

BURKINA FASO

Unité – Progrès – Justice

.....

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

.....

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (UPB)

.....

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

THEME

Evaluation de l'efficacité de nouvelles formules d'engrais minéraux sur la nutrition minérale et le rendement du cotonnier sur des sols ferrallitique, ferrugineux et brun eutrophe.

Par HIEN Mwinso-kpéon Anselme

Maître de stage: Dr KOULIBALY Bazoumana

Directeur de mémoire: Dr BACYE Bernard

N°:...../Agronomie

Décembre 2016

| TABLES DES MATIERES | PAGES |
|--|--------------|
| DEDICACE | iv |
| REMERCIEMENTS | vi |
| LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS | vii |
| LISTE DES TABLEAUX..... | viii |
| LISTE DES FIGURES..... | viii |
| RESUME | ix |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| CHAPITRE 1: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE | 3 |
| 1.1. Généralités sur le cotonnier..... | 3 |
| 1.1.1. Botanique du cotonnier..... | 3 |
| 1.1.2. Morphologie du cotonnier..... | 3 |
| 1.1.3. Exigences pédoclimatiques | 4 |
| 1.1.3.1. Besoins en chaleur..... | 4 |
| 1.1.3.2. Besoins en eau..... | 4 |
| 1.1.3.3. Besoins en lumière | 5 |
| 1.1.3.4. Types de sols | 5 |
| 1.1.4. Cycle de développement du cotonnier | 6 |
| 1.1.5. Fertilisation du cotonnier..... | 8 |
| 1.1.5.1. Besoins minéraux du cotonnier | 8 |
| 1.1.5.2. Quelques symptômes de déficiences minérales chez le cotonnier | 10 |
| 1.1.5.3. Fertilisation organique..... | 12 |
| 1.1.5.4. Fertilisation minérale..... | 13 |
| 1.1.5.5. Pratiques paysannes en matière de fertilisation dans les systèmes de culture à base de coton et de céréales. | 13 |
| 1.1.6. Buts de la culture du cotonnier..... | 14 |
| 1.2. Généralités sur la formulation des engrais minéraux composés..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 1.2.1. Notion d'engrais et de formules d'engrais | 14 |
| 1.2.2. Composantes d'une formule d'engrais composés | 15 |
| 1.2.3. Méthodes de formulation des engrais composés | 15 |
| 1.2.4. Buts de la formulation | 15 |
| 1.3. Evolution des formules d'engrais coton vulgarisées en culture cotonnière | 16 |
| 1.4. Spécificité des nouvelles formules minérales testées | 17 |
| 1.4.1. Amélioration des propriétés physiques du sol | 17 |
| 1.4.2. Amélioration des propriétés chimiques du sol | 17 |
| 1.4.2.1. Formation du complexe absorbant | 17 |
| 1.4.2.2. Correction de l'acidité des sols | 18 |
| 1.4.3 Amélioration des propriétés biologiques des sols | 18 |
| CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES | 19 |
| 2.1. Sites d'étude | 19 |
| 2.1.1. Station de recherches agricoles et environnementales de Farako-Bâ | 19 |
| 2.1.2. Ferme semencière de Boni | 20 |
| 2.1.3. Ferme Mwauvoun de Diosso | 20 |
| 2.2. Matériel utilisé | 22 |
| 2.2.1. Matériel végétal | 22 |
| 2.2.2. Engrais minéraux | 22 |
| 2.2.2.1. Engrais vulgarisés | 22 |
| 2.2.2.2. Engrais minéraux testés | 22 |
| 2.2.3. Produits phytosanitaires utilisés | 22 |
| 2.3. Méthodes d'étude | 23 |
| 2.3.1. Dispositif expérimental et conduite de l'étude | 23 |
| 2.3.1.1. Dispositif expérimental | 23 |
| 2.3.1.2. Conduite de l'étude | 23 |
| 2.3.2. Paramètres mesurés | 24 |
| 2.3.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des sols des sites d'étude | 24 |

| | |
|---|----|
| 2.3.2.2. Nutrition minérale des cotonniers | 24 |
| 2.3.2.3. Rendement et composantes de rendement..... | 25 |
| 2.3.3. Analyses des données et présentation des résultats | 25 |
| CHAPITRE 3: RESULTATS ET DISCUSSION..... | 26 |
| 3.1. Résultats | 26 |
| 3.1.1. Effets des formules d’engrais sur la nutrition minérale des cotonniers..... | 26 |
| 3.1.1.1. Effets des formules d’engrais sur la nutrition en azote des cotonniers..... | 26 |
| 3.1.1.2. Effets des formules d’engrais sur la nutrition en phosphore des cotonniers | 27 |
| 3.1.1.3. Effets des formules d’engrais sur la nutrition en potassium des cotonniers..... | 27 |
| 3.1.1.4. Effets des formules minérales sur la nutrition en soufre des cotonniers | 28 |
| 3.1.1.5. Effets des formules minérales sur la nutrition en bore des cotonniers | 29 |
| 3.1.2. Effets des formules d’engrais sur la croissance en hauteur et le rendement des cotonniers..... | 30 |
| 3.1.2.1. Effets des formules d’engrais sur la croissance en hauteur des cotonniers | 30 |
| 3.1.2.2. Effets des formules d’engrais sur le rendement coton graine des cotonniers..... | 31 |
| 3.2. Discussion | 32 |
| 3.2.1. Effets des formules d’engrais sur la nutrition minérale du cotonnier..... | 32 |
| 3.2.2. Effets des formules d’engrais sur le rendement coton graine des cotonniers..... | 33 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES | 34 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 35 |
| ANNEXES..... | a |

DEDICACE

À mon oncle

CHARLES HIEN

qui a énormément contribué à faire de moi ce que je suis aujourd'hui.

Que le Seigneur lui accorde Santé et Longévité afin qu'un jour il puisse bénéficier des fruits de cet "arbre" dont il a énormément contribué à entretenir.

« *To feed our people, we must first feed our soil* ».Olesegun Obasanjo.

« *Pour nourrir notre peuple, nous devons d'abord nourrir notre sol* ».

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements à :

- messieurs les responsables de la DRREA-OUEST/station de Farako-Bâ, pour avoir accepté notre demande de stage au sein de leur structure ;
- notre maître de stage, Dr KOULIBALY Bazoumana, chercheur et chef du Programme Coton, pour la qualité de l'encadrement reçu ;
- notre Directeur de mémoire, Dr BACYE Bernard, Directeur de l'IDR, pour sa contribution à la rédaction de ce mémoire ;
- monsieur OUATTARA Adama, ingénieur agronome, pour sa disponibilité, son accompagnement et ses conseils;
- messieurs les techniciens du Programme Coton, notamment ceux de la section agronomie et techniques culturales à savoir : BERE Michel, SESSOUMA Begué, SERI Moussa dit «Vieux Moussa », KONE Zakari, SOUARE Bakari, TRAORE Adama, BARRY Seydou, DINDANE Issouf, DAO Yacouba, SANOU Gérard, MALO Drissa, pour le suivi et les observations judicieuses de l'essai;
- mesdames SANOU/DOUGOURI Alidiata Rita et SOME/DAH Irène, pour les photocopies, les impressions et les encouragements ;
- au technicien Ouattara Amoro pour la réalisation des analyses de sol et de plantes au laboratoire GRN/SP;
- nos oncles, Charles HIEN, Jean De Dieu PODA et Rémi DABIRE pour leurs soutiens multiples et multiformes;
- nos camarades BEYE André, DAH Sié Célestin et OUATTARA Sory Ibrahima, pour leur contribution ;
- notre chérie, BACIA Kaléo Rabiadou Inéïssa, notre fille HIEN Mwinmaalou Charlène et notre sœur HIEN Bèsewni Pascaline, pour nous avoir porté assistance durant les moments difficiles de ce travail ;
- nos parents, HIEN Jean-Jacques et HIEN/SOMDA Colette, nos frères et sœurs qui, malgré la distance, n'ont cessé de nous apporter leur soutien.

LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ADP : Adénosine Di-Phosphate

AICB : Association Interprofessionnelle du Coton du Burkina

ATC : Agent Technique Coton

ATP : Adénosine Tri-Phosphate

BUNASOLS : Bureau National des Sols

CEC : Capacité d'Echange Cationique

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

CPCS : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols

DF : Diagnostic foliaire

DGPER : Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale

DRREA : Direction Régionale de la Recherche Environnementale et Agricole

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

INERA : INstitut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

IRCT : Institut de la Recherche Coton et fibres Textiles

MASA : Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire

NPK : Azote Phosphore Potassium

pH : potentiel hydrogène

PIB : Produit Intérieur Brut

PR-PICA : Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique

LISTE DES TABLEAUX**PAGES**

| | |
|--|----|
| Tableau I: Consommation d'eau du cotonnier en fonction des différentes phases de développement et du nombre de jours après semis..... | 5 |
| Tableau II: Principales caractéristiques phénologiques du cotonnier..... | 8 |
| Tableau III : Précédents cultureux des parcelles de Farako-Bâ, de Boni et de Diosso | 20 |
| Tableau IV : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Boni, Diosso et Farako-Bâ. ... | 21 |
| Tableau V : teneurs en azote des feuilles des cotonniers à 70 JAS..... | 26 |
| Tableau VI : teneurs en phosphore des feuilles des cotonniers à 70 JAS..... | 27 |
| Tableau VII : teneurs en potassium des feuilles des cotonniers à 70 JAS..... | 28 |
| Tableau VIII : teneurs en soufre des feuilles des cotonniers à 70 JAS | 29 |
| Tableau IX : teneurs en bore des feuilles des cotonniers à 70 JAS | 30 |
| Tableau X : hauteur moyennes des cotonniers à la récolte | 31 |
| Tableau XI : rendement moyen en coton graine | 32 |

LISTE DES FIGURES**PAGES**

| | |
|---|----|
| Figure 1: Structure simplifiée d'un cotonnier pendant la période de fructification | 4 |
| Figure 2 : Pluviométrie à Farako-Bâ en 2015. | 19 |

RESUME

Dans les systèmes de culture à base de coton, l'acidification des sols entraînant une baisse de l'efficacité des engrais minéraux, affecte négativement les rendements du cotonnier et des autres cultures. Pour pallier à ce problème, la présente étude a été conduite pour évaluer l'efficacité de quatre nouvelles formules d'engrais enrichies en calcium et/ou en magnésium (14-18-18+5S+1B+2,5CaO; 15-10-20+5S+1B+3,5MgO ; 15-15-15+5S+1B+2,5MgO+2,5CaO et 15-10-20+5S+1B+2,5MgO+2CaO) et potentiellement moins acidifiantes par rapport à la formule d'engrais vulgarisée (14-18-18-6S-1B). Les expérimentations ont été conduites à la station de recherches agricoles de Farako-Bâ sur des sols ferrallitique et ferrugineux, à la ferme de Boni sur un sol ferrugineux et à la ferme de Diosso sur un sol brun eutrophe. Notre étude a consisté à évaluer l'effet de ces quatre nouvelles formules minérales sur la nutrition minérale, la croissance en hauteur et les rendements du cotonnier. Les résultats obtenus indiquent que l'application des nouvelles formules minérales a permis d'améliorer significativement la nutrition potassique des cotonniers à Diosso. Mais ces nouvelles formules minérales n'ont pas amélioré la nutrition des cotonniers en azote, soufre et bore par rapport à la formule vulgarisée. Par ailleurs, les nouvelles formules d'engrais ont montré, sur les rendements, une efficacité équivalente ou inférieure à celle de la formule vulgarisée (14-18-18-6S-1B) sur les trois sites et types de sol. Cependant, à l'issue de cette première année d'expérimentation, les résultats obtenus avec ces nouvelles formules minérales sont prometteurs dans la mesure où ils n'ont pas été très en dessous de ceux obtenus avec la formule vulgarisée et vu que ces nouvelles formules peuvent améliorer les propriétés physico-chimiques des sols, contrairement à la formule vulgarisée. En plus, l'adoption de ces nouvelles formules minérales pourrait rendre plus durables les systèmes de production à base de coton.

Mots clés : formules minérales, calcium, magnésium, cotonnier, nutrition minérale, rendement, Burkina Faso.

ABSTRACT

In the systems of culture to basis of cotton, the soils acidification rousing a decrease of the efficiency of the mineral manures, affect negatively the outputs of the cotton and the other cultures. To palliate to this problem, this survey has been driven to value the efficiency of four news minerals formulas enriched in calcium and/or in magnesium (14-18-18+5S+1B+2,5CaO; 15-10-20+5S+1B+3,5MgO; 15-15-15+5S+1B+2,5MgO+2,5CaO and 15-10-20+5S+1B+2,5MgO+2CaO) and potentially less acidifying in relation to the popularized mineral formula (14-18-18-6S-1B). The experimentations have been driven to the station of agricultural research of Farako-Bâ on ferralitique and ferruginous soils, to the farm of Boni on ferruginous soil and to the farm of Diosso on brown eutrophe soil. Our survey consisted to value the effect of these four news minerals formulas on the mineral nutrition, the growth in height and the outputs of the cotton. The gotten results indicate that the application of the news minerals formulas permitted to improve meaningfully cotton nutrition in potassium at Diosso. But these news minerals formulas didn't improve the nutrition of the cotton in nitrogen, sulfur and boron in relation to the popularized formula. Otherwise, the new minerals formulas showed, on the outputs, an equivalent or a lower efficiency to the one of the popularized formula (14-18-18-6S-1B) on the three sites and types of soil. However, at the end of this first year of experimentation, the results gotten with these news minerals formulas are promising insofar as they were not very below those gotten with the popularized formula and since these new formulas can improve the physic-chemical properties of soils, contrary to the popularized formula. In addition, the adoption of these news minerals formulas could make more lasting the systems of production to basis of cotton.

Keys words: minerals formulas, calcium, magnesium, cotton, mineral nutrition, outputs, Burkina Faso.

INTRODUCTION GENERALE

La production agricole constitue le principal moyen de survie de nombreuses populations dans le monde entier en général et particulièrement en Afrique sub-saharienne. Au Burkina Faso, le secteur agricole occupe près de 86 % de la population active, fournit environ 44,7 % des revenus des ménages et contribue à hauteur de 30 % à 45 % à la formation du PIB (MASA, 2013). Le coton, qui est la principale culture de rente, joue un important rôle dans le secteur agricole et le développement socio-économique du Burkina Faso. En effet, le coton joue un rôle déterminant dans le dispositif stratégique de lutte contre la pauvreté car il fait vivre près de 10 % de la population totale et contribue pour environ 25 % à la formation du PIB agricole (AICB, 2008). La filière coton joue donc un rôle capital dans l'équilibre socio-économique du pays (Goreux, 2003) car, depuis son introduction par le colonisateur, la production cotonnière n'a cessé de croître et d'accroître son importance dans l'économie burkinabè, faisant du Burkina Faso, l'un des plus grands producteurs de coton dans la sous-région Ouest-africaine. Mais depuis quelques années, on note une tendance à la stagnation, voire à la diminution des rendements du cotonnier et ce malgré l'utilisation plus ou moins importante des engrais minéraux. C'est ainsi que, pour déterminer les causes probables de cette baisse des rendements, une étude a été menée concomitamment au Bénin, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Sénégal et au Togo sous l'égide du Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique (PR-PICA). Dans ces différents pays, les résultats ont révélé une baisse de la fertilité des sols se manifestant par une carence des sols en bases échangeables notamment en calcium, magnésium et potassium, et entraînant ainsi une acidification des sols cultivés. Pourtant, sur des sols acides, certains éléments deviennent moins assimilables (phosphore par exemple) et même toxiques (aluminium) pour les plantes.

