais dans l'espace CEDEAO

En outre, ce guide doit être utilisé conjointement avec les normes internationalement acceptées sur la qualité des mélanges d'engrais, telles que stipulées par le Comité européen de normalisation (CEN) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Ces normes stipulent que la qualité des mélanges d'engrais dépend fortement de la qualité des matières premières. Par conséquent, les références normatives suivantes sont importantes pour l'utilisation de ce guide :

- i. CEN, Norme européenne /A1. Essai de tamisage (2003)
- ii. CEN, Norme européenne EN 1236. Détermination de la densité apparente (en vrac)
- iii. CEN, Norme européenne EN 1237. Détermination de la densité apparente (taraulée)
- iv. CEN, Norme européenne EN 12047. Mesure de l'angle de repos statique
- v. CEN, Norme européenne EN 13299. Détermination du débit
- vi. CEN, Norme européenne EN 12944 Vocabulaire Partie 1, Partie 2 et Partie 3
- vii. CEN, Norme européenne EN 1482. Échantillonnage Parties 1 et 2
- viii. ISO 3696, Eau pour utilisation en laboratoire d'analyse - spécification et méthodes d'essai
- ix. ISO 5315, Engrais - Détermination de la teneur en azote total - Méthode titrimétrique après distillation.
- x. ISO 6353-1:1982, Réactifs pour analyses chimiques - Partie 1 : Méthodes d'essai générales
- xi. ISO 6598, Engrais - Détermination de la teneur en phosphore - Méthode gravimétrique au phosphomolybdate de quinoléine.
- xii. ISO 7409, Engrais - Marquage - Présentation et déclarations
- xiii. ISO 8157 :2015, Engrais et amendements du sol - Vocabulaire
- xiv. ISO 8397, Engrais solides et amendements du sol - Tamisage d'essai
- xv. ISO 10390, Qualité des sols - Détermination du pH
- xvi. ISO 11261, Qualité des sols - Détermination de l'azote total - Méthode Kjeldahl modifiée

- xvii. ISO 14820-1, Engrais et matières calcaires - Échantillonnage et préparation des échantillons - Partie 1 : Échantillonnage.
- xviii. ISO 14820-2, Engrais et matériaux de chaulage - Échantillonnage et préparation des échantillons - Partie 2 : Préparation des échantillons.
- xix. ISO 17319, Engrais et amendements du sol - Détermination de la teneur en potassium soluble dans l'eau - Méthode gravimétrique au tétraphénylborate de potassium.
- xx. ISO 6598, Engrais - Détermination de la teneur en phosphore - Méthode gravimétrique au phosphomolybdate de quinoléine.

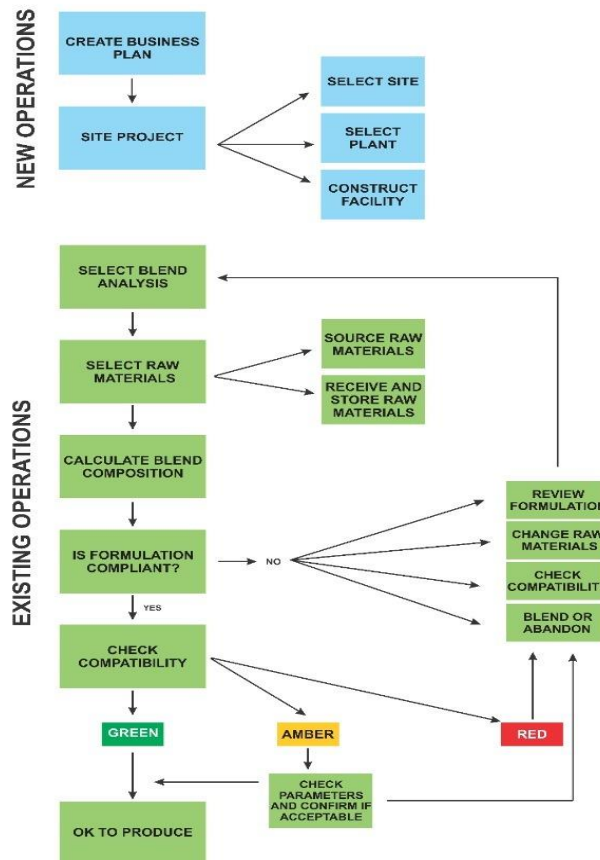
2.0. MÉLANGE D'ENGRAIS EN VRAC

Le mélange d'engrais en vrac est le processus qui consiste à utiliser une installation appropriée pour mélanger mécaniquement plusieurs matières premières fertilisantes qui sont compatibles, de taille similaire et dont la teneur en éléments nutritifs est connue. Pour produire des mélanges d'engrais de qualité, il faut prêter attention à chaque aspect de l'opération de mélange en vrac, car chaque aspect joue un rôle important dans le résultat final d'un produit de mélange d'engrais de qualité.

- i. Les fabricants de matières premières pour engrais ont le devoir de s'assurer que la qualité de ce qu'ils produisent est conforme aux spécifications. Les matières premières doivent être compatibles, de taille appropriée, et leur teneur en éléments nutritifs doit être garantie.
- ii. Les opérateurs de mélange ont le devoir d'utiliser un très bon équipement suffisamment flexible pour faire face à de multiples scénarios de mélange. Il leur incombe de s'assurer qu'ils testent les matières premières reçues, qu'ils opèrent, qu'ils garantissent la qualité des mélanges et qu'ils entretiennent correctement l'installation.
- iii. Les opérateurs de mélange ont le devoir de tenir compte des paramètres environnementaux, tels que l'humidité relative critique, la température, la teneur en humidité, les conditions météorologiques et climatiques, du site où les opérations de mélange auront lieu.

Le diagramme ci-dessous met en évidence ces aspects clés ou activités opérationnelles qui permettent la production de mélanges de qualité. Chacune de ces activités opérationnelles est abordée dans les sections suivantes.

Figure 1. Déroulement du processus de production de mélanges de qualité.



Adapté de Fertilizers Europe, 2014

2.1. CRÉER UN PLAN D'AFFAIRES

Pour produire des mélanges de qualité, la première étape consiste à élaborer un bon plan d'affaires, car il détaillera tous les intrants nécessaires, tels que le capital, le développement et les dépenses opérationnelles, pour mener une opération rentable. Il montre le flux des matières premières, des ressources humaines et financières qui permettront d'optimiser l'opération. Enfin, il facilite le processus de décision commerciale, en particulier pour les nouveaux clients, car des projections visibles les aideront à décider s'ils doivent ou non procéder à un investissement. Une opération de mélange rentable et bien gérée produira très probablement des produits de mélange de haute qualité.

Un consultant expérimenté, ayant de préférence une expérience préalable dans le développement de projets de mélange d'engrais en vrac à partir de zéro, doit être engagé pour préparer votre plan d'affaires.

Voir l'annexe B pour des estimations indicatives des coûts nécessaires à la mise en place d'une opération complète de mélange en vrac.

2.2. OPÉRATION DE MÉLANGE EN VRAC SUR LE SITE.

Pour produire des mélanges de qualité, la deuxième étape consiste à s'assurer que l'installation de production est située au meilleur endroit. En Afrique de l'Ouest, l'une des principales discussions sur le choix de l'emplacement d'une opération de mélange porte sur la question de

savoir si elle doit être proche des ports ou des zones agricoles où les mélanges sont consommés. Le tableau ci-dessous présente les avantages et les inconvénients de chaque situation.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients de l'implantation d'une opération dans le port ou dans le pays.

Pros/Cons	Bulk blending operation situated within/near the Port	Bulk blending operation situated in-country
Pros	Less receipt time for raw materials imported by sea	Less expensive facility set up due to no extra port fees and charges
	Less risk of handling or double handling raw materials and finished products	Less risk of corrosion to steel components due to salt water in the atmosphere
	Lower cost of final blend products due to absence of transport and other costs	Closer to farmers and/or final consumers of the blend products
	Less storage for final blend products required due to quicker throughput	Less susceptible to major humidity issues
	Large scale bulk blending operations can be profitable	Small scale bulk blending operations can be profitable
Cons	More expensive facility set up due to extra port fees and charges	Long receipt time for raw materials imported by sea
	Higher risk of corrosion to steel components due to salt water in the atmosphere	More risk of handling or double handling raw materials and finished products
	Far away from farmers and/or final consumers of the blend products	Higher cost of final blend products due to addition of transport and other costs
	More susceptible to major humidity issues	More storage for final blend products required due to slower throughput
	Small scale bulk blending operations may not be profitable	Large scale bulk blending operations may not be profitable

Source : Chinedu Ohanyere, 2022

D'après le tableau, il est évident qu'il existe des avantages et des inconvénients pour chaque situation. Par conséquent, il n'y a pas de plan unique qui convienne à tous les scénarios. Pour déterminer le "meilleur emplacement", il faudra faire divers compromis tels que les préférences et la capacité financière du client, la disponibilité d'un site approprié ou préféré, les facteurs environnementaux, sociaux et de gouvernance, etc.

Cependant, en général, le choix d'un site pour une opération de mélange comprend trois éléments : le choix du site, la construction de l'installation et le choix de l'usine.

2.2.1. DIRECTIVES SUR LE CHOIX DU SITE POUR LES OPÉRATIONS DE MÉLANGE EN VRAC.

Les points suivants doivent être pris en considération lors du choix d'un site pour les opérations de mélange en vrac :

1. Un consultant expérimenté, ayant de préférence une expérience préalable dans le développement de projets de mélange d'engrais en vrac à partir de zéro, doit aider à la sélection du site.
2. Le site doit être facile à localiser et accessible par la route et le rail (si ou quand cela est applicable).
3. Respecter les lois, les politiques et les règlements de la communauté.
4. Engagez un expert pour réaliser une bonne évaluation des incidences sur l'environnement.
5. Trouver et engager de la main-d'œuvre directe et indirecte dans les environs de la communauté.
6. Connaissez vos voisins. Établissez des relations avec eux pour des pratiques de sécurité durables
7. Implanter les opérations dans une zone où la concurrence est faible ou inexistante. Cela peut accélérer la dynamique industrielle et assurer un avantage sur le marché.

2.2.2. DIRECTIVES POUR LA CONSTRUCTION D'UNE INSTALLATION DE MÉLANGE EN VRAC

Les engrais sont corrosifs par nature. Pour la sécurité et la durabilité de l'installation, les points suivants doivent être pris en considération lors de la planification de la construction :

1. Des équipes expérimentées de conception technique et de construction, de préférence celles qui ont déjà eu l'occasion de développer des projets de mélange à partir de zéro, devraient être engagées pour concevoir et construire l'installation.
2. Les éléments en béton armé doivent être conformes aux spécifications de l'ingénieur. Ils doivent être de qualité supérieure. Peindre les tiges d'acier avec des agents anticorrosion. Le mélange de béton et la proportion d'eau doivent être conformes aux spécifications de l'ingénieur. Le mélange doit avoir une teneur en eau minimale pour réduire les problèmes de formation de pores dans l'élément en béton. Assurez un espacement minimum de 50 mm entre les tiges d'acier et la surface du béton. espace ventilé transversalement.
3. Les éléments de structure en acier doivent être conformes aux spécifications de l'ingénieur. Ils doivent être de qualité supérieure et revêtus ou peints d'agents anticorrosion.
4. Les couvertures de toit doivent être conformes aux spécifications de l'ingénieur, afin d'éviter les fuites d'eau.
5. Les installations mécaniques et électriques, par exemple la plomberie et le câblage, doivent être conformes aux spécifications de l'ingénieur, afin d'éviter les fuites de tuyaux et les risques d'incendie.
6. L'éclairage à l'intérieur et à l'extérieur de l'installation doit être conforme aux spécifications de l'ingénieur. Il est important qu'une installation de mélange en vrac soit bien éclairée pour des raisons de sécurité. Par exemple, certaines matières premières ont un spectre de couleurs similaire, et une installation mal éclairée peut entraîner l'utilisation de la mauvaise matière première dans un mélange, ce qui conduira à des produits de mauvaise qualité ou dangereux. De même, pour éviter les accidents entre l'homme et la machine.
7. Incorporer un dépoussiéreur dans l'installation et sur l'usine, si possible.
8. Installer un lecteur de température et d'humidité dans l'installation. Ils aident à déterminer l'humidité relative critique (HRC) de l'environnement qui joue un rôle majeur dans le stockage et l'utilisation des matières premières fertilisantes dans les mélanges en vrac. La connaissance de l'humidité relative critique aide également à déterminer la compatibilité chimique des matières premières, ce qui contribue à la production de produits de mélange de qualité.
9. Pour de plus amples informations sur la construction de structures industrielles, veuillez-vous référer à :
 - i. Reynold's Reinforced Concrete Designer's Handbook, Charles E. Reynolds, James C. Steedman, Anthony J. Threlfall, édition 2008.
 - ii. Handbook of Structural Steelwork, Publication BCSCA n° 55/13, BS EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3 : Design of Steel Structures.
10. Se reporter à l'annexe C pour une indication de la disposition architecturale d'une installation de mélange en vrac.
11. Voir l'annexe D pour une indication du coût de la construction d'installations de mélange en vrac de différentes capacités de débit et de l'achat de matières premières pour leur fonctionnement.

12. Le tableau ci-dessous peut servir de guide pour la surface au sol et les exigences supplémentaires pour l'établissement de nouvelles installations et opérations. Les valeurs indiquées dans le tableau ne sont PAS fixes, mais peuvent varier en fonction de divers facteurs propres à chaque emplacement et opération.

Une installation bien construite garantit la sécurité du personnel, des matières premières et des équipements.

Pour la sécurité du personnel, l'installation doit être suffisamment solide pour supporter toutes les charges permanentes, imposées et dues au vent. L'intégrité structurelle, électrique et mécanique du bâtiment doit être telle que la sécurité des travailleurs ne soit pas compromise. La qualité des produits mélangés dépendant de la qualité des matières premières, il est important de veiller à ce que l'intégrité des matières premières soit préservée. Par conséquent, les fuites au niveau des toits, des planchers et des tuyaux, qui sont des caractéristiques courantes des mauvaises constructions, doivent être évitées car elles entraînent la contamination des matières premières. En ce qui concerne l'usine et l'équipement, la conception du plancher de l'installation doit comporter des éléments de taille adéquate pour le renforcement de l'acier structurel, un mélange de béton solide et doit tenir compte des vibrations.

Lorsque les éléments ci-dessus sont en place, l'intégrité structurelle de l'installation est assurée, ce qui garantit la qualité des matières premières et, par conséquent, la qualité des produits mélangés.

Le tableau ci-dessous est un guide qui aide à la conception d'une installation de mélange en vrac. Il donne une idée de la taille du terrain nécessaire pour une opération allant de 30 000 à plus de 100 000 tonnes métriques par an. Il estime également le pourcentage de la taille du terrain qui devrait être alloué aux bâtiments de service, à l'usine principale, au stockage des matières premières, au mélange en vrac et à l'ensachage, aux bureaux et aux sanitaires et au stockage des produits finis. En outre, le tableau suggère l'équipement nécessaire au fonctionnement des opérations pour chaque capacité, de sorte que le concepteur aura une idée des charges structurelles avec lesquelles travailler.

Tableau 2 : Directives de taille pour diverses installations et capacités de débit.

GUIDELINES OF SIZES REQUIRED FOR VARIOUS PLANT AND ANNUAL TONNAGE CAPACITIES				
	upto 30 Mtph 30,000 Mt/Yr	upto 60 Mtph 60,000 Mt/Yr	upto 100 Mtph 100,000 Mt/Yr	>100 Mtph >100,000 Mt/Yr
Land	0.5 Ha or 5,000 sq m	≥0.5 Ha ≤ 1 Ha	1 Ha	≥ 1 Ha
Services Buildings	20% of Land or 1,000 sq m	20% of Land	20% of Land	20% of Land
Main Factory Building	75% of Land or 3,750 sq m	75% of Land	75% of Land	75% of Land
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 1,500 sq m	30% of Main Bldg	30% of Main Bldg	30% of Main Bldg
Bulk Blending & Bagging	10% of Main Bldg or 375 sq m	10% of Main Bldg	10% of Main Bldg	10% of Main Bldg
Office & Ablutions	10% of Main Bldg or 375 sq m	10% of Main Bldg	10% of Main Bldg	10% of Main Bldg
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 375 sq m	10% of Main Bldg	10% of Main Bldg	10% of Main Bldg
ADDITIONAL FACILITY REQUIREMENTS FOR VARIOUS PLANT AND ANNUAL TONNAGE CAPACITIES				
Frontend Loaders	Not Necessary	Maybe	Yes	Yes
Modified Frontend Loaders	Yes	Yes	No	No
Forklifts	Yes	Yes	Yes	Yes
Loading Bays	Yes	Yes	Yes	Yes
Receiving Conveyors	Not Necessary	Not Necessary	Yes	Yes
Weighbridge	Yes	Yes	Yes	Yes

Source : Chinedu Ohanyere, 2022

2.2.3. LIGNES DIRECTRICES POUR LA SÉLECTION DES INSTALLATIONS DE MÉLANGE EN VRAC

Une installation de mélange et d'ensachage qui répond aux normes modernes en matière de mécanique, d'électricité et d'instrumentation, garantira des produits de mélange de bonne qualité. Pour choisir et acheter le meilleur équipement qui répondra à vos besoins spécifiques, il est important de connaître les points suivants :

1. Quelle quantité et quels types de mélanges allez-vous produire par an ?
2. À quelles performances attendez-vous de l'installation qu'elle travaille ? À quelle vitesse doit-elle mélanger par heure (vitesse) ? Quelle doit être la précision de la teneur en nutriments des produits mélangés (exactitude) ? Dans quelle mesure l'installation doit-elle être robuste et efficace (capacité) ? Dans quelle mesure l'installation doit-elle s'adapter à de multiples types de demandes de spécifications et de quantités de mélanges (flexibilité) ?
3. Le fonctionnement de l'installation est-il simple ? Une installation complexe est une installation qui nécessite un trop grand nombre de variables d'entrée et de sortie, et donc une interface humaine trop importante. Cela peut donner lieu à des erreurs et à des pertes de temps dans le dépannage des erreurs. Une installation simple est une installation qui est facile et directe à faire fonctionner, qui a moins de variables d'entrée et de sortie et qui nécessite moins d'interface humaine. Les installations gérées par un bon logiciel peuvent être classées comme simples à utiliser car le logiciel sera préprogrammé par le fabricant (qui est un expert) pour exécuter les interfaces de mélange et d'ensachage sans aucune intervention de l'interface humaine. Cela permet d'éliminer les erreurs de mélange et d'ensachage automatisés, mais pas les erreurs physiques, par exemple une matière première de mauvaise qualité ou en morceaux qui obstrue le système et crée ainsi des poids erronés dans la section d'ensachage. Les opérations de mélange en vrac peuvent sembler être un exercice complexe, il est donc préférable de choisir une installation simple à utiliser.
4. Quelle est la taille de l'usine (pour déterminer les besoins en espace dans l'usine) ?
5. Combien comptez-vous dépenser pour l'achat d'une plante (le budget) ?

Voir l'annexe E pour le coût indicatif des installations de mélange de différentes capacités.

2.2.4. TYPES D'INSTALLATIONS DE MÉLANGE EN VRAC.

Les installations de mélange en vrac peuvent être classées en deux catégories, les types discontinus et les types continus.

1. Usines de type Batch:
 - i. Lot de type plancher - extensible (une trémie de chargement)
 - ii. Lot de type plancher - (multi-hopper)
 - iii. Lot de style tour
2. Usines de type continu :
 - i. Style de sol continu - (multi-hopper)

La principale différence entre les deux types de système est que le système discontinu est plus adapté aux opérateurs qui souhaitent produire des tonnages inférieurs à 70 mtph et servir différents clients avec différentes spécifications de mélange à la fois. Le système continu, quant

à lui, est plus adapté aux opérateurs qui souhaitent produire des tonnages supérieurs à 70 mph et produire de gros volumes de la même spécification de mélange à différents moments.

L'annexe F présente d'autres exemples de chaque type. L'annexe G donne la liste des principaux fabricants d'installations de mélange en vrac. Pour les questions de sécurité concernant les deux types d'installations et les directives sur la manière de les traiter, reportez-vous à la section 2.5.2, Entretien et sécurité des installations.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des types d'installations de mélange en vrac

Pros/Cons	Batch Blending System. *Advisable for tonnages ≤ 70 MtpH	Continuous Blending System. *Advisable for tonnages > 70 MtpH
Pros	Layering/Proportioning of raw materials is not required. Ingredients do not require layering software Transfers ingredients to mixer at high speed Allows variability on blend cycle times i.e. blending can be slowed or paused Flexibility to customize blend times for various blend specifications and quantities Can handle special formulas and very complex blends Tower systems can handle mid to very high tonnages Easier set up for smaller capacity. Therefore good for near/on farm set up Can be suited to powder and granular fertilizer	Automatically and dynamically (re)adjusts its dosing proportions without stopping Doses ingredients at once. Transfers ingredients to mixer continuously Negligible lag time in reloading time between discharges. Preset blend cycle times. Therefore no interruption in the production cycle Can come in various sizes. Can be adapted to warehouse headroom More simplified. Less maintenance and operational costs. Less cleaning time required. Cost effective compared to output (especially for high output tonnages) Full automation in blending line (computer and remote controlled monitoring) Success relies heavily on free flowing raw materials
Cons	Blend time takes longer because rythm of production is broken into batches Weighing and Blending can be separated More upfront cost, especially in the case of a Tower Batch System Can be a more complex system depending on how many components are involved	Can be difficult to maintain constant feeding required for high tonnage output volumes Requires proportioning and automatic adjustment to reach balanced layering Possibility of inconsistent blend quality at the commencement and completion of batches No variability of blend cycle times ie blending cannot be slowed or paused once started Does not allow for adjustable blending/curing time Powder fertilizer can increase plant inefficiency. Not suited for all new liquid products Success relies heavily on free flowing raw materials Not suited for small tonnages or small custom blends

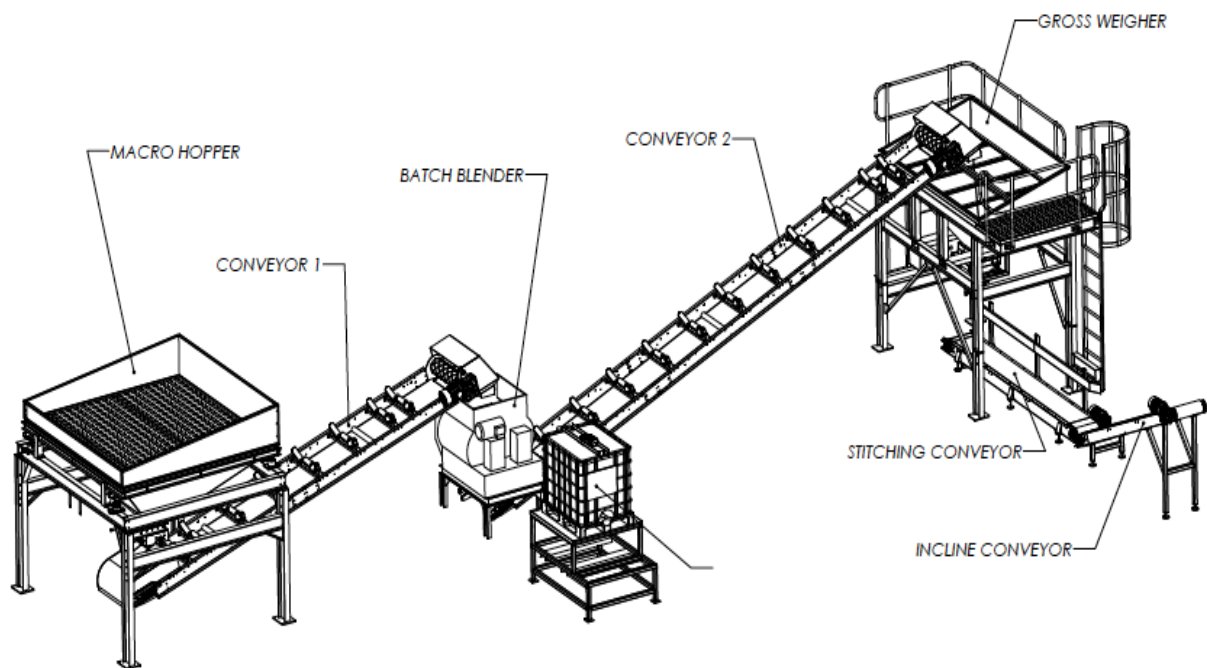
Source : Chinedu Ohanyere, 2022

2.2.4.1. Installation de mélange en vrac par lots

Ce type d'installation mélange des matières premières fertilisantes à écoulement libre, par lots, pour créer des mélanges. Pour ce faire, elle utilise une trémie ou un ensemble de trémies et un système de perte de poids. Les opérations de ce type d'installation de mélange sont énumérées ci-dessous.

