

République de Côte d'Ivoire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université F. H.-B. de Cocody

N° d'ordre : 722/2012



UFR des Sciences de la Terre
et des Ressources Minières

Laboratoire de Pédologie et de Géologie Appliquée

THÈSE

Présentée à l'UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR D'ETAT ès-SCIENCES NATURELLES

Spécialité: Agro-pédologie (Nutrition des plantes)

par

DAKOUO Déhou

THÈME : Effets des types de sol et de la topographie sur l'absorption
des ions K^+ par le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) dans les agro-systèmes
soudano-sahéliens de l'Ouest du Burkina Faso.

Soutenue publiquement le 24/11/2012 devant le jury composé de :

M. BIEMI Jean	<i>Professeur Titulaire, Université F. H.-B. de Cocody</i>	Président
M. NACRO H. Bismarck	<i>Maître de Conférences, U.P.B, Bobo-Dioulasso</i>	Rapporteur
M. AKA Kouamé	<i>Professeur titulaire, Université F. H.-B. de Cocody</i>	Examineur
M. SEDEGO P. Michel	<i>Directeur de Recherches, IN.E.R.A, Ouagadougou</i>	Examineur
M. LOMPO François	<i>Maitre de Recherches, IN.E.R.A, Ouagadougou</i>	Co-Directeur de Thèse
M. YAO-KOUAME Albert	<i>Professeur titulaire, Université F.H-B.de Cocody</i>	Directeur de Thèse

République de Côte d'Ivoire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université F. H.-B. de Cocody

N° d'ordre : 722/2012



UFR des Sciences de la Terre
et des Ressources Minières

Laboratoire de Pédologie et de Géologie Appliquée

THÈSE

Présentée à l'UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR D'ETAT ès-SCIENCES NATURELLES

Spécialité: Agro-pédologie (Nutrition des plantes)

par

DAKOUO Déhou

THÈME : Effets des types de sol et de la topographie sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) dans les agro-systèmes soudano-sahéliens de l'Ouest du Burkina Faso.

Soutenue publiquement le 24/11/2012 devant le jury composé de :

M. BIEMI Jean
M. NACRO H. Bismarck
M. AKA Kouamé
M. SEDEGO P. Michel
M. LOMPO François
M. YAO-KOUAME Albert

Professeur Titulaire, Université F. H.-B. de Cocody
Maître de Conférences, U.P.B, Bobo-Dioulasso
Professeur titulaire, Université F. H.-B. de Cocody
Directeur de Recherches, IN.E.R.A, Ouagadougou
Maitre de Recherches, IN.E.R.A, Ouagadougou
Professeur titulaire, Université F.H.-B.de Cocody

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur
Co-Directeur de Thèse
Directeur de Thèse

DEDICACE

A ma mère feu Traoré Yizoumbian-Dakouo décédée le 7 janvier 2012, pour son attachement et le respect des us et coutumes en pays Bwaba durant toute sa vie.

REMERCIEMENTS

Cette thèse est l'aboutissement de plus d'une quinzaine d'années de recherche sur le potassium, en particulier dans le domaine de la nutrition minérale, en vue d'améliorer la productivité dans les agrosystèmes en zone soudano-sahélienne, pour une production cotonnière durable.

J'exprime toute ma reconnaissance au Président de l'Université de Cocody, le Professeur BAKAYOKO LY Ramata, qui a bien voulu autoriser mon inscription dans cet établissement.

Je remercie le Vice- Président chargé de la Pédagogie et de la Recherche, Professeur AFFIAN KOUADIO.

Je suis reconnaissant au Professeur BOFFOUE MORO Olivier, Doyen de l'UFR/STRM pour avoir autorisé mon inscription en Thèse de Doctorat d'Etat.

Je remercie très sincèrement le Professeur BIEMI Jean pour avoir accepté de présider le jury, malgré ses multiples occupations.

J'adresse mes sincères remerciements au Professeur AKA KOUAME, Président du Conseil Scientifique de l'UFR/STRM de l'Université de Cocody, pour ses conseils, ses suggestions, et ses commentaires sur le manuscrit.

Je remercie très sincèrement le Professeur TIE BI TRA Emmanuel, Maître de conférences en pédologie à l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Institut National Polytechnique FELIX HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB) de Yamoussokro, pour avoir pris le temps d'analyser le manuscrit et pour son inestimable contribution à l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail.