Par ailleurs, les différents chercheurs du PR-PICA ont également conclu que la formule minérale (14-18-18-6S-1B) utilisée de nos jours pour la fertilisation du cotonnier contribue à acidifier les sols. En effet, cette formule ne contient ni du calcium, ni du magnésium qui sont des éléments susceptibles d'améliorer les propriétés physico-chimiques des sols. En outre, cette formule a très peu évolué depuis sa mise au point, qui remonte vers les années 1980, alors que les conditions de production telles que la fertilité des terres, la pluviométrie à travers la quantité et la distribution des pluies au cours des campagnes, connaissent des changements qui sont défavorables à la production du coton.

Face à cette situation, les différents chercheurs ont défini quatre nouvelles formules minérales enrichies en calcium et/ou en magnésium et qui sont ainsi potentiellement moins acidifiantes. La société TOGUNA, une société malienne spécialisée dans la fabrication des engrais, a été choisie pour la mise en place de ces formules. Notre étude dont le thème est « **Evaluation de l'efficacité de nouvelles formules d'engrais minéraux sur la nutrition minérale et le rendement du cotonnier sur des sols ferralitique, ferrugineux et brun eutrophe** », fait suite à ces travaux et a consisté à suivre, sur le terrain, le comportement de ces nouvelles formules minérales par rapport à la formule vulgarisée.

L'objectif global de cette étude est d'améliorer le rendement et la durabilité des systèmes de culture à base de coton. De façon spécifique, cette étude cherche à :

- déterminer l'efficacité des nouvelles formules d'engrais sur la nutrition minérale des cotonniers ;
- déterminer l'efficacité des nouvelles formules minérales sur le rendement coton-graine des cotonniers.

Pour cela, nous avons formulé les hypothèses suivantes :

- **H1** : les nouvelles formules minérales améliorent la nutrition minérale et les rendements des cotonniers par rapport à l'engrais vulgarisé.
- **H2** : L'efficacité des nouvelles formules minérales sur le rendement varie en fonction des types de sol.

Le présent mémoire s'articule autour de trois chapitres : le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique ; le deuxième chapitre présente le matériel utilisé et les méthodes employées pour la réalisation de l'étude ; et le troisième chapitre présente les résultats obtenus et la discussion. Une conclusion et des perspectives terminent ce document.

CHAPITRE 1: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralités sur le cotonnier

1.1.1. Botanique du cotonnier

Le cotonnier est une plante dicotylédone dialypétale de l'ordre des Malvales, de la famille des Malvacées et de la tribu des hibiscées (Fryxell, 1984). Il appartient au genre *Gossypium* qui regroupe une cinquantaine d'espèces dont les plus connues sont: *Gossypium herbaceum* L., *Gossypium arboreum* L., *Gossypium hirsutum* L. et *Gossypium barbadense* L. Ces quatre espèces, caractérisées par la présence, sur les graines, de poils cellulosiques utilisées par l'industrie chimique, constituent le groupe des cotonniers cultivés (Fryxell, 1984). Les espèces diploïdes sont représentées par *Gossypium herbaceum* L. et *Gossypium arboreum* L. et les tétraploïdes par *Gossypium hirsutum* L. et *Gossypium barbadense* L. Les espèces diploïdes sont peu productives et donnent un coton à fibre courte, épaisse et peu tenace. On ne les retrouve que dans certaines régions d'agriculture traditionnelle en Asie et en Afrique ; elles représentent moins de 5 % de la production mondiale de fibre (Benedict, 1984). L'espèce *Gossypium hirsutum* allotétraploïde ($2n = 4x = 52$ chromosomes) est la plus cultivée fournissant près de 95 % de la production mondiale (Parry, 1982). Elle est plus productive et produit des fibres de bonne qualité.

1.1.2. Morphologie du cotonnier

Le cotonnier est caractérisé par un polymorphisme marqué non seulement entre les différentes espèces, mais aussi à l'intérieur d'une même espèce sous l'influence des facteurs climatiques (Dakouo, 1994). Il présente une partie souterraine et une partie aérienne. La partie souterraine du cotonnier comprend une racine pivotante pourvue de nombreuses ramifications latérales. Ces ramifications assurent la fixation de la plante au sol et lui permettent du même coup de mieux coloniser le sol à la recherche de nutriments. La partie aérienne comprend une tige principale portant des branches végétatives et fructifères. Les branches fructifères, situées plus haut sur la tige, portent directement des fleurs puis des capsules (Parry, 1982) contrairement aux branches végétatives qui sont situées à la base de la tige et qui portent les fleurs sur leurs ramifications. Les fruits sont des capsules rondes ou ovoïdes, composées de 4 à 5 loges, contenant chacune 5 à 12 graines. Les graines sont recouvertes de poils dont le plus long est appelé fibre. Les poils courts forment une sorte de duvet appelé linter.

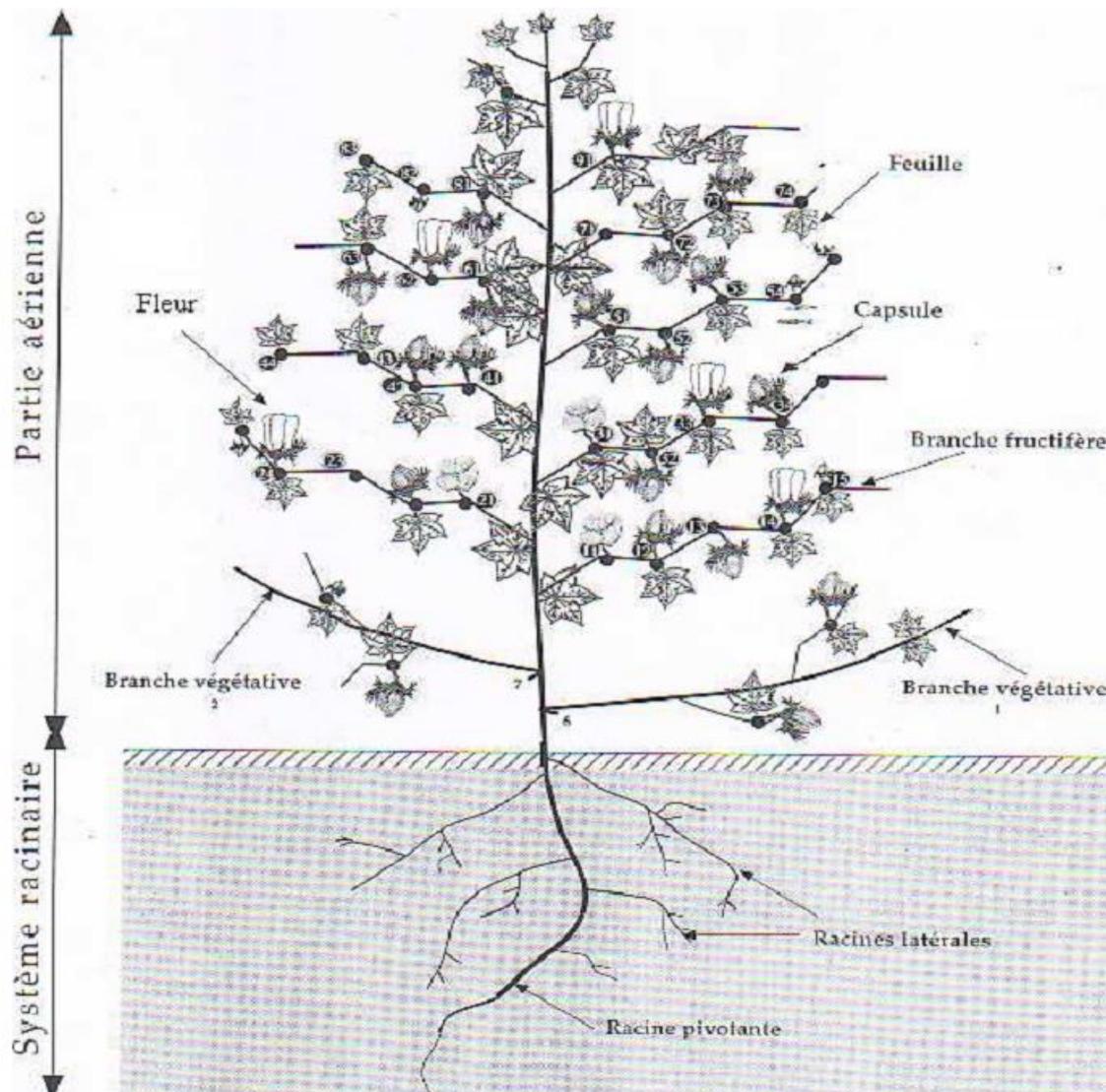


Figure 1: Structure simplifiée d'un cotonnier pendant la période de fructification

Source : Dakouo, 1990

1.1.3. Exigences pédoclimatiques

1.1.3.1. Besoins en chaleur

Le cotonnier est une plante originaire des pays chauds. Ainsi, la température minimum du sol nécessaire en début de germination est de 12°-13°C pour l'espèce *Gossypium Barbadense* et de 14°-15°C pour *Gossypium hirsutum*. Cependant, en dessous de 4°C le cotonnier dépérit (Traoré, 2008).

1.1.3.2. Besoins en eau

Les besoins en eau du cotonnier sont très variables suivant les stades de développement de la plante, l'intensité de l'ensoleillement et le taux d'humidité de l'air. En région tropicale, 500 mm

à 800 mm d'eau suffisent pour alimenter le cotonnier tout au long de son cycle de développement (Helvetas, 2008). La répartition de cette quantité d'eau est extrêmement importante car les différentes phases de développement du cotonnier n'ont pas les mêmes exigences en eau comme le montre le tableau I.

Tableau I: Consommation d'eau du cotonnier en fonction des différentes phases de développement et du nombre de jours après semis.

| | Phases du développement | | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|----------------|
| | De la levée au 1 ^{er} bouton | Du 1 ^{er} bouton à la 1 ^{ère} fleur | Maximum de la floraison | Fructification |
| Nombre de jours après semis | 10 à 45 | 45 à 75 | 75 à 120 | 120 et + |
| Consommation d'eau en mm/jr | 1 à 2,5 | 2,5 à 6 | 6 à 10 | 4 à 5,5 |

Source: Traoré, 2008.

Les phases les plus sensibles se situent surtout:

- au stade plantule (plants fragiles);
- à la floraison où tout stress hydrique peut provoquer des désordres physiologiques aboutissant à la chute des fleurs appelée “shedding”

Le cotonnier nécessite une saison sèche terminale bien marquée, indispensable à une bonne ouverture des capsules et à la récolte (FAO, 2014). L'excès d'eau entraîne une baisse de rendement (perte de capsules) sans que la plante ne présente aucun signe apparent d'anomalie (Helvetas, 2008).

1.1.3.3. Besoins en lumière

L'ensoleillement est très important pour le cotonnier surtout en phase de fructification. En effet, la fin de la maturation est soumise à l'action de la lumière (Ilboudo, 1997).

1.1.3.4. Types de sols

Le cotonnier est une plante qui se développe bien sur les sols homogènes, profonds, perméables et riches en matières nutritives. Il préfère les sols à texture limono-argilo-sableuse ou sablo-argileuse. Les terres trop humides ne conviennent pas au cotonnier et le pH optimum se situe

entre 6 et 7. Il peut cependant s'accommoder aux sols salins à concentration inférieure à 2 % (Sement, 1986).

1.1.4. Cycle de développement du cotonnier

Le cotonnier est une plante à croissance continue ; ce qui signifie que les phases végétatives et fructifères ne sont pas séparées dans le temps, comme c'est le cas chez les céréales. La croissance végétative se poursuit pendant que les premiers boutons floraux apparaissent. La mise en place des fruits sur la plante provoque un ralentissement progressif de la vigueur végétative. Au fur et à mesure de leur maturation, les fruits mobilisent de plus en plus les assimilés issus de la photosynthèse, au détriment du développement végétatif. Celui-ci finit par s'arrêter lorsque la production de la plante est en place et mobilise tous les carbohydrates synthétisés au niveau des feuilles.

La croissance du cotonnier peut être scindée en quatre stades (Hesketh *et al.* 1972 ; Parry, 1982 ; Mauney, 1984) :

- **stade de levée** : du semis à l'étalement des cotylédons (6 à 10 jours dans les conditions tropicales). Le développement au cours de cette phase se fait aux dépens des réserves de la graine (Ilboudo, 1997).

- **stade végétatif** : de la plantule à l'ouverture de la première fleur ; sa durée est de 40 à 60 jours après levée ;

- **stade de floraison** : du début floraison à l'arrêt de la croissance (appelé "Cutout") ; allant ainsi de 80 à 100 jours après levée. Les fleurs sont blanches/jaunes à leur ouverture, et passent au rose dès le lendemain. C'est généralement durant cette période qu'intervient la chute des organes florifères et fructifères ou «shedding » qui peut être d'origine parasitaire ou physiologique. Normalement seul le tiers (1/3) des fleurs vont donner des capsules, et ce taux peut tomber jusqu'à 10 % lorsque les conditions sont défavorables (sécheresse, excès d'eau, baisse de température, infestation de ravageurs). La perte de bourgeons et de capsules peut être occasionnée autant par le déficit que par l'excès de nutriments ou d'humidité.

Parry (1982) et Benedict (1984) ont indiqué trois types d'abscissions :

- l'abscission par contrainte est due à divers facteurs dont une carence hydrique, une mauvaise nutrition minérale, une insolation insuffisante ou une attaque parasitaire. Le «shedding » parasitaire est causé par des piqûres d'insectes ou la pénétration de chenilles dans les organes fructifères ;

- l'abscission physiologique est imposée par la plante elle-même en absence de toute contrainte. Son intensité dépend de la charge du cotonnier en capsules en cours de maturation. Au fur et à mesure que le temps passe, les jeunes capsules formées tendent à tomber plus intensément. Il s'agit d'un phénomène de corrélation puisque si l'on enlève artificiellement toutes les capsules en maturation sur un cotonnier, les derniers boutons apparus se maintiennent jusqu'à la floraison et les nouvelles fleurs formées restent sur pied. L'abscission physiologique se subdivise en abscission pré-florale (80 %) et post florale (20 %) dans les conditions de culture au Burkina Faso. Ainsi sur 100 boutons floraux initiés, seules 40 deviennent des fleurs qui donnent des capsules (Dakouo, 1994) ;

- l'abscission par fécondation insuffisante intervient lorsque l'ovaire ne reçoit aucun tube pollinique ou si le nombre d'ovules fécondés est insuffisant dans les jeunes capsules. Ceci intervient lorsque la carence en bore est prononcée ou en cas d'éclairement insuffisant.