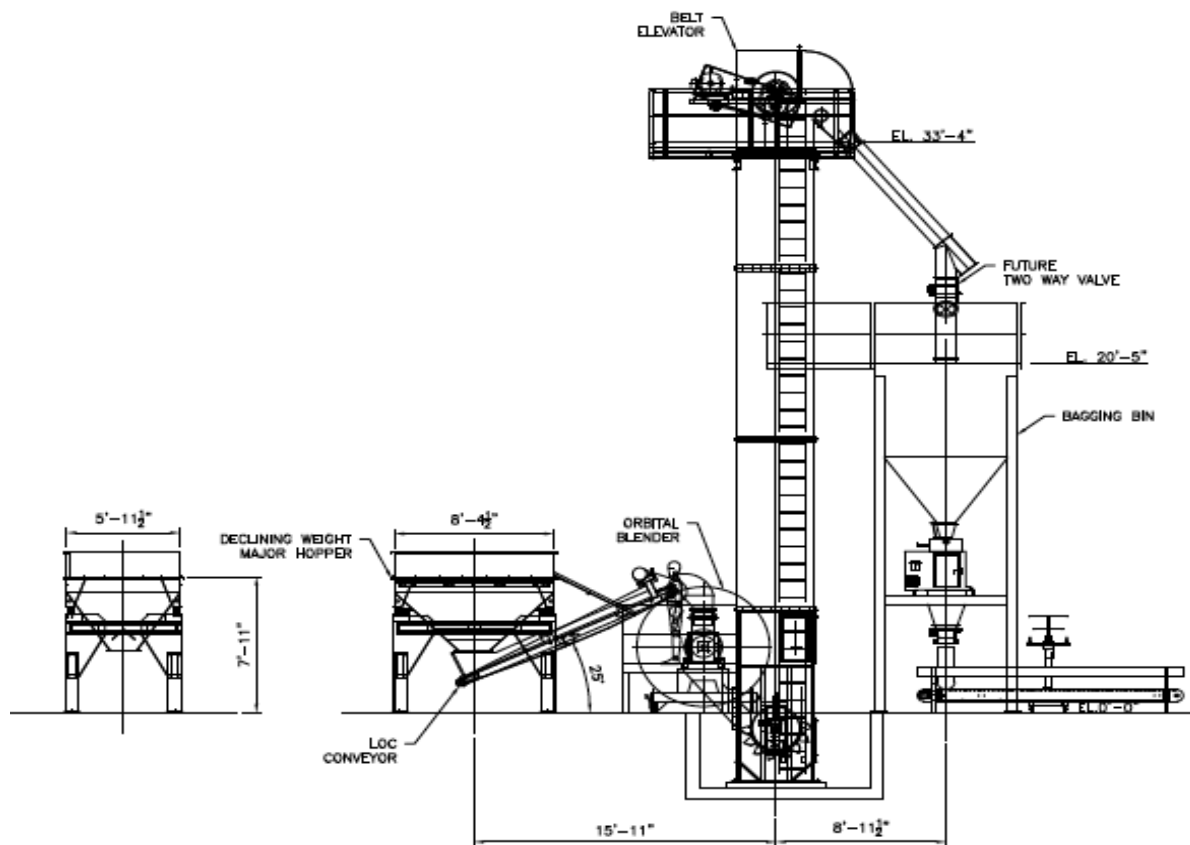
1. Établir la quantité totale de produit mélangé à produire.
2. Répartir la quantité totale en lots
3. Pour chaque lot, calculez la quantité exacte de chaque matière première (macro, secondaire et micro et tout autre additif) nécessaire. Voir la section 2.4 pour des exemples.
4. Mesurer chaque matière première en fonction de son poids calculé et l'introduire dans la ou les trémies.
5. Lorsque tous les matériaux requis sont introduits dans la ou les trémies, le processus de mélange commence. Les produits seront libérés sur le convoyeur sous le bac qui les acheminera vers le mélangeur/mélangeur, où le mélange/le mixage aura lieu.
6. Répétez ces étapes jusqu'à ce que la quantité finale de produit mélangé requise soit atteinte.

Figure 2 : Schéma d'une installation de mélange par lots (à une seule trémie)



Source : Bagtech International (2020)

Figure 3 : Schéma d'une installation de mélange par lots (de type plancher, à trémie unique). Vue de côté.



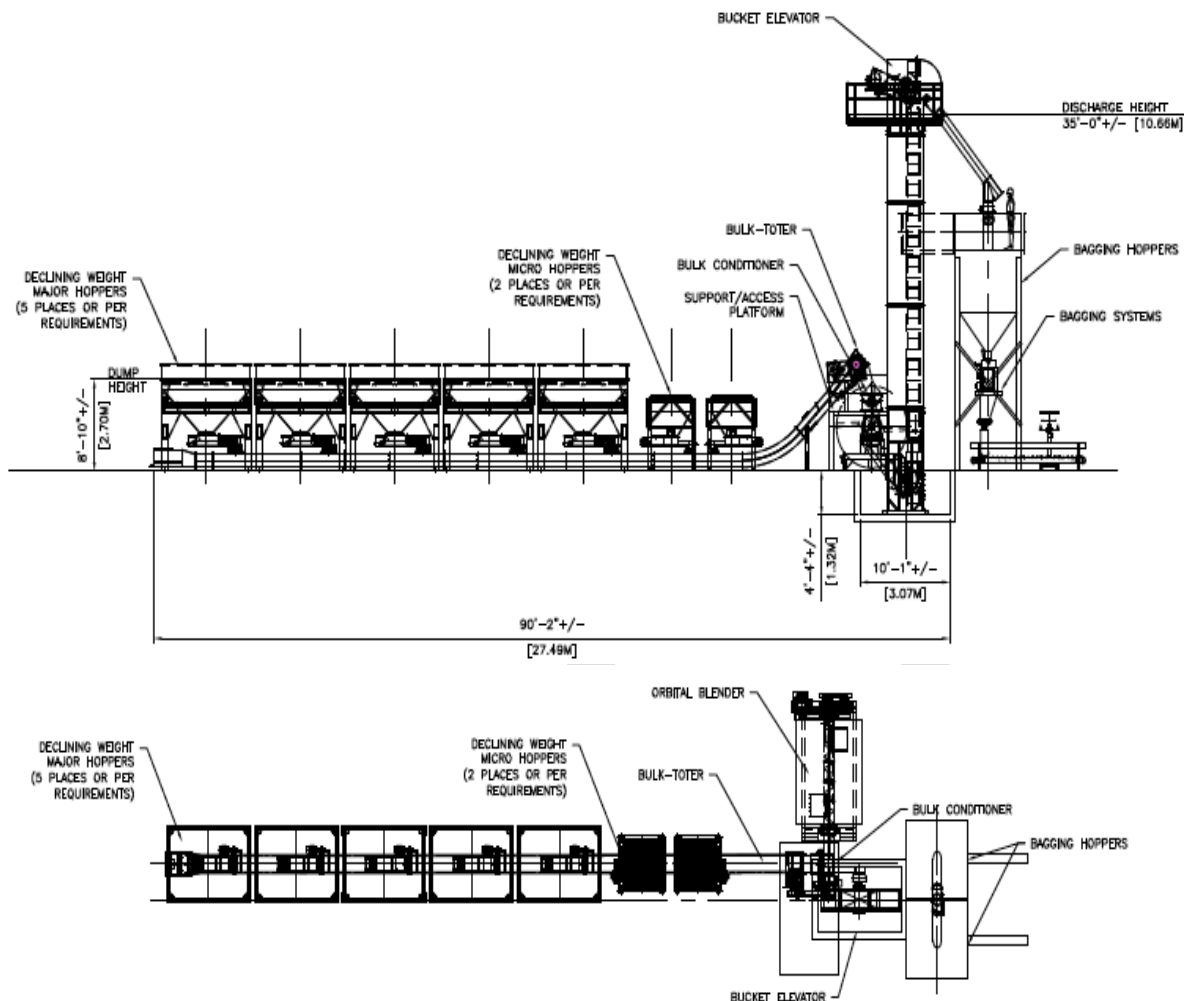
Source : Sackett Waconia, (2019)

2.2.4.2. Installation de mélange en vrac en continu

Ce type d'installation mélange des matières premières fertilisantes à écoulement libre, en continu, pour créer des mélanges. Pour ce faire, elle utilise un ensemble de trémies et un système de pesage dynamique. Les opérations de ce type d'installation de mélange sont énumérées ci-dessous.

1. Établir la quantité totale de produit mélangé à produire.
2. Décomposez la quantité totale en quantités de chaque matière première nécessaire au mélange.
3. Pour chaque quantité de matière première, calculer la quantité exacte de chaque macro, secondaire et micronutriment requis.
4. Mesurer chaque matière première requise en fonction de son poids calculé et l'introduire dans la trémie prévue à cet effet.
5. Alimenter toutes les matières premières requises dans leurs trémies respectives jusqu'à ce qu'elles soient pleines. Démarrez le processus de mélange. L'installation doit automatiquement commencer à distribuer les produits sur le convoyeur sous le bac, en utilisant le système de décharge applicable, qui alimente le mélangeur.
6. Continuez à alimenter les matières premières dans leurs trémies désignées.
7. Répétez ces étapes jusqu'à ce que la quantité prévue de produit mélangé nécessaire soit atteinte.

Figure 4 : Schéma d'une installation de mélange en continu (de type plancher, à trémies multiples). Élévation et vue de dessus.



Source : Sackett Waconia (2019)

2.3. SÉLECTIONNER ET S'APPROVISIONNER EN MATIÈRES PREMIÈRES

Pour produire des mélanges de qualité, la troisième étape consiste à sélectionner et à se procurer les matières premières nécessaires. Les mélanges de mauvaise qualité sont produits lorsque des matières premières de mauvaise qualité sont utilisées. L'[annexe J](#) énumère les caractéristiques des "bonnes" matières premières pour engrais. La quantité totale de matières premières nécessaires doit être déterminée avant de s'en procurer et de les acheter. Lorsque les spécifications du mélange sont reçues, les opérateurs calculent la quantité de chaque matière première nécessaire pour satisfaire la recommandation. En tant qu'opération, la somme des matières premières de toutes les spécifications de mélange reçues par an, donne la quantité totale de matières premières dont ils ont besoin par an. En Afrique de l'Ouest, les approches suivantes sont les plus couramment utilisées pour livrer les spécifications des mélanges aux opérateurs pour la production :

1. Approche de la recommandation générale : C'est l'approche la plus populaire en Afrique de l'Ouest. Elle se produit lorsque des doses et des applications d'engrais uniformes sont recommandées à tous les niveaux, par exemple pour les cultures de base ou les principales cultures commerciales.
2. Recommandation par approche de recherche : Cela se produit lorsque les spécifications du mélange qui sont dérivées de la recherche, sont émises par un agronome, un expert du sol ou un groupe.

3. Approche de recommandation des catégories de fertilité du sol : Elle est pratiquée après la réalisation d'analyses du sol selon les normes. Les résultats des analyses de sol indiqueront le type et la quantité exacts d'éléments nutritifs à fournir de manière optimale à une culture spécifique, en fonction des carences identifiées dans les analyses de sol.

2.3.1. SOURCES DE NPK EN AFRIQUE DE L'OUEST

Comme mentionné dans l'introduction, les annexes A1, A2 et A3 énumèrent les lieux où l'azote et le phosphore, les engrais organiques, les compléments de sol et les micronutriments sont officiellement produits dans la région.

2.3.1.1. SOURCES D'AZOTE EN AFRIQUE DE L'OUEST

L'urée et le sulfate d'ammonium sont les sources d'azote les plus courantes dans les mélanges d'engrais produits en Afrique de l'Ouest. Le Nigeria est le seul pays d'Afrique occidentale qui fabrique de l'urée. Notore, à Port Harcourt, au Nigeria, a une capacité nominale installée de 500 000 tonnes métriques d'urée granulaire et de 300 000 tonnes métriques d'ammoniac par an. Indorama Eleme Fertilizer and Chemicals, à Port Harcourt, au Nigeria, a une capacité totale installée de production d'urée granulaire de 2,8 millions de tonnes par an. Avec une capacité de production installée de 3 millions de tonnes par an, Dangote Fertilizer est le plus grand fabricant d'urée granulaire au Nigeria et le plus grand en Afrique subsaharienne. Au total, le Nigeria dispose d'une capacité de production d'urée granulaire de 6,3 millions de tonnes métriques.

2.3.1.2. SOURCES DE PHOSPHATE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Le MAP et le DAP sont les sources les plus courantes de phosphore dans les mélanges d'engrais produits en Afrique de l'Ouest. La majorité des phosphates utilisés pour les mélanges en vrac en Afrique de l'Ouest sont importés de pays extérieurs à la région, notamment du Maroc. Des conditions géologiques suggérant des gisements de phosphates ont été découvertes au Bénin, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, en Gambie, au Ghana, en Guinée Bissau, au Liberia, au Mali, au Nigeria, au Sénégal et au Togo (Kauwenbergh, 2006). À ce jour, aucun de ces pays n'exploite et ne traite les phosphates en quantités commerciales permettant de ne pas dépendre des importations de phosphates provenant de l'extérieur de l'Afrique de l'Ouest.

2.3.1.3. SOURCES DE POTASSE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Le MOP est la source la plus courante de potassium dans les mélanges d'engrais produits en Afrique de l'Ouest. Les gisements de potasse n'ont pas été trouvés en Afrique de l'Ouest en quantités commerciales. Bien que certains gisements existent dans certaines parties du nord du Nigeria, on sait peu de choses sur leur accessibilité, et les quantités ne sont pas signalées comme étant des quantités commerciales. La potasse utilisée pour le mélange en vrac en Afrique de l'Ouest est importée de pays extérieurs à la région, comme la Chine, la Russie, l'Ukraine, Israël, la Jordanie, le Canada et les États-Unis.

2.3.2. LIGNES DIRECTRICES SUR LA MANIÈRE DE SÉLECTIONNER ET DE S'APPROVISIONNER EN MATIÈRES PREMIÈRES

Il est important de se procurer les bonnes matières premières, avec la bonne qualité, au bon moment et au bon prix. Pour y parvenir, les éléments suivants peuvent servir de lignes directrices :

1. Analysez la formule de mélange reçue pour déterminer les matières premières requises et les quantités dans lesquelles elles sont requises.

2. Connaître les caractéristiques de chaque matière première requise, par exemple, la teneur en nutriments, la compatibilité chimique, l'humidité relative critique, la compatibilité physique et les propriétés.
3. Assurer la disponibilité de la matière première.
4. Achetez les matières premières "juste à temps" ou avant la saison agricole.
5. Insistez pour que le fournisseur fournisse une fiche de données de sécurité internationalement reconnue pour les matériaux que vous achetez, afin de connaître des informations essentielles telles que la concentration en nutriments. Toutefois, il est nécessaire d'effectuer vos propres tests (à la source, après l'arrivée à votre port et après le déchargement dans votre entrepôt) pour confirmer les informations fournies par le fournisseur. Par exemple, il convient de vérifier les caractéristiques du matériau telles que la teneur en éléments nutritifs (%), la taille des particules, l'humidité du produit et sa compatibilité.

2.3.2.1. Concentration des éléments nutritifs

La concentration en éléments nutritifs est la proportion d'éléments nutritifs (pourcentage) contenue dans chaque granulé d'une matière première fertilisante. Pour produire des mélanges de qualité, les concentrations en éléments nutritifs des matières premières utilisées doivent être connues. Des mélanges de mauvaise qualité peuvent être produits lorsque des matières premières ayant des concentrations en éléments nutritifs inférieures aux spécifications sont utilisées. Les fournisseurs de matières premières doivent fournir des rapports d'analyse indiquant les concentrations en éléments nutritifs et d'autres caractéristiques de chaque matière qu'ils vendent. Cependant, il incombe à l'acheteur ou au mélangeur d'effectuer sa propre analyse pour confirmer les résultats avant de les utiliser dans la production d'un mélange. L'annexe H présente un résumé des éléments nutritifs requis pour les plantes, mais l'analyse en laboratoire de la matière première sera utilisée pour connaître la teneur réelle en éléments nutritifs de la matière première en vue d'un éventuel ajustement de la formule.

2.3.3. DIRECTIVES SUR LA RÉCEPTION ET LE STOCKAGE DES MATIÈRES PREMIÈRES

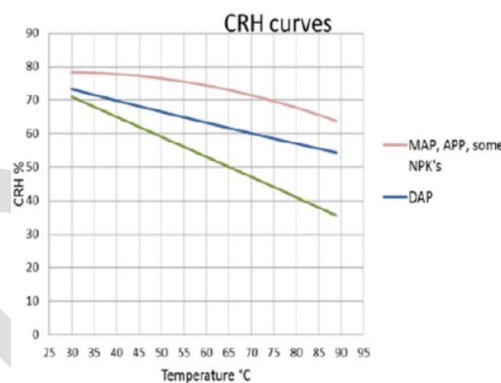
Les matières premières sont coûteuses et constituent la dépense la plus importante dans une opération de mélange d'engrais en vrac. Il est très important de les manipuler correctement pendant le transport et le stockage afin de préserver leur teneur en éléments nutritifs et leurs propriétés physiques, comme le prévoient les articles 20 à 24 du chapitre V du règlement C/REG.13/12/12 relatif aux régimes d'importation et aux conditions de stockage en entrepôt. Pour recevoir et stocker les matières premières de manière adéquate, les points suivants servent de lignes directrices pour une opération :

1. Connaître la compatibilité des matières fertilisantes à recevoir. Pour produire des mélanges d'engrais de qualité, il faut utiliser des matières premières compatibles. Si des matières incompatibles sont utilisées, les mélanges seront de mauvaise qualité. L'utilisation de matières incompatibles peut entraîner la création de sels insolubles, de précipités indésirables, de mottage ou de problèmes de colmatage. La compatibilité chimique, l'humidité relative critique, la compatibilité physique et les propriétés physiques sont les caractéristiques les plus importantes à prendre en compte.
 - i. La compatibilité chimique d'une matière première d'engrais est la mesure de sa stabilité lorsqu'elle est mélangée à une autre matière première. Si deux ou plusieurs ingrédients d'engrais peuvent être mélangés et que leurs caractéristiques restent stables individuellement et collectivement, ils sont compatibles. Lors de la sélection des matières premières à mélanger, la

compatibilité chimique des matières devrait être la première caractéristique à considérer. L'annexe K présente un tableau de compatibilité des matières premières d'engrais accompagné d'explications. D'après cette figure, les exemples de matières incompatibles couramment utilisées en Afrique de l'Ouest sont l'urée et le SSP ou le TSP. Des exemples de matières partiellement compatibles couramment utilisées dans la région sont l'urée et le MOP. Par conséquent, des mélanges de mauvaise qualité seront produits lorsque des matières incompatibles sont mélangées. Par exemple, les sulfates et les phosphates ne doivent pas être mélangés avec des engrais à base de calcium.

- ii. L'humidité relative critique (HRC) d'une matière première d'engrais est une température à laquelle, si l'humidité relative de l'atmosphère environnante est plus élevée, la matière première commence à absorber l'humidité atmosphérique. Ou inversement, c'est la température à laquelle, si l'humidité relative de l'atmosphère est plus faible, la matière première n'absorbera pas l'humidité atmosphérique. Lorsque la température de l'air augmente, la CRH diminue. Par exemple, le CRH du nitrate d'ammonium diminue de 22% avec une température allant de 0°C à 40°C. Le graphique ci-dessous montre la relation entre T °C et CRH %.

Figure 5 : Courbes CRH. T °C vs CRH %



Source : Jordison et Reichling, 2013

L'annexe K montre le CRH des matières premières d'engrais courantes et de celles qui sont couramment utilisées en Afrique de l'Ouest. D'après le tableau, les matières premières des engrais à base de sulfate d'ammonium ou de phosphate ont un CRH élevé, ce qui signifie qu'elles absorbent moins d'humidité de l'air. Mais les engrais mélangés ont généralement des valeurs de CRH inférieures à celles de chacune des matières premières individuelles utilisées pour formuler le mélange. Par exemple, en mélangeant de l'urée (CRH 73) et du MAP (CRH 92), on obtient un mélange dont le CRH est de 65. Ainsi, le mélange est susceptible de former un gâteau ou une boue, dans un environnement à 30°C comme l'Afrique de l'Ouest, en raison de son CRH inférieur. Par conséquent, des mélanges de mauvaise qualité seront produits lorsque les valeurs de CRH des matériaux mélangés sont inférieures aux valeurs de CRH de la compatibilité et des propriétés individuelles. Pour éviter que les matières premières ne soient affectées par l'humidité ambiante lorsqu'elles sont stockées pendant de longues périodes ou lorsqu'elles ne sont pas utilisées, il est conseillé de couvrir les matières premières ou de s'assurer que l'air ambiant est contrôlé de manière à maintenir leur taux d'humidité. Ceci est important pour que la qualité de la matière première ne soit pas affectée négativement.