Professeur YAO-KOUAME Albert, de l'UFR/ STRM de l'Université de Cocody, a assuré la direction de cette thèse. De par sa disponibilité, son amour du travail bien fait, et surtout par son contact facile, il a su relancer ce travail et le conduire à son terme. Il a examiné avec minutie le mémoire et y a apporté toute son expérience en matière de sciences du sol. Je lui exprime toute ma reconnaissance.

Professeur LOMPO François, Maître de Recherches à l'INERA, par sa disponibilité et ses compétences scientifiques, son ouverture d'esprit, a permis l'achèvement de ce travail. Il a toujours su me redonner confiance au moment opportun. Qu'il trouve ici l'expression de ma très profonde gratitude.

Professeur SEDOGO Papaoba Michel, Directeur de Recherches au CNRST, est celui qui a guidé mes premiers pas dans la recherche. Il continue de servir de référence, à travers sa disponibilité, son ouverture d'esprit et son amour du travail d'équipe. Il a toujours su se mettre à l'écoute des chercheurs. Il m'a également permis de retrouver des forces pour faire aboutir cette thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma très profonde gratitude.

Professeur KONATE Gnissa Issaïe, Directeur de Recherches, Ministre de la Recherche Scientifique et de l'Innovation, a contribué à faciliter la réalisation de ce mémoire. J'ai toujours trouvé au près de lui les conseils avisés d'un aîné. Je lui exprime toute ma reconnaissance.

Je suis très reconnaissant au Professeur NACRO Hassan Bismarck, Maître de Conférences et vice-Président de l'Université Polytechnique de Bobo (UPB), pour ses commentaires très pertinents et ses suggestions en vue de l'amélioration de la qualité du manuscrit.

J'adresse ma très profonde gratitude à Monsieur SAWADOGO Jean Paul, Directeur Général de la SOFITEX pour ses appuis multiformes et ses encouragements à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie le Professeur OUATTARA Badiori, pour ces conseils amicaux et ses multiples encouragements à la poursuite de ce travail.

Que Dr KOULIBALY Bazoumana, pour ses soutiens multiformes et l'appui apporté à la mise en forme du document, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Je remercie Messieurs SAWADOGO Félix, SANOU Edouard, GUIGUEMDE Oumar et TIANHOUN Casimir, pour le temps consacré à la mise en forme de ce document.

J'associe à ces remerciements, l'ensemble du personnel de l'INERA/Programme Coton et de la Sofitex, pour son admirable soutien.

Je ne puis m'empêcher d'avoir une pensée pour feu le Professeur ASSA Ayémou, de l'Université de Cocody, qui n'avait cessé de m'encourager à poursuivre ce travail, qu'ensemble nous avons commencé, avec la soutenance de ma thèse de Docteur Ingénieur en 1994.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	- 1 -
-----------------------------------	--------------

Première Partie: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE BURKINA FASO.....	- 6 -
--	--------------

1.1. Climat.....	- 6 -
1.2. Végétation.....	- 11 -
1.3. Relief.....	- 12 -
1.4. Réseau hydrographique.....	- 13 -
1.5. Substratum géologique.....	- 14 -
1.6. Sols.....	- 19 -
1.7. Milieu humain.....	- 22 -
1.8. Activités socio-économiques.....	- 22 -

CHAPITRE II : CONTEXTE DE LA ZONE DE PRODUCTION SOFITEX.....	- 28 -
---	---------------

2.1. Localisation.....	- 29 -
2.2. Climat.....	- 32 -
2.3. Végétation et réseau hydrographique.....	- 33 -
2.4. Géomorphologie.....	- 35 -
2.5. Substratum géologique.....	- 36 -
2.6. Sols en zone SOFITEX.....	- 37 -
2.7. Agro-systèmes cotonniers.....	- 39 -

CHAPITRE III : LE COTONNIER DANS LES AGRO-SYSTEMES SOUDANO-SAHELIENS.....	- 42 -
--	---------------

3.1. Botanique.....	- 42 -
3.2. Architecture du cotonnier.....	- 43 -
3.3. Cycle de développement.....	- 50 -
3.4. Ecophysiologie et nutrition minérale du cotonnier.....	- 53 -

Deuxième Partie : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE IV : MATERIEL.....	- 77 -
------------------------------------	---------------

4.1. Matériel végétal.....	- 77 -
4.2. Fumure minérale.....	- 80 -
4.3. Fumure organique.....	- 83 -
4.4. Matériels techniques de terrain.....	- 83 -
4.5. Matériel de laboratoire.....	- 87 -
4.6. Produits chimiques.....	- 90 -
4.7. Autre matériel scientifique et technique.....	- 90 -