L'abscission joue un rôle régulateur important dans la production du cotonnier. Toutefois, la plante peut se relever et compenser les pertes de bourgeons et de capsules en prolongeant le temps de production de fleurs, et ce si les conditions défavorables n'interviennent pas trop tard dans la saison ou ne durent pas trop longtemps. En effet, cette chute d'organes fructifères est compensée par la formation de fleurs qui se développent sur d'anciennes ou de nouvelles branches fructifères. Par cet effet de compensation, la plante réagit ensuite en diminuant l'abscission physiologique par corrélation (Benedict, 1984). La floraison s'intensifie et se prolonge, les chutes de capsules diminuent par rapport au niveau qui aurait pu être atteint en absence de phénomènes perturbateurs. Parmi les facteurs qui influent sur le « shedding » physiologique, on peut citer d'une part les facteurs environnementaux dont les effets ont été étudiés par Guinn (1974) cité par Dakouo (1994), et d'autre part le stress hydrique. En effet une augmentation du taux de CO₂ de 350 à 1000 µl/l réduit l'abscission des capsules de 39,9 à 16,4% alors qu'un accroissement de la photopériode de 8 à 14 heures diminue l'abscission qui est accrue au contraire par des températures élevées pendant la nuit et par une faible luminosité. L'abscission des organes fructifères du cotonnier par la déficience en eau a été étudiée par Jordan (1982) cité par Benedict (1984). Le stress hydrique entraînerait des dommages sur les paramètres agronomiques du cotonnier.

- **stade de maturation** : du "Cutout à l'ouverture complète des capsules.

Du semis à la récolte, le cycle dure environ 140 à 180 jours selon les variétés et les conditions environnementales (Parry, 1982).

Les principales caractéristiques phénologiques du cotonnier sont résumées dans le tableau II.

Tableau II: Principales caractéristiques phénologiques du cotonnier

| Phases du cycle | Caractéristiques et exigences |
|---------------------------------------|---|
| Levée | <ul style="list-style-type: none"> - elle va de la germination à l'étalement des cotylédons et dure 6 à 12 jours en conditions favorables - la température du sol doit être comprise entre 25° et 30°C - le zéro de germination est de 14° - l'humidité du sol doit avoisiner 90% de sa capacité de rétention en eau (CRE). |
| Plantule | <ul style="list-style-type: none"> - se termine au stade 3 à 4 feuilles - durée moyenne de 20 jours en conditions favorables - température du sol supérieure à 20°C - température de l'air de comprise entre 25° à 30°C - sol suffisamment humide et non saturé |
| Préfloraison | <ul style="list-style-type: none"> - du stade plantule à l'apparition du 1^{er} <<square>> - durée moyenne de 20 jours - apparition de branches végétatives et fructifères - conditions climatiques et édaphiques déterminantes |
| Floraison | peut durer 40 à 70 jours après la préfloraison suivie de la fécondation |
| Maturation et déhiscence des capsules | <ul style="list-style-type: none"> - grossissement des capsules, formation des fibres (20 à 25 jours) - déhiscence des capsules (20 à 40 jours en conditions favorables) |

Source : Parry, 1982

1.1.5. Fertilisation du cotonnier

La fertilisation du cotonnier a pour rôle de corriger les carences et/ou déficiences naturelles des sols ou celles qui peuvent apparaître par suite d'une culture intensive (FAO, 2014).

1.1.5.1. Besoins minéraux du cotonnier

Le cotonnier est une plante très exigeante en certains nutriments qui jouent chacun un rôle spécifique dans sa physiologie :

- l'azote (N): c'est l'élément essentiel de la photosynthèse qui permet la transformation de la matière minérale en tissu végétal (UNIFA, 2005a). Il augmente le volume de la floraison et améliore sa précocité (Benedict, 1984). Il contribue à élever le poids des graines, à allonger les fibres et à augmenter la teneur en protéines des graines. Lorsque les principales déficiences du sol sont corrigées, l'azote devient le facteur essentiel du rendement (Parry, 1982). Les besoins en azote du cotonnier varient suivant son stade de développement. Par rapport aux besoins totaux en azote, ils sont de 4 % de 0 à 20 jours, 13 % de 20 à 50 jours, 43 % de 50 à 90 jours et 40 % de 90 à 130 jours. Un déficit en azote se traduit par un cycle de développement très raccourci du cotonnier tandis qu'un excès entraîne un retard de maturité lié à l'allongement excessif de la période végétative (Lagierre, 1966).

- le phosphore(P): il intervient dans les transferts d'énergie de la plante et est de ce fait indispensable pour la photosynthèse et la synthèse des protéines (Martin-Prevel *et al.*, 1984 ; Heller *et al.*, 1989). Il favorise en outre le métabolisme des glucides, des protides ainsi que leur transport dans la plante (Soltner, 1996). Chez le cotonnier, il stimule la croissance des racines et joue un rôle important dans la floraison et le développement des fruits. Contrairement à l'azote qui prolonge la phase végétative, le phosphore favorise la maturation des capsules en accélérant leur ouverture. Sa carence entraîne un retard de fructification, de maturation des capsules, une réduction de la taille des feuilles ainsi qu'une diminution de la longueur de la fibre (Parry, 1982).

- le potassium (K): il joue le rôle d'activateur du métabolisme et de régulateur des fonctions de la plante (Dakouo, 1994). Il améliore la balance hydrique et hydrocarbonée en raccourcissant les périodes pendant lesquelles l'état des stomates n'est pas adapté aux conditions du milieu : en activant leur fermeture, il limite la transpiration ; en activant leur ouverture, il permet la reprise de la photosynthèse dès que le déficit n'est pas limitant (Heller *et al.*, 1989). Il permet également au cotonnier de résister à certaines maladies cryptogamiques telles que la fusariose (Richard, 1958 ; Parry, 1982; Soltner, 1989). Un apport en potassium augmente la longueur des fibres, le poids de la graine et sa teneur en huile. Son déficit entraîne une réduction du nombre et de la taille des capsules mûres, la qualité des graines et de la fibre.

- le Soufre (S): il fait partie de la chlorophylle et de toutes les protéines de la plante (Martin-Prevel *et al.*, 1984). Les fonctions qu'il assure dans la plante peuvent être classées en deux grands groupes: structurelle et métabolique. Une déficience en soufre conduit à une réduction de la taille du cotonnier, à un jaunissement des nouvelles feuilles alors que les vieilles conservent leur couleur foncée (Dakouo, 1994), à une réduction considérable du rendement du coton à l'égrenage et à une diminution de la teneur en huile des graines (Ilboudo, 1997).

- le calcium (Ca) a beaucoup d'effets sur la croissance et le développement de la plante. Il est essentiel au maintien de l'intégrité structurale des membranes et des parois pecto-cellulosiques (Dakouo, 1994) lors du processus de division cellulaire, durant l'absorption ionique, la germination du grain de pollen et pendant la croissance du tube pollinique. Sa présence dans la solution du sol est fondamentale pour le développement des racines du cotonnier.

- le Bore (B): dans la plante, ses fonctions sont associées à celles du calcium au niveau de la régulation du fonctionnement de la membrane et de la paroi cellulaire, de la division et de l'augmentation des cellules, de la lignification de la paroi cellulaire, essentielle à la formation des tissus méristématiques. Il influence le développement des racines, l'absorption des nutriments et la germination du grain de pollen ; participe au métabolisme et au transport des hydrates de carbone à travers la formation de complexes borate-sucres, importants dans la synthèse des protéines. Il agit sur le métabolisme des acides nucléiques et également sur le métabolisme et le transport des auxines. Le cotonnier est très sensible à la déficience en bore. En cas de carence en bore, on observe des déformations et des nécroses sur les jeunes organes (Mengel et Kirbky, 1978) ; les pétioles présentent des renflements annulaires vert-foncés, les plantes prennent un aspect buissonnant, les feuilles deviennent cassantes en s'épaississant et les capsules chutent par suite d'un taux insuffisant de fécondation des ovules (Parry, 1982).

- le magnésium (Mg) fait partie de la molécule de la chlorophylle (Malavolta *et al.*, 1997) et est donc essentiel à la photosynthèse. C'est un activateur de nombreuses enzymes. En effet, toutes les enzymes phosphorylases dépendent de la présence du magnésium qui forme un pont entre l'ATP ou l'ADP et la molécule de l'enzyme (Dakouo, 1994). Le transfert de l'énergie de ces composés est fondamental lors des processus de photosynthèse, de respiration, de réaction de synthèse de composés organiques et de travail mécanique exécuté par la plante.

Au Burkina Faso les engrais couramment utilisés sont l'engrais minéral NPKSB de formule 14-18-18-6S-1B et l'urée dosant 46 % N. Les doses recommandées pour la culture de coton sont estimées à 150kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'urée (Pouya *et al.*, 2013). Tout retard d'apport est préjudiciable à l'expression du potentiel de production du cotonnier due à l'efficacité de la fumure minérale épandue (Dakouo, 1998).

1.1.5.2. Quelques symptômes de déficiences minérales chez le cotonnier

- la carence en azote donne lieu à une chlorose donc à une perte de l'intensité de la couleur verte sur toute la plante en raison de la réduction de la chlorophylle. Étant un élément mobile

dans la plante, les premiers symptômes de jaunissement surgissent sur les feuilles les plus vieilles de « l'axe principal » ; sa carence ralentit la vitesse de croissance du cotonnier, réduit le nombre et la longueur des inter-nœuds et par conséquent diminue le nombre de branches végétatives et fructifères (Carmi et Shalhevet, 1982). Au fur et à mesure que la carence devient plus sévère, les feuilles acquièrent une coloration bronze, sèchent et tombent de façon précoce. A cela s'ajoute une chute anormale des boutons floraux, des fleurs et des fruits nouveaux, endommageant ainsi la productivité et la qualité de la fibre

- les symptômes de carence en phosphore ne sont pas aussi marquants que ceux des autres macronutriments, et l'effet le plus évident concerne la réduction générale de la croissance de la plante. La carence en phosphore réduit en effet la photosynthèse, l'accumulation et la translocation des hydrates de carbone vers les bourgeons du cotonnier. Comme résultat, les plantes se développent très lentement, les plus vieilles feuilles deviennent rouge (suite à l'accumulation de l'anthocyane) avec des taches ferrugineuses sur les bords évoluant vers un assèchement des feuilles. En outre, il peut également se produire un rougissement de la tige. Dans une situation de carence très sévère, une chute des boutons floraux et une réduction de la taille des bourgeons peuvent être observées. Indépendamment de la façon dont les symptômes apparaissent durant le cycle de la culture, le résultat final aboutit à la réduction de la productivité.

- le cotonnier, comparé à d'autres espèces, est considéré comme étant peu efficace quant à l'absorption du potassium du sol. Ainsi, la carence en potassium se produit avec une fréquence et une intensité plus importante que chez la plupart des espèces agronomiques. Lors de la préfloraison, cette carence est caractérisée par une chlorose internervaire des feuilles de l'axe principal, suivie d'une nécrose sur les bords (Parry, 1982). Il en résulte un raccourcissement du cycle de la plante, une malformation des capsules, une réduction de la productivité et de la qualité de la fibre (Dakouo, 1994).

- les carences en calcium (Ca) ne sont pas communes sur le champ. En général, les effets de l'acidité du sol et de sa pauvreté en d'autres nutriments dépassent ou se manifestent plus rapidement que la carence de ce nutriment sur les plantations. Les symptômes de carence en calcium sur le cotonnier se caractérisent par la désagrégation des tissus (Bouchy, 1971), la diminution de la croissance, la courbure des bords des feuilles, l'effondrement des pétioles, la réduction de la floraison et de la fructification et la perte des bourgeons.

- les symptômes de carence en magnésium se caractérisent par une croissance lente du cotonnier. Comme il s'agit d'un nutriment à mobilité élevée dans la plante, les symptômes initiaux, caractérisés par une chlorose internervaire surgissent sur les feuilles de l'axe principal, tandis que le reste du limbe devient rouge pourpre (Sement, 1983) en raison de l'accumulation de l'anthocyane.

- lors d'une carence en soufre, la photosynthèse est réduite et cela affecte la productivité et la qualité de la fibre. Les plantes déficientes en soufre ont une croissance réduite, émettent peu de branches végétatives et fructifères et présentent des feuilles de couleur verte-jaune au niveau des jeunes branches. Ces symptômes s'apparentent à ceux de l'azote à la différence qu'ils apparaissent initialement sur les jeunes branches tandis que les symptômes de carence en azote apparaissent initialement sur l'axe principal de la plante (Dakouo, 1994). Cette similitude provient du fait que ces deux nutriments sont des constituants protéiques.

- en raison de la faible mobilité du bore dans la plante, les premiers symptômes de sa carence se produisent sur les parties jeunes (Mengel et Kirbky, 1978). Les symptômes les plus rencontrés sur un champ sont le jaunissement des feuilles des jeunes branches. Durant la période de floraison/fructification, des anneaux concentriques vert-foncés apparaissent sur les pétioles et sur les tiges. Au fur et à mesure que la carence augmente, ces anneaux surgissent sur les branches et sur la tige principale. Il se produit également une chute excessive des boutons floraux, des fleurs et même des fruits nouveaux. Cette chute peut être due soit à la non-viabilité du grain de pollen qui culmine sur la non fécondation de l'ovule ou soit à des troubles causés sur le système vasculaire de la région du pédoncule, empêchant ainsi un transport idéal de l'hydrate de carbone vers ces organes. La carence en bore, lorsqu'elle est sévère, provoque la mort du bourgeon apical et l'apparition anormale de nouveaux bourgeons (super bourgeonnement de la plante).

1.1.5.3. Fertilisation organique

Il est recommandé d'apporter 2 tonnes/ha de compost bien décomposé chaque année (Ouattara, 2011). L'épandage se fait avant le labour qui permettra de l'enfouir. La fumure organique permet d'améliorer la structure et la texture du sol. En outre, pour contrer l'acidification du sol suite à l'utilisation des engrais minéraux, des amendements à base de dolomie (1 à 1,5 t/ha) et de phosphate (300 kg/ha) sont recommandés. Cependant, l'apport de la fumure organique ne doit pas exclure l'application de la dose recommandée de fumure minérale car: « la fumure minérale et la fumure organique ne se remplacent pas mais se complètent » (FAO, 2014).

1.1.5.4. Fertilisation minérale

Il est conseillé, en cas de semis tardifs, de diminuer, voire supprimer, la fertilisation minérale. L'engrais doit être enfoui dans le sol pour éviter que le soleil ne dégrade une partie des éléments fertilisants. Un engrais non enfoui est moins efficace qu'un engrais enfoui. On peut l'apporter dans un trou devant chaque plant, ou le répandre en ligne au sol et l'enfouir avec un sarclage. L'urée est apportée et enfouie avec le buttage. Au Burkina Faso, l'engrais composé NPKSB de formule 14-18-18-6S-1B est appliqué à 15 jours après levée à une dose de 150 kg/ha alors que l'urée à 46 % N est apportée à 45 jours après levée à la dose de 50 kg/ha (FAO, 2014).