- iii. La compatibilité physique des matières premières d'engrais est essentielle à la production de mélanges de qualité. Les caractéristiques physiques des matières premières telles que la densité apparente, la forme, la dureté, la solubilité, la teneur en poussière, le débit et le niveau de contamination, peuvent déterminer le degré de compatibilité physique des matières premières. Par exemple, si les tailles des matières premières à utiliser dans un mélange diffèrent de plus de 10 %, une ségrégation se produira très probablement pendant le transport. Cela est également vrai pour les micronutriments, car ils ont généralement une densité élevée et sont requis en petites quantités.
- Taille des particules et distribution de la taille des particules. Lors de l'approvisionnement en matières premières, il est important que les fabricants fournissent la taille des particules (en utilisant le numéro de guide de tamisage, SGN) et la distribution de la taille des particules (en utilisant l'indice d'uniformité, UI). Une taille de particule mal adaptée entraîne une ségrégation du produit et contribue à des mélanges de mauvaise qualité. Selon les sources de matières premières fertilisantes, des particules de nature fine ou grumeleuse peuvent être présentes dans l'engrais en vrac. Une bonne pratique consiste à tamiser ou à cribler les matières premières avant de commencer les opérations de mélange et d'ensachage. Il n'est pas recommandé de tamiser ou de cribler les matières premières après le mélange, car le mélange des matières premières et la perte de certaines de ses particules peuvent se produire et modifier la composition nutritive du mélange. Il est recommandé que les usines de mélange soient équipées de tamis à grumeaux et à fines dans les lignes de mélange et d'ensachage. Il existe deux méthodes principales pour déterminer la taille des particules des matières premières d'engrais, le test en pot et le nombre guide de taille (SGN)/l'indice d'uniformité (UI).
 - La méthode du test du pot. Il s'agit d'une méthode utilisée pour obtenir les résultats de la distribution granulométrique des matières premières. Ces résultats sont importants pour déterminer s'il y a ségrégation. L'équipement requis est constitué de baux à parois droites de taille égale et de tamis disposés ensemble. Se reporter à l'annexe L pour des exemples de diagrammes d'essai de baux et de distributions granulométriques. Le test compare les matières premières en utilisant leur volume. Un volume égal de chaque matière première à utiliser pour le mélange est passé à travers des tamis. Les matériaux retenus sur chaque tamis et ceux qui sont passés par le tamis fin sont placés dans différents baux et comparés visuellement. Les matériaux ayant une distribution de taille similaire ne se sépareront pas lorsqu'ils seront utilisés pour les mélanges. Les tamis de taille comprise entre 5 et 20 fonctionnent, mais pour obtenir des résultats plus uniformes, il faut utiliser seulement deux tailles de tamis, c'est-à-dire les tailles de maille 7 et 9 ou 8 et 10.
 - Les méthodes du Size Guide Number (SGN) et de l'Uniformity Index (UI). Le SGN est un système utilisé pour identifier les matières premières. Il

repose sur l'idée que seuls le SGN et l'UI sont nécessaires pour décrire la distribution granulométrique d'une matière première d'engrais. Il s'agit de la taille de particule qui divise la masse de toutes les particules des matières premières en deux moitiés égales, c'est-à-dire une avec la plus grande taille de particule et l'autre avec la plus petite taille de particule. En d'autres termes, il s'agit de la dimension médiane en mm jusqu'à une deuxième décimale multipliée par 100. La SGN peut être déterminée par l'une des méthodes suivantes, un graphique (voir annexe M), un calcul à partir des données d'analyse de la taille (voir annexe N) ou une estimation à l'aide de l'échelle SGN (voir annexe O).

- L'indice d'utilisation est mieux déterminé par des méthodes mathématiques. Il s'agit du rapport entre les particules de petite taille et les particules de grande taille, exprimé en pourcentage. En d'autres termes, il s'agit du rapport multiplié par 100 entre les tailles de particules correspondant au niveau de 95 % et celles correspondant au niveau de 10 % dans la courbe de distribution cumulative.
- La méthode pratique d'utilisation du SGN et de l'UI sont ;
 - ...Calculer les SGN et UI moyens des matériaux à utiliser pour le mélange.
 - ...Établir des plages acceptables pour le SGN et l'UI. Avec le temps, les opérateurs développent une méthode pour établir des plages acceptables pour le SGN et l'UI. Le plus souvent, la méthode et la plage sont propres à leurs opérations et peuvent ne pas fonctionner dans une opération différente.
 - ...Déterminez ce qui convient le mieux à votre activité, par exemple, "*moyenne plus ou moins 10 %*". Si les matériaux se situent dans les limites des plages acceptables, la formulation sera calculée en utilisant les moyennes. Dans le cas contraire, les moyennes seront augmentées pour prévenir le risque de ségrégation.
 - ...Dans l'exemple ci-dessous, le SGN et l'UI de la matière première B ne se situent pas dans la plage acceptable. Il faut donc utiliser une moyenne suffisamment large pour empêcher la ségrégation ou utiliser une autre matière dont le SGN et l'UI se situent dans la plage acceptable.

Raw Material	SGN	UI
A	250	50
B	210	45
C	260	55
Average	240	50
Acceptable Range	215-265	45-55

Tableau 4 : Quelques propriétés physiques importantes des matières premières pour engrais

EFBA Targets and Tolerances for the granulation of raw materials for fertiliser blending			
Verbal notation	Physical dimension		
Mean Particle Size	d ₅₀ in mm	3,25 mm	±0,25 mm
Fine Particles	< 1 mm, % of mass	0%	0,25%
Coarse Particles	> 5 mm, % of mass	0%	1%
Main Range	2,5 – 4,0 mm, % of mass	90%	±5 %
Granulometric Spread Index (GSI)	$GSI = \frac{d_{84} - d_{16}}{2 d_{50}} 100$	<18	

It is assumed that the sieve analysis is carried out according to European Standard EN 1235/A1.

EFBA recommends the use of these seven sieves : 1,00 mm – 2,50 mm – 2,80 mm – 3,15 mm – 3,55 mm – 4,00 mm – 5,00 mm (the justification for these sieves is linked to the recommendations)

Source : Manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016.

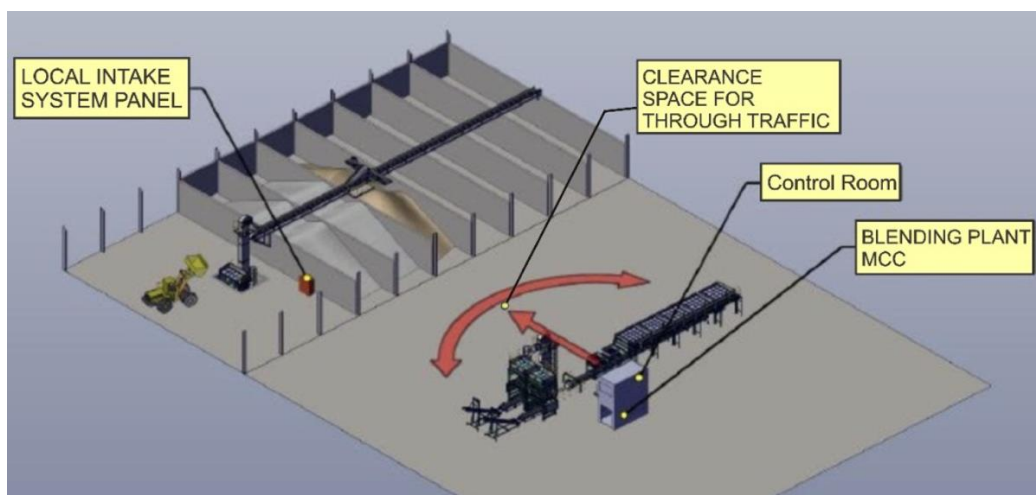
2. Reportez-vous aux procédures opérationnelles standard (POS) internes pour les procédures de réception et d'entreposage. Toutefois, notez les quatre points critiques ci-dessous.
 - i. Préplanifiez les baies/cases de stockage des matières premières en tenant compte de la compatibilité chimique des matières premières. Utilisez le tableau de compatibilité de l'annexe I pour garantir la sécurité de leur stockage.
 - ii. Un moyen de transport en bon état doit être utilisé pour acheminer la cargaison.
 - iii. Recouvrez et attachez les camions transportant les produits avec une bâche, afin que le produit ne soit pas mouillé (par la pluie), contaminé ou déversé sur la chaussée, dans les égouts publics ou les cours d'eau.
 - iv. La baie/le bac doit être de taille adéquate pour contenir le produit entrant. Ne surchargez pas l'espace afin que les produits ne se déversent pas dans d'autres baies/bacs pour éviter toute contamination.
3. Les échantillons bien prélevés doivent être étiquetés de manière appropriée et envoyés à un laboratoire pour analyse et/ou conservés sur place à des fins de référence. Se référer aux techniques d'échantillonnage de l'annexe T.
 - i. Contactez le fournisseur dès que la matière première reçue ne répond pas aux exigences en matière de concentration en nutriments et de taille des particules.
 - ii. Utilisez les méthodes Jar Test et SGN/UI pour un échantillonnage rapide et des méthodes d'essai physique.
 - iii. Pour des tests plus approfondis, une portion riffée doit être adoptée pour l'analyse chimique.
4. Pour les matières premières reçues en sacs, retournez chaque sac sur les quatre côtés avant de les empiler soigneusement. Cela permettra d'éviter la ségrégation des produits.
 - i. Stockez les matières premières en hauteur mais à partir de points différents pour éviter la ségrégation des produits et maximiser la capacité de stockage. Pour des raisons de sécurité,
 - a. la hauteur des stocks de matières premières en sacs ne doit pas dépasser 5m.
 - b. la hauteur des piles pour les matières premières en vrac doit être d'au moins 6m.

- ii. Utilisez un système de convoyeur aérien d'alimentation ou un déviateur de flux de forme trapézoïdale avec un trou au milieu, le cas échéant.
- iii. En l'absence d'un système de convoyeur aérien, décantez soigneusement les sacs de matières premières dans les baies de produits et veillez à ce que les sacs soient vidés d'une certaine hauteur et déposés à différents points de passage des produits.
- iv. Lorsqu'il alimente des trémies pour la production, le chargeur frontal ne doit pas prendre le produit à une seule extrémité d'une pile, mais doit travailler la pile d'un bout à l'autre de la baie/du bac.
- v. Si une face verticale est créée dans un tas, il faut l'abattre doucement pour des raisons de sécurité et pour assurer l'uniformité du produit.
- vi. Utilisez le tableau 5 comme guide pour les tailles de stockage requises pour différentes tailles d'usine et projections de tonnage annuel.

Tableau 5 : Lignes directrices indicatives pour le stockage.

GUIDELINES OF STORAGE SIZES REQUIRED FOR VARIOUS PLANT AND ANNUAL TONNAGE CAPACITIES	
	upto 30 MtpH 30,000 Mt/Yr
Land	0.5 Ha or 5,000 sq m
Main Factory Building	75% of Land or 3,750 sq m or 45m wide * 84m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 1,500 sq m or 15m wide * 20m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 375 sq m or 12m wide * 15m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m
	upto 60 MtpH 60,000 Mt/Yr
Land	≥0.5 Ha ≤ 1 Ha. Example 0.75 Ha
Main Factory Building	75% of Land or 5,625 sq m or 55m wide * 100m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 1,650 sq m or 15m wide * 22m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 560 sq m or 13m wide * 22m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m
	upto 100 MtpH 100,000 Mt/Yr
Land	1 Ha or 10,000 sq m
Main Factory Building	75% of Land or 7,500 sq m or 65m wide * 115m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 2,250 sq m or 15m wide * 30m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 750sq m or 15m wide * 25m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m
	>100 MtpH >100,000 Mt/Yr
Land	≥1 Ha. Example 1.5 Ha or 15,000 sq m
Main Factory Building	75% of Land or 11,250 sq m or 75m wide * 150m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 3,375 sq m or 20m wide * 34m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 1,125 sq m or 20m wide * 28m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m

Figure 6 : Schéma indicatif de réception et de stockage des matières premières



Source : Grant Ruwers, Lagos, 2019

2.4. CALCUL DES INGRÉDIENTS D'UNE FORMULE DE MÉLANGE.

Avant de commencer tout calcul, il est important de sélectionner les bonnes matières premières pour engrais (la liste des matières premières et leurs caractéristiques figurent à l'annexe J, de déterminer la compatibilité physique et chimique des matières premières et de s'assurer que les matières premières sont analysées de manière à ce que la valeur des garanties des matières utilisées dans la formule soit exactement celle des matières en stock.

2.4.1. EXEMPLE 1 : UN MÉLANGE SIMPLE DE NPK

Les étapes suivantes peuvent servir de guide pour effectuer des calculs précis. Nous allons mettre en œuvre ces étapes avec NPK 20:10:10 comme premier exemple.

1. Choisissez les ingrédients du mélange.
 - a. Les sources les plus courantes de N sont l'urée, le sulfate d'ammonium et l'ammonium provenant des phosphates diammoniques et monoammoniques. Certains composés NPS tels que 19:38:0 +7S sont également appropriés pour les mélanges.
 - b. Les sources de P les plus courantes sont le DAP et le MAP ; d'autres sources de P appropriées peuvent inclure 19 :38:0 +7S ou similaire. Le TSP peut être utilisé pour certains mélanges mais n'est pas compatible avec la plupart des sources de N.
 - c. La source de K la plus courante est le KCl (ou muriate de potasse, MOP). Le sulfate de potasse (SOP) est une très bonne source de K mais il est très cher par rapport au MOP.
 - d. D'autres ingrédients courants des mélanges et leur composition nutritionnelle sont présentés à l'annexe J.

Pour cet exemple, nous choisirons l'urée, le DAP et le KCl comme ingrédients de mélange.

2. Vérifiez la compatibilité des ingrédients. Notez que les données sur le CRH ne sont pas disponibles pour les mélanges à 3 ingrédients, et que les ingrédients ajoutés ont tendance à diminuer le CRH. Il est prudent de déterminer au préalable le CRH d'un mélange particulier, notamment avant de le produire en grande quantité.

- Calculez les éléments nutritifs du mélange sur une base par tonne (1000 kg). Les concentrations d'éléments nutritifs dans une formulation NPK sont exprimées en pourcentages ; par exemple, NPK 20-10-10 contient 20 % de N, 10 % de P₂ O₅, et 10 % de K₂ O. Pour convertir ces pourcentages en kg par tonne, il faut les multiplier par 10. Une tonne de 20-10-10 contient donc 200 kg de N, 100 kg de P₂ O₅, et 100 K₂ O.
- La source de P dans les mélanges NPK contient à la fois du N et du P. Commencez toujours par calculer le P nécessaire. Pour calculer les kg de DAP nécessaires pour fournir 100 kg de P₂ O₅ (de l'étape 3), divisez les kg de P requis P₂ O₅ par le pourcentage de P₂ O₅ dans le DAP, qui est généralement de 46%. Notez que le pourcentage est exprimé en kg par 100 kg, donc :

$$\frac{100 \text{ kg } P_2O_5}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg DAP}}{46 \text{ kg } P_2O_5} = \frac{217.4 \text{ kg DAP}}{\text{ton fertilizer}}$$

Comme le DAP contient également de l'azote, la quantité d'azote dans ce DAP est calculée en multipliant le kg de DAP par le pourcentage d'azote dans le DAP :

$$\frac{217.4 \text{ kg DAP}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{18 \text{ kg N}}{100 \text{ kg DAP}} = \frac{39.1 \text{ kg N}}{\text{ton fertilizer}}$$

Le besoin total en azote est de 200 kg N/tonne, dont 39,1 kg sont fournis par le DAP. Le solde, soit 200 - 39,1 = 160,9 kg N/tonne, doit être fourni par la source d'azote choisie, l'urée. La quantité d'urée requise par tonne est calculée en divisant cette quantité par le pourcentage de N dans l'urée :

$$\frac{160.9 \text{ kg N}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg urea}}{46 \text{ kg N}} = \frac{349.8 \text{ kg urea}}{\text{ton fertilizer}}$$

- Enfin, MOP fournit 100 kg de K₂ O par tonne, ce qui s'obtient en divisant la quantité requise de K₂ O par le pourcentage de K₂ O dans le KCl, soit 60 % :

$$\frac{100 \text{ kg } K_2O}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg MOP}}{60 \text{ kg } K_2O} = \frac{166.7 \text{ kg MOP}}{\text{ton fertilizer}}$$

Les ingrédients totaux de la tonne de 20-10-10 sont donc 349,8 kg d'urée, 217,4 kg de DAP et 166,7 kg de KCl, soit un total de 733,9 kg. Le solde des 1000 kg ou de la tonne est de 1000-733,9 kg, soit 266,1 kg. Vous trouverez ci-dessous une feuille de calcul indiquant les éléments nutritifs fournis par chaque source, et arrondis au kg le plus proche :

Matière première	Poids	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----kg/ton-----			
MOP (0-0-60)	167	0	0	100
DAP (18-46-0)	217	39	100	0
Urée (46-0-0)	350	161	0	0
Remplissage (0-0-0)	266	0	0	0
Total	1000	200	100	100
Pourcentage		20	10	10

Notez la compatibilité limitée entre le MOP et l'urée, qui est une combinaison susceptible de gâcher en raison de la faible CRH. Des agents anti-agglomérants doivent être envisagés.

2.4.2. EXEMPLE 2 : UN MÉLANGE D'ENGRAIS MULTINUTRIMENTS

Supposons maintenant un mélange plus compliqué, avec un équilibre entre macro et micronutriments : 20-10-10 +5S +1,5 Zn +1B.

L'ajout de S à la formule crée quelques choix pour le mélangeur, car il peut être fourni par plusieurs sources, notamment le sulfate d'ammonium, les pastilles de soufre, le sulfate de potassium, le polyhalogénure et le 19-38-0 +7S, ou une combinaison de ces éléments. Les considérations clés seront le coût, la stabilité du produit et la disponibilité des ingrédients.

Pour cet exemple, nous utiliserons le sulfate d'ammonium, qui est généralement peu coûteux. La source de zinc sera le sulfate de zinc monohydraté, généralement la moins chère et la plus stable des sources de Zn. Nous calculerons d'abord les besoins en Zn, car il apporte une petite contribution en S, dont le reste sera apporté par le sulfate d'ammonium. Nous supposerons que le B provient du borax pentahydraté granulaire (14,5% B), une source de B granulaire stable.

1. En multipliant les pourcentages de la formulation par 10, une tonne de formulation contiendra 200 kg de N, 100 kg de P₂O₅, 100 K₂O, 50 kg de S, 15 kg de Zn, et 10 kg de B.
2. Calculez les ingrédients nécessaires, en commençant par le Zn :

$$\frac{15 \text{ kg Zn}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}}{35 \text{ kg Zn}} = \frac{42.9 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{ton fertilizer}}$$

Calculez maintenant la quantité de S dans cette quantité de ZnSO₄ · H₂O :

$$\frac{42.9 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{17 \text{ kg S}}{100 \text{ kg ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}} = \frac{7.3 \text{ kg S}}{\text{ton fertilizer}}$$

La quantité totale de S requise est de 50 kg/tonne, donc le solde de S qui doit être fourni par le sulfate d'ammonium (SA) est de (50-7,3) = 42,7 kg S/tonne.

Maintenant, nous calculons le sulfate d'ammonium nécessaire :

$$\frac{42.7 \text{ kg S}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg AS}}{24 \text{ kg S}} = \frac{178.0 \text{ kg AS}}{\text{ton fertilizer}}$$

L'AS contient également de l'azote, calculé comme suit :

$$\frac{178.0 \text{ kg AS}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{21 \text{ kg N}}{100 \text{ kg AS}} = \frac{37.3 \text{ kg N}}{\text{ton fertilizer}}$$

Le P₂O₅ du DAP, le N du DAP, et le K₂O du MOP sont calculés comme indiqué précédemment :

$$\begin{aligned} \frac{100 \text{ kg P}_2\text{O}_5}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg DAP}}{46 \text{ kg P}_2\text{O}_5} &= \frac{217.4 \text{ kg DAP}}{\text{ton fertilizer}} \\ \frac{217.4 \text{ kg DAP}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{18 \text{ kg N}}{100 \text{ kg DAP}} &= \frac{39.1 \text{ kg N}}{\text{ton fertilizer}} \\ \frac{100 \text{ kg K}_2\text{O}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg MOP}}{60 \text{ kg K}_2\text{O}} &= \frac{166.7 \text{ kg MOP}}{\text{ton fertilizer}} \end{aligned}$$

Le bilan de l'azote est le total de l'azote requis (200 kg/tonne), moins l'azote fourni par le DAP et le AS, soit (200-37,3-39,1) = 123,6 kg N/tonne, et la quantité d'urée requise pour ce bilan est la suivante

$$\frac{123.6 \text{ kg N}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg urea}}{46 \text{ kg N}} = \frac{268.7 \text{ kg urea}}{\text{ton fertilizer}}$$

Enfin, on calcule la quantité de pentahydrate de borax (14,5% B) :

$$\frac{10 \text{ kg B}}{\text{ton fertilizer}} \times \frac{100 \text{ kg borax penta.}}{14.5 \text{ kg B}} = \frac{69.0 \text{ kg borax penta.}}{\text{ton fertilizer}}$$

Le total des ingrédients par tonne est de (268,7 kg d'urée + 217,4 kg de DAP + 166,7 kg de MOP + 178,8 kg d'AS + 42,9 kg de sulfate de Zn monohydraté + 69,0 kg de borax pentahydraté)/tonne = 943,5 kg. Un solde de 56,5 kg de matière de remplissage est nécessaire pour porter le poids total à 1 tonne.

Vous trouverez ci-dessous la feuille de calcul indiquant les éléments nutritifs fournis par chaque source et arrondis au kg le plus proche :

Matière première	Poids	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Zn	B
	-----kg/ton-----						
Urée (46-0-0)	269	124	0	0	0	0	0
AS (21-0-0 +24S)	179	37	0	0	42.7	0	0
DAP (18-46-0)	217	39	100	0	0	0	0
MOP (0-0-60)	167	0	0	100	0	0	0
ZnSO ₄ *H ₂ O (35 Zn, 17 S)	43	0	0	0	7.3	15	
Borax penta. (14.5 B)	69	0	0	0	0	0	10
Remplissage (0-0-0)	44	0	0	0	0	0	0
Total	1000	200	100	100	50	15	10
Pourcentage		20	10	10	5	1.5	1

Des agents anti-agglomérants doivent être envisagés en raison du risque d'agglutination dû à la faible CRH de plusieurs combinaisons de composants, notamment l'urée et le KCl.

De nombreuses formulations approuvées en Afrique de l'Ouest ont une concentration relativement élevée de N. Lorsqu'elles sont fabriquées sous forme de composés (où tous les nutriments sont contenus dans les mêmes granulés), de la chaux ou de l'argile est généralement utilisée comme matériau de remplissage, ce qui entraîne des valeurs de CRH plus élevées. Ce n'est pas le cas dans les mélanges, et l'utilisation d'urée et de SA peut donc poser des problèmes de CRH. Dans la mesure du possible, il est conseillé d'éviter l'urée dans les mélanges et de déplacer l'application d'azote uréique vers la couche de couverture. Toutefois, si l'on est obligé d'utiliser des formulations approuvées à forte teneur en N, il est conseillé d'utiliser des ingrédients anti-agglomérants.

Ingrédient du mélange	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Zn	B	Cu	Cl
	-----Typical analysis, %-----									
Nitrate d'ammonium	34									
Urée	46									
Nitrate d'ammonium calcique (CAN)	26-28			6-10	0-3					

Yara Amidas	40			5.6
Sulfate d'ammonium	21			24
Phosphate diammonique (DAP)	18	46		
Phosphate monoammonique (MAP)	11	52		
Roche de phosphate (PR)		27-29	25-28	
Superphosphate triple (TSP)		45-46	15	2-3
Superphosphate simple (SSP)		16-20	18-21	7-9
Muriate de potasse (également KCl, MOP)			60	45
Sulfate de potasse (SOP)			50	18
Soufre élémentaire				80-100
Polyhalite (Polysulfate®, POLY4)			14	12.1
				3.6
				19.2
19:38:0 +7S	19	38		7
Gypse (sulfate de calcium dihydraté)			23	18.6
Sulfate de magnésium monohydraté (kieserite)				15
				19.8
Sulfate de zinc monohydraté				17
				35
Sulfate de zinc heptahydraté				10
				21
Oxyde de zinc				70-
				80
Borax décahydraté				10
Borax pentahydrate				14.5
Octaborate de disodium pentahydrate				20.9
Acide borique				17.5
Sulfate de cuivre pentahydraté				12
				25
Oxyde cuivrique				60-80
Oxyde cuivreux				75-89
Calcaire calcique			35-40	
Calcaire dolomitique		20-25	15-25	
Plusieurs citrons verts "fins".		20-40	0-20	

2.5. OPÉRATIONS DE MÉLANGE ET D'ENSACHAGE D'ENGRAIS.

Pour produire des mélanges de qualité, la cinquième étape consiste à effectuer les opérations de mélange et d'ensachage conformément aux normes acceptables de la CEDEAO et aux normes internationales. Le mélange et l'ensachage d'engrais est le processus de mélange de matières premières d'engrais à écoulement libre et d'enrobages liquides et de leur conditionnement dans des sacs à gueule ouverte. L'ajout d'oligo-éléments aux mélanges NPK est nécessaire pour obtenir une nutrition équilibrée des sols agricoles et des plantes, mais cela pose un défi aux mélangeurs en raison des petites quantités requises à la fois. Les exploitants doivent donc prendre en considération la nature du micronutriment (liquide, poudre, granulaire) qu'ils vont utiliser et acheter des plantes dotées de bons systèmes d'imprégnation des micronutriments.