CHAPITRE V : METHODES.....	- 91 -
-----------------------------------	---------------

5.1. Etude micromorphologique	- 92 -
5.2. Analyse chimique des roches et des produits d'altération.....	- 92 -
5.3. Analyses de sol.....	- 93 -
5.4. Analyses d'échantillons végétaux.....	- 95 -
5.5. Etudes du système racinaire du cotonnier	- 99 -
5.6. Essais et tests de fertilisation	- 101 -
5.7. Autres paramètres d'absorption des éléments minéraux	- 108 -
5.8. Analyses statistiques	- 109 -

Troisième Partie: RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE VI : RESULTATS..... - 110 -

6.1. Contribution des roches mères et des produits d'altération aux variations de teneurs en potassium des sols en zone soudano-sahélienne.....	- 110 -
6.2. Effet des types de sol et des segments topographiques sur la dynamique du potassium dans les systèmes de culture coton-céréales	- 124 -
6.3. Effet du type de sol sur l'architecture et l'efficacité du système racinaire du cotonnier dans l'absorption des éléments nutritifs.....	- 152 -
6.4. Effets des apports de KCl sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agro-systèmes soudano-sahéliens.....	- 170 -

CHAPITRE VII : DISCUSSION - 185 -

7.1. Contribution des roches mères et des produits d'altération aux variations de teneurs en potassium des sols en zone soudano-sahélienne.....	- 185 -
7.2. Effet des types de sol et des segments topographiques sur la dynamique du potassium dans les systèmes de culture coton-céréales	- 193 -
7.3. Effet du type de sol sur l'architecture et l'efficacité du système racinaire du cotonnier vis-à-vis de l'absorption des éléments nutritifs.....	- 206 -
7.4. Effets des apports de KCl sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agro-systèmes soudano-sahéliens.....	- 213 -

CONCLUSION GENERALE..... - 219 -

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... - 226 -

ANNEXES - 249 -

SIGLES & ABRÉVIATIONS

ATP	Adénosine Tri Phosphate
BG	Bollgard
Bt	<i>Bacillus thuringiensis</i>
BUMIGEB	Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina
BUNASOLS	Bureau National des Sols
CAPEs	Centre d'Analyse des Politiques Economiques et Sociales
CEDEAO	Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CEC	Capacité d'Echange Cationique
CERAT	Centre d'Etudes et de Recherches en Aménagement du Territoire
C/N	Rapport Carbone (C) sur Azote (N)
CNCA	Caisse Nationale de Crédit Agricole (Burkina Faso)
CO ₂	Dioxyde de Carbone
CRRA	Centre Régional de Recherche Agricole
CROPLIFE	Association représentant l'industrie des sciences des végétaux
CFDT	Compagnie française de développement des textiles
CCIC	Comité consultatif international du coton (ICAC en anglais)
CILSS	Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel
DAP	Di-ammonium Phosphate
DGEP	Direction Générale de l'Economie et de la Planification
DGPER	Direction Générale de la Promotion l'Economie Rurale
DGPSA	Direction Générale des Prévisions et des Statistique Agricoles
DIMA	Direction des Intrants et du Machinisme Agricole
DNM	Direction Nationale de la Météorologie
DGRH	Direction Générale des Ressources Halieutiques
ETP	Evapotranspiration Potentielle
FASO COTON	Société cotonnière du Faso
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FCFA	Franc de la Communauté Financière Africaine
FILSAH	Filature du Sahel
FIT	Front Inter Tropical
FK	Farako-bâ
GM	Génétiquement modifié
GPC	Groupements de Producteurs de Coton
GPS	Global positioning system
GV	Groupements Villageois
INERA	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
ICP-MS	Inductively Coupled plasma-Mass Spectrometric
INSD	Institut National des Statistiques et de la Démographie
IPA	Indice des Précipitations Antérieures
IPI	International institute Potash
IRCT	Institut de Recherche du Coton et de Textile exotique
ISNAR	International Service for Agricultural Research
JAS	Jours Après Semis