1.1.5.5. Pratiques paysannes en matière de fertilisation dans les systèmes de culture à base de coton et de céréales.

De façon générale, l'on peut dire que les producteurs prennent de plus en plus conscience de la nécessité d'une bonne fertilisation organo-minérale pour améliorer les rendements dans les systèmes de culture à base de coton. De plus, avec le déploiement des agents techniques coton (ATC) dans presque toutes les zones de production, les producteurs sont quotidiennement informés et encadrés pour l'adoption des techniques de production en adéquation avec les réalités du moment. Ainsi, ils sont permanemment informés sur les doses de fumure organique et de fumure minérale recommandées par la recherche. Mais une chose est de connaître ces recommandations, une autre est de vouloir, de pouvoir et de savoir les appliquer. En effet, la plupart des producteurs ne respectent pas les doses recommandées (Pouya *et al.*, 2013). En ce qui concerne la matière organique, on constate que chaque année, la presque totalité des résidus de culture est exportée. Certains producteurs tentent souvent de compenser ces pertes en apportant du compost ; mais ce dernier est le plus souvent issu d'un compostage mal suivi et est donc de mauvaise qualité. En plus, il est très souvent apporté trop tôt ou trop tard au champ et, au lieu d'être une solution aux problèmes de fertilité de la parcelle, il devient une source d'autres problèmes tels que la prolifération des mauvaises herbes et des ravageurs des cultures. Pour la fertilisation minérale, on peut retenir que l'augmentation du prix des engrais minéraux et la diminution du prix du kilogramme de coton ces dernières années ont contraint les paysans à réduire considérablement leurs commandes et donc à apporter moins d'éléments minéraux aux cultures. Par conséquent, le bilan minéral des parcelles pendant une rotation coton-céréales est déficitaire pour certains des principaux éléments minéraux (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). Les apports par la fertilisation organo-minérale ne compensent plus les exportations par les récoltes et résidus de culture. Les cultures se développent donc moins bien, les rendements baissent et les

déficits minéraux des parcelles cultivées s'aggravent. Ces déficits minéraux chroniques conduisent à l'épuisement des sols en certains éléments minéraux, potassium et magnésium notamment (Gaborel, 2006).

1.1.6. Buts de la culture du cotonnier

En l'an 500 av J.C, le Grec Hérodote mentionnait le coton indien en ces termes: « Là-bas il y a des arbres qui poussent à l'état sauvage, dont le fruit est une laine bien plus belle et douce que celle des moutons. Les Indiens en font des vêtements. » (Fovet-Rabot *et al.*, 2006).

De nos jours, le cotonnier est cultivé :

- pour ses fibres en longues soies servant à la fabrication de tissus, de couvertures, de coton hydrophile en pharmacie, d'explosifs (fuchicoton, nitrocellulose),

- pour ses graines qui donnent de l'huile alimentaire (Dakouo, 1994) après élimination du gossypol, des tourteaux pour l'alimentation du bétail et des farines comestibles riches en protéines (Dani, 1990).

- pour les coques servant de combustibles, ou servant également à la fabrication de charbon, de colorant, de pâte à papier, ...

- pour le duvet ou linter, poils très courts se trouvant à la surface des graines et servant à différents usages : fabrication de vernis, de Celluloïds, de fibres de disques, de feutres, de rembourrages.

1.2. Généralités sur la formulation des engrais minéraux composés

1.2.1. Notion d'engrais et de formules d'engrais

La Commission de la CEDEAO, lors de la soixante-neuvième session ordinaire du conseil des ministres qui s'est tenue à Abidjan du 30 novembre au 02 décembre 2012, a désigné par "engrais ", je cite : « une substance dont la fonction est d'apporter aux plantes un ou plusieurs éléments nutritifs pour l'accroissement de la production agricole ». Cette définition fait ressortir clairement le rôle d'un engrais, qui est celui de fournir aux végétaux les substances nutritives indispensables pour leur bon développement.

Cette même commission a également désigné par "formule d'engrais", la « composition en éléments nutritifs d'un engrais, exprimée en nombres entiers et dans les mêmes termes, ordre et pourcentages que la teneur déclarable telle que NPK 15-15-15 ou NP 20-20-0 ».

1.2.2. Composantes d'une formule d'engrais composés

Dans une formule d'engrais on retrouve généralement trois catégories d'éléments nutritifs (FAO, 2003) à savoir :

- les éléments fertilisants majeurs que sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) ;
- les éléments fertilisants secondaires que sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le sodium (Na) et le soufre(S) ;
- les oligoéléments que sont le zinc (Zn), le molybdène (Mo), le bore (B), le cuivre (C), le fer (Fe), le chlore (Cl).

1.2.3. Méthodes de formulation des engrais composés

Selon Houssa *et al.*, (2010), pour mettre au point une formule d'engrais, il faut :

- déterminer les propriétés physico-chimiques des sols de la zone où la formule doit être appliquée ;
- connaître les besoins en éléments nutritifs de la spéculacion sur laquelle cette formule va s'appliquer ;

La connaissance de la texture et de la teneur de ces sols en ces différents éléments nutritifs va permettre de calculer de façon assez précise les quantités respectives des différentes substances nutritives que doit apporter la formule pour combler les déficits éventuels de ces sols et satisfaire les besoins nutritifs des végétaux.

- définir la formule ;
- après la mise en place de la formule, il faut passer à la phase expérimentale qui consiste à tester, sur le terrain, les différentes formules qui ont été mises au point. Ces tests doivent être conduits en milieu semi-contrôlé et en milieu paysan d'une part en nombre suffisant pour représenter l'hétérogénéité agro-pédologique du milieu, et d'autre part durant une période d'au moins 3 ans afin d'intégrer la variabilité liée au climat ;
- retenir enfin la ou les formules qui ont donné les meilleurs résultats et procéder à leur vulgarisation.

1.2.4. Buts de la formulation

La formulation permet d'apporter de façon simultanée les différents éléments dont les végétaux ont besoin pour leur développement. Cela permet d'amplifier l'effet synergique de ces éléments sur le développement des végétaux.

En outre, la formulation permet à l'agriculteur d'apporter en une seule fois plusieurs éléments au champ. Cela lui permet donc d'économiser en temps et donc de diminuer la charge liée à la main d'œuvre.

1.3. Evolution des formules d'engrais coton vulgarisées en culture cotonnière

La fertilisation pratiquée dans les systèmes de culture à base de cotonnier et de céréales est déterminante pour assurer une gestion rationnelle de la fertilité des sols.

Depuis les années 1972, les travaux réalisés par l'Institut de Recherche du Coton et des Textiles exotiques (IRCT), puis par l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) ont permis de dégager les grands axes de la fertilisation du cotonnier que résumant Berger *et al.* (1987), Dakouo (1991) et Hien *et al.* (1994). Les essais soustractifs conduits à travers le pays ont permis de définir les besoins en éléments nutritifs du cotonnier, et donc, de déterminer les formules de fertilisation adéquates (Braud, 1987; Hien, 1990 ; Dakouo, 1994). Les formules d'engrais jugées efficaces du point de vue agronomique, favorables et rentables économiquement, à un moment donné, ont été constamment améliorées en rapport avec les progrès techniques et l'économie de marché.

Jusqu'en 1973, la fertilisation minérale du cotonnier était constituée de 100 kg/ha d'un mélange composé de 70 kg de phosphate d'ammonium et de 30 kg de sulfate d'ammonium. Le sulfate de potassium a été ainsi éliminé de la formule d'engrais, car beaucoup plus acidifiant que le chlorure de potassium.

De 1973 à 1979, on a utilisé 150 kg/ha d'un mélange NPK (14-23-14) enrichi en boracine et en soufre. A partir de 1979, cette formule est complétée par un apport de 50 kg/ha d'urée à 40 jours après les semis, le 14-23-14 étant appliqué au semis. Depuis cette date, plusieurs formules d'engrais coton (NPKSB), plus ou moins équivalentes, ont été vulgarisées: 14-23-14-6S-1B ; 13-20-15-6S-1B ; 15-15-15-6S-1B ; 15-20-15-6S-1B et 14-18-18-6S-1S (Koulibaly, 2000).

L'évolution des différentes formules de fertilisation dans les systèmes de culture à base de cotonnier met en évidence le souci de mieux adapter la fertilisation aux conditions du milieu. L'azote ammoniacal est facilement toxique pour les racines et encourt des pertes par volatilisation dans le sol, d'où la nécessité de fractionner les apports d'azote entre le semis et le 40^{ème} jour (Berger *et al.*, 1987).

La fumure vulgarisée, destinée à la fertilisation minérale du cotonnier, préconisait, en plus de 150 kg/ha d'engrais coton (NPKSB) à la levée, un complément de 50 kg/ha d'urée appliqué à 40 jours après levée. A partir de 1998, la formule d'apport unique 22-14-13-4,5-0,75 ou 22-13-12-4,5S-3,5MgO-0,75B, appliquée à la dose 200 kg/ha au premier sarclage, a été vulgarisée, constituant ainsi le second mode de fertilisation minérale du cotonnier (Koulibaly *et al.*, 2002). Mais cette formule unique a été vite abandonnée au profit de la formule fractionnée pour éviter les déficiences nutritionnelles en azote.

L'introduction et la vulgarisation des engrais minéraux ont entraîné une augmentation spectaculaire de la production cotonnière dès les premières années. Mais ces dernières années, on assiste à une stagnation, voire même à une régression de la production malgré une utilisation plus ou moins importante des engrais minéraux (Koulibaly, 2011).

1.4. Spécificité des nouvelles formules minérales testées

Les nouvelles formules minérales testées (14-18-18-5S-1B-2,5CaO ; 15-10-20-5S-1B-3,5MgO ; 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO et 15-10-20-2,5MgO-2CaO) diffèrent de la formule présentement vulgarisée par le fait qu'elles contiennent du calcium et du magnésium qui sont deux éléments très importants dans la nutrition des végétaux et surtout dans l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

1.4.1. Amélioration des propriétés physiques du sol

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont des cations qui permettent la liaison entre les particules d'argiles et d'humus chargées négativement. Par ce phénomène, ils interviennent dans la formation d'agrégats stables dans le sol et contribuent donc à la stabilité structurale du sol et à la résistance de ce dernier face aux agents d'érosion (Soltner, 1992).

1.4.2. Amélioration des propriétés chimiques du sol

1.4.2.1. Formation du complexe adsorbant

En assurant la liaison entre l'argile et l'humus, les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} permettent la formation du complexe argilo-humique ou complexe adsorbant qui constitue le réservoir d'éléments nutritifs dans le sol. En effet, le complexe adsorbant retient à sa surface les éléments minéraux et empêche ainsi leur perte par lessivage (Soltner, 1992).

1.4.2.2. Correction de l'acidité des sols

En l'absence d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , ce sont les ions H^+ (ions acidifiants) qui se fixent sur le complexe adsorbant et contribuent donc à acidifier le sol. Lorsqu'on apporte le calcium et le magnésium, les cations bivalents Ca^{2+} et Mg^{2+} qu'ils libèrent délogent les ions H^+ et ramènent la valeur du pH vers la neutralité (Soltner, 1992).

1.4.3 Amélioration des propriétés biologiques des sols

Par la formation d'agrégats dans le sol, le calcium et le magnésium permettent ainsi d'améliorer la porosité du sol, ce qui contribue à rendre le milieu édaphique propice au développement des microorganismes (Soltner, 1992).

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites d'étude

La présente étude a été conduite à la station de recherches agricoles de Farako-Bâ (sur un sol ferrugineux et un sol ferralitique), à la ferme semencière de Boni (sur un sol ferrugineux) et à la ferme de Diosso (sur un sol brun eutrophe).

2.1.1. Station de recherches agricoles et environnementales de Farako-Bâ

La station de recherches agricoles de Farako-Bâ est située à l'Ouest du Burkina Faso sur l'axe Bobo-Dioulasso – Banfora avec comme coordonnées géographiques 04°20 de longitude Ouest et 11°06 de latitude Nord (Ouattara, 2011). Avec un climat de type soudanien, ce site reçoit chaque année une quantité d'eau comprise entre 900 mm et 1100mm. Sur la base des précipitations, cette localité se caractérise par l'alternance de deux saisons bien marquées : la saison sèche, plus longue, dure 7 à 8 mois (novembre à mai), tandis que la saison pluvieuse, qui prévaut de mi-mai à mi-octobre, ne dure qu'environ 5 mois (Koulibaly, 2011). Au cours de la campagne 2015/2016, on a enregistré sur ce site 1050,90 mm d'eau en 64 jours de pluie. La figure 2 présente la répartition mensuelle de la quantité d'eau reçue sur ce site durant cette période.

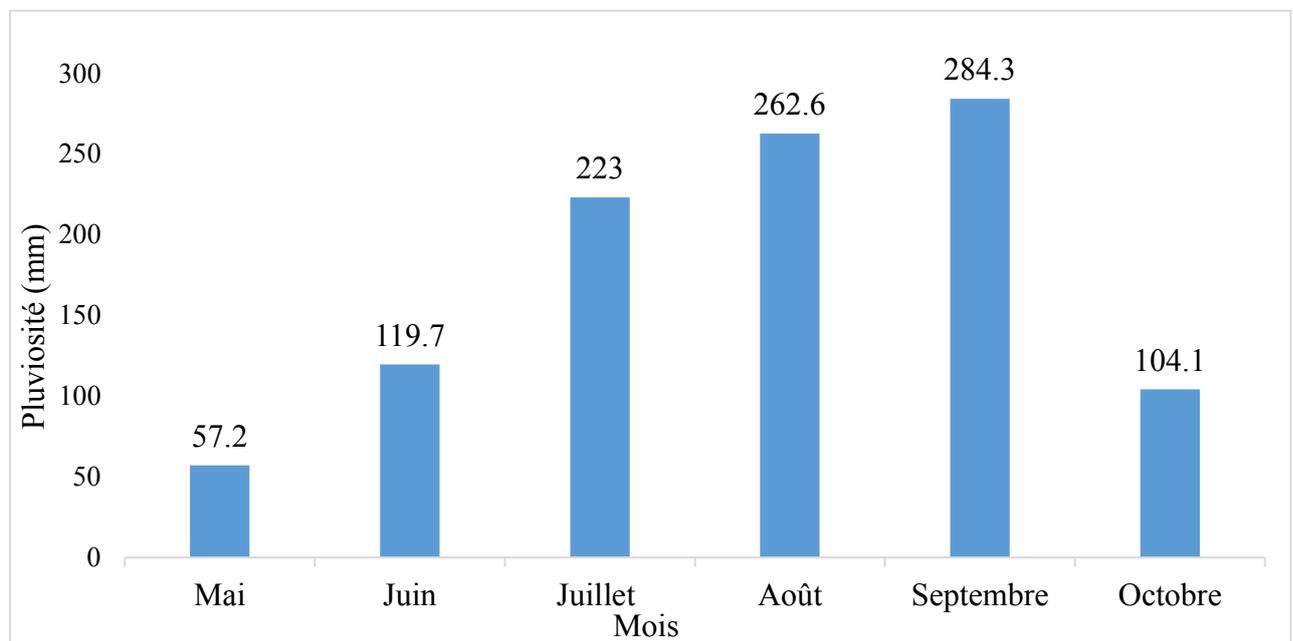


Figure 2 : Pluviométrie à Farako-Bâ en 2015.