Chaque mélangeur devrait disposer d'un ensemble de procédures opérationnelles standard (POS) développées en interne, en plus de celles figurant dans le manuel de l'usine. Ces SOPs servent à guider l'ensemble du processus en assurant l'uniformité opérationnelle. Pour plus de référence, l'[annexe P](#) présente une liste de contrôle indicative pour les opérations de mélange et d'ensachage en vrac, tandis que les éléments suivants peuvent servir de guide général :

1. Utilisez un système de mélange par lots ou en continu de bonne qualité pour produire des mélanges précis. Il convient de prêter attention au type d'installation utilisé pour le mélange. Si un mélangeur ordinaire est utilisé à la place d'un système de mélange, il y a une très forte probabilité que des produits de mélange inexacts soient produits. C'est

l'une des façons de mettre sur le marché des mélanges de mauvaise qualité dont le poids des sacs est faussé.

2. Pour un système discontinu ou continu, les fonctions générales comprennent, sans s'y limiter, les éléments suivants.
 - a. Réglez l'installation et la balance sur votre réglage zéro prédéterminé.
 - b. Charger les matières premières dans la ou les trémies de réception.
 - c. Commencez le processus de mélange.
 - d. Lancez le processus d'ensachage en même temps que le processus de mélange.
 - e. Commencez le processus de couture du sac en même temps que le processus d'ensachage.
 - f. Palettiser et stocker selon les besoins.
 - g. Voir la section 7.1 (a) pour les caractéristiques recommandées des sacs et la section 3.1.1. pour les directives de stockage des produits mélangés.

3. Voici quelques scénarios, pour chaque type d'installation de mélange en vrac, qui peuvent affecter la qualité des mélanges s'ils ne sont pas pris en compte :
 - a. Type de lot
 - i. Si l'on utilise des matières premières de faible qualité (grumeleuses, humides, à faible teneur en éléments nutritifs, etc.) parce que le mélangeur est de type à tambour et qu'il peut les manipuler, il est possible de les utiliser.
 - ii. Si le nettoyage de l'ensemble de la ligne n'est pas correctement effectué entre deux lots, en particulier de mélanges de spécifications différentes.
 - iii. Si les poids et les quantités de matières premières sont mal calculés ou mal introduits dans la (les) trémie(s).
 - b. Type continu
 - i. Si les matières premières ne sont pas fluides
 - ii. Si les matières premières ne sont pas introduites dans les trémies à un rythme constant (vitesse)
 - iii. Si la trémie est alimentée avec le mauvais matériau pour lequel elle n'a pas été calibrée.
 - iv. Si la mauvaise formule de mélange est programmée
 - v. S'il y a une obstruction dans une section quelconque de l'installation qui peut entraîner des lectures de poids inexacts, que ce soit au niveau des trémies d'alimentation ou des pré-peseurs d'ensachage, par exemple si un opérateur se tient physiquement dans l'une des trémies, les systèmes de pesage seront amenés à calculer des poids erronés qui affecteront le poids final des sacs.

2.5.1. ÉTIQUETAGE.

Tous les sacs d'engrais doivent être étiquetés conformément à l'article 5 chapitre II, l'article 18 chapitre IV du règlement de la CEDEAO C/REG.13/12/12 relatif au principe de vérité dans l'étiquetage et l'étiquetage respectivement et les articles 3 - 6 chapitre II du règlement d'application de la CEDEAO ECW/PEC/IR/02/03/16 relatif aux exigences d'étiquetage. L'étiquetage doit être de type permanent, clair, bien visible et, comme le stipule le règlement,

peut être dans la ou les langues officielles de l'État membre ou des États membres où le produit fertilisant est commercialisé.

Figure 7 : Règlement de la CEDEAO sur l'étiquetage des sacs d'engrais



ECOWAS FERTILIZER LABELING

Economic Community
of West African States



(Ref. Implementing Regulation ECW/PEC/IR/02/03/16)

The label illustrated here is not a standard. It's a model that simply shows the minimum information required on fertilizer labels, as prescribed by an ECOWAS Implementing Regulation on labeling.

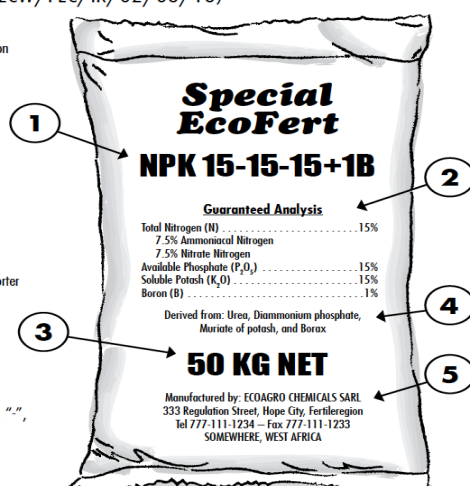
THE BIG FIVE

Five required components must appear on a fertilizer label:

1. Grade
2. Guaranteed analysis
3. Net weight
4. Sources of nutrients
5. Name and address of the manufacturer, importer or re-packing agent

GRADE

Grade is a shorthand representation of the guarantees for Total Nitrogen (N), Available Phosphate (P_2O_5) and Soluble Potash (K_2O) with each guarantee separated by a hyphen, e.g., 15-15-15. The grade shall be in whole numbers and in the same terms, order, and percentages as in the guaranteed analysis.



Source : WAFBIG, 2021.

2.5.2. ENTRETIEN ET SÉCURITÉ DES INSTALLATIONS.

La maintenance d'une usine désigne les mesures prises pour entretenir une usine existante ou la ramener à son niveau de fonctionnement optimal. Pour toute opération de production, il est important de noter les cinq types de maintenance. Il s'agit de la maintenance réactive, préventive, prédictive, de routine et planifiée. À l'exception de la maintenance réactive, les autres types sont de nature proactive.

2.5.2.1. Directives pour l'entretien des plantes.

Chaque installation de mélange doit avoir un programme de maintenance. Il s'agit d'un plan stratégique élaboré pour exécuter les activités de maintenance dans le but d'optimiser l'installation. Pour optimiser le fonctionnement d'une installation, les meilleures pratiques suivantes doivent être appliquées :

1. Maintenez l'installation propre et dépourvue d'obstacles pouvant entraver son fonctionnement. Notez qu'il s'agit de simples procédures d'entretien préventif et qu'elles ne sont pas liées à un dysfonctionnement ou à une panne de l'installation.
2. Enlevez tous les produits coincés dans les crevasses et le long du parcours de la ligne de mélange ou d'ensachage de manière à ne pas affecter la structure de la plante.
3. Utilisez un compresseur d'air pour les produits secs et un chiffon pour les produits humides ou collés.
4. Faites recirculer un bon agent de nettoyage dans le système de pompage des imprégnateurs liquides pour le nettoyer.

5. Vérifiez les fixations et les montages de toutes les pièces mobiles et des pièces sujettes aux vibrations. Tout desserrement, mouvement restreint ou déviation doit être noté et signalé.

Chaque fournisseur d'installation doit fournir un manuel d'entretien avec l'installation. Un programme d'entretien adéquat doit comporter une liste détaillée des outils et des consommables. Le fournisseur doit indiquer quels outils et consommables sont essentiels en fonction du type et de la taille de l'installation fournie. Pour entretenir efficacement une installation, il convient de se reporter à l'annexe Q qui contient une liste de contrôle d'entretien indicative pouvant être utilisée pour chaque partie de l'installation.

2.5.2.2. Directives pour la sécurité des installations.

Pour la sécurité dans et autour de la zone où se trouve l'usine, reportez-vous à l'annexe R pour une liste de contrôle indicative de la sécurité de l'usine. Les étapes détaillant la manière dont les déplacements du personnel et des équipements mobiles doivent être effectués autour de l'usine sont mises en évidence.

2.5.3. ENTRETIEN MÉNAGER.

Le bon entretien de l'installation est important car il peut affecter la qualité du produit, minimiser les pertes de produit et assurer la sécurité des opérateurs.

2.5.3.1 Lignes directrices pour les bonnes pratiques d'entretien.

Chaque mélangeur devrait disposer d'un ensemble de procédures opérationnelles normalisées pour l'entretien ménager (Toolbox Talks). Cependant, les éléments suivants peuvent servir de guide pour atteindre des niveaux de propreté standard dans une opération de mélange d'engrais en vrac.

1. Les superviseurs d'étage doivent organiser des "discussions sur la boîte à outils" sur une base de quart.
2. Les superviseurs ont le devoir fondamental de fournir des informations concises, une formation, des équipements de protection individuelle (EPI) et des instructions claires qui peuvent être nécessaires pour garantir la santé et la sécurité de tous les employés au travail.
3. Balayez les déversements après chaque opération.
4. Mélangez les balayures propres et non contaminées avec le produit principal en vrac dans sa baie/son bac.
5. Mettez en sac les balayures sales et contaminées et stockez-les séparément des bons produits.
6. Nettoyer l'usine après chaque quart de travail.
7. Pour les installations équipées de convoyeurs à bande suspendus, assurez-vous que le déversement de produits pendant le fonctionnement de la bande est contrôlé afin d'éviter la contamination des produits en vrac stockés dans les baies/bacs situés sous la bande.
8. Soyez très attentif à la contamination pendant les opérations de réception, de stockage, de mélange et d'ensachage, car c'est la principale cause des mélanges de mauvaise qualité.

9. Veillez à ce que toutes les baies et tous les bacs soient correctement scellés au fond pour éviter les fuites et les mélanges de produits imprévus. La hauteur des bacs à produits doit être suffisante pour éviter les fuites et les mélanges non planifiés de produits par le haut lorsqu'ils sont remplis.
10. Les trémies de produits doivent être disposées et alignées de manière à éviter les fuites par les portes de fermeture et par le haut, lorsqu'elles sont remplies.
11. Les opérateurs de chargement doivent faire attention lorsqu'ils transfèrent le produit des baies/bacs vers les trémies afin d'éviter tout déversement de gouttes tout au long du trajet.
12. Toutes les allées, les accès et les passages dans les limites de l'entrepôt doivent être exempts d'engrais, de débris, de matières/objets étrangers et d'humidité.
13. Étiqueter correctement toutes les baies/seaux de produits ainsi que les trémies de produits.
14. Certaines matières premières pour engrais sont de nature poussiéreuse. La poussière étant connue pour absorber l'humidité de son environnement plus rapidement que les matériaux granulaires, il est important de maintenir l'usine et l'entrepôt exempts de poussière, autant que possible et aussi longtemps que possible. Cela contribuera à ralentir la corrosion, à réduire ou à éliminer les conditions glissantes et à rendre l'aspect esthétique général de l'usine et de l'entrepôt plus attrayant.
15. Ne comptez pas toujours sur les autres pour ranger les choses. Rangez les outils de manière ordonnée plutôt que de les laisser traîner autour des bancs, sur le sol, sur les échafaudages, sur les tuyaux ou dans d'autres positions. Ils peuvent créer des risques de trébuchement, tomber sur une personne ou être endommagés lors d'une chute. Il y a une place pour chaque chose, et chaque chose doit être à sa place.
16. Si vous démontez quelque chose, empilez les pièces de manière ordonnée. Ne laissez pas de matériaux dans les couloirs car ils pourraient bloquer les voies d'évacuation ou présenter des dangers. Lorsque vous démontez du bois, assurez-vous que tous les clous ont été retirés. Si cela n'est pas possible, enfoncez les clous à plat et assurez-vous qu'il ne reste aucune partie saillante qui pourrait blesser quelqu'un. Les longueurs ou les parties de bois endommagées doivent être éliminées car elles constituent également un danger.
17. Tous les déchets doivent être placés dans des poubelles ou des bennes pour être enlevés. Ainsi, si un incendie se produit, il peut être confiné à une petite zone et traité rapidement et efficacement, ce qui empêche le feu de se propager, surtout par grand vent.
18. À la fin de chaque poste, remettez les outils et l'équipement au magasin. Si les outils sont endommagés, faites-les réparer ou remplacer. Ne les laissez pas traîner car ils peuvent présenter des risques.
19. Si vous remarquez que des déchets s'accumulent et que vous ne pouvez pas les enlever, portez-en l'attention à votre superviseur.
20. Si vous travaillez en hauteur et que vous remarquez des objets détachés sur des planches ou des passerelles, placez-les à un endroit où ils ne peuvent pas être délogés afin d'éviter qu'ils ne tombent et blessent quelqu'un.

3.0. STOCKAGE ET EXPÉDITION DES PRODUITS MÉLANGÉS.

3.1. STOCKAGE DES ENGRAIS MÉLANGÉS.

Après l'ensachage et le piquage, les produits mélangés sont acheminés vers des lieux de stockage en sacs ou chargés directement sur des camions pour être expédiés, comme le prévoit l'article 16 chapitre IV du règlement C/REG.13/12/12 relatif aux conditions de stockage en entrepôt. En outre, chaque mélangeur doit disposer d'un ensemble de procédures opérationnelles normalisées élaborées en interne pour le stockage des produits mélangés, mais les éléments suivants peuvent servir de guide pour le stockage des produits mélangés.

3.1.1. DIRECTIVES POUR LE STOCKAGE DES ENGRAIS MÉLANGÉS.

1. Prélevez des échantillons de produits mélangés. Une bonne pratique consiste à étiqueter les échantillons avec la date et le numéro de lot et à les conserver pendant au moins 3 mois. Pour plus d'informations sur l'échantillonnage, voir la section 5.3.1 et l'annexe S.
2. Sécurisez la baie ou l'emplacement de stockage et prévoyez un accès contrôlé pour les produits finis.
3. Fournir des panneaux ou des étiquettes indiquant ce que contient la zone de stockage des engrais.
4. Prévoyez des palettes pour éviter que les sacs ne traînent par terre.
5. Stockez les produits séparément des liquides pour éviter qu'ils ne soient mouillés par des déversements de liquide.
6. Ne pas stocker les produits qui réagissent sous quelque forme que ce soit côte à côte ou à proximité les uns des autres.
7. Recouvrez les engrais stockés de feuilles de polyéthylène pour éviter toute contamination par la poussière, l'humidité, l'eau de pluie et d'autres matières premières.
8. La partie intérieure des sacs doit être doublée d'un matériau imperméable, par exemple du plastique, afin d'éviter tout échange d'humidité qui endommagerait le produit ensaché.
9. Stocker les sacs conformément aux procédures opérationnelles normalisées internes, c'est-à-dire d'une manière qui permette un accès facile et sûr lors du chargement manuel ou mécanique sur les camions d'expédition.
 - a. Comme indiqué à l'annexe T, il est suggéré que les sacs ne soient pas empilés à plus de 5m de hauteur.
10. Retourner les sacs sur les quatre côtés et les secouer correctement avant de les charger sur les camions d'expédition afin de maintenir la nature homogène du mélange et d'éviter la ségrégation du produit.
11. Les sacs usagés doivent être mis en ballots et éliminés dans une décharge agréée. Dans certains cas, les mélangeurs d'engrais vendent les sacs usagés à des fabricants de meubles locaux qui les nettoient soigneusement et les réutilisent comme rembourrage pour des meubles faits à la main, par exemple des canapés de salon.
12. Ne mélangez que ce qui est nécessaire quand c'est nécessaire. Cela permet d'éviter un stockage à long terme inutile.
13. Si de l'engrais, quelle qu'en soit la quantité, est renversé, nettoyez-le immédiatement.
14. Disposer d'un plan d'intervention d'urgence pour le site.

3.2. L'EXPÉDITION DES MÉLANGES PRODUITS.

En Afrique de l'Ouest, les engrais mélangés sont généralement manutentionnés en sacs. Il est rare de voir une opération dans cette région où les cargaisons de mélanges sont expédiées en

vrac. Les tailles de sacs les plus courantes sont 50 kg et 25 kg. Cependant, un grand nombre d'exploitations et d'utilisateurs finaux adoptent le type de cargaison d'une tonne dans lequel 20 sacs de 50 kg sont systématiquement disposés ensemble dans un sac à élingue, empilés sur une palette ou emballés ensemble sous film rétractable sur une palette. Le succès d'une opération de fertilisation ne réside pas seulement dans la réalisation des activités de mélange et d'ensachage, mais aussi dans les activités qui suivent l'ensachage. Cela inclut la manière dont les produits mélangés sont manipulés depuis les lignes de piquage jusqu'à l'expédition. Ce manuel traite de la manière dont les mélanges produits doivent être manipulés.

3.2.1. DIRECTIVES POUR L'EXPÉDITION DES MÉLANGES PRODUITS.

Chaque mélangeur devrait disposer d'un ensemble de procédures opérationnelles standardisées développées en interne pour l'expédition des produits mélangés. Mais les éléments suivants peuvent servir de guide.

1. Inspecter les produits mélangés dans les baies/bacs avant l'expédition pour s'assurer que la demande correcte est exactement ce qui est expédié.
2. Charger les camions à la demande du client. Le chargement doit être effectué d'une manière facile, fluide et efficace.
 - a. Utilisez des convoyeurs inclinés, suffisamment longs pour atteindre les lits des camions depuis les lignes de piquage, lorsque vous chargez les sacs en vrac directement sur les camions.
 - b. Utilisez des chariots élévateurs à fourche pour charger des sacs en vrac dans des élingues empilées, des sacs en vrac ou des emballages rétractables.
3. Tournez les sacs sur les quatre côtés lorsque vous les chargez à partir des baies ou des bacs de stockage des mélanges, afin que le produit ne se défasse pas ou ne se déforme pas.
4. Des échantillons de chaque lot ou d'au moins un chargement de camion doivent être prélevés, analysés et conservés jusqu'à ce que l'agriculteur soit satisfait.

4.0. COMPTABILITÉ ET TENUE DE REGISTRES.

Pour promouvoir des mélanges de haute qualité et réduire ou éliminer les cas de sacs de poids insuffisant qui se retrouvent sur le marché, il est important de tenir des registres précis pour les bonnes pratiques agricoles (BPA) et les bonnes pratiques de manutention (BPM). Comme le prévoit l'article 19, chapitre IV du règlement C/REG.13/12/12 relatif à la présentation de rapports et à la certification de l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Tous ces éléments vous obligent non seulement à tenir de bons registres mais aussi à fournir une documentation précise. Tous les mélangeurs devraient envisager d'être certifiés, car de nombreux gros clients d'engrais exigent désormais que les mélangeurs en vrac le soient. L'obtention de la certification exige un autre niveau de tenue de registres et de documentation. Un coordinateur devra être désigné au sein de l'exploitation, principalement pour s'occuper de la tenue des registres nécessaires et travailler avec les organismes de certification. Vous devrez former toute votre équipe aux pratiques de manutention sûres et documenter cette formation.

4.1. DIRECTIVES POUR LA COMPTABILITÉ ET LA TENUE DE REGISTRES.

Chaque mélangeur devrait avoir un ensemble de procédures opérationnelles standardisées développées en interne pour la comptabilité et la tenue des registres. Mais les éléments suivants peuvent servir de guide.

1. Lors de la réception des matières premières.
 - a. Peser toutes les matières premières entrantes sur un pont-basculé certifié.
 - b. Saisissez et comptabilisez les poids correspondants avec précision.
 - c. Vérifier toutes les cargaisons entrantes. Cette vérification doit être effectuée par un expert/auditeur externe certifié afin de s'assurer de la quantité de produits reçus à tout moment.
 - d. Comparez les chiffres du pont-basculé et de l'enquête et agissez immédiatement si les anomalies dépassent les limites de tolérance prescrites.
2. Avant la production du mélange.
 - a. Calculer correctement les mélanges par lot afin de ne pas utiliser trop de matières premières et donc de ne pas les perdre dans le système.
 - b. Enregistrez ces chiffres avec précision pour chaque lot et revenez à l'équilibre des stocks au sol par équipe.
3. Pendant la production du mélange.
 - a. Comptabiliser avec précision les matières premières prélevées dans les baies ou les bacs de produits dans les installations de mélange pour s'assurer que les quantités déduites des baies ou des bacs de stockage pendant la production sont conformes aux poids pré-calculés.
 - b. Assurez-vous que les balances automatiques enregistrent le poids de chaque sac, puis pesez manuellement des sacs aléatoires par lot. Cela permettra de s'assurer que le poids des sacs correspond exactement à la quantité qui a été retirée du stockage et comptabilisée au stade de la postproduction.
4. Après la production du mélange.
 - a. Calculez le poids total de chaque lot et remontez jusqu'à la quantité prélevée dans le stock. Comparez ce chiffre avec ce qui reste sur le sol pour maintenir une gestion totale du produit en termes de quantités.
5. Les systèmes automatisés sont encouragés en raison de leur facilité d'accès, de la sûreté des données et de leur sécurité. Toutefois, des copies manuelles peuvent être conservées en tant que sauvegarde en cas de défaillance du système.

4.2. AUTRES FORMES D'ARCHIVAGE.

4.2.1. REGISTRES DE PRODUCTION.

Il est essentiel de tenir des registres de votre production horaire, quotidienne, hebdomadaire, mensuelle et annuelle pour analyser ce qui a fonctionné et ce qui n'a pas fonctionné. En combinant ces registres avec ceux des flux de trésorerie, vous pourrez constater que vous serez plus rentable si vous utilisez des quantités connues de matières premières, achetées à un certain prix, pour des mélanges en vrac et si vous atteignez les mêmes quantités de production en utilisant des dépenses minimales et en vendant à des prix plus élevés.

La clé de la rentabilité consiste à acheter les matières premières en gros lorsque les prix internationaux ou du marché sont plus bas que d'habitude, à maintenir les frais généraux et les dépenses des opérations de mélange aussi bas que possible sans compromettre la qualité de la production et à vendre les mélanges produits lorsque les prix du marché sont plus élevés que d'habitude. Il faut tenir des registres de production pour chaque type de matière première fertilisante et chaque recette de mélange. Trouvez la méthode qui vous convient le mieux, mais gardez une trace des réceptions de matières premières, de la production des mélanges et de leur expédition aux clients.

4.2.2. LES DOSSIERS FINANCIERS.

Un registre de contrôle détaillé vous permettra, à vous ou à votre comptable, de produire plusieurs dossiers financiers. Avec des informations supplémentaires, vous ou votre comptable pouvez produire un compte de résultat, un bilan et des ratios de performance qui permettront une analyse experte de votre entreprise.

Un flux de trésorerie est un enregistrement de tous les revenus et dépenses répertoriés par catégorie. Par exemple, vous pouvez avoir une catégorie pour chaque type d'engrais vendu, c'est-à-dire un mélange ou un engrais direct. C'est comme une image en mouvement car vous enregistrez chaque mois tous les revenus et toutes les dépenses dans les catégories applicables. L'enregistrement de vos flux de trésorerie pour une année vous permettra de décider quand vous aurez besoin de liquidités supplémentaires et quand certaines factures seront dues, ce qui vous permettra de mieux planifier.

Un compte de résultat combine certains des éléments de votre flux de trésorerie dans des catégories plus larges. Le compte de résultat est l'endroit où vous effectuez vos ajustements de comptabilité d'exercice, en tenant compte des variations des stocks.

Un bilan est un instantané de votre entreprise à un jour donné. Il est généralement établi à la fin de l'exercice financier afin de permettre des comparaisons cohérentes de votre entreprise. Les informations du bilan et du compte de résultat peuvent ensuite être utilisées pour calculer des ratios spécifiques pour l'analyse financière.