JOSSIRA	Huilerie Jossira
MAHRH	Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MATD	Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation
MED	Ministère de l'Economie et du Développement
MEF	Ministère de l'Economie et des Finances
MS	Matière Sèche
NPK	Engrais Azote Phosphore Potassium
OCDE	Organisation pour la coopération et le développement économiques
OGM	Organisme génétiquement modifié
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre Mer
PC	Pour Cent
PETROCI	Société nationale d'Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire
pH	Potentiel Hydrogénique
PIB	Produit Intérieur Brut
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PR-PICA	Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique
PU	Parcelle Utile
RFU	Reserve Facilement Utilisable
RGA	Recensement Général de l'agriculture
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SAA	Spectromètre d'Absorption Atomique
SBE	Somme des Bases Echangeables
SCADD	Stratégie de Croissance Accélérée de Développement Durable
SN-CITEC	Société Nouvelle des Huiles et savonneries Citec
SOCOMA	Société Cotonnière du Gourma
SOFITEX	Société des Fibres Textiles (Burkina Faso)
SOSUCO	Société Sucrière de la Comoé
STAM	Station Anié-Mono
UE	Union Européenne
UNPCB	Union nationale des producteurs de coton du Burkina Faso
UDPC	Unions Départementales de producteurs de Coton
UHLM	Upper Half Mean Length
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
UPPC	Union Provinciale de Producteurs de Coton
USA	United States of America
WRB	World Reference Base

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Zones climatiques du Burkina Faso	- 8 -
Figure 2 : Substratum géologique du Burkina Faso.....	- 15 -
Figure 3 : Processus de formation des argiles en zone soudano-sahélienn.....	- 18 -
Figure 4 : Carte de la zone SOFITEX.....	- 28 -
Figure 5: Principaux types de sols du Burkina Faso	- 36 -
Figure 6 : Cotonnier à 100 jas dans les agro-systèmes	- 44 -
Figure 7 : Schéma simplifié de production des engrais potassiques	- 68 -
Figure 8 : Quelques fertilisants utilisés en culture cotonnière.....	- 82 -
Figure 9 : Quelques appareils de levée topographique	- 84 -
Figure 10 : Appareils à pression utilisés pour l'extraction à l'eau des racines.....	- 86 -
Figure 11 : Matériels de laboratoire pour les analyses de roches et de sols	- 88 -
Figure 12 : Prélèvements de feuilles sur cotonnier et maïs	- 96 -
Figure 13 : Disposition expérimentale des cultures	- 103 -
Figure 14 : Fosses pédologiques selon les types de sols et les segments topographiques	- 105 -
Figure 15 : Quelques exploitations paysannes en zone cotonnière	- 106 -
Figure 16 : Principales roches-mères des sols en zone cotonnière ouest	- 112 -
Figure 17 : Composition minéralogique des roches.....	- 116 -
Figure 18 : Sables produits par l'altération de différentes formations rocheuses.....	- 120 -
Figure 19 : Schéma d'altération de roches en zone soudano-sahélienne.....	- 123 -
Figure 20 : Etats de surface de quelques sols ferrallitiques (Ferralsols)	- 125 -
Figure 21 : Profils pédologiques des sols ferrallitiques (Ferralsols) de Farako-bâ	- 126 -
Figure 22: Etats de surface de quelques sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de Houndé.....	- 131 -
Figure 23 : Profil pédologique des sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de Boni.....	- 133 -
Figure 24 : Parcelles cotonnières sur blocs latéritiques de sols ferrugineux tropicaux à pentes .-	- 140 -
Figure 25 : Etats de surface des sols bruns eutrophes tropicaux de la ferme de Mwauvoun	- 142 -
Figure 26 : Profils pédologiques de sols bruns eutrophes (Cambisols) (Ferme de Mwauvoun)..-	- 144 -
Figure 27 : Parcelles cotonnières sur sols bruns, à pentes fortes et sur roches vertes	- 149 -
Figure 28 : Coupes de sols ferrallitiques en voie d'induration et de carapaces	- 151 -
Figure 29 : Formations latéritiques sur sols ferrugineux tropicaux (Lixisols)	- 152 -
Figure 30 : Evolution du nombre de racines selon la profondeur et l'âge du cotonnier	- 153 -
Figure 33 : Corrélation entre profondeur du pivot et extension latérale	- 154 -
Figure 34 : Relations entre type de sol, profondeur de pivot, extension latérale et nombre de racines	- 156 -
Figure 35 : Systèmes racinaires des plantes à 100 jas (Cotonnier) et à 70 jas (Maïs)	- 157 -
Figure 36 : Evolution du nombre de racines après les coupes.....	- 162 -