Sur ce site, les expérimentations ont été faites sur deux parcelles (Parcelle 440 N et Parcelle 15) différentes, entre autres, par le type de sol ; le sol de la P 440 N est de type ferrugineux à texture

moyenne alors que celui de la P 15 est ferrallitique à texture légère. Le tableau III présente les précédents culturaux sur ces deux parcelles.

Les résultats de l'analyse des échantillons de sol prélevés avant l'application des différents engrais (Tableau IV) montrent que sur ces deux parcelles, les sols sont pauvres en argile, matière organique, azote et bases échangeables. En outre, le sol ferrugineux de la parcelle 440 N est moyennement riche en potassium contrairement au sol ferrallitique qui en est pauvre. Par ailleurs, ces deux types de sols sont fortement acides.

2.1.2. Ferme semencière de Boni

Elle est située dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso (3°26' de longitude Ouest, 11°32' de latitude Nord et 302 m d'altitude) sur un sol ferrugineux tropical remanié, induré sur matériaux gravillonnaires (Kaloga, 1969). Les résultats des analyses de sol (Tableau IV) montrent que ce sol est fortement acide mais moyennement riche en matière organique (sur l'horizon 20-40). Le climat est du type sud-soudanien, avec une saison pluvieuse allant de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril (Guinko, 1984). La pluviométrie moyenne du site de Boni varie entre 800 et 1000 mm, répartis sur 40 à 75 jours de pluie (Koulibaly, 2011). Le Tableau III présente les précédents culturaux de ce site.

2.1.3. Ferme Mwaouvoun de Diosso

La ferme de Diosso est située dans la province du Houet, plus précisément dans le département de Karangasso-Vigué, à environ 65 km de Bobo-Dioulasso. Les conditions climatiques de ce site sont similaires à celle de Boni. Les résultats de l'analyse des échantillons de sol (Tableau IV) indiquent que le sol de ce site est moyennement riche en argile, très riche en matière organique et faiblement acide.

Tableau III : Précédents culturaux des parcelles de Farako-Bâ, de Boni et de Diosso

| | Campagnes agricoles | | |
|-------------------|---------------------|-----------|-------------|
| | 2012/2013 | 2013/2014 | 2014/2015 |
| Farako-Bâ P 440 N | Coton Bt | Maïs | Coton//Maïs |
| Farako-Bâ P 15 | Jachère | Jachère | Jachère |
| Boni | Coton | Maïs | Maïs |
| Diosso | Maïs | Coton | Maïs |

Tableau IV : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Boni, Diosso et Farako-Bâ.

| Sites | Farako-Bâ | | | | Boni | | Diosso | |
|---|-----------------|-------|------------------|-------|-----------------|-------|-------------------|-------|
| | Sol ferrugineux | | Sol ferralitique | | Sol ferrugineux | | Sol brun eutrophe | |
| Horizon (cm) | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| TEXTURE | L | L | LS | AS | L | LA | LA | A |
| Argile % | 15,69 | 17,65 | 19,61 | 41,18 | 15,69 | 29,41 | 37,25 | 41,18 |
| Limons % | 35,29 | 35,29 | 9,8 | 11,76 | 33,33 | 33,34 | 25,5 | 21,57 |
| Sables % | 49,02 | 47,06 | 70,59 | 47,06 | 50,98 | 37,25 | 37,25 | 37,25 |
| CARBONE ET MATIERE ORGANIQUE | | | | | | | | |
| Matière Organique totale % | 0,786 | 0,709 | 0,709 | 0,919 | 0,676 | 1,847 | 2,147 | 1,771 |
| Azote total % | 0,038 | 0,048 | 0,032 | 0,038 | 0,032 | 0,080 | 0,112 | 0,085 |
| C/N | 12 | 8,56 | 12,84 | 14,02 | 12,25 | 13,38 | 11,11 | 12,08 |
| PHOSPHORE ET POTASSIUM | | | | | | | | |
| Phosphore total (mg/kg de sol) | 101 | 98 | 78 | 84 | 86 | 156 | 219 | 164 |
| Phosphore assimilable (mg/kg de sol) | 8,44 | 6,93 | 2,62 | 3,21 | 6,93 | 2,16 | 6,35 | 1,96 |
| Potassium total (mg/kg de sol) | 1266 | 1267 | 357 | 376 | 751 | 5345 | 1249 | 693 |
| Potassium disponible (mg/kg de sol) | 80 | 79 | 28 | 30 | 63 | 64 | 236 | 106 |
| BASES ECHANGEABLES (cmol⁺/kg) | | | | | | | | |
| Calcium | 1,31 | 2,16 | 1,42 | 1,89 | 2,09 | 4,28 | 1,99 | 1,88 |
| Magnésium | 2,41 | 1,25 | 1,12 | 1,77 | 1,12 | 0,98 | 1,39 | 1,68 |
| Potassium | 0,47 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,47 | 0,28 | 0,07 | 0,34 |
| Sodium | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | 0,03 |
| Somme des bases (S) | 4,25 | 3,58 | 2,66 | 3,76 | 3,73 | 5,59 | 3,48 | 3,93 |
| Capacité d'échange cationique | 7,42 | 7,10 | 5,12 | 6,23 | 5,33 | 7,36 | 5,20 | 6,99 |
| Taux de saturation (S/T) % | 57,27 | 50,42 | 51,95 | 60,35 | 69,98 | 75,95 | 66,92 | 56,22 |
| REACTION DU SOL | | | | | | | | |
| pH eau (P/V : 1/2,5) | 5,29 | 5,36 | 5,54 | 5,34 | 5,31 | 5,66 | 6,37 | 6,22 |

2.2. Matériel utilisé

2.2.1. Matériel végétal

Deux variétés de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) ont été utilisées. Ce sont la variété de cotonnier conventionnel STAM 59A, utilisée à Farako-Bâ et la variété de cotonnier transgénique FK 95 BG2, appelée coton Bt, utilisée à Boni et à Diosso. Cette variété de cotonnier transgénique a été obtenue par l'introgession du gène bt dans la variété FK 37. Ces variétés de cotonnier ont un cycle semis-récolte de 150 jours et se caractérisent par un port étalé, un rendement potentiel de 2,6 t/ha (pour STAM 59 A) et 3t/ha (pour FK 95 BG2) avec un rendement égrenage (20 scies) de 43,63 % (STAM 59 A) et de 43,0 % (FK 95BG2).

NB : le choix de ces 2 variétés a été fait en conformité avec les variétés utilisées par les producteurs au niveau des différents sites d'étude. Par ailleurs, ces variétés ne constituent pas un paramètre de comparaison des différentes formules minérales.

2.2.2. Engrais minéraux

2.2.2.1. Engrais vulgarisés

L'engrais coton NPKSB de formule 14-18-18-6S-1B et l'urée dosant 46 % N ont été utilisés pour la fertilisation minérale du cotonnier.

2.2.2.2. Engrais minéraux testés

Les formules d'engrais coton NPKSB enrichies en CaO et/ou en MgO, fabriquées par la société TOGUNA, ont été testées. Ce sont :

- 14-18-18 + 5S + 1B + 2,5 CaO ;
- 15-10-20 + 5S + 1B + 3,5 MgO ;
- 15-15-15 + 5S + 1B + 2,5 MgO + 2,5 CaO ;
- 15-10-20 + 5S + 1B + 2,5 MgO + 2 CaO.

2.2.3. Produits phytosanitaires utilisés

La protection des cotonniers contre les ravageurs a été assurée par l'utilisation des insecticides vulgarisés pour la culture cotonnière, et suivant le programme de traitements à trois fenêtres du PR-PICA. Les produits utilisés sont AVAUNT 150 EC (Indoxacarb 150 g/l) pour la première fenêtre ; LAMBACAL 636 EC (Lambdacyhalothrine 36 g/l + Profenofos 600 g/l) pour la

deuxième fenêtre et CONQUEST 176 EC (Acetamipride 32 g/l + cypermethrine 144 g/l) pour la dernière fenêtre.

2.3. Méthodes d'étude

2.3.1. Dispositif expérimental et conduite de l'étude

2.3.1.1. Dispositif expérimental

Pour cette étude, six traitements ont été étudiés :

- T1 : témoin sans engrais
- T2 : 200 kg/ha de l'engrais coton NPKSB de formule 14-18-18-6S-1B à 15 jours après levée et 50 kg/ha de l'urée dosant 46 % N à 40 jours après levée (jal).
- T3 200 kg/ha de l'engrais NPKSB **14-18-18-5S-1B**- 2,5 CaO à 15 jal + 50 kg/ha de l'urée dosant 46 % N à 40 jal.
- T4 200 kg/ha de l'engrais **15-10-20-5S-1B**-3,5 MgO à 15 jal + 50 kg/ha de l'urée dosant 46 % N à 40 jal.
- T5 200 kg/ha de l'engrais **15-15-15-5S-1B**-2,5 MgO-2,5 CaO à 15 jal + 50 kg/ha d'urée à 40 jal.
- T6 : 200 kg/ha de l'engrais **15-10-20-5S-1B**-2,5 MgO-2 CaO à 15 jal + 50 kg/ha d'urée à 40 jal.

Les essais ont été conduits selon un dispositif en blocs de Fisher comportant six traitements répétés six fois. La parcelle élémentaire (PE) comporte cinq lignes de 15 m de long écartées les unes des autres de 0,8 m. La superficie d'une parcelle élémentaire est donc de 60 m². La parcelle utile (PU), d'une superficie de 36 m², est composée des trois lignes centrales de la parcelle élémentaire. Chaque essai a une superficie de 2160 m².

2.3.1.2. Conduite de l'étude

Les parcelles ont été labourées au tracteur ou aux bœufs de trait. Les semis ont été effectués le 25 juin 2015 à Farako-Bâ (sur sol ferrugineux), le 11 juillet à Farako-Bâ (sol ferrallitique) et le 13 juillet à Boni et à Diosso. Ces semis ont été réalisés à raison de 3-5 graines par poquet avec des écartements de 40 cm entre les poquets. Des ré-semis ont également été réalisés à la levée sur ces quatre sites. Le démariage a été effectué 15 jours après la levée pour ne laisser que 2 plants vigoureux par poquet. L'apport des engrais minéraux a été fait selon les traitements. L'engrais composé NPKSB associé ou pas au calcium et/ou au magnésium a été appliqué 15 jours après la levée et l'urée à 46 % N 40 jours après la levée. Ces engrais ont été apportés en

side-dressing et enfouis par la suite. Le sarclage a été fait à la demande et le buttage au 40^{ème} jour après levée, juste après l'apport d'urée. La protection phytosanitaire des cotonniers a été faite à base des produits vulgarisés et suivant le programme de protection phytosanitaire à trois fenêtres du PR-PICA.

2.3.2. Paramètres mesurés

Pour suivre l'évolution de la croissance des cotonniers en fonction des traitements, des mesures de hauteurs sur 10 plants dans chaque parcelle utile ont été faites au 35^{ème}, 50^{ème}, 80^{ème} jours après semis et aussi à la récolte. La densité des cotonniers a été déterminée à la levée, au 35^{ème} jour après levée et à la récolte.

2.3.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des sols des sites d'étude

Les caractéristiques physiques telles que la granulométrie 3 fractions, et chimiques à savoir le carbone, l'azote (méthode KJELDAHL), le phosphore total (méthode KJELDAHL), le phosphore assimilable (méthode Bray 1 ; Bray et Kurtz, 1945), le potassium total (méthode KJELDAHL), le potassium disponible, les bases échangeables, la CEC et le pH eau (normes Afnor, 1981) des sols ont été déterminées sur des échantillons prélevés à la tarière sur deux horizons (0-20, 20-40 cm) avant l'application des différents engrais. Pour chaque niveau de prélèvement, un échantillon composite constitué de 2 prises élémentaires de sol a été utilisé. Les échantillons de sol ont été séchés à l'air, puis tamisés à 2 mm avant leur analyse aux laboratoires du BUNASOLS (Ouagadougou) et GRN/SP (Farako-Bâ).

2.3.2.2. Nutrition minérale des cotonniers

Au 70^{ème} jour après les semis, un diagnostic foliaire selon la méthode IRCT (Braud, 1984) a été réalisé pour évaluer la nutrition globale des cotonniers. Les feuilles prélevées sont celles situées à l'aisselle d'une fleur ouverte se trouvant sur le premier nœud d'une branche fructifère le jour du prélèvement. Sur chaque traitement, 30 feuilles sont prélevées puis séchées à l'étuve à 70°C durant 48 heures. Les limbes et pétioles constituent deux sous-échantillons qui sont analysés séparément. Les teneurs en anions (N, P, S, B) sont déterminées sur les limbes et les teneurs en cations (K) sont déterminées sur les pétioles. Ces teneurs ont été comparées par la suite aux teneurs seuil définies par Braud en 1987. Selon ce dernier, la nutrition est bonne pour l'azote et le potassium lorsque la teneur de ces 2 éléments dans la plante est comprise entre 3 % et 5 %. Quant au phosphore, sa nutrition est bonne lorsque sa teneur est égale à 0,3 %. Pour le soufre, la nutrition est bonne lorsque sa teneur est comprise entre 0,2 % et 0,4 % alors que le bore, les bonnes teneurs sont comprises entre 20 et 60 mg/kg de matière sèche végétale.

2.3.2.3. Rendement et composantes de rendement

Les rendements coton-graine ont été déterminés par la récolte des parcelles utiles (36 m²) comportant 3 lignes de 15 m. Le nombre de capsules récoltées sur chaque parcelle utile est compté pour la détermination de la production de capsule et du poids moyen capsulaire. La production de matière sèche est évaluée par le poids sec des tiges de cotonnier récoltées sur les 3 lignes centrales.

2.3.3. Analyses des données et présentation des résultats

Les données recueillies sur les différents sites ont été saisies et traitées avec le logiciel Microsoft Excel 2013. Les analyses de variance ont été faites avec le logiciel XLSAT 2007. Lorsque les variations sont significatives, le test de Fisher a été utilisé pour la séparation des moyennes au seuil de probabilité de 5 %.

CHAPITRE 3: RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Effets des formules d'engrais sur la nutrition minérale des cotonniers

N.B : sur le site de Boni, suite à des contraintes de temps, un seul échantillon de feuilles a été prélevé par traitement pour la détermination des teneurs en azote, phosphore, potassium, soufre et bore. L'analyse de variance n'a donc pas concerné les données de ce site. Ces données ont juste été comparées aux teneurs seuils de Braud (1987).