5.0. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ.

Le maintien d'un niveau élevé de contrôle de la qualité dans chaque aspect du processus de mélange et d'ensachage conduira à la production de mélanges de qualité. Chaque mélangeur devrait disposer d'un ensemble de procédures opérationnelles standardisées développées en interne pour le contrôle de la qualité. Mais les éléments suivants peuvent servir de guide. Pour les mélangeurs existants, le "processus", qui comprend la sélection et l'approvisionnement de matières premières chimiquement compatibles et contenant des quantités correctes de nutriments, le calcul de la composition du mélange, le mélange, l'ensachage, le stockage, l'expédition, la comptabilité et la tenue de registres, a été discuté en détail. Mais pour les nouveaux mélangeurs, le "processus" de production de mélanges de qualité comprendra dès le départ la création d'un bon plan d'affaires et le choix d'un emplacement correct pour le projet.

5.1. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES PRODUITS FINIS.

Pour les produits finis, les mélangeurs doivent se conformer à leurs règlements nationaux sur les engrais et au règlement de la CEDEAO tel que prévu aux articles 9 - 10 chapitre III, articles 20 - 24 chapitre V du règlement C/REG.13/12/12 relatif au contrôle de la qualité des engrais. Mais chaque mélangeur devrait disposer d'un ensemble de procédures opérationnelles standardisées développées en interne pour le contrôle de la qualité des produits finis.

5.1.1 DIRECTIVES POUR LE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES PRODUITS FINIS.

5.1.1.1. Échantillonnage.

L'échantillonnage des matériaux est une entreprise sérieuse qui ne doit pas être prise à la légère. Il implique des procédures spéciales et nécessite un équipement dédié. Les mélangeurs doivent passer par des méthodes d'échantillonnage reconnues telles que celles décrites dans ce manuel. Il est inutile de collecter et d'analyser des échantillons qui ne représentent pas le lot, c'est

pourquoi tous les échantillons doivent être correctement prélevés pour garantir une représentation exacte. Pour un échantillonnage précis, les mélangeurs doivent connaître les points suivants :

1. Les méthodes d'échantillonnage et d'essai acceptables (voir annexe S et annexe U).
2. Les équipements et méthodes d'échantillonnage et d'essai les plus appropriés (annexes S et U).
3. La quantité d'échantillon à prélever.
4. Les incréments dans lesquels les échantillons doivent être prélevés.
5. Les échantillons collectés doivent être réduits à 250g pour l'analyse par tamisage et à 500g pour l'analyse chimique.

5.1.1.2. Tolérance.

La tolérance est définie comme l'écart autorisé des valeurs mesurées de la teneur en éléments nutritifs ou du poids du sac par rapport aux valeurs indiquées sur l'étiquette, ou les limites maximales autorisées de métaux lourds dans un engrais, conformément à l'article 1, chapitre 1, du règlement de la CEDEAO C/REG.13/12/12, au règlement d'application de la CEDEAO ECW/PEC/IR/02/03/16 et ECW/PEC/IR/05/12/16 ; aux articles 7 à 9, chapitre III, du règlement d'application de la CEDEAO ECW/PEC/IR/02/03/16 concernant la tolérance et les limites de tolérance des engrais commercialisés dans la région.

5.1.1.3. Test.

Pour s'assurer que les produits mélangés ont le contenu nutritionnel " équilibré " requis, les mélangeurs sont mandatés pour prélever des échantillons de leurs produits par lot, les stocker pendant au moins six mois, les tester en interne et les envoyer à un laboratoire d'essai externe accrédité et indépendant. Selon le West Africa Information Business Guide 2021, il existe dans la région 23 laboratoires d'analyse des engrais, 22 laboratoires d'analyse des sols, 18 laboratoires d'analyse de la qualité de l'eau et 15 laboratoires d'analyse des plantes convenablement équipés (IFDC WAFBIG, 2021).

5.2. SÉCURITÉ GÉNÉRALE.

Pour la sécurité générale à l'intérieur et autour de l'installation, adhérer à l'ensemble des procédures opérationnelles normalisées développées en interne pour la sécurité des matières premières, du personnel, de l'équipement et des produits finis. à. Faire des exposés sur la sécurité chaque jour. Appliquer le principe de la sécurité avant tout dans l'exécution de chaque activité. Placez les panneaux de sécurité standard aux endroits désignés et ils doivent être visibles par tous. Les panneaux de sécurité standard sont visibles sur le site <https://www.safetysignonline.co.za/>. Si les systèmes de classification de la sécurité sont compris et respectés, l'identification des risques sera plus facile.

Voici des lignes directrices pour de bonnes pratiques de gestion de la sécurité dans la production et le stockage. Pour que ces directives soient mises en œuvre avec succès, il faut un soutien et un engagement total de la part de la direction des opérations.

1. Pratiquer un entretien ménager de haut niveau dans chaque opération.
2. Développer des objectifs annuels de sécurité, avec des plans d'action pour quoi, qui et quand.
3. Formez un comité de sécurité composé du directeur des opérations et de membres de chaque cadre de l'entreprise. Veillez à ce que la participation aux réunions de sécurité soit obligatoire pour tous.

4. Évaluer toutes les activités du point de vue de la sécurité. Effectuez une analyse de la sécurité des activités classées comme critiques. Décrivez les activités critiques dans les procédures et mettez en évidence celles qui requièrent des équipements et des dispositifs de protection individuelle spéciaux. Formez le personnel en conséquence.
5. Créez un système de maintenance préventive et veillez à ce que les superviseurs l'appliquent.
6. S'assurer qu'un système de permis de travail existe pour tous les travaux spéciaux.
7. Assurez-vous qu'un système d'approbation des travaux existe pour tous les entrepreneurs.
8. Procéder à un examen approfondi et obtenir l'approbation avant de modifier les processus.
9. Signaler et enquêter sur tous les accidents et quasi-accidents. Appliquer des mesures correctives le cas échéant.
10. Un plan d'urgence doit être mis en place. Testez ce plan au maximum deux fois par an. Développez le plan en collaboration avec les services d'urgence externes.

6.0. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.

En conclusion, certaines des raisons pour lesquelles des mélanges de qualité inférieure sont vendus en Afrique de l'Ouest sont les suivantes :

1. Il n'existe pas d'ensemble uniforme de règles régissant le mélange en vrac en Afrique de l'Ouest.
2. Aucune mesure punitive n'est prévue pour les mélangeurs qui produisent et vendent des mélanges de mauvaise qualité.
3. Les prix des matières premières pour les engrais sont élevés et ne cessent d'augmenter.
4. Le type, la qualité, l'âge et la flexibilité des usines de mélange en vrac et des installations de production.
5. Le manque d'expertise qui comprend la science et les affaires du mélange en vrac.
6. Absence d'instruments financiers ou instruments très coûteux pour les mélangeurs en vrac et les agriculteurs.

Ce document a été élaboré à l'issue d'un processus de consultation exhaustif. Un respect strict des directives contenues dans ce document permettra d'obtenir des mélanges de qualité. En fournissant des directives de base sur lesquelles on peut s'appuyer, chaque section de ce manuel détaille les étapes qui peuvent avoir un effet positif sur la qualité des mélanges en vrac.

Pour élaborer ce manuel, des méthodologies quantitatives et qualitatives, consistant en des enquêtes en ligne et en personne, ainsi que des recherches sur le terrain et appliquées, ont été utilisées.

Pour produire des mélanges d'engrais de qualité, ce manuel recommande ce qui suit.

1. Choisir un emplacement approprié pour l'opération, se procurer les bonnes matières premières auprès de fournisseurs crédibles afin de garantir la qualité et la quantité des éléments nutritifs, mélanger et ensacher selon les normes prescrites, effectuer l'entretien de l'usine comme prévu et respecter les règles générales de bonne gestion.
2. Recevoir et stocker les matières premières en tenant compte de leur compatibilité.
 - i. Les matières premières incompatibles ne doivent pas être stockées à proximité les unes des autres ou utilisées dans des mélanges car la qualité du mélange final sera compromise.
 - ii. Les matières premières dont la compatibilité est limitée doivent faire l'objet d'une évaluation de leur compatibilité chimique, physique et en matière de sécurité avant d'être stockées dans leurs baies/casiers désignés ou avant d'être utilisées dans des mélanges.
3. Choisissez une bonne installation de mélange en vrac. Les points clés à noter sont les performances en termes de vitesse, de précision, de capacités, de simplicité d'utilisation (les deux types d'installations nécessitent un logiciel capable de faire fonctionner le système et d'interagir avec le logiciel de comptabilité), le budget et l'espace requis.
4. Stockez les mélanges produits de manière à ce que leur qualité ne soit pas compromise et que l'expédition se fasse sans heurts.
5. Employer de bonnes pratiques de comptabilité et d'archivage qui sont liées à l'ensemble des opérations.
6. Respecter les mesures de contrôle de la qualité suivantes.
 - a. Sélectionnez des matières premières dont la teneur en nutriments est connue et dont la taille des particules est étroitement adaptée.
 - b. Connaître les propriétés chimiques, physiques et de compatibilité des matières premières.
 - c. Effectuer des échantillonnages et des tests physiques des matières premières et des mélanges finis.
7. Les mélangeurs en vrac doivent être encouragés à utiliser des sacs avec une doublure intérieure et des côtés transparents. Les côtés transparents permettent une inspection visuelle de la qualité des mélanges qu'ils contiennent.

Figure 8 : Sacs d'engrais avec doublure en PE et côtés transparents.



Source : 1st photo adaptée, 2nd et 3rd photos prises, par Chinedu Ohanyere, 2021

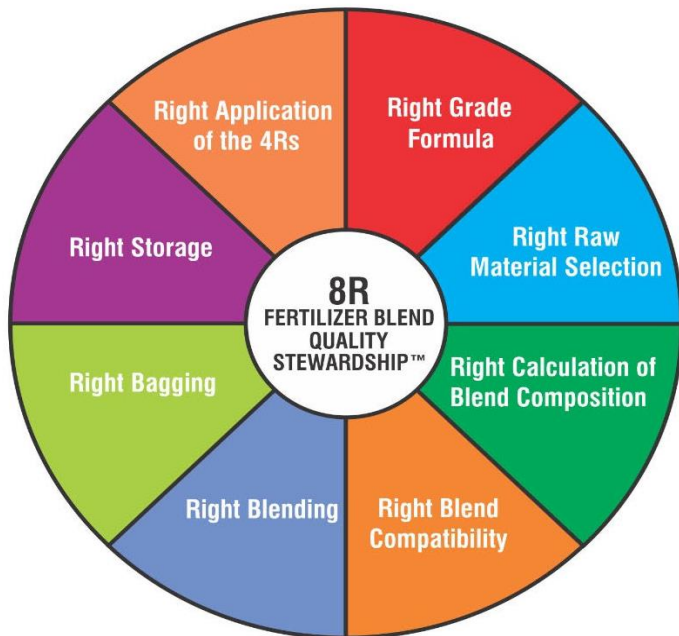
- a. Les caractéristiques indicatives du sac sont les suivantes.

Fertilizer Bag Characteristics	
Product	Fertilizer Packaging Bag
	Laminated Polypropylene Woven Sack
	Polyethylene Liner
	Transparent Sides - recommended
Material	100% Virgin Polypropylene
Size	10 Kg: L 610mm * W 350mm
	20 Kg: L 760mm * W 450mm
	25 Kg: L 800mm * W 450mm
	50 Kg: L 980mm * W 580mm
GSM	40 gsm - 80 gsm
	75 gsm recommended
Description	High Tensile Strength
	Falls and Friction
	Dimensional Stability
	Good Printing Surface
	Compliance Contact

8. Réaliser des exercices de renforcement des capacités (au moins une fois par an), pour stimuler et maintenir le savoir-faire technique et commercial de tous les acteurs du mélange en vrac dans la région.
9. Les mélangeurs en vrac doivent être équipés pour effectuer des tests et des analyses en interne des matières premières et des mélanges.
10. Les mélanges d'engrais qui ne respectent pas les tolérances stipulées doivent faire l'objet de sanctions et de poursuites.
11. Tous les mélangeurs doivent être dûment enregistrés et doivent enregistrer leurs mélanges d'engrais conformément aux stipulations du pays dans lequel ils opèrent.
12. Les rôles et responsabilités de chaque secteur doivent être clairement définis, par exemple, le gouvernement doit créer un environnement favorable et encourager les opérations de fertilisation dirigées par le secteur privé.
13. La CEDEAO devrait fixer, mesurer, gérer et suivre les objectifs de qualité des mélanges.
14. La CEDEAO devrait créer un organisme de réglementation actif et efficace pour contrôler les questions relatives à la faible teneur en nutriments et aux méthodes d'échantillonnage des matières premières pour engrais. Par exemple, l'Agence canadienne d'inspection des aliments est habilitée à exercer de telles fonctions.
15. La CEDEAO devrait coordonner et collaborer en tant qu'unité pour réduire les problèmes de distribution et de réception des matières premières, par exemple les coûts élevés de fret, de déchargement et de surestaries dans et entre les pays membres.
16. La CEDEAO devrait adopter la [gestion de la qualité des mélanges d'engrais 8R™](#) comme précurseur de la gestion des nutriments 4R. Il s'agit de :
 - a. Formule de la bonne note
 - b. Sélection correcte des matières premières
 - c. Calcul correct de la composition du mélange
 - d. Compatibilité avec le bon mélange
 - e. Le bon mélange
 - f. Le bon ensachage
 - g. Le bon stockage

- h. Application correcte des 4R
 - i. *Source droite.*
 - ii. *Le bon taux.*
 - iii. *Le bon moment.*
 - iv. *Le bon endroit*

Figure 9 : Variables ayant un impact sur la qualité des mélanges.



Source : Chinedu Ohanyere (2022). Intendance de la qualité du mélange d'engrais 8R™

RÉFÉRENCES

Alejandro Nin-Pratt, Michael Johnson, Eduardo Magalhaes, Liangzhi You, Xinshen Diao et Jordan Chamberlin (2011). Écarts de rendement et croissance agricole potentielle en Afrique occidentale et centrale.

Bocar Diagana., Emmanuel Alognikou., Porfirio Fuentes., Joaquin Sanabria. et Latha Nagarajan., (2018). Cadre réglementaire de la CEDEAO en matière d'engrais : Implications pour le développement de l'offre d'engrais de qualité par le secteur privé en Afrique de l'Ouest. Note d'orientation pour l'IFDC.

Institut canadien des engrais (ICE), (2013). Manuel de contrôle de la qualité des mélanges en vrac.

C.J. Stairman. , (1962). Criblage et ségrégation des matières fertilisantes

CropLife IRON., (2019). 15 Systèmes de mélange d'engrais pour 2020

CORAF et CEDEAO, (2020). Stratégie régionale intégrée pour la gestion durable des intrants agricoles en Afrique de l'Ouest et au Sahel.

David W. Kammel. Réduire le risque de contamination des eaux souterraines en améliorant le stockage et la manutention des engrais : Fact sheet #3. Révisé par Craig Runyan, Plant Sciences Department, New Mexico State University Cooperative Extension Service. <https://aces.nmsu.edu/farmasyst/pdfs/3fact.pdf>. Consulté le 22 août 2021.

Association européenne des mélangeurs d'engrais, (2016). Manuel de mélange d'engrais solides. Code de bonnes pratiques pour la qualité. Troisième édition éditée par Jo Gilbertson et Estelle Vallin.

Fertilisants Europe, (2014). Guide de compatibilité des matières de mélange d'engrais, édition 2006, publié en 2014.

Fred Hulme, (2011). Les faits sur les matières premières des engrais, leur disponibilité et leur prix. Un article écrit pour Greenhouse Product News (GPN). <https://gpnmag.com/article/facts-about-fertilizer-raw-materials-availability-and-pricing-0/>. Consulté le 6 mai 2021.

Association internationale des engrais (IFA), (2017). Échantillonnage de sacs en vrac d'engrais.

Centre international de développement des engrais (IFDC) et le Partenariat africain pour les engrais et l'agro-industrie (AFAP), (2018). Évaluation des systèmes de distribution d'engrais et opportunités de développement de mélanges d'engrais au Nigeria. Un rapport exécuté pour l'Alliance pour une révolution verte en Afrique (AGRA).

Centre international de développement des engrais (IFDC). , (2021). Guide d'informations commerciales sur les engrais en Afrique de l'Ouest, édition 2021.

Centre international de développement des engrais (IFDC). , (2018). Recommandations sur les engrais en Afrique de l'Ouest.

Joaquin Sanabria., Georges Dimithe. et Emmanuel K.M. Alognikou. (2013). La qualité des engrais échangés en Afrique de l'Ouest : Des preuves pour un contrôle plus fort. Un rapport préparé pour la CEDEAO, l'UEMOA et l'IFDC.

Lynn F. Kime., (2016). La tenue de dossiers comme forme de gestion des risques. <https://extension.psu.edu/record-keeping-as-a-form-of-risk-management>. Consulté le 17 novembre 2021.

Michael Morris., Valerie A. Kelly., Ron J. Kopicki. et Derek Byerlee. (2007). L'utilisation des engrais dans l'agriculture africaine. Leçons apprises et directives de bonnes pratiques.

P.A. Fuentes, B. Bumb et M. Johnson, (2012). Amélioration des marchés des engrais en Afrique de l'Ouest : La chaîne d'approvisionnement en engrais au Nigeria.

Saweda L.O. Liverpool-Tasie., Abba A. Auchan., et Afua B. Banful., (2010). Une évaluation de la réglementation de la qualité des engrais au Nigeria. Programme d'appui stratégique au Nigeria (NSSP), Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI), Washington, DC.

Sayma Samreen et Sharba Kausar, (2019). L'engrais phosphoré : Les sources originelles et commerciales.

Steven J. Van Kauwenbergh, (2006). Ressources en matières premières pour les engrais en Afrique.

Tomislav Hengl., Johan G. B. Leenaars., Keith D. Shepherd., Markus G. Walsh., Gerard B. M. Heuvelink., Tekalign Mamo., Helina Tilahun., Ezra Berkhout., Matthew Cooper., Eric Fegraus., Ichsani Wheeler et Nketia A. Kwabena., (2017). Cartes des nutriments du sol de l'Afrique subsaharienne : évaluation de la teneur en nutriments du sol à une résolution spatiale de 250 m en utilisant l'apprentissage automatique.

Université de Hawaï'i - Collège d'agriculture tropicale et des ressources humaines, (2007). Gestion des nutriments du sol pour le comté de Maui.

Plant and Soils eLibrary, (2022). Sols - Partie 8 : Caractéristiques des matières fertilisantes.

ANNEXE

A1 : Installations de fabrication d'azote et de phosphore dans la CEDEAO.

#	Country	Plant Site	Company	Product	Year Est.
1	Burkina Faso	BoboDioulasso	Faso Fert	Crushed Dolomite	2022-2023
2	Burkina Faso	Diapaga	Société d'Exploitation des Phosphates du Burkina (SEPB)	Natural Phosphate Rock	2012
3	Mali	Bourem	Sangoye	Granular Phosphate	2022-2023
4	Mali	Tilemsi	Toguna Agro Industries - Tilemsi	Natural Phosphate Rock	2009
5	Nigeria	Onne, Rivers State	Notore Chemical Industries Limited	Granular Urea	2005
6	Nigeria	Eleme, Rivers State	Indorama Eleme Fertilizer & Chemicals Limited - Phase 1	Granular Urea	2016
7	Nigeria	Eleme, Rivers State	Indorama Eleme Fertilizer & Chemicals Limited - Phase 2	Granular Urea	2021
8	Nigeria	IbejuLekki, Lagos State	Dangote Fertilizer Limited - Phase 1	Granular Urea	2021
9	Nigeria	Bayelsa State	Brass Fertilizer & Petrochemical Company Limited	Granular Urea	Unknown
10	Senegal	Dakar	Industries Chimiques du Senegal (ICS)	Phosphate Rock, Phosphoric Acid, DAP, NPK, Gypsum	1976
11	Senegal	Dakar	Amafrique SUARL	Granular Phosphate	2021
12	Senegal	Matam	Société Minière de la Vallée du Fleuve (SOMIVA)	Phosphate Rock	2008
13	Togo	Kpeme	Société Nouvelle des Phosphates du Togo (SNPT)	Phosphate Rock	1961

Source : AfricaFertilizer.org et IFDC, 2021

A2 : Installations de fabrication d'engrais organiques dans la CEDEAO.

#	Country	Plant Site	Company	Product	Year Est.
1	Benin	Allada	Bio Phyto	Organic Fertilizers	2013
2	Burkina Faso	Ouagadougou	Arom-H/Sol Fertile	Organic Fertilizers	2014
3	Burkina Faso	Ouagadougou	Faso Biogaz	Organic Fertilizers	2014
4	Côte d'Ivoire	Adzape	Éléphant Vert Côte d'Ivoire	Organic Fertilizers	2015
5	Ghana	AdjenKotoku	Accra Compost & Recycling Plant (ACARP)	Organic Fertilizers	2012
6	Ghana	Ashaiman	Safisana	Organic Fertilizers	2016
7	Ghana	Borteyman, Tema	JVL Fortifier Compost Plant	Organic Fertilizers	2017
8	Ghana	Jamestown, Accra	GaMashile Aerobic Compost Plant	Organic Fertilizers	2013
9	Mali	Bamako	Orgafert	Organic Fertilizers	2018
10	Mali	Bamako	PROFEBA	Organic Fertilizers	2017
11	Mali	Segou	Éléphant Vert Mali	Organic Fertilizers	2018
12	Nigeria	Kaduna	DharulHijrah Fertilizer Company Ltd	Organic Fertilizers	2016
13	Nigeria	Kano	Excel Standards Ltd	Organic Fertilizers	2013
14	Senegal	Dakar	Éléphant Vert Sénégal	Organic Fertilizers	2018
15	Senegal	Dakar	Biotoss	Organic Fertilizers	2017

Source : AfricaFertilizer.org et IFDC, 2021

A3 : Installations de fabrication de suppléments de sol et de micronutriments dans la CEDEAO.

#	Country	Plant Site	Company	Product	Year Est.
1	Ghana	Takoradi	Carmeuse Lime Products GH Ltd	Lime Supplements	2020
2	Nigeria	Kaduna	Cybernetics Nigeria Limited	Micronutrients	1985

Source : AfricaFertilizer.org et IFDC, 2021

B : Estimation indicative des coûts nécessaires pour mettre en place une opération de mélange en vrac clé en main.