3.1.1.1. Effets des formules d'engrais sur la nutrition en azote des cotonniers

L'analyse de variance révèle que sur tous les sites, les différents traitements ont eu des effets similaires sur la nutrition azotée (Tableau V) des cotonniers au seuil de probabilité de 5 %. Cependant, on constate qu'à Boni, à Diosso et à Farako-Bâ (sur sol ferrallitique), les teneurs en azote sont toutes inférieures à 3 % ; ce qui, selon Braud (1987), témoigne d'une nutrition déficiente en azote sur ces sites. Mais sur le sol ferrugineux de Farako-Bâ (P 440 N), le traitement sans apport de fumure minérale (T1), le traitement avec apport de la fumure minérale vulgarisée (T2) et deux des quatre nouvelles formules de fumure minérale à savoir les traitements T3 et T4 ont permis une bonne nutrition azotée des cotonniers contrairement aux deux autres nouvelles formules (T5 et T6).

Tableau V : teneurs en azote des feuilles des cotonniers à 70 JAS

| Traitements | Farako-Bâ | Farako-Bâ | Boni | Diosso |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------|--------|
| | (sol ferrallitique) | (sol ferrugineux) | | |
| | % N | | | |
| T1 : sans engrais | 2,68 | 3,19 | 2,58 | 2,69 |
| T2 : 14-18-18-6S-1B | 2,70 | 3,03 | 2,45 | 2,97 |
| T3 : 14-18-18-5S-1B-2,5CaO | 2,31 | 3,00 | 2,58 | 3,06 |
| T4 : 15-10-20-5S-1B-3,5MgO | 2,68 | 3,14 | 2,58 | 2,71 |
| T5 : 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO | 2,91 | 2,71 | 2,58 | 2,99 |
| T6 : 15-10-20-5S- 1B-2,5MgO-2CaO | 2,80 | 2,66 | 2,84 | 2,88 |
| Probabilité | 0,763 | 0,468 | - | 0,455 |
| Signification | ns | Ns | - | ns |
| Teneurs seuils (Braud, 1987) | 3-5 | | | |

ns : non significatif (pas de différence significative au seuil de 5 %). Teneurs seuils = concentrations d'un élément nutritif dans les feuilles de cotonnier indiquant une bonne nutrition minérale de la plante selon Braud (1987).

3.1.1.2. Effets des formules d'engrais sur la nutrition en phosphore des cotonniers

La comparaison des moyennes des teneurs en phosphore des feuilles des cotonniers (Tableau VI) indique que sur le site de Farako-Bâ, les nouvelles formules de fumure minérale (T3, T4, T5 et T6) ont eu les mêmes effets que la formule minérale vulgarisée (T2) et le témoin sans apport d'engrais (T1). Sur ce site, la nutrition phosphatée a été déficiente. Mais à Boni et à Diosso, les teneurs en phosphore ont varié significativement en fonction des traitements. A Boni, la formule minérale vulgarisée (T2) et trois des quatre nouvelles formules (T3, T4 et T5) ont permis une nutrition correcte des cotonniers en phosphore contrairement au traitement sans engrais (T1) et à la quatrième nouvelle formule (T6). A Diosso, les quatre formules testées (T3, T4, T5 et T6) et la formule vulgarisée (T2) ont assuré une bonne nutrition en phosphore contrairement au traitement sans engrais (T1). Par ailleurs, on remarque que sur ce site, les teneurs en phosphore obtenues grâce à l'application des nouvelles formules ont été toutes supérieures à celle obtenue avec la formule vulgarisée.

Tableau VI : teneurs en phosphore des feuilles des cotonniers à 70 JAS

| Traitements | Farako-Bâ | Farako-Bâ | Boni | Diosso |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|------|---------|
| | (sol ferralitique) | (sol ferrugineux) | | |
| | % P | | | |
| T1 : sans engrais | 0,23 | 0,23 | 0,28 | 0,28 b |
| T2 : 14-18-18-6S-1B | 0,26 | 0,24 | 0,50 | 0,33 b |
| T3 : 14-18-18-5S-1B-2,5CaO | 0,21 | 0,26 | 0,36 | 0,69 a |
| T4 : 15-10-20-5S-1B-3,5MgO | 0,26 | 0,24 | 0,43 | 0,51 ab |
| T5 : 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO | 0,23 | 0,25 | 0,36 | 0,38 ab |
| T6 : 15-10-20-5S- 1B-2,5MgO-2CaO | 0,19 | 0,22 | 0,28 | 0,56 ab |
| Probabilité | 0,770 | 0,972 | - | 0,020 |
| Signification | ns | ns | - | s |
| Teneur seuil (Braud, 1987) | 0,3 | | | |

s : significatif (différence significative au seuil de 5 %) ; ns : non significatif (pas de différence significative au seuil de 5 %).
Teneurs seuils = concentrations d'un élément nutritif dans les feuilles de cotonnier indiquant une bonne nutrition minérale de la plante selon Braud (1987).

3.1.1.3. Effets des formules d'engrais sur la nutrition en potassium des cotonniers

Les résultats de l'analyse de variance (Tableau VII) montrent que les teneurs en potassium ont connu une variation significative en fonction des traitements sur les sites de Farako-Bâ (sol

ferrallitique) et de Diosso. Par ailleurs, sur ces deux sites, on constate que toutes les nouvelles formules minérales enrichies en CaO et/ou en MgO (T3, T4, T5 et T6), de même que le traitement témoin sans engrais (T1), ont permis une nutrition potassique correcte, contrairement à la formule minérale vulgarisée (T2). Par contre, sur le sol ferrugineux de Farako-Bâ, les teneurs en potassium n'ont pas connu de variation significative, et seul le traitement sans apport d'engrais a permis une bonne nutrition potassique des cotonniers contrairement aux traitements avec apport d'engrais. Sur le site de Boni, on remarque que toutes les teneurs en potassium sont supérieures à 3 %, témoignant ainsi d'une nutrition correcte en cet élément.

Tableau VII : teneurs en potassium des feuilles des cotonniers à 70 JAS

| Traitements | Farako-Bâ | Farako-Bâ | Boni | Diosso |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------|---------|
| | (sol ferrallitique) | (sol ferrugineux) | | |
| | % K | | | |
| T1 : sans engrais | 3,40 a | 3,06 | 3,21 | 3,26 ab |
| T2 : 14-18-18-6S-1B | 2,19 b | 2,28 | 4,53 | 2,87 b |
| T3 : 14-18-18-5S-1B-2,5CaO | 3,26 ab | 2,19 | 4,09 | 4,62 a |
| T4 : 15-10-20-5S-1B-3,5MgO | 3,06 ab | 2,62 | 3,07 | 4,38 ab |
| T5 : 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO | 3,50 a | 2,77 | 3,51 | 3,65 ab |
| T6 : 15-10-20-5S- 1B-2,5MgO-2CaO | 3,40 a | 2,62 | 3,65 | 3,35 ab |
| Probabilité | 0,023 | 0,607 | - | 0,030 |
| Signification | s | ns | - | s |
| Teneurs seuils (Braud, 1987) | 3-5 | | | |

s : significatif (différence significative au seuil de 5 %) ; ns : non significatif (pas de différence significative au seuil de 5 %). Teneurs seuils = concentrations d'un élément nutritif dans les feuilles de cotonnier indiquant une bonne nutrition minérale de la plante selon Braud (1987).

3.1.1.4. Effets des formules minérales sur la nutrition en soufre des cotonniers

L'analyse de variance indique que les différents traitements ont eu des effets similaires sur la nutrition en soufre de cotonniers au niveau des sites de Farako-Bâ et de Diosso (Tableau VIII). Par ailleurs, on constate que cette nutrition a été déficiente sur le sol ferrallitique de Farako-Bâ et sur le sol brun eutrophe de Diosso. Mais sur le sol ferrugineux de Farako-Bâ, les moyennes des teneurs en soufre obtenues montrent que seuls le traitement sans engrais (T1) et le traitement avec apport de l'engrais vulgarisé (T2) ont permis une nutrition correcte en soufre, contrairement aux quatre nouvelles formules. A Boni où il n'y a pas eu d'analyse de variance,

on remarque que les traitements T1, T2 et T3 ont permis une bonne nutrition soufrée des cotonniers contrairement aux traitements T4, T5 et T6.

Tableau VIII : teneurs en soufre des feuilles des cotonniers à 70 JAS

| Traitements | Farako-Bâ | Farako-Bâ | Boni | Diosso |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------|--------|
| | (sol ferrallitique) | (sol ferrugineux) | | |
| | % S | | | |
| T1 : sans engrais | 0,16 | 0,23 | 0,20 | 0,12 |
| T2 : 14-18-18-6S-1B | 0,19 | 0,24 | 0,34 | 0,17 |
| T3 : 14-18-18-5S-1B-2,5CaO | 0,15 | 0,16 | 0,22 | 0,16 |
| T4 : 15-10-20-5S-1B-3,5MgO | 0,16 | 0,14 | 0,19 | 0,13 |
| T5 : 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO | 0,14 | 0,19 | 0,19 | 0,12 |
| T6 : 15-10-20-5S- 1B-2,5MgO-2CaO | 0,17 | 0,11 | 0,11 | 0,14 |
| Probabilité | 0,977 | 0,872 | - | 0,499 |
| Signification | ns | ns | - | ns |
| Teneurs seuils (Braud, 1987) | 0,2 - 0,4 | | | |

ns : non significatif (pas de différence significative au seuil de 5 %). Teneurs seuils = concentrations d'un élément nutritif dans les feuilles de cotonnier indiquant une bonne nutrition minérale de la plante selon Braud (1987).

3.1.1.5. Effets des formules minérales sur la nutrition en bore des cotonniers

L'analyse de variance montre que les teneurs en bore n'ont pas varié significativement sur les sites de Farako-Bâ et de Diosso (Tableau IX). Mais sur l'ensemble des sites, on constate que les teneurs en bore sont très inférieures à la teneur seuil, indiquant ainsi une mauvaise nutrition en cet élément.

Tableau IX : teneurs en bore des feuilles des cotonniers à 70 JAS

| Traitements | Farako-Bâ | Farako-Bâ | Boni | Diosso |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|------|--------|
| | (sol ferralitique) | (sol ferrugineux) | | |
| | mg/kg de B | | | |
| T1 : sans engrais | 3,23 | 2,63 | 5,38 | 7,23 |
| T2 : 14-18-18-6S-1B | 3,02 | 2,54 | 2,42 | 4,36 |
| T3 : 14-18-18-5S-1B-2,5CaO | 2,93 | 2,78 | 2,42 | 2,67 |
| T4 : 15-10-20-5S-1B-3,5MgO | 3,05 | 2,44 | 2,26 | 4,76 |
| T5 : 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO | 3,64 | 2,13 | 2,69 | 5,15 |
| T6 : 15-10-20-5S- 1B-2,5MgO-2CaO | 3,07 | 3,50 | 2,69 | 6,43 |
| Probabilité | 0,769 | 0,538 | - | 0,755 |
| Signification | ns | Ns | - | ns |
| Teneurs seuils (Braud, 1987) | 20-60 | | | |

ns : non significatif (pas de différence significative au seuil de 5 %). Teneurs seuils = concentrations d'un élément nutritif dans les feuilles de cotonnier indiquant une bonne nutrition minérale de la plante selon Braud (1987).

3.1.2. Effets des formules d'engrais sur la croissance en hauteur et le rendement des cotonniers

3.1.2.1. Effets des formules d'engrais sur la croissance en hauteur des cotonniers

L'analyse de variance montre que les moyennes des valeurs de la hauteur des plants de cotonniers ont connu des variations hautement significatives sur tous les sites (Tableau X). Sur le site de Farako-Bâ, on constate que les nouvelles formules minérales (T3, T4, T5 et T6) ont eu les mêmes effets que la formule minérale vulgarisée (T2). Par contre, à Boni, l'engrais vulgarisé a permis une meilleure croissance en hauteur des cotonniers par rapport aux engrais testés. A Diosso, l'engrais testé T6 a eu un effet similaire à celui de l'engrais vulgarisé (T2) alors que les trois autres engrais testés (T3, T4 et T5) ont entraîné une meilleure croissance en hauteur des cotonniers. Par ailleurs, on constate, sur tous les sites, que l'apport des engrais minéraux (T2, T3, T4, T5 et T6) a permis une amélioration significative de la croissance en hauteur des cotonniers par rapport au traitement sans engrais minéraux (T1).

Tableau X : hauteur moyennes des cotonniers à la récolte

| Traitements | Farako-Bâ | Farako-Bâ | Boni | Diosso |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------------|-----------|
| | (sol ferrallitique) | (sol ferrugineux) | | |
| Hauteur (cm) | | | | |
| T1 : sans engrais | 45,72 b | 82,26 b | 91,55 c | 73,45 c |
| T2 : 14-18-18-6S-1B | 78,85 a | 114,96 a | 107,47 a | 134,40 b |
| T3 : 14-18-18-5S-1B-2,5CaO | 86,27 a | 110,96 a | 100,82 abc | 140,00 ab |
| T4 : 15-10-20-5S-1B-3,5MgO | 76,23 a | 106,80 a | 96,58 bc | 155,50 a |
| T5 : 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO | 74,75 a | 114,05 a | 101,24 ab | 140,55 ab |
| T6 : 15-10-20-5S- 1B-2,5MgO-2CaO | 77,08 a | 112,93 a | 100,64 abc | 136,05 b |
| Probabilité | 0,0001 | 0,0001 | 0,006 | 0,0001 |
| Signification | Hs | hs | hs | hs |

hs : hautement significatif (différence hautement significative au seuil de 5 %).

3.1.2.2. Effets des formules d'engrais sur le rendement coton graine des cotonniers

Les résultats de l'analyse de variance consignés dans le tableau XI montrent que les valeurs moyennes du rendement en coton graine ont connu une variation significative à Boni et à Diosso et hautement significative à Farako-Bâ. A Farako-Bâ, sur sol ferrugineux, toutes les nouvelles formules minérales ont permis d'avoir un rendement similaire à celui obtenu avec la formule vulgarisée. Mais sur le sol ferrallitique de ce site, seulement une des quatre formules testées (T3) a donné un rendement identique à celui de l'engrais vulgarisé, contrairement aux trois autres (T4, T5 et T6) qui ont donné de moins bons résultats. Ce même résultat a été obtenu à Boni où seul T6 a eu le même effet que l'engrais vulgarisé (T2). A Diosso par contre, la majorité des formules minérales testées (T3, T4 et T5) a permis d'avoir des rendements similaires à celui obtenu avec la formule minérale vulgarisée (T2). Par ailleurs, l'analyse de variance a révélé que l'apport des engrais minéraux (T2, T3, T4, T5 et T6) a permis une nette amélioration des rendements en coton graine par rapport au témoin sans engrais (T1).