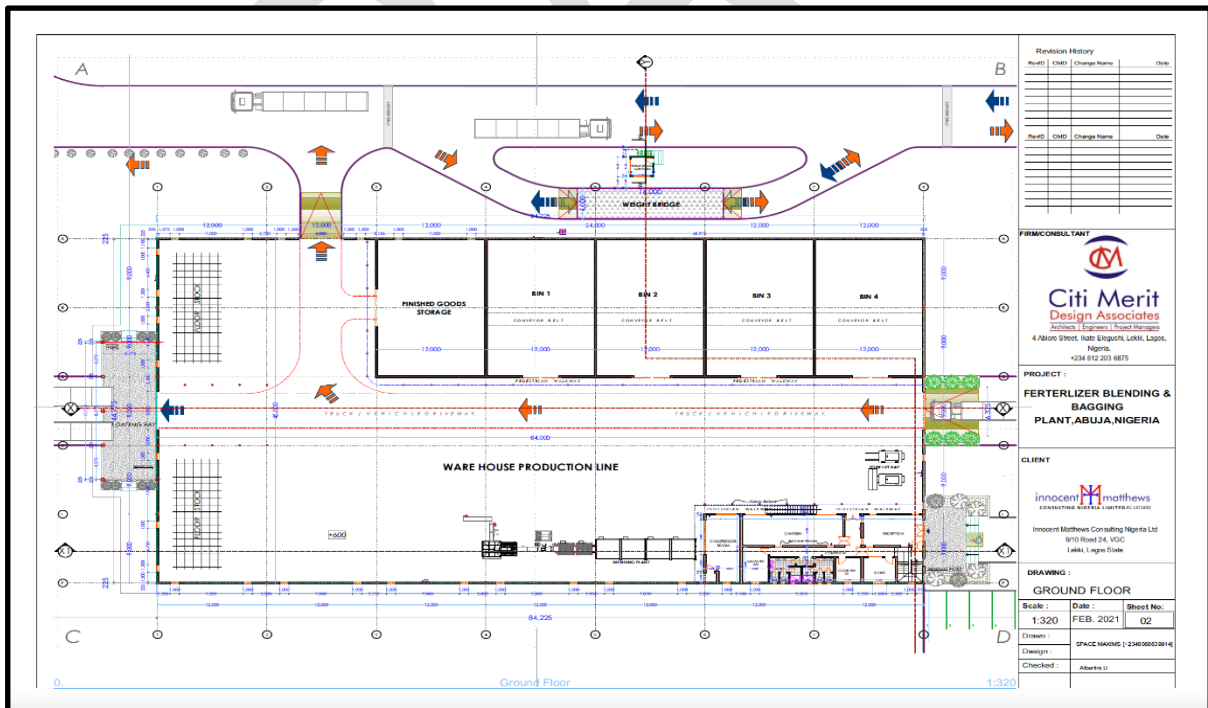
Plant Type	Capacity	Total Cost Est	OPEX Estimate	Total	Plant Type	Capacity	Total Cost Est	OPEX Estimate	Total
BATCH Complete Blending and Bagging System	1 - 10 Mtph	\$125,000	\$6,862,400	\$6,987,400	CONTINUOUS Complete Blending and Bagging System	1 - 10 Mtph	N/A	\$6,862,400	N/A
	11 - 20 Mtph	\$250,000	\$13,724,800	\$13,974,800		11 - 20 Mtph	N/A	\$13,724,800	N/A
	21 - 30 Mtph	\$375,000	\$20,587,200	\$20,962,200		01 - 30 Mtph	\$525,000	\$20,587,200	\$21,112,200
	31 - 60 Mtph	\$625,000	\$41,174,400	\$41,799,400		31 - 60 Mtph	\$800,000	\$41,174,400	\$41,974,400
	61 - 70 Mtph	\$875,000	\$48,036,800	\$48,911,800		61 - 100 Mtph	\$1,250,000	\$48,036,800	\$49,286,800
	70 - 150 Mtph	\$1,850,000	\$102,936,000	\$104,786,000		101 - 150 Mtph	\$1,650,000	\$102,936,000	\$104,586,000
	150 - 200 Mtph	\$2,400,000	\$137,248,000	\$139,648,000		150 - 200 Mtph	\$2,200,000	\$137,248,000	\$139,448,000
over 200 Mtph	over \$1,500,000	over \$150,000,000	over \$150,000,000	over 200 Mtph	over \$1,500,000	over \$150,000,000	over \$150,000,000		

- * The price ranges are NOT cast in stone so may vary significantly based on various global and local factors
- * Considering a batch system for a production of over 70 tph, it is advisable to utilize a Tower System
- * Considering a continuous system for a production of under 30 tph is not advisable, hence the N/A comment
- * The price range includes prices from manufacturers in America, Canada, China, Europe, India and South Africa
- * OPEX was based on global average cost, as at Jan 2022, for UREA, MAP, DAP and MOP. But Filler price in Nigeria was adopted.
- * OPEX costs can be split into three tranches within a financial year
- * OPEX estimates calculated with these parameters; highest tph for each capacity, 10h/day, 20days/mth, 6mths/yr, av RM price, 80% production rate
- * Average plant and building costs are half of the sum of the lowest plus highest costs
- * Primary costs include a weighbridge system
- * Total Costs: Bldg and Plant Capex+OPEX+Primary, Secondary and Sundry Costs where applicable
- * Total Costs: ONLY 1 equipment each of Secondary Costs was taken into consideration
- * Primary Cost for FEL was added after 60tph for continuous system
- * \$200,000 for Conveyor Cost was added after 100tph for continuous system

ADDITIONAL FACILITY REQUIREMENTS				
	upto 30 Mtph	upto 60 Mtph	upto 100 Mtph	over 100 Mtph
FEL	Not Necessary	Not Necessary	Yes	Yes
Mod FEL	Yes	Yes	No	No
Forklifts	Yes	Yes	Yes	Yes
Loading Bays	Yes	Yes	Yes	Yes
Receiving Conveyors	Not Necessary	Not Necessary	Yes	Yes
Weighbridge	Yes	Yes	Yes	Yes

* Receiving Conveyor System estimated at \$200,000

C : Schéma architectural indicatif d'une installation de mélange en vrac



Source : Innocent Matthews Consulting Limited, 2020

D : Coûts indicatifs du bâtiment et des OPEX.

Plant Type	Capacity	Av. Bldg Cost	OPEX Estimate	Total	Plant Type	Capacity	Av. Bldg Cost	OPEX Estimate	Total
BATCH Complete Blending and Bagging System	1 - 10 MtpH	\$50,000	\$6,862,400	\$6,912,400	CONTINUOUS Complete Blending and Bagging System	1 - 10 MtpH	N/A	\$6,862,400	N/A
	11 - 20 MtpH	\$125,000	\$13,724,800	\$13,849,800		11 - 20 MtpH	N/A	\$13,724,800	N/A
	21 - 30 MtpH	\$200,000	\$20,587,200	\$20,787,200		01 - 30 MtpH	\$200,000	\$20,587,200	\$20,787,200
	31 - 60 MtpH	\$400,000	\$41,174,400	\$41,574,400		31 - 60 MtpH	\$400,000	\$41,174,400	\$41,574,400
	61 - 70 MtpH	\$600,000	\$48,036,800	\$48,636,800		61 - 100 MtpH	\$750,000	\$48,036,800	\$48,786,800
	70 - 150 MtpH	\$850,000	\$102,936,000	\$103,786,000		101 - 150 MtpH	\$850,000	\$102,936,000	\$103,786,000
	150 - 200 MtpH	\$1,250,000	\$137,248,000	\$138,498,000		150 - 200 MtpH	\$1,250,000	\$137,248,000	\$138,498,000
	over 200 MtpH	over \$1,500,000	over \$150,000,000	over \$150,000,000		over 200 MtpH	over \$1,500,000	over \$150,000,000	over \$150,000,000

* The price ranges are NOT cast in stone so may vary significantly based on various global and local factors

* Considering a batch system for a production of over 70 tph, it is advisable to utilize a Tower System

* Considering a continuous system for a production of under 30 tph is not advisable, hence the N/A comment

* The price range includes prices from manufacturers in America, Canada, China, Europe, India and South Africa

* OPEX was based on global average cost, as at Jan 2022, for UREA, MAP, DAP and MOP. But Filler price in Nigeria was adopted.

* OPEX costs can be split into three tranches within a financial year

* OPEX estimates calculated with these parameters; highest tph for each capacity, 10h/day, 20days/mth, 6mths/yr, av RM price, 80% production rate

* Average building costs are half of the sum of the lowest plus highest costs

Source : Innocent Matthews Consulting Ltd, 2022

E : Coûts indicatifs des installations de mélange en vrac

Plant Type	Plant Capacity	Cost Range	Plant Type	Plant Capacity	Cost Range
BATCH System	1 - 10 MtpH	≤ \$100,000	CONTINUOUS System	1 - 10 MtpH	N/A
	11 - 20 MtpH	\$100,000 - \$150,000		11 - 20 MtpH	N/A
	21 - 30 MtpH	\$100,000 - \$300,000		01 - 30 MtpH	\$100,000 - \$300,000
	31 - 60 MtpH	\$300,000 - \$500,000		31 - 60 MtpH	\$300,000 - \$500,000
	61 - 70 MtpH	\$500,000 - \$700,000		61 - 100 MtpH	\$500,000 - \$1,000,000
	70 - 150 MtpH	\$700,000 - \$1,000,000		101 - 150 MtpH	\$700,000 - \$1,000,000
	150 - 200 MtpH	\$1,000,000 - \$1,500,000		150 - 200 MtpH	\$1,000,000 - \$1,500,000
	over 200 MtpH	over \$1,500,000		over 200 MtpH	over \$1,500,000

* Plant costs as at 2021

* Types of Batch Plants: 1. Floor Style Systems (Single or Multi Hopper) 2. Tower Style Systems

* Types of Continuous Plants: 1. Floor Style Systems (Multi Hopper)

* The cost ranges are NOT fixed. They may vary significantly based on various global and local factors

* Considering a batch system for a production of over 70 tph, it is advisable to utilize a Tower Style Batch Plant

* Considering a continuous system for a production of under 30 tph is not advisable, hence the N/A comment

Source : Innocent Matthews Consulting Ltd, 2021

F : Quelques types de systèmes de mélange

System Category **Type**

Continuos System Dynamic Weight Control System



Mesh DCS Multi Blending System



Batch System

Tower Blending System



Mix Plants



Auto Batch



On-Farm Blender
CrustBuster/Speed King



Source : CropLife IRON, 2019

G : Liste de quelques fabricants d'installations de mélange en vrac.

Region	Company Name	Contact
Africa	Bagtech Fertilizer Management and Handling Solutions	https://bagtechint.com/
Europe	EMT	https://emt.tech/
North America	Adams Fertilizer Equipment	http://www.adamsfertequip.com/
	AGI Fertilizer Systems/Yargus	https://www.aggrowth.com/en-us/fertilizer
	Doyle Equipment Manufacturing	https://www.doylemfg.com/
	Murray Equipment Inc.	https://www.murrayequipment.com/target-markets/dry-fertilizer.html
	Ranco Fertiservice Inc.	https://www.rancofertiservice.com/
	SackettWaconia	https://www.sackettwaconia.com/

H : nutriments essentiels des plantes.

19 PLANT NUTRIENTS FOR IMPROVING AND PROTECTING PLANT HEALTH

Plants use minerals present in the soil and water in order to grow and flourish. Just like with humans, if they don't get enough of these nutrients it can seriously affect their health. Ensuring proper plant nutrition by using fertilizers (organic and mineral) to supplement the nutrients already available in the soil is essential for plant health. Here's a look at 19 nutrients that can benefit plant health (in addition to improving yields):

NITROGEN
Nitrogen is an essential component of amino acids for building proteins, nucleic acids, and chlorophyll which converts the sun's energy into sugars. It is vital for plant metabolism, growth and health.

PHOSPHORUS
Phosphorus is vital for energy storage and transfer and membrane integrity in plants. Particularly important in early growth stages, it promotes tillering, root development, early flowering and ripening.

COBALT
Cobalt is an essential component of some enzymes and co-enzymes that can affect the growth and metabolism of plants. It is also necessary for nitrogen (N) fixation which occurs within the nodules of legumes. Cobalt can increase seeds' drought tolerance and reduce plant stress.

POTASSIUM
Potassium has major functions in enzyme activation, transpiration and the transport of assimilates (the products of photosynthesis). It helps plants to retain water during droughts, provides strength to plant cell walls and decreases susceptibility to diseases and insects.

CALCIUM
Calcium is needed for biomembrane maintenance. It helps in cell wall stabilization as an enzyme activator, in transregulation and in the cation-cation balance and thus also plays important roles in resistance to diseases and abiotic stresses such as drought, heat and cold.

MAGNESIUM
Magnesium is central to the production of chlorophyll which is needed for photosynthesis and healthy green leaf tissue. It reduces crop stress caused by exposure to the sun and high temperatures, while a deficit can often cause stunted growth.

BORON
Boron is required for cell wall synthesis and cell expansion. Boron deficiency disrupts reproductive growth, shoot and root growth and pollen viability and hence influences seed set and yield. A lack of boron can result in deformed leaves and poor quality of harvested product.

CHLORINE
Chlorine improves plant productivity, plays a role in photosynthesis and is needed for cationic and ionic balance. It can help to minimize water loss during stressful dry periods and enhance disease resistance.

SULPHUR
Sulphur is integral to all living plant cells and helps to produce amino acids involved in chlorophyll production, proteins and vitamins. It contributes to plant growth and seed formation, improves winter hardiness and helps plants resist diseases.

NICKEL
Nickel is important in plant seed germination, photosynthesis, enzyme functions and nitrogen metabolism. A deficiency affects plant growth, antioxidant systems and response to stress.

ZINC
Zinc participates in chlorophyll formation, is needed to activate many enzymes in plants and is needed for plant immune responses. As a result, it is important for increasing plant resistance to diseases and pests.

IODINE
Iodine has been found to be associated with enzymes in plants. Research suggests that it is important for biological processes such as photosynthesis, energy metabolism and cytokinin-signalling. Iodine deficiency delays flowering and disrupts root, leaf and fruit development as well as plants' environmental and climatic stress defenses.

SODIUM
Sodium is essential in transporting CO₂ during photosynthesis for a limited number of plants. For other plant species, because it is chemically and structurally very similar to potassium, it can also fulfill many of the roles played by potassium, including metabolic ones.

COPPER
Copper plays a key role in nitrogen and hormone metabolism and is needed for many enzyme activities in plants, as well as for chlorophyll and seed production. Deficiencies can lead to crop failure and increased susceptibility to diseases such as ergot.

IRON
Iron is another essential component for creating chlorophyll and also serves as a catalyst for cell division which is central to plant growth. Many plants also use iron for their enzyme functions. A lack of iron results in yellowing leaves and poor fruit quality and quantity.

MANGANESE
Manganese plays a key role in a variety of plant functions including photosynthesis, enzyme activation, respiration and nitrogen assimilation. Deficiencies can cause weaker structural resistance against pathogens and less tolerance to drought and heat stress.

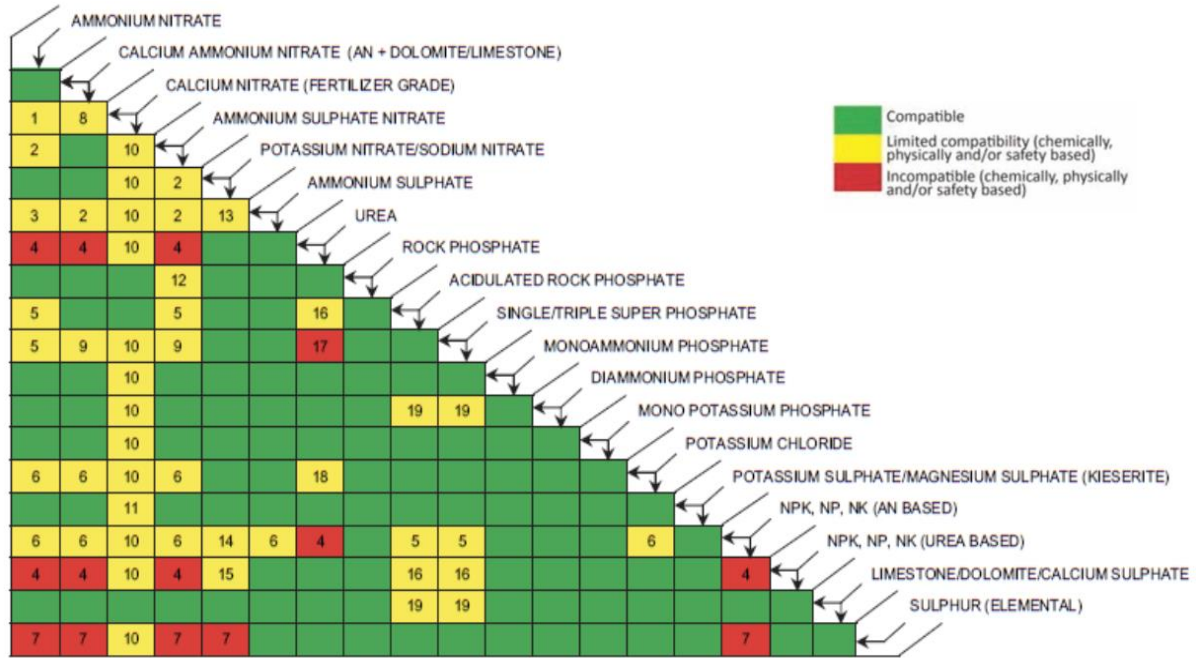
SILICON
Silicon increases plant vigor and improves tolerance to abiotic stresses such as drought, salinity or heavy metals. It enhances plant cell wall strength and structure, increasing resistance to plant diseases and insect pests. Good silicon nutrition stimulates photosynthesis and improves grain production.

SELENIUM
Because selenium is chemically similar to sulphur, it is taken up inside plants via sulphur transporters inside the roots. Studies show that selenium improves plant growth and increases tolerance to biotic and abiotic stresses.

MOLYBDENUM
Molybdenum is used by plants to reduce nitrates into usable forms and for biological nitrogen fixation by certain species. Insufficient molybdenum means some plants can't fix nitrogen from the air to make proteins and can hinder normal plant growth.

ifa
INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION

I : Tableau de compatibilité des engrais



1. Due to the hygroscopic behaviour of both products, the type of stabilisation of the ammonium nitrate grade could influence storage properties.
2. Consider the safety implications regarding detonability of the blend (AN/AS mixtures) and legislative implications.
3. Consider the safety implications regarding detonability of the blend (AN/AS mixtures), impact of free acid and organic impurities, if present, and legislative implications.
4. If free acid is present it could cause very slow decomposition of AN, affecting, for example, packaging.
5. Consider the possibility of self-sustaining decomposition and the overall level of oil coating.
6. Due to the hygroscopic behaviour of both products, the type of stabilisation of the ammonium nitrate based fertilizer could influence the storage properties.
7. Consider the moisture content of the SSP/TSP.
8. Consider the relative humidity during blending.
9. Risk of formation of gypsum.
10. No experience but this can be expected to be compatible. Confirm by test and/or analysis.
11. Consider impurities in AS and the drop in the critical relative humidity of the blend.
12. Consider the likely impact of additional nitrate.
13. Consider the possibility of ammonium phosphate/potassium nitrate reaction with urea and relative humidity during blending to avoid caking.
14. If free acid present, there is a possibility of hydrolysis of urea giving ammonia and carbon dioxide.
15. Formation of very sticky urea phosphate.
16. Potential caking problem due to moisture.
17. If free acid is present, consider the risk of a reaction e.g. neutralisation with ammonia and acid attack with carbonates.

Not Compatible

- NC1. Mixture will quickly become wet and absorb moisture resulting in formation of liquid or slurry. There could also be safety implications.
- NC2. Sulphur is combustible and can react with nitrates e.g. AN, KNO₃ and NaNO₃.

From the chart, it is clear that urea and ammonium nitrate should never be used together as the mixture will quickly become wet and absorb moisture. Blends containing urea and single or triple superphosphate may also become sticky and cake. Such blends should never be bagged. Mixtures of di-ammonium phosphate and superphosphates should be avoided as chemical reactions may take place which can lead to caking or changes in the solubility of the phosphate.

For reasons of safety, it is very important to avoid blending ammonium nitrate or raw materials containing ammonium nitrate with any organic materials.

Source : Manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016.

J : Caractéristiques de quelques matières premières d'engrais.

Nutrient Element	Fertilizer Source	Formula	Nutrient Class	Nutrient Content(%)	Remarks
Nitrogen (N)	Anhydrous Ammonium	NH ₃	Macro/Primary	82%N	Highest N analysis of all inorganic fertilizers: Must be kept under pressure cos it evaporates under normal ATM pressure: Harmful to human tissue when in direct contact
	Urea	CH ₄ N ₂ O/CO(NH ₂) ₂	Macro/Primary	45%-46%N	Least caking, corrosion capabilities, handling, transportation and storage costs of all nitrogen sources: Contains a transforming enzyme called Urease: Temporarily increases soil pH: Volatilization losses are reduced by washing Urea into soils: Can contain biurate which acceptable levels range between 0%-2% depending on the types of crops: Can be hygroscopic. Usually white in color. Granular or Prilled in nature
	Ammonium Sulphate (AS)	(NH ₄) ₂ SO ₄	Macro/Primary	21%N 24%S/60% SO ₃	Essential for Sugarcane and Pineapple Production: Acid forming, Lowers soil pH. Low hygroscopicity: Chemical stability. Usually white or off white in color. Crystalline in nature
Phosphorus (P)	Diammonium Phosphate (DAP)	(NH ₄) ₂ HPO ₄	Macro/Primary	18%-21%N 46%-53%P ₂ O ₅ 0%K ₂ O 0%-2%S	Water Soluble: Temporarily lowers soil pH to 8.5: May produce free NH ₃ in high pH soils. So do not place near seed rows. Has variety of gray colors. Granular in nature
	Monoammonium Phosphate (MAP)	(NH ₄)H ₂ PO ₄	Macro/Primary	11%-18%N 48%-62%P ₂ O ₅ 0%K ₂ O 0%-2%S	Water Soluble: Temporarily lowers soil pH to 3.5 Has variety of gray colors. Granular in nature
	Triple Superphosphate (TSP)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Macro/Primary	0%N 44%-52%P ₂ O ₅ 0%K ₂ O 1%-1.5%S/3%SO ₃ 13%Ca	Produced by treating RP with phosphoric acid: Insignificant effect on soil pH. Has variety of gray colors. Granular in nature
Potassium (K)	Single Superphosphate (SSP)	CaH ₄ P ₂ O ₈ /Ca(H ₂ PO ₄) ₂	Macro/Primary	0%N 16%-22%P ₂ O ₅ 0%K ₂ O 11%-12%S/30%SO ₃ 20%-	Manufactured by reacting RP with Sulfuric Acid: Insignificant effect on soil pH
	Potassium Chloride/Muriate of Potash (MOP)	KCl	Macro/Primary	0%N 0%P ₂ O ₅ 60%-63%K ₂ O	Has red, tan or white color. Granular or Crystalline in nature
Calcium (Ca)	Pure Lime		Secondary	100%CaCO ₃	Important for phosphate fixation: Boosts biological activities in soils: Increases availability and up-take of N, P, K:
	Agricultural Limestones	CaCO ₃	Secondary	48%-97%CaCO ₃	Decreases losses due to leaching of K, Ca and Mg: Calcium Hydroxide: aka Slaked / Builders / Hydrated Lime: Higher neutralizing value than Agricultural Lime, more expensive: Rarely used for pastures: Calcium Oxide: aka Burnt / Quick Lime: Faster acting lime: Highest neutralizing value: Mostly used in horticulture and less for pastures: Agricultural Lime: Most used to increase soil pH and pastures: Most cost effective:
Magnesium (Mg)	Magnesium Oxide	MgO	Secondary	61%Mg 39%O	High K can reduce Mg plant uptake: Low pH (acidic soils) reduces availability: Not highly water soluble: Increases soil pH: Mixed in the soil for high reactivity.
Sulfur (S)	Elemental Sulfur	S ₈	Secondary	50%S. 50%SO ₄ -2	Most concentrated S carrier: Reduce soil pH: Reclaim acidic soils: Water Insoluble: Up-Taken by soils/plants when oxidized
Boron (B)	Disodium octaborate (anhydrous)	B ₈ Na ₂ O ₁₃	Micro	25.83%B	
	Sodium tetraborate (anhydrous)	B ₄ Na ₂ O ₇	Micro	21.50%B	Solid crystalline or amorphous
	Disodium octaborate tetrahydrate	Na ₂ B ₈ O ₁₃ .4H ₂ O	Micro	20.96%B	Powder
	Boric Acid	BH ₃ O ₃ or H ₃ BO ₃ or B(OH) ₃	Micro	17.48%B	White or colorless solid crystalline powder
	Sodium tetraborate pentahydrate	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	Micro	14.85%B	mild white alkaline salt
Copper (Cu)	Sodium tetraborate decahydrate (Boras)	Na ₂ [B ₄ O ₇ (OH) ₄].8H ₂ O	Micro	11.34%B	White or colorless crystalline powder
	Cuprous Oxide	Cu ₂ O	Micro	89%Cu	
	Cupric Oxide	CuO	Micro	75%Cu	
	Copper Sulfate Monohydrate	CuSO ₄ .H ₂ O	Micro	35%Cu	
	Copper Acetate	Cu(CH ₃ COO) ₂ .H ₂ O	Micro	32%Cu	
	Copper Ammonium Phosphate	CuNH ₄ PO ₄ .H ₂ O	Micro	32%Cu	
	Copper Sulfate	CuSO ₄ .5H ₂ O	Micro	25%Cu	
	Copper Chelate (Chelated Copper EDTA)	Na ₂ Cu.EDTA	Micro	13%Cu	EDTA - Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid
Iron (Fe)	Iron Sulphates	FeSO ₄	Micro	14%-23%Fe	Percentage by weight
	Iron Chelates (Chelated Iron - EDTA)	C ₁₄ H ₂₀ FeN ₃ O ₁₀ - (K,Na)(Fe ₃ ,Al,Mg) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀	Micro	5%-10%Fe	
	Greensand		Micro	5%-12%Fe	Contains mainly Glauconite. But contains Glauconitic Siltstone and Glauconitic Sandstone.
Manganese (Mn)	Manganous Oxide	MnO	Micro	41%-68%Mn	
	Manganese Oxide	Mn ₂ O ₃	Micro	63%Mn	Required in small quantities by plants: Critical to plant growth like Macro
	Manganese Carbonate	MnCO ₃	Micro	31%Mn	Nutrients: Most common is Manganese Sulfate (MnSO ₄): Highly water soluble and suited for soil or foliar application: EDTA - Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid
	Manganese Sulphate	MnSO ₄ .3H ₂ O	Micro	26%-28%Mn	
	Manganese Chloride	MnCl ₂	Micro	17%Mn	
	Manganese Chelates	MnEDTA	Micro	12%Mn	
	Manganese Frits		Micro	10%-25%Mn	
Molybdenum (Mo)	Molybdenum Trioxide	MoO ₃	Micro	66%Mo	
	Ammonium Molybdate	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	Micro	54%Mo	
	Sodium Molybdate	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	Micro	39%Mo	
Zinc (Zn)	Zinc Oxide	ZnO	Micro	50%-80%Zn	
	Zinc Sulphate (Basic)	ZnSO ₄	Micro	55%Zn	
	Zinc Sulphates (Hydrated)	ZnSO ₄ .xH ₂ O	Micro	22%-36%Zn	
	Zinc Chelates (Chelated Zinc - EDTA)	C _x H ₁₂ N ₂ O ₈ Zn.2Na	Micro	6-15%Zn	C _x represents the Zn content of the particular chelated Zinc being utilized
	Ammoniated Zinc Complexes	(NH ₄) ₂ Zn(SO ₄) ₂ .xH ₂ O	Micro	10%Zn	

K : Tableau d'humidité relative critique.