Tableau XI : rendement moyen en coton graine

| Traitements | Farako-Bâ | Farako-Bâ | Boni | Diosso |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|---------|--------|
| | (sol ferralitique) | (sol ferrugineux) | | |
| Rendement en coton graine (kg/ha) | | | | |
| T1 : sans engrais | 406 b | 808 b | 1054 b | 513 b |
| T2 : 14-18-18-6S-1B | 1067 a | 1606 a | 1454 a | 1145 a |
| T3 : 14-18-18-5S-1B-2,5CaO | 885 a | 1417 a | 1310 ab | 1006 a |
| T4 : 15-10-20-5S-1B-3,5MgO | 760 ab | 1428 a | 1189 ab | 1416 a |
| T5 : 15-15-15-5S-1B-2,5MgO-2,5CaO | 625 ab | 1545 a | 1256 ab | 1041 a |
| T6 : 15-10-20-5S- 1B-2,5MgO-2CaO | 781 ab | 1541 a | 1346 a | 958 ab |
| Probabilité | 0,006 | 0,0001 | 0,019 | 0,019 |
| Signification | hs | hs | S | s |

s : significatif (différence significative au seuil de 5 %) ; hs : hautement significatif (différence hautement significative au seuil de 5 %).

3.2. Discussion

3.2.1. Effets des formules d'engrais sur la nutrition minérale du cotonnier.

En matière de recherche agricole, les analyses foliaires permettent de prévoir la probable apparition d'une déficience minérale et donc de prendre des mesures de fertilisation nécessaire pour l'éviter (Zia-ul-hassan et Arshad, 2008).

Les résultats des analyses foliaires obtenus au cours de cette étude indiquent que la nutrition minérale des cotonniers a été plus ou moins satisfaisante d'un site à un autre. A Farako-Bâ, sur sol ferrugineux à texture moyenne, les teneurs des feuilles des cotonniers en phosphore, potassium, soufre et bore sont quasiment en dessous des valeurs seuils définies par Braud en 1987. Ces résultats pourraient être dus à une pauvreté initiale de ce sol en ces éléments, chose qui aurait donc contribué à réduire leur assimilabilité, et ce malgré leur apport par fertilisation. Ces faibles teneurs en phosphore, soufre et bore seraient également liée à une perte importante de ces éléments par lixiviation. En effet, ces trois éléments sont absorbés par les cotonniers sous leur forme anionique ; forme sous laquelle ils ne peuvent être retenus sur le complexe absorbant et peuvent donc être entraînés vers les profondeurs par les eaux d'infiltration, les rendant ainsi inaccessibles pour les cotonniers. Par contre, à Diosso, sur sol brun eutrophe, les nouvelles formules minérales enrichies en calcium et/ou en magnésium ont significativement amélioré la nutrition en potassium des cotonniers. Cette amélioration de la nutrition potassique serait due,

d'une part à la faible acidité de ce sol (pH = 6,37) et d'autre part à sa forte teneur en matière organique (MO = 2,147) qui, selon Ouattara (2011) et Pouya *et al.* (2013), assure aux cultures une fourniture optimale en éléments minéraux. Ce résultat pourrait également s'expliquer par l'apport du calcium et du magnésium qui, selon Soltner (1992), régularisent le pH et favorisent les échanges d'ions, nécessaires à une bonne nutrition minérale des plantes. Par ailleurs, le potassium est absorbé sous forme d'ion positif (K^+) et peut donc être fixé sur le complexe absorbant ; ce qui réduirait donc sa perte par lixiviation et aurait donc contribué à le rendre disponible pour les cotonniers.

Mais de façon globale, la nutrition des cotonniers a été déficiente pour l'azote et le bore. Cette déficience nutritionnelle en ces deux éléments pourrait s'expliquer par leur perte par lixiviation. En effet, l'azote et le soufre sont assimilables par les cotonniers sous une forme anionique; sous cette forme, ils ne peuvent être retenus sur le complexe absorbant et peuvent ainsi être perdus par lixiviation en cas de fortes précipitations; ce qui serait en conformité avec les résultats de Crozier *et al.* (2004), Girma *et al.* (2007) qui ont trouvé que la nutrition azotée est liée à l'intensité de la pluviosité qui, selon eux, peut augmenter considérablement leur perte par lixiviation.

3.2.2. Effets des formules d'engrais sur le rendement coton graine des cotonniers

Les résultats obtenus montrent que sur le sol ferrugineux de Farako-Bâ, les rendements en coton graine obtenus avec les engrais enrichis en calcium et/ou en magnésium sont similaires à celui de l'engrais vulgarisé.

Mais sur l'ensemble des sites, on constate que les engrais testés ont permis d'obtenir des rendements qui sont, soit équivalents à celui de l'engrais vulgarisé, soit inférieurs à ce dernier. Ces résultats seraient dus, entre autres, au temps consacré pour tester ces nouvelles formules minérales. En effet, notre étude ne constitue que nous la première année d'expérimentation et on pourrait donc penser qu'en une saison de culture, les éléments nouveaux (calcium et magnésium) apportés par les nouvelles formules minérales n'ont pas pu corriger la pauvreté et l'acidité des sols des sites d'étude.

Cependant, on constate de façon globale que, par rapport au témoin sans engrais, une bonne réponse aux engrais minéraux a été notée sur les trois types de sol, en particulier sur les sols ferrugineux et brun eutrophe. Ces résultats sont conformes à ceux de Traoré *et al.* (2007), Ouattara (2011) et Pouya *et al.* (2013) qui ont montré que l'apport des engrais minéraux permettait d'augmenter les rendements du cotonnier.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'acidification des sols dans les systèmes de culture à base de coton est l'un des problèmes majeurs dans la gestion durable de la fertilité des sols dans les zones cotonnières au Burkina Faso. La présente étude avait pour objectif de déterminer l'effet de quatre nouvelles formules d'engrais enrichis en calcium et en magnésium sur la nutrition minérale et le rendement du cotonnier sur les sols ferrallitiques, ferrugineux et bruns eutrophes de l'Ouest du Burkina Faso.

Les résultats ont montré que sur les sols bruns eutrophes, l'apport des engrais enrichis en calcium et/ou en magnésium a permis d'améliorer la nutrition minérale des cotonniers en potassium. Par contre, sur le sol ferrallitique, plus pauvre que le sol brun eutrophe, l'apport des engrais minéraux n'a pas permis d'assurer une bonne alimentation des cotonniers en certains éléments minéraux.

La présente étude n'a pas décelé une nette amélioration des rendements en coton graine grâce à l'utilisation des nouvelles formules minérales; ce qui ne permet pas de vérifier notre hypothèse 1 (H1) qui stipulait que les nouvelles formules minérales améliorent la nutrition minérale et les rendements des cotonniers par rapport à la formule vulgarisée.

Par contre, cette étude montre que les rendements obtenus avec ces nouvelles formules minérales varient en fonction des types de sols ; ce qui confirme notre hypothèse 2 (H2) selon laquelle l'efficacité des nouvelles formules minérales sur le rendement varie en fonction des types de sol.

En perspective, nous proposons que la présente étude soit reconduite pour confirmer ou infirmer les tendances qui se sont dégagées à l'issue de cette première année d'expérimentation. Il serait également intéressant de faire une analyse sur la rentabilité économique de ces nouvelles formules d'engrais afin d'évaluer leur éventuelle incidence sur le revenu des producteurs.

Nous suggérons également qu'une étude soit menée pour déterminer les arrière-effets de ces nouvelles formules minérales sur les propriétés physico-chimiques des sols en vue de faire d'éventuels réajustement au niveau des doses des différents éléments.

Mais nous recommandons d'ores et déjà l'utilisation de ces nouvelles formules minérales enrichies en calcium et/ou magnésium au vu de leur capacité potentielle à freiner le phénomène d'acidification des sols et à accroître les rendements et la durabilité des systèmes de culture à base du coton.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Afnor, 1981. Détermination du pH. (Association Française de Normalisation) NF ISO 103 90. *In AFNOR, qualité des sols*, Paris, 339-348.

AICB, 2008. Note d'Information sur la filière coton du Burkina Faso. 10 p

Barro A., Zougmore R., Sedogo M.P., 2009. Evaluation de la faisabilité de trois types de travail du sol : application du modèle Sarra dans le Plateau central au Burkina Faso. *Sécheresse*, 20(4): 338-345.

Benedict C.R., 1984. Cotton physiology. *In, Kohel R.J. et Lewis C.F (Ed.), cotton, agronomy monograph 24: 6-24.*

Berger M., Belem P.C., Dakouo D., Hien V., 1987. Le maintien de la fertilité dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Cot. Fib. Trop.*, XLII (3) : 201-210.

Bouchy C., 1971. Contribution à l'étude des déficiences minérales en culture cotonnière en Côte d'Ivoire. *Cot. et Fib. Trop.*, Vol.25, fasc.2 : 235-251.

Boulet R., Leprun J.C., 1969. Etude pédologique de la Haute Volta. Région Est, Echelle 1/500000 - Centre ORSTOM, Dakar-Hann, Sénégal, 243 p.

Braud M., 1984. Le diagnostic foliaire du cotonnier. *In : Martin-Prevel P., Gagnard J. et Gautier P. (Ed). L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Techniques et documentation*, Lavoisier. Paris, France. 559-576.

Braud M., 1987. La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes. Etudes et synthèse ; Supplément à *Cot. Fib. Trop.*, série Doc., n°8, 35 p.

Bray R. I. I., Kurtz L. T., 1945. Determination of total organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59 : 39-45.

BU.NA.SOLS, 1989. Normes d'interprétation des éléments chimiques. 3 p.

BU.NA.SOLS., 1985: Etat de connaissance de la fertilité des sols au Burkina Faso. Documentation technique n°1. Section fertilité des sols/Assistance bilatérale Néerlandaise. 50 p + annexes.

Carmi A., Shalhevet J., 1982. Root effects on cotton growth and yield. *Crop Science*, Vol.43 : 875-878.

CEDEAO, 2012. Règlement C/REG.13/12/12 relatif au contrôle de qualité des engrais dans l'espace CEDEAO. Soixante-neuvième session ordinaire du conseil des ministres. Abidjan, Côte d'Ivoire, 15 p.

CPCS, 1967. Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et de la Cartographie des sols ; 96 p.

Crozier C.R., Walls B., Hardy D.H., Barnes J.S., 2004. Response of Cotton to P and K

Dakouo D. et Koulibaly B., 1994. La fertilisation du cotonnier dans les systèmes de culture: incidence sur les cultures en rotations. Synthèse de fertilisation et techniques culturales pour le réseau coton/CORAF ; 15 p.

Dakouo D., 1991. Maintien de la fertilité dans les systèmes de culture en motorisation intermédiaire. Cas de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Rapport de synthèse, 49 p.

Dakouo D., 1994. Les carences en potassium sur cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) dans les systèmes de culture : cas de la zone cotonnière ouest du Burkina. Thèse de doctorat, option sciences agronomiques, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire, 141 p.

Dakouo D., 1995. Les acquis de la recherche cotonnière, In «Publications Scientifiques des chercheurs». Communication présentée aux journées coton des 20 et 21 Juillet 1995 à Bobo-Dioulasso, INERA/Programme coton, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 6 p.

Dakouo D., 1998: Dégradation de la fertilité dans la zone cotonnière d'Afrique au sud du Sahara. In, l'utilisation des intrants en culture cotonnière et maraîchère. Colloque organisé par CORAF à Dakar, Sénégal ; du 25 -28janvier 1998. 343-349.

Dani R.G., 1990. La recherche génétique sur l'huile de grains du cotonnier: état actuel. *Cot. et Fib. Tropicales*, vol XLV, fasc.1 : 71-75.

Elsass F., 2005. Minéralogie des argiles de sols : structure, altération, réactivité. Habilitation à Diriger des Recherches, Sciences de la Terre, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 139 p.

FAO, 2003. Les engrais et leurs applications, Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole, Quatrième édition. 77 p + annexes.

FAO, 2014 : Gestion intégrée de la production et des déprédateurs du coton/Guide du facilitateur pour les Champs écoles des producteurs, 79 p.

- Fovet-Rabot C. et Hébert A.**, 2006. Le coton, fil des temps, des marchés et des cultures. CIRAD, 15 p.
- Fryxell, PA**, 1984. Taxonomy and Germplasm Resources. . *In*: Kohel, RJ et Lewis, CF, (Ed). *Coton. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America*. pp 27-57
- Gaborel C.**, 2006. La fertilisation du cotonnier en Afrique. IFDC/CIRAD, 2 p.
- Girma K., Teal R.K., Freeman K.W., Boman R.K., Raun W.R.**, 2007. Cotton Lint Yield and Quality As Affected by Applications of N, P, and K Fertilizers. *The Journal of Cotton Science* 11. 12–19.
- Goreux L.**, 2003, Réformes des filières cotonnières en Afrique subsaharienne, Banque Mondiale.
- Guinko S.**, 1984. Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat en sciences naturelles. Université de Bordeaux III, 318 p.
- Guinn G.**, 1974. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. *Crop.Sci.* 14:291-293
- Heller R., Esnault R. ; Lance C.**, 1989. Physiologie végétale 1: Nutrition, IVème édit., 273 p.
- Helvetas**, 2008. Guide de production du coton biologique et équitable. Manuel de référence pour l’Afrique de l’Ouest, 49 p.
- Hesketh J.D., Baker D.N.; Duncan W.G.**, 1972. Simulation of growth and yield in cotton: II. Environmental control of morphogenesis. *Crop Sci.* 12. 436-439.
- Hien V.**, 1990. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans les sols ferrallitiques du Burkina Faso. Thèse de Docteur de l’Institut National Polytechnique de Lorraine; Spécialité: Sciences agronomiques, option Agro pédologie, Nancy-France, 149 p.
- Hien V., Sedogo P.M., Lompo F., 1994**: Gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. Bilan et perspective pour la promotion des systèmes agricoles durables dans la zone soudano-sahélienne ; CNRST/INERA Burkina Faso. *In*, promotion des systèmes agricoles durables dans les pays d’Afrique Soudano-Sahélienne. Acte du colloque organisé par FAO- CIRAD CTA, Dakar, pp 47-60.

Houssa A.A., Badraoui M., Benbella M. ; Agbani M., 2010. Mise au point de formules d'engrais de fond. *In* : Transfert de technologie en agriculture. 4 p.

Iboudo O., 1997: Effets des fumures de fond sur l'acidité du sol et la croissance du cotonnier. Mémoire de fin cycle d'Ingénieurs de développement Rural. Option agronomie, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 74 p.

Jordan W.R., 1982. Water relations in cotton. In, J.D.Teare and M. M. Peet (Ed.), crop water relations, Wiley Interscience, New York.

Kaloga B., 1969. Etude pédologique de la Haute-Volta. Région Ouest-Nord. Mémoires ORSTOM n°85.

Koulibaly B., 2000. Fertilisation et système de culture en zone cotonnière: cas du Burkina Faso. Communiqué à l'atelier sur «La fertilisation et les systèmes de culture en zone cotonnière Ouest-Africaine: cas du Mali, du Burkina Faso et de la Côte-D'Ivoire » Korogho, 11 p.