CRITICAL RELATIVE HUMIDITIES OF PURE SALT AND MIXTURES AT 30°C (86°F)

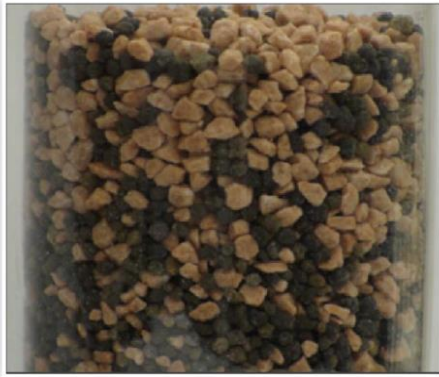
	CALCIUM NITRATE																						
46.7			AMMONIUM NITRATE																				
23.5	59.4				SODIUM NITRATE																		
37.7	46.3	72.4					UREA																
-	18.1	45.6	72.5						AMMONIUM CHLORIDE														
-	51.4	51.9**	57.9	77.2							AMMONIUM SULPHATE												
-	62.3	-**	56.4	71.3	79.2								DIAMMONIUM PHOSPHATE										
-	59*	-	62*	-	72*	82.5									POTASSIUM CHLORIDE								
<22.0	67.9**	66.9**	60.3	73.5	71.3**	70*	84.0										POTASSIUM NITRATE						
31.4	59.9	64.5	65.2	67.9	69.2	-	78.6	90.5											MONOAMMONIUM PHOSPHATE				
52.8**	58.0	63.8	65.2	-	75.8	78*	72.8**	59.8	91.6												MONOCALCIUM PHOSPHATE		
46.2	52.8	68.1	65.1	73.9	87.7	78*	-**	87.8	88.8	93.6													
76.1**	69.2**	73.3**	71.5	71.3	81.4	77*	81	87.8	79.0	-**	96.3												

* Approximate values obtained by TVA (Tennessee Valley Authority) (Ref.3). Other data are from literature
 ** Unstable salt pair; the value given is for the stable pair

L : Diagrammes d'essai en pot et exemples de distribution de la taille des particules.



Diagrammes de test des jarres



DAP et KCL grossier : Ségrégation.



DAP et KCL granuleux : Pas de ségrégation.



Urée, DAP et KCL granulaire : des matériaux plus compatibles.

Source : CFI, 2013

M : Comment déterminer SGN et UI à l'aide de la méthode graphique.

The size distribution is plotted on graph paper, per cent cumulative (by mass) versus particle size. The normally smooth distribution curve is approximated by drawing straight line segments between adjacent data points, as shown in the graph below.

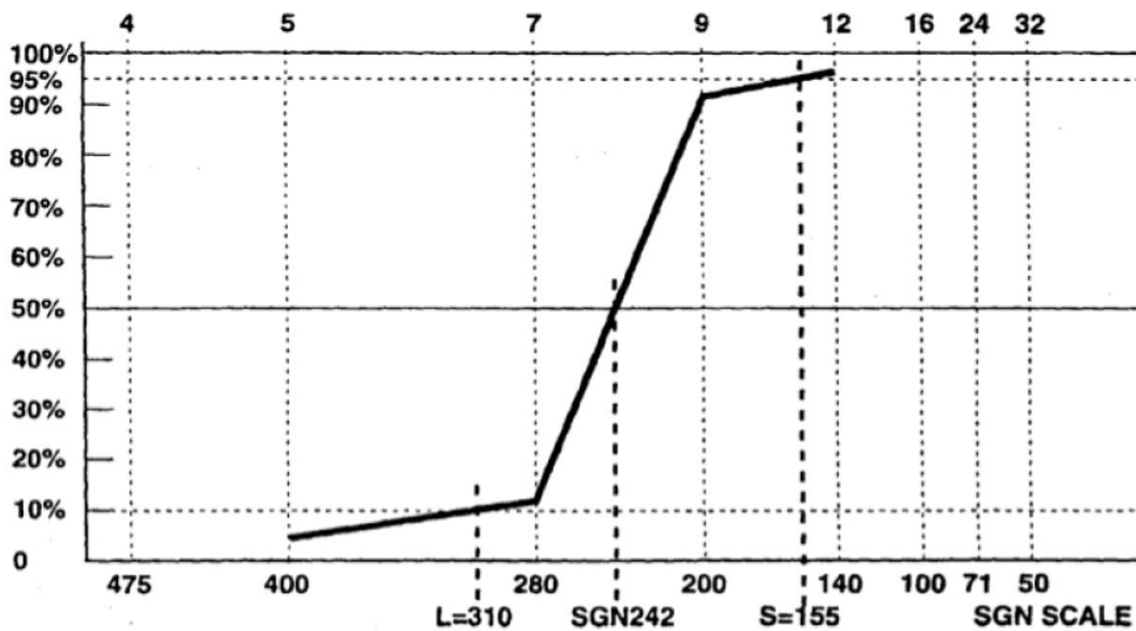
From the point where the cumulative data line crosses the 50% horizontal line, draw down a vertical line to the SGN scale for direct reading of the SGN value. SGN = 242 in this example.

From the point where the cumulative data line crosses the 95% horizontal line, draw down a vertical line to the SGN scale for direct reading of the **small** Particle Dimension, S = 155 in this example.

From the point where the cumulative data line crosses the 10% horizontal line, draw down a vertical line to the SGN scale for direct reading of the **large** Particle Dimension, L = 310 in this example.

$$UI = (100 S)/L \text{ or, for the example: } (100 \times 155)/310 = 50$$

TYLER MESH NUMBER



Source : CFI, 2013

N : Comment déterminer SGN et UI en utilisant la méthode mathématique.

The determination of SGN and UI would be simple if the screen tests showed exactly 10, 50 and 95% cumulatively retained on three different sieves. For example, 50% on the 2.36 mm sieve would immediately convert to SGN 236. Similarly, 10% on the 2.80 mm sieve and 95% on the 1.40 mm sieve would mean that UI = 50%, since $UI = S/L \times 100$.

The screen test results, however, are rarely exactly 10, 50 or 95% on a particular sieve. To determine SGN, S and L, we must resort to a mathematical method called linear interpolation. The straight segments used in linear interpolation approximate the smooth S shape of the true size-distribution curve.

If we have, for example, 46% retained on 2.80 mm and 68% retained on 2.36 mm, we know that SGN is between 280 and 236. We calculate the mathematically exact value with the interpolation formula:

$$[a (CRA - k)] / (CRA - CRB) + b$$

Where $k = 50$ since we are calculating SGN

$$a = \text{aperture difference} = 280 - 236 = 44$$

$$b = \text{aperture of the sieve retaining a proportion greater than } k = 236$$

$$CRA = \text{Cumulative Retained Above } k = 68$$

$$CRB = \text{Cumulative Retained Below } k = 46$$

$$SGN = [44(68 - 50)] / (68 - 46) + 236 = 272$$

The same interpolation formula is used for the determination of L and S, the dimensions of the "large" and the "small" particles, corresponding to the 10 and 95% levels of the cumulative distribution curve. The coefficient k is always 10 for L and 95 for S, while the other values depend on the screen test results. For example, 92% retained on 1.70 mm and 97% retained on 1.40 mm correspond to:

$$S = [30(97 - 95)] / (97 - 92) + 140 = 152$$

The best accuracy is obtained when consecutive standard sieves are used. Testing with every second or third sieve often affects the SGN estimate and always lowers the UI estimate. See Table H-1, for a list of standard screens.

Source : CFI, 2013



O : L'échelle SGN et comment déterminer le SGN en utilisant la méthode de l'échelle SGN.

The Size Guide Number (SGN) Scale is an instrument designed for simple screen tests of fertilizer samples. It is a book-size acrylic box fitted with five sieves. It directly produces a size histogram of the sample tested, from which the SGN can be estimated.

The control sample of a fertilizer blend is truly representative only if the blending materials have been selected to minimize the risk of segregation in mixing and handling. Particle size is the most important factor in the selection of non-segregating materials. Particle size is commonly identified by the median dimension in millimeters times 100, or SGN. For example, if the screen test indicated that a sieve of 2.40 mm opening would retain exactly one half of the sample, the average particle size would be 2.40 mm, or SGN 240.

Who can use the SGN Scale?

- The blender manager, to select size-compatible materials.
- The blender operator, to prevent segregating blends.
- The control official, to identify the increased risk of poor results.
- The basic manufacturing plants for process control.
- The marketing staff, for promotional activities.

Procedure

1. Transfer a representative sample of approximately 200 mL to the right end of the compartment of the SGN scale.
2. Close the SGN Scale and rotate it to bring the sample in the top position. Shake, long enough to finish sifting.
3. Return the box to the horizontal position, to view the label in each compartment and to estimate the SGN. Remember that SGN is the scale value which divides the sample in two equal halves. As an example, if 50% of the sample is on the left of a line halfway between 200 and 280, this gives SGN 240. If 50% of the sample is on the left of a line eight tenths of the interval 200-280, this gives SGN 264.

SGN Scale



Source : CFI, 2013

P : Liste de contrôle indicative pour les opérations de mélange et d'ensachage.

1. Avant le jour du mélange, vérifiez si les matières premières nécessaires pour satisfaire aux garanties nutritionnelles sont disponibles. Et vérifiez si le grade de la formule est correct.
2. Vérifiez si toutes les balances sont remises à "zéro".
3. Chargez les matières premières (macro-nutriments et micronutriments - le cas échéant), jusqu'à ce que les bacs soient pleins.
4. Commencez à mélanger.
5. Inspecter visuellement le mouvement des matériaux des trémies au mélangeur.
6. Y a-t-il des bosses ?
7. Y a-t-il trop de poussière ?
8. Un sac est-il relié à la trémie de déchargement des fines ?
9. Démarrer le processus d'ensachage après que la trémie du produit soit pleine ?
10. Commencez le processus de couture du sac.
11. Vérifiez manuellement le poids des sacs à intervalles réguliers.
12. Démarrer le processus de palettisation.

Q : Liste de contrôle indicative pour l'entretien des plantes.

1. Enlever les obstructions.
 - a. Retirer la feuille de couverture
 - b. Vérifiez l'amplitude complète des mouvements du portail.
 - c. Allumer l'isolateur
 - d. Remise en service de la centrale électrique
 - e. Ouvrir le robinet d'arrêt manuel
2. Déblocage d'un convoyeur à vis bloqué (le cas échéant)
 - a. Fermez complètement le robinet d'arrêt manuel
 - b. Éteindre l'usine
 - c. Passez l'installation en mode local
 - d. Modifier le sens et la fréquence d'entraînement du moteur pour faire fonctionner l'installation en marche arrière.
 - e. Faites tourner la vis à plusieurs reprises en marche arrière et en marche avant pour libérer le blocage.
 - f. Ouvrir le robinet d'arrêt manuel
 - g. Réinitialiser les paramètres du pilote du moteur
3. Purger les produits restés dans les trémies
 - a. Éteignez l'installation, mettez-la en mode local et changez le sens et la fréquence de l'entraînement du moteur pour permettre à la courroie de fonctionner en sens inverse.

- b. Placez un sac de collecte de la purge à la fin du convoyeur et assurez-vous que quelqu'un contrôle le sac pour éviter qu'il ne s'affaisse et que le produit purgé ne déborde.
 - c. Démarrer le convoyeur et ouvrir manuellement le bac à purger
 - d. Lorsque vous avez terminé, remettez tous les réglages du moteur à la normale
4. Pour purger les produits à travers l'ensacheuse
 - a. Passez le réglage de l'ensachage en manuel
 - b. Déplacez le convoyeur de piquage pour faire de la place pour les sacs en vrac si une grande quantité de produit doit être purgée.
 - c. Démarrer l'équipement d'ensachage et ouvrir le bac pour le purger.
 - d. Répétez l'opération jusqu'à ce que la purge soit terminée, retirez le sac en vrac et replacez le convoyeur de piquage.
5. Nettoyage des ventilateurs de moteur
 - a. Retirer le capot du ventilateur
 - b. Soufflez sur le ventilateur
 - c. Vérifiez que le mouvement du ventilateur n'est pas obstrué.

R : Liste de contrôle indicative pour la sécurité des installations.

1. Précautions et signes de sécurité
 - a. L'usine doit disposer d'un accès adéquat pour l'installation, l'exploitation et la maintenance.
 - b. Le port d'un harnais de sécurité est obligatoire pour les travaux en hauteur sur l'installation.
 - c. Adoptez l'approche "Regardez avant de sauter" à proximité de l'usine.
 - d. Installer des panneaux et des étiquettes d'information et d'avertissement standard sur et autour de la zone de l'usine.
 - e. Veillez à ce que les panneaux d'information et d'avertissement ne soient pas retirés inutilement.
 - f. Ne pas mettre les mains dans ou sur une partie de la plante pendant qu'elle fonctionne.
 - g. Suivre les procédures de "verrouillage" appropriées lors du nettoyage, de l'entretien ou de la maintenance de l'usine.
2. Inspection
 - a. Effectuez une inspection visuelle adéquate avant de démarrer l'installation.
 - b. Avant de faire fonctionner l'installation, vérifiez qu'il n'y a pas de corps étrangers ou de pièces détachées.
 - c. Observer d'un œil critique l'état de préparation mécanique, électrique et d'instrumentation de l'installation avant de la faire fonctionner, par exemple, faire attention aux pièces mécaniques usées, qui se touchent ou qui frottent, aux fils électriques perdus ou qui pendent, aux signes d'erreur sur les systèmes informatiques, l'écran d'affichage ou la carte PLC.

- d. S'assurer que l'usine est prête pour la production en vérifiant que toutes les matières premières, les ressources matérielles et humaines, l'alimentation électrique, le compresseur, etc. sont présents.
3. Accès
- a. Des échelles, des escabeaux et des plates-formes d'accès doivent être prévus à côté de l'installation et utilisés, conformément aux pratiques courantes, pour les travaux en hauteur.
 - b. En raison de la nature corrosive du produit, ces composants pour hauteurs d'accès peuvent être rouillés et perdre leur intégrité structurelle. Il faut donc veiller à les entretenir régulièrement.
 - c. Les panneaux de verrouillage et d'étiquetage doivent être installés de manière visible et respectés, en particulier lors de tout type de maintenance.
 - d. Travaillez depuis des plates-formes autour des trémies et non directement dans ou sur celles-ci.
 - e. Seul le personnel formé et autorisé doit travailler dans les trappes de service situées sur les différentes parties et points d'interconnexion de l'installation.
 - f. Évitez le dessous des protections des poulies sur les convoyeurs en auge car il est ouvert.
 - g. Ne pas toucher les rouleaux et les poulies lorsque l'installation est sous tension.
 - h. Seul le personnel formé et autorisé doit toucher les panneaux électriques et d'instrumentation, les affichages et les écrans tactiles.
4. EPI
- a. Il faut porter un casque de sécurité pour éviter les blessures à la tête.
 - b. Il faut porter des masques anti-poussière ou des respirateurs pour éviter l'inhalation de poussières et les difficultés respiratoires.
 - c. Il faut porter des vêtements à haute visibilité pour éviter les accidents dus aux véhicules en mouvement.
 - d. Il faut porter des chaussures de sécurité pour éviter les blessures aux jambes et aux pieds.
5. Aimant
- a. Installez un aimant permanent sur le convoyeur sous le bac afin de retirer les objets métalliques externes du produit.
 - b. Gardez les appareils médicaux, électroniques et personnels qui peuvent être affectés par des champs magnétiques puissants à l'écart de l'installation afin d'éviter tout dysfonctionnement ou dommage pur et simple.
6. Risque d'incendie
- a. Veiller à ce que l'ensemble du site de production respecte les lois et réglementations locales en matière de sécurité, de santé, d'environnement, de risques et de qualité.
 - b. Effectuer un exercice d'identification des dangers et d'évaluation des risques avant le démarrage de l'usine et après toute modification opérationnelle.
 - c. Il convient de prendre des mesures adéquates pour éloigner les matériaux inflammables et les sources d'inflammation de l'usine et des matières premières pour engrais.

- d. Des extincteurs secs au CO₂ doivent être installés dans les zones à haut risque autour de l'usine.

S : Méthodes d'échantillonnage.

Sacs d'échantillonnage ($\leq 50\text{Kg}$).

Les conditions minimales à satisfaire pour garantir que la quantité d'échantillon prélevée pour l'analyse représente équitablement la quantité totale contenue dans le sac ($\leq 50\text{Kg}$) sont les suivantes .

1. Déterminez à quoi sert l'échantillon.
2. Établir les caractéristiques du matériau, par exemple ses qualités, la taille des particules et la compatibilité.
3. Assurez-vous que le volume ou la masse de l'échantillon est suffisant pour l'analyse.
4. Pour un lot de 10 sacs ou moins, des échantillons de masse égale doivent être prélevés sur chaque sac.
5. Pour un lot de 11 sacs ou plus, des échantillons de masse égale doivent être prélevés sur chaque sac constituant la racine carrée du nombre total de sacs.
6. L'exigence minimale est d'échantillonner 10 sacs d'un lot entier.

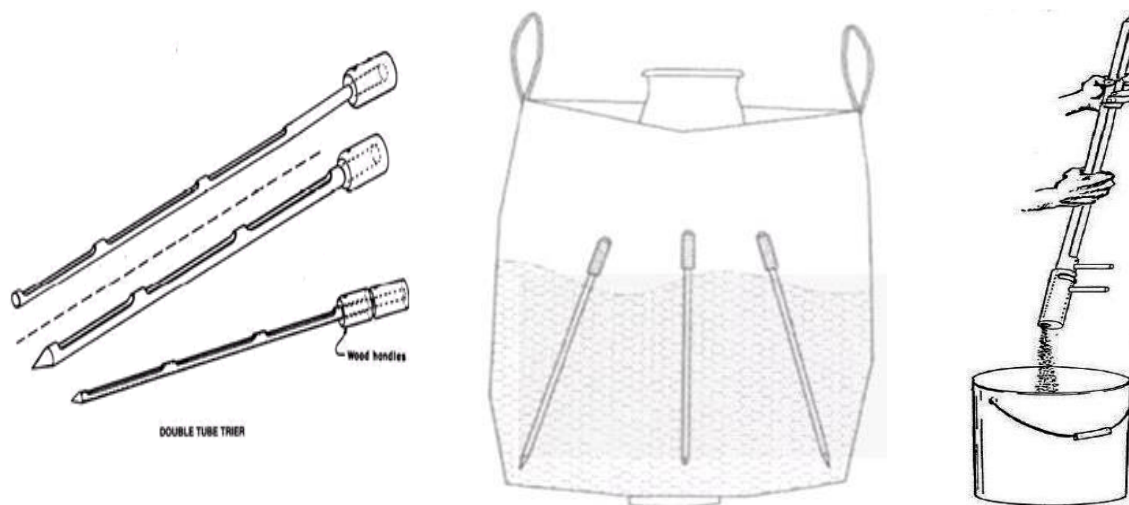
Sacs d'échantillonnage en vrac ($\geq 1\text{mT}$).

Les conditions minimales à satisfaire pour que la quantité d'échantillon prélevée pour l'analyse représente équitablement la quantité totale contenue dans le sac ($\geq 1\text{mT}$) sont .

1. Déterminez à quoi sert l'échantillon.
2. Établir les caractéristiques du matériau, par exemple ses qualités, la taille des particules et la compatibilité.
3. Insérez un double tube de triage à partir du centre de la partie supérieure ouverte à travers le sac en vrac de manière à recueillir des échantillons de la totalité du sac.
4. Inclinez le tube à environ 30° vers l'extrémité extérieure inférieure du sac. Ouvrez le trier pour permettre au matériau de le remplir. Fermez le trier et retirez-le du sac.
5. Assurez-vous que le volume ou la masse de l'échantillon est suffisant pour l'analyse.
6. Pour un lot de 3 sacs en vrac ou plus, 4 échantillons de masse égale doivent être prélevés dans chaque quadrant du sac.
7. Pour seulement 2 sacs en vrac, divisez le sac en 6 segments verticaux égaux et sondez chaque partie.
8. Pour un seul sac en vrac, divisez le sac en 12 segments verticaux égaux et sondez chaque partie.

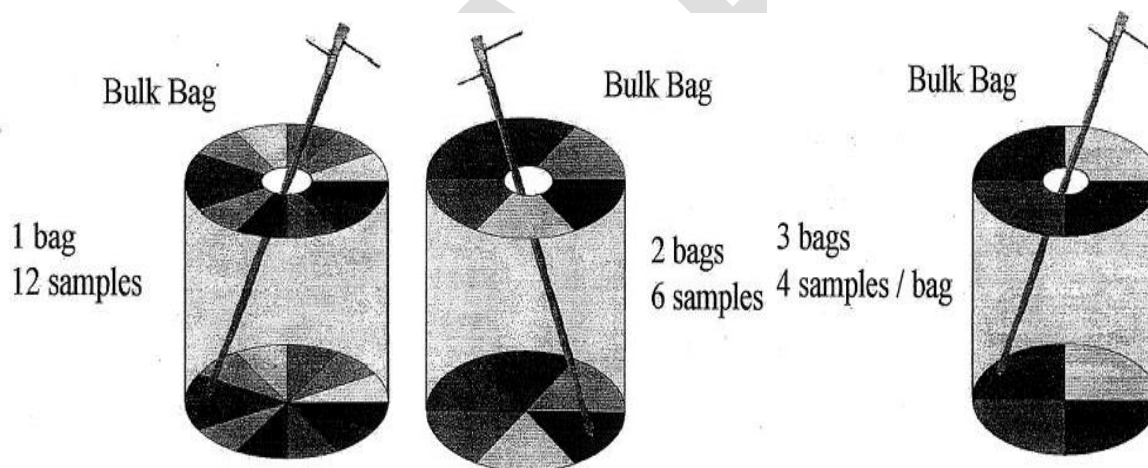
Les résultats de plusieurs expériences réalisées suggèrent que les résultats d'échantillonnage dérivés des deux techniques de découpe de flux et d'échantillonnage de sacs en vrac sont identiques. Toutefois, pour une méthode plus précise, prélever des échantillons pendant que le matériau est en mouvement c'est-à-dire lorsque les $\leq 50\text{Kg}$ ou les $\geq 1\text{mT}$ sont remplis. En tant que protocole, pendant l'échantillonnage, la santé et la sécurité de la personne qui collecte les échantillons doivent être sérieusement prises en considération.

Figure 10A : Échantillonnage de sacs en vrac



Source : Association internationale des engrais. IFA, 2017

Figure 10B : Échantillonnage de sacs en vrac



Source : Association internationale des engrais. IFA, 2017

Quantité d'échantillonnage.

Si un sac pèse moins de 5 kg, il est considéré comme un sous-échantillon. Si la quantité finale de l'échantillon n'est pas suffisante, le nombre de sacs sélectionnés peut être augmenté. Des sacs de 50 kg doivent être divisés pour obtenir un échantillon représentatif adéquat.

Il est préférable de prélever des échantillons tout en vidant le sac, bien que cela ne soit pas toujours possible. Les recommandations concernant la quantité d'échantillons pour les produits ensachés sont résumées ci-dessous :

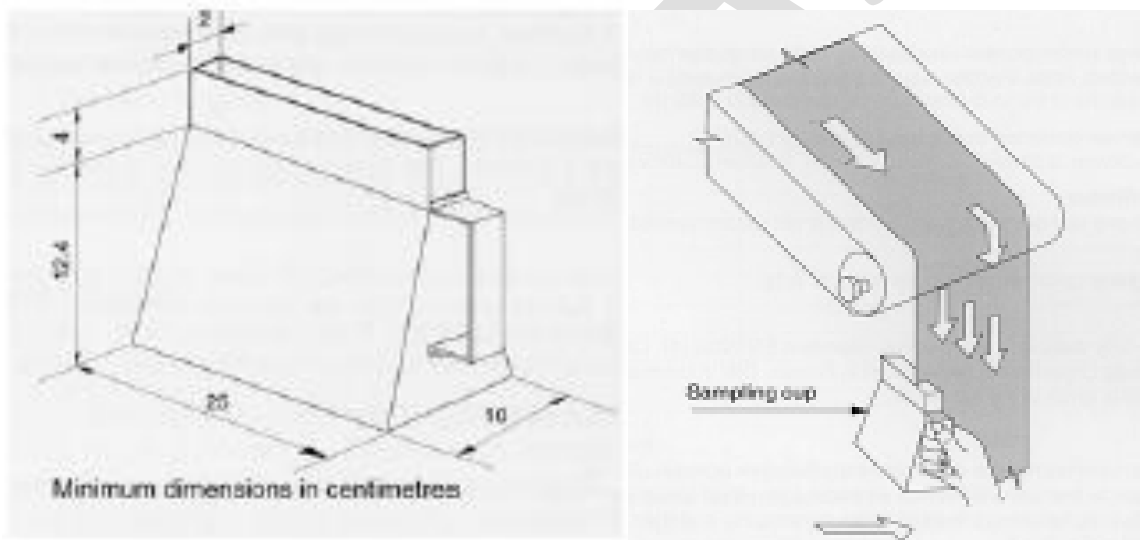
1. Pour moins de 5 sacs, il faut prélever un échantillon sur chaque sac.
2. Pour les produits de 4 à 11 sacs, il faut prélever des échantillons sur 4 sacs.

3. De 10 à 400 sacs de produits nécessitent des échantillons prélevés sur un nombre entier supérieur à la racine carrée du nombre de sacs.
4. Pour plus de 400 sacs de produits, il faudrait 20 sacs d'échantillons.
5. Pour les baies et les bacs de produits, les échantillons élémentaires doivent être prélevés comme indiqué ci-dessous :
 - a. Les baies/bacs de 25 tonnes ou moins nécessitent un minimum de 10 unités d'échantillonnage.
 - b. Les baies et les bacs d'une taille comprise entre 25 et 400 tonnes nécessitent des unités d'échantillonnage du nombre entier le plus proche au-dessus de la racine carrée de 4 fois le nombre de tonnes présentes.
 - c. Les baies/bacs de plus de 400 tonnes nécessitent le prélèvement de 40 unités d'échantillonnage.

Équipement d'échantillonnage.

Le trier à double tube, également connu sous le nom de lance, est recommandé pour l'échantillonnage par sonde. Mais les dimensions du trier doivent être adaptées aux propriétés de la quantité d'échantillon et la taille de ses particules doit être au minimum de 3x la taille des particules. Les échantillons collectés doivent être stockés dans des récipients hermétiques, exempts d'humidité et transparents afin de préserver leur intégrité. Le succès de l'utilisation d'un équipement d'échantillonnage dépend de la fluidité du matériau, qui doit être facile à pénétrer sans endommager les particules. Pour les matériaux qui ne s'écoulent pas librement ou qui ne sont pas faciles à pénétrer, il faut utiliser un autre équipement, comme une pelle ou une écope, pour prélever les échantillons.

Figure 11 : Exemple d'un gobelet d'échantillonnage et de son utilisation



Source : Manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016.

Figure 12 : Trier double tube en position ouverte et fermée

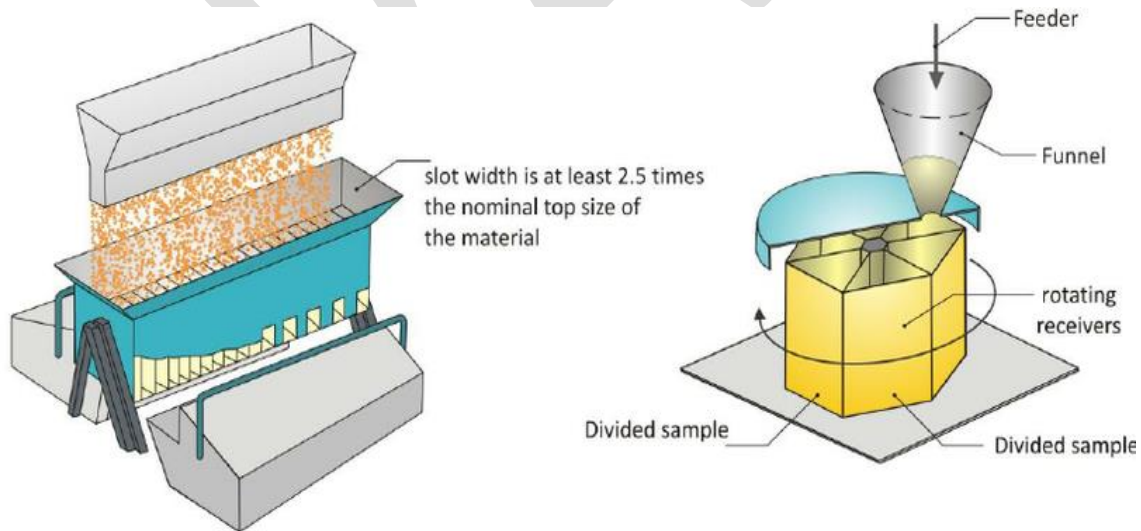


Source : Association internationale des engrais. IFA, 2017

Diviseur d'échantillon.

Lorsque l'analyse granulométrique doit être effectuée sur des mélanges en cours de test, les diviseurs d'échantillons rotatifs sont recommandés. Les diviseurs à raffle sont moins appropriés pour les produits mélangés mais peuvent être utilisés pour les matières premières. Lors de la réalisation d'une analyse chimique, il est recommandé d'écraser les échantillons avant la réduction finale de l'échantillon, alors que les échantillons ne doivent pas être écrasés pour la mesure des propriétés physiques.

Figure 13 : Boîte d'échantillonnage et diviseur rotatif d'échantillon



Example of riffle box

Example of a rotary sample divider

Source : Manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016.

T : Lignes directrices pour les tailles de stockage pour différentes usines et capacités de tonnage annuel.

GUIDELINES OF STORAGE SIZES REQUIRED FOR VARIOUS PLANT AND ANNUAL TONNAGE CAPACITIES	
	upto 30 Mtph 30,000 Mt/Yr
Land	0.5 Ha or 5,000 sq m
Main Factory Building	75% of Land or 3,750 sq m or 45m wide * 84m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 1,500 sq m or 15m wide * 20m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 375 sq m or 12m wide * 15m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m
	upto 60 Mtph 60,000 Mt/Yr
Land	≥0.5 Ha ≤ 1 Ha. Example 0.75 Ha
Main Factory Building	75% of Land or 5,625 sq m or 55m wide * 100m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 1,650 sq m or 15m wide * 22m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 560 sq m or 13m wide * 22m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m
	upto 100 Mtph 100,000 Mt/Yr
Land	1 Ha or 10,000 sq m
Main Factory Building	75% of Land or 7,500 sq m or 65m wide * 115m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 2,250 sq m or 15m wide * 30m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 750sq m or 15m wide * 25m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m
	>100 Mtph >100,000 Mt/Yr
Land	≥1 Ha. Example 1.5 Ha or 15,000 sq m
Main Factory Building	75% of Land or 11,250 sq m or 75m wide * 150m long
Raw Material Storage	30% of Main Bldg or 3,375 sq m or 20m wide * 34m long * 5 no off
Finished Goods Storage	10% of Main Bldg or 1,125 sq m or 20m wide * 28m long * 2 no off
Height of stockpile	for bulk ≤6m for bags ≤5m

Source : Innocent Matthews Consulting Ltd, 202

U: Test.

Analyse chimique.

Les normes nationales, les directives de l'Union européenne (CE), les normes européennes et internationales et les méthodes d'analyse de l'Association of Official and Analytical Chemists (AOAC) sont des méthodes d'essai de référence standard pour les analyses chimiques les plus courantes utilisées pour les matières fertilisantes. Voir la section 1.3 pour les méthodes ISO. Il n'est pas essentiel d'utiliser ces méthodes pour le contrôle des processus et l'échantillonnage de routine, des méthodes automatisées étant souvent disponibles. Bien que d'autres méthodes puissent être explorées, elles doivent être comparées et évaluées par rapport à ces normes industrielles reconnues.

Tests physiques.

Les organismes mentionnés ci-dessus ont des directives existantes sur les méthodes d'essai pour de nombreuses propriétés physiques. Toutefois, il est recommandé aux mélangeurs de prêter attention aux essais de tamisage et de densité apparente. Certains laboratoires disposent d'une accréditation pour ces mesures spéciales. Aucune méthode standard n'est disponible pour des propriétés telles que la poussière libre et l'agglomération. Pour tenir compte de la ségrégation naturelle, l'échantillonnage est une étape

fondamentale des essais physiques. En raison de l'occurrence de la ségrégation naturelle, l'échantillonnage est un élément fondamental pour les essais physiques. Un autre aspect à prendre en compte est la quantité nécessaire pour un échantillon final qui, comme cela a été prouvé, peut être supérieur à 5 kg pour les essais physiques.

Méthode d'essai pour l'analyse granulométrique.

Tableau 4 : Méthode d'essai recommandée pour l'analyse granulométrique.

Principe	Appareil
Utilisez une machine à tamiser mécanique avec un ou plusieurs tamis d'essai pour tamiser à sec un échantillon de matière fertilisante.	<ul style="list-style-type: none"> - Balance calibrée pour peser à 0,1g près. - Un tamis d'essai en fil métallique tissé en acier inoxydable de 200 mm de diamètre avec un couvercle et un récepteur pour les tamis. - Une machine à tamiser également connue sous le nom de secoueur mécanique. Il doit être capable d'appliquer un mouvement horizontal et vertical au matériau sur le jeu de tamis. - Chronomètre et brosse douce

Procédure d'essai.

Conformément aux meilleures pratiques, il est recommandé de réduire l'échantillon à environ 250 g, de préférence en utilisant un diviseur d'échantillon rotatif ou un diviseur à riffle. Rassemblez sept tamis pour garantir la gamme de tailles de particules attendues et disposez-les par ordre croissant de taille d'ouverture sur le dessus du récepteur. Vérifiez le poids de l'échantillon et arrondissez-le à 0,1 g près. Fixez l'échantillon avec un couvercle et placez-le sur le tamis. Placez le jeu de tamis avec l'échantillon sur l'agitateur et agitez pendant 10 minutes maximum. Par le haut, séparer les tamis du nid et peser la quantité retenue restant sur chaque tamis, y compris le récepteur. Arrondissez le poids dérivé à 0,1g près. A l'aide de la brosse, nettoyez les particules restantes dans le nid. Additionnez ce qui reste sur le tamis et le récepteur et assurez-vous que cela ne dépasse pas 2,5g de la masse de l'échantillon original. Exprimez la masse de chaque reste en pourcentage de la masse initiale et établissez un tableau montrant le pourcentage cumulé passant par chaque tamis.

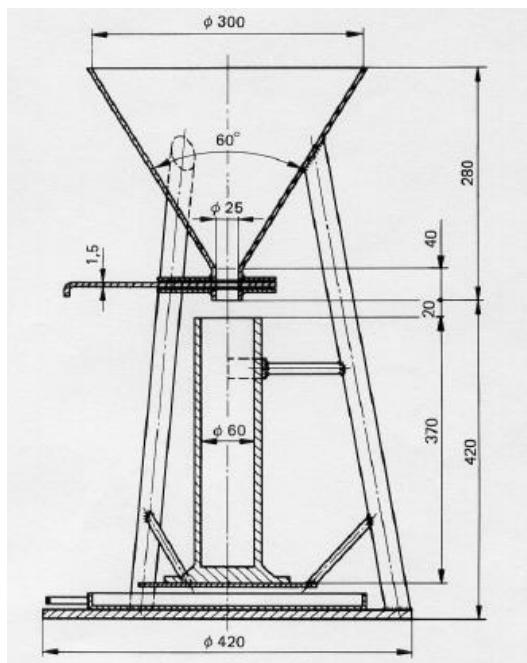
Selon le manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016, le pourcentage de matière restant dans le récepteur et sur chaque tamis est dérivé de l'équation, $X_n = (m_n/m_t) * 100$, où m_n est la masse sur le tamis n , m_t est la masse totale ($m_0 + m_1 + \dots$), et X_n est le pourcentage de masse retenu dans le tamis n . De même, la formule pour la sous-dimension cumulée est exprimée par $C_n = X_0 + X_1 + X_2 + \dots + X_{n-1}$, où C_n est le pourcentage cumulé de sous-dimension pour le tamis n .

Méthode d'essai pour la densité apparente en vrac

Principe	Appareil
Peser un volume connu de l'engrais.	<ul style="list-style-type: none"> - Une balance calibrée pour peser à 1g près - Un cylindre de 60 mm de diamètre et de 1 litre de volume connu

	- Un entonnoir standard à ouverture de 25 mm de diamètre
--	--

Figure 14 : équipement de mesure de la densité en vrac



Source : Manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016.

Procédure

1. Placez soigneusement l'unité d'échantillon d'engrais dans l'entonnoir, comme indiqué sur l'image de l'équipement ci-dessus. Assurez-vous que l'ouverture est correctement fermée.
2. Vérifiez le poids du tonneau vide et placez-le juste en dessous de l'entonnoir.
3. Laissez l'engrais s'écouler doucement dans le tonneau et fermez l'entonnoir lorsque le tonneau est plein. Retirez l'excédent d'engrais avec une spatule, puis pesez le tonneau et son contenu.
4. Calculez le poids du contenu comme (m en kg).

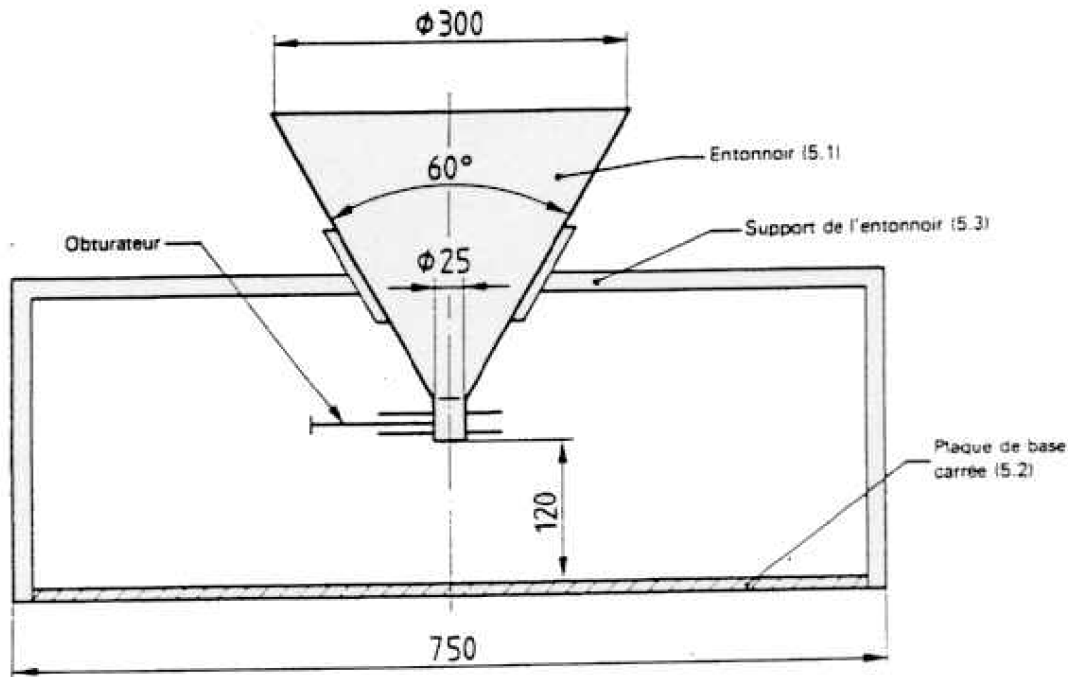
La formule de calcul de la masse volumique en vrac est représentée par $\rho = \frac{m}{V}$ où m = masse et V = volume

Méthode d'essai pour l'angle de repos

Principe	Appareil
Mesurer le diamètre d'un tas de hauteur connue et calculer l'angle du tas.	- Surface horizontale mesurant 750 x 750 (mm) et quatre lignes présentant un angle de 45° entre et tracées au centre de la surface.

- Un entonnoir standard de 25 mm de diamètre placé à 120 mm au-dessus de la surface.

Figure 15 : équipement de mesure de l'angle de repos



Source : Manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016.

Procédure

5 kg d'engrais sont placés dans l'entonnoir dont l'ouverture est fermée. On laisse l'engrais s'écouler librement à la surface à partir d'un tas en ouvrant l'ouverture. L'écoulement est arrêté lorsque le tas atteint le fond de l'entonnoir. On mesure les quatre diamètres sur la plaque et on en déduit le diamètre moyen (d en mm). La valeur de l'angle de repos est calculée à l'aide de la formule suivante,

$$\alpha = \arctan\left(\frac{240}{d - 25}\right)$$

Exemple

Des exemples de résultats d'essais physiques sur des engrais sont donnés. L'ensemble des données est réaliste, mais les propriétés physiques varieront considérablement pour un même produit en fonction de son origine. Les résultats suivants ont été obtenus pour trois engrais différents A, B et C en utilisant les méthodes de mesure décrites précédemment.

Fertilizer Samples			
Sieving Test (mm)	A (g)	B (g)	C (g)
< 1.00	0.1	0.5	8.2
1.00 - 2.50	1.2	9.3	35.6
2.50 - 2.80	5.3	19.9	45.2
2.80 - 3.15	36.7	68.1	51.9
3.15 - 3.55	115.2	79.6	46.8
3.55 - 4.00	67.7	51.2	35.3
4.00 - 5.00	15.9	13.2	21.7
> 5.00	2.1	2.1	5.2
Total	244.2	243.9	249.9

Loose bulk density			
Weight of 1 litre (V = 0,001 m ³)	1,000 kg	0,750 kg	0,950 kg
Angle of repose			
Average diameter base of the heap (\bar{d})	400 mm	400 mm	325 mm

La détermination des propriétés physiques de ces engrais est réalisable à l'aide des formules.

Test de tamisage (mm)	Poids (g)	Pourcentage	Pourcentage cumulé
< 1.00	0.1	0.04	0.04
1.0 - 2.5	1.2	0.49	0.53
2.50 - 2.80	5.3	2.17	2.70
2.80 - 3.15	36.7	15.03	17.73
3.15 - 3.55	115.2	47.17	64.91
3.55 - 4.00	67.7	27.72	92.62
4.0 - 5.00	15.9	6.51	99.14
> 5.00	2.1	0.86	100,00
	244.2		

Les données d'essai ci-dessus permettent de déterminer la taille moyenne des particules (d₅₀) et l'indice d'étalement granulométrique (GSI). Le d₅₀ est compris entre 3,15 mm et 3,55 mm, le d₁₆ est légèrement inférieur à 3,15 mm et le d₈₄ est compris entre 3,55 mm et 4,00 mm. Par conséquent,

$$d_{16} = 2,80 + \frac{16 - 2,70}{17,73 - 2,70} (3,15 - 2,80) = 3,11 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 3,15 + \frac{50 - 17,73}{64,91 - 17,73} (3,55 - 3,15) = 3,42 \text{ mm}$$

$$d_{84} = 3,55 + \frac{84 - 64,91}{92,63 - 64,91} (4,00 - 3,55) = 3,86 \text{ mm}$$

$$GSI = \frac{3,86 - 3,11}{2 \times 3,42} \times 100 = 10,96$$

	Engrais		
	A	B	C
d16	3.11mm	2,85 mm	2.34mm
d50	3,42 mm	3,27 mm	3,04 mm
d84	3,86 mm	3,79 mm	3,83 mm
GSI	10.96	14.42	24.55
Densité apparente libre (ρ)	1000kg/m ³	750 kg/m ³	950 kg/m ³
Angle de repos (α)	32.6°	32.6°	38.7°

En conclusion, nous constatons que l'engrais A a un ICF très faible car ses particules sont de taille similaire. L'engrais C a un ICF élevé parce qu'il contient plus de particules minuscules. L'engrais B a une faible densité apparente, tandis que l'engrais C a un angle de repos élevé parce qu'il contient plus de particules de nature angulaire.

NB : L'exemple ci-dessus est un extrait du manuel de mélange d'engrais solides, code de bonnes pratiques pour la qualité, 2016.