Koulibaly B., 2011. Caractérisation de l'acidification des sols et gestion de la fertilité des agrosystèmes cotonniers au Burkina Faso. Thèse de doctorat, option sciences appliquées ; Spécialité : Agro-pédologie. Université de Ouagadougou, 155 p.

Koulibaly B., 2014. Situation de la fertilisation et de gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. Communication à la 7^e réunion bilan du PR-PICA du 16 au 18 Avril 2014, Dakar, Sénégal. 29 p.

Koulibaly B., Dakouo D., Traoré O., Vognan G., 2002. Introduction de la formule d'apport unique dans la fertilisation du cotonnier au Burkina Faso. Communication présentée au FRSIT 2002, tenu à Ouagadougou du 11 au 18 mai, 17 p.

Kouyaté A.M., Van Damme P., Goyens S., De Neve S. ; Hofman G., 2007. Evaluation de la fertilité des sols à *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. *Tropicultura*, 25(2). 65-69.

Lagierre R., 1966: Le cotonnier. Edition Maisonneuve et Larose, 306 p.

Malavolta, E.Vitti, GC ; Oliveira, SA., 1997. L'état nutritionnel des plantes: principes et applications. Piracicaba, Potafos.

Martin-Prevel P., Gagnard J. ; Gautier P., 1984 (Ed). L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales, 810 p

MASA, 2013. Quelles stratégies de renforcement de la résilience des populations faces aux changements climatiques pour une sécurité alimentaire durable.

Mauney, R. Jo, 1984 Anatomy and physiology of cultivated cottons. *In*, Kohel R.J., Lewis C.F., (Ed.), cotton agronomy monograph, 24. .59-79.

Mengel K. ; Kirbky E.A., 1978. Principles of plant nutrition. Int. Pot. Inst, Abidjan. 453-465.

Ouattara A., 2011. Etude de l'association de la fumure minérale et du compost dans une rotation coton-maïs en zone cotonnière Ouest du Burkina Faso ; Mémoire d'Ingénieur ; IDR/UPB. 42 p.

Ouattara K., 2007.Improved soil water conservatory managements for cotton-maize rotation system in the Western cotton area of Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Swedish University of Agriculture Sciences, UMEA. 50 p.

Pallo F.J.P., Sawadogo N., Zombré N.P., Sédogo P.M., 2009. Statut de la matière organique des sols de la zone nord soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13(1): 139-142.

Parry G., 1982. Le cotonnier et ses produits. Edition Maisonneuve et Larose. Paris, France, 502 p.

Pouya B.M., Bonzi M., Gnankambary Z., Traoré K., Ouédraogo J.S., Somé A.N., Sedogo M.P., 2013. Pratiques actuelles de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la production du cotonnier et sur le sol dans les exploitations cotonnières du centre et de l'ouest du Burkina Faso. *Cah Agric*, Vol 22, n°4 : 282-292.

PR-PICA, 2015. Rencontre d'élaboration des protocoles de recherche sur la réactualisation des formules d'engrais ; du 17 au 20 février, Ouagadougou, Burkina Faso.

Richard L., 1958. Problème de fumure minérale. Interdépendance des éléments dans les fumures minérales. IRCT, 39 p.

SANFO D., BOURGOU L., DIANE S., SANOU J., 2014. Variétés de cotonnier cultivées au Burkina Faso, IRCT, INERA/Programme coton, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Sement G., 1983. La fertilité des systèmes culturaux à base de cotonnier en Côte d'Ivoire. Paris, IRCT, 40 p.

Sement G., 1986: Le cotonnier en Afrique Tropicale. Technique d'Agriculture Tropicale. Edition Maisonneuve et Larose, 131 p.

Sivakumar M.V.K., Gnoumou F., 1987. Agro-climatologie de l'Afrique de l'Ouest : Burkina Faso. Bulletin d'information n°23, ICRISAT, Pantcheru, Inde, 192 p.

Soltner D., 1989. Les bases de la production végétale, tome 1. Le sol. 17^{ème} Ed., Collection Sciences et Techniques Agricoles, 468 p

Soltner D., 1992. Les bases de la production végétale, Phytotechnie générale-Tome 1 : Le sol et son amélioration, 19^{ème}ÉDITION, 464 p.

Soltner D., 1996. Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol et son amélioration, 21^{ème} Ed. Editions Sciences et Techniques Agricoles., 464 p

Traoré A., 2008. Effet des rotations et des fumures sur la fertilité du sol et le rendement du coton dans la zone soudanienne du Burkina Faso, Mémoire de fin de cycle - ingénieur agronome, Institut polytechnique Rural de formation et de recherche appliquée (IPR/ IFRA), Mali 54 p.

Traoré O., Koulibaly B., Dakuo D., 2007. Effets comparés de deux formes d'engrais sur les rendements et la nutrition minérale en zone cotonnière au Burkina Faso, *Tropicultura*, 25, 4, 200-203.

UNIFA, 2005a. Les fertilisants et leur fabrication. In Parlons fertilisation. 4 p.

UNIFA, 2005b. Calcium-Magnésium. 4 p

Zia-ul-hassan, Arshad M., 2008. Evaluating factors affecting cotton tolerance to potassium deficiency stress using path analysis. *Int. J. Agri. Biol.* 511–516.

ANNEXES

ANNEXE 1 : NORMES D'INTERPRETATION DES ELEMENTS CHIMIQUES, BU.NA.SOLS (1989)

Normes d'interprétation des éléments chimiques

1. Matière organique

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|
| Intervalle | < 0,5% | 0,5%- 1,0% | 1,0%- 2,0% | 2,0%- 3,0% | > 3,0% |

2. Azote total

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|
| Intervalle | < 0,02% | 0,02%- 0,06% | 0,06%- 0,10% | 0,10%- 0,14% | > 0,14% |

3. Phosphore assimilable

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|----------|---------|----------|----------|------------|
| Intervalle | < 5ppm | 5-10ppm | 10-20ppm | 20-30ppm | > 30ppm |

4. Phosphore total

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|
| Intervalle | < 100ppm | 100-200ppm | 200-400ppm | 400-600ppm | > 600ppm |

5. Potassium disponible

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|----------|----------|-----------|------------|------------|
| Intervalle | < 25ppm | 25-50ppm | 50-100ppm | 100-200ppm | > 200ppm |

6. Potassium total

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|----------|-------------|--------------|--------------|------------|
| Intervalle | < 500ppm | 500-1000ppm | 1000-2000ppm | 2000-4000ppm | > 4000ppm |

7. CEC

CEC (T) en meq/100 g de terre fine (méthode à l'argent thiouré)

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Intervalle | < 5meq/100g | 5-10meq/100g | 10-15meq/100g | 15-20meq/100g | > 20meq/100g |

8. Saturation en bases (S/T) en %

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|----------|-------|-------|-------|------------|
| Intervalle | < 20% | 20-40 | 40-60 | 60-80 | > 80% |

9. Somme des bases (S) en meq/100g de terre fine

| Classe (interprétation) | Très bas | Bas | Moyen | Elevé | Très élevé |
|-------------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| Intervalle | < 1meq/100g | 1-6meq/100g | 6-11meq/100g | 11-16meq/100g | > 16meq/100g |

10. pH (eau)

| Classe | Extrême mement acide | Tres fortement acide | Fortement acide | Moy. Acide | Faibl. Acide à neutre | Legere ment alcalin | Moy alcalin | Fort. Alcalin | Très fort. Acid |
|--|----------------------------|----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|------------------|-----------------------|
| Valeurs | < 4,5 | 4,6-5,0 | 5,1-5,5 | 5,6-6,0 | 6,1-7,3 | 7,4-7,8 | 7,9-8,4 | 8,5-9,0 | > 9,0 |
| Interpré tation 5=favorable 1=défavorable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

ANNEXE 2 : INSTRUCTIONS DIAGNOSTIC FOLIAIRE IRCT

Principe :

Prélèvement de la feuille située à l'aisselle de la fleur du jour située en position 1 (Voir schéma)

Méthode

1°) Prélever vers le 70^{ème} jour (à plus ou moins 3 jours).

2°) Prélever avant 9 heures du matin.

3°) Prélever les fleurs de n'importe quel niveau mais uniquement en position I. (c'est-à-dire située sur le premier nœud des branches fructifères. (Voir schéma)

4°) Les prélèvements de feuilles se font au hasard à raison de :

- 20 feuilles par PE si on a 6 répétitions : 120 : Garder 100
- 15 feuilles par PE si on a 8 répétitions : 120 : Garder 100
- 120 feuilles par zone homogène si on travaille sur de grandes parcelles de façon à en garder 100 par échantillon.

5°) Il faut séparer les limbes des pétioles avec une lame de rasoir lorsque les feuilles sont encore fraîches. Les garder séparément.

6°) Les positions se feront dans la matinée mais seulement lorsque les prélèvements seront terminés

7°) Ces positions se feront au hasard mais sur un nombre de pieds égale à la moitié du nombre de feuilles prélevés.

8°) L'on veillera à faire sécher très rapidement les échantillons le jour même afin qu'il ne se produise pas de pourriture. Faire sécher sur un endroit où il n'y a pas eu d'engrais.

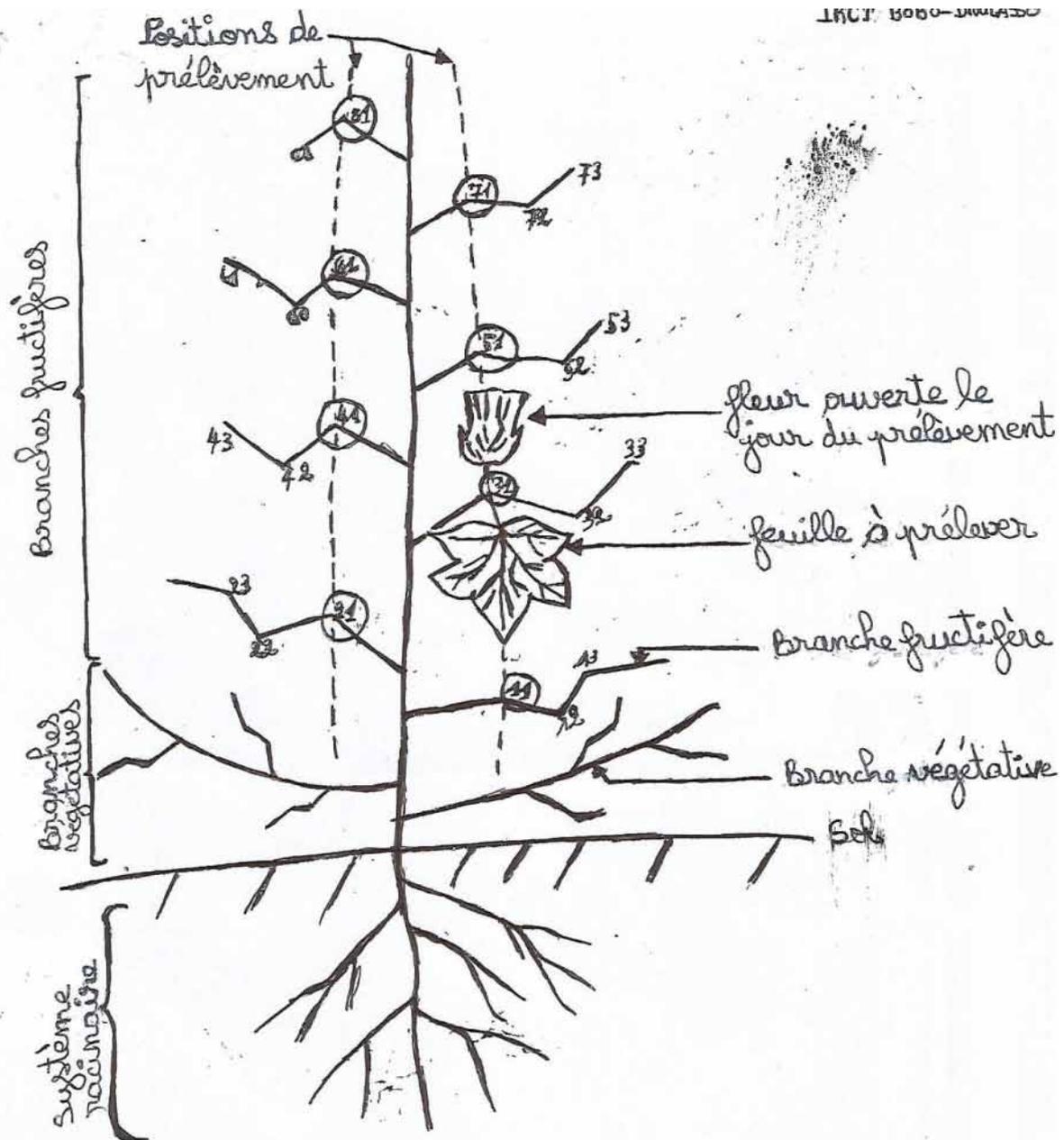


Schéma : Modalités de prélèvement foliaire sur le cotonnier.

N.B. : Ne prélever que sur les positions encerclées.
Exemple : (11) ; (21) ; (31)

Source : IRCT, 1984.

ANNEXES 3 : CARACTERISTIQUES DES DEUX VARIETES DE COTONNIERS UTILISEES

| Caractéristiques | STAM 59 A | FK 95 BG2 |
|--|---|--|
| Généalogie | [(SR1F4*L 299-10)*(Ston 213* {G115-7}3)]* [(T120-7* U585-12)* (T120-7* P279)] | FK37 × DP50 BGII |
| Origine | Station Anié Mono/Togo | INERA/Farako-Bâ |
| Aire de culture | Zone centre (pluviométrie < 800 mm) | Zones Sud-Ouest et Est (pluviométrie > 800 mm) |
| CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES | | |
| Port de la plante | Etalé | Etalé |
| Ouverture 1 ^{ère} fleur (JAS) | 65 | 60 |
| Ouverture 1 ^{ère} capsule (JAS) | 115 | 100 |
| Branches végétatives | 1 à 2 | 1 à 2 |
| Forme de la capsule | conique | Conique |
| Pilosité | Moyenne | Moyenne |
| Ouverture stormproof | Moyenne | Bonne |
| Hauteur moyenne (cm) | 120 | 140 |
| Entre-nœuds | Courts | Moyens |
| Poids moyen capsulaire (g) | 4,7 | 4,0 |
| Précocité (% 1 ^{ère} récolte) | 78 | - |
| Potentiel rendement coton graine (kg/ha) | 2600 | 3500 |
| Rendement égrenage (20 scies) % | 43,63 | 43,0 |
| Poids de 100 graines (g) | 7,5 | 8,0 |
| CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DE LA FIBRE | | |
| Longueur UHLM (mm) | 29,57 | 28,57 |
| Ténacité (g/tex) | 30,46 | 29,72 |
| Allongement (%) | 5,7 | 5,60 |
| Réflectance (RD %) | 73,9 | 74,4 |
| Indice de jaune | 8,8 | 8,0 |
| Micronaire | 4,0 | 3,8 |

Source : SANFO *et al.*, 2014