Figure 37 : Evolution du taux de mortalité des plantes selon les dates de coupe	- 163 -
Figure 38 : Impact de la destruction partielle des racines sur la fructification.....	- 164 -
Figure 39 : Impact des coupes sur la production de coton graine par plant.....	- 165 -
Figure 40 : Effet des coupes sur la production de coton graine par plante.....	- 166 -
Figure 41 : Impact des dates de coupe sur le poids moyen capsulaire (PMC).....	- 167 -
Figure 42: Impact des coupes sur le poids sec des tiges de cotonnier	- 168 -
Figure 43 : Rendements des cultures et production de matière sèche selon les doses de K₂O	- 171 -
Figure 44 : Teneurs en K des feuilles et manifestation foliaire sur cotonnier.....	- 173 -

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Caractéristiques et pouvoirs de fixation en cations de quelques argiles	- 19 -
Tableau II : Répartition des racines du cotonnier selon l'âge et la profondeur de sol	- 48 -
Tableau III : Caractéristiques de quelques sels de potassium utilisés en milieu rural	- 70 -
Tableau IV : Mécanismes d'absorption des ions minéraux par les plantes.....	- 75 -
Tableau Va : Caractéristiques agronomiques et technologiques de la variété <i>Stam 59 A</i>	- 78 -
Tableau Vb : Caractéristiques agronomiques et technologiques de la variété <i>FK 37</i>	- 79 -
Tableau VI : Composition moyenne du fumier et du compost (en M.S.)	- 83 -
Tableau VII : Formules de fertilisation mises en comparaison	- 107 -
Tableau VIIIa : Composition chimique de quelques roches	- 118 -
Tableau VIIIb : Composition chimique de quelques roches.....	- 118 -
Tableau IX : Composition chimique des sables d'altération de roche	- 122 -
Tableau X : Caractéristiques des sols ferrallitiques (Ferralsols) de la station de Farako-bâ.	- 127 -
Tableau XI : CEC et pH des sols ferrallitiques (Ferralsols) de la station de Farako-bâ.....	- 127 -
Tableau XII : Caractéristiques des sols ferrallitiques (Ferralsols) en zone ouest.....	- 128 -
Tableau XIII : Texture, matière organique et K des sols ferrallitiques selon les doses de K_2O	- 128 -
Tableau XIV : Caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de la ferme de Boni	- 134 -
Tableau XV : CEC et pH des sols ferrugineux tropicaux de la ferme de Boni	- 134 -
Tableau XVI : Caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) en zone ouest.....	- 135 -
Tableau XVII : Texture, matière organique et K des sols ferrugineux selon les doses de K_2O	- 135 -
Tableau XVIIIa : Caractéristiques sur 0-20 cm des sols ferrugineux sur pentes fortes.....	- 141 -
Tableau XVIIIb : Caractéristiques sur 20-40 cm des sols ferrugineux sur pentes fortes	- 141 -
Tableau XIX : Caractéristiques pédologiques des sols bruns eutrophes (Cambisols) de Mwauvoun	- 143 -
Tableau XX : CEC et pH des sols bruns eutrophes de Mwauvoun	- 143 -
Tableau XXI : Caractéristiques des sols bruns tropicaux (Cambisols) en zone ouest	- 145 -
Tableau XXII : Texture, matière organique et K des sols bruns selon les doses de K_2O	- 145 -
Tableau XXIII : Caractéristiques des sols bruns (Cambisols) sur pentes fortes	- 150 -

Tableau XXIVa : Caractéristiques du système racinaire selon le niveau topographique sur sols ferrallitiques (Ferralsols).....	- 155 -
Tableau XXIVb : Caractéristiques du système racinaire selon la position topographique sur sols ferrugineux tropicaux (Lixisols).....	- 155 -
Tableau XXIVc : Caractéristiques du système racinaire selon la position topographique sur sols bruns (Cambisols).....	- 156 -
Tableau XXV : Humidité, profil racinaire, et matière sèche des cotonniers en milieu paysan	- 158 -
Tableau XXVIa : Composantes de rendement sur sols ferrallitiques (Ferralsols).....	- 159 -
Tableau XXVIb : Composantes de rendement sur sols ferrugineux tropicaux (Lixisols)....	- 159 -
Tableau XXVIc : Composantes de rendement sur sols bruns (Cambisols)	- 160 -
Tableau XXVII : Composantes du rendement en milieu paysan	- 160 -
Tableau XXVIII : Nombre de capsules récoltées en fonction des doses de K ₂ O.....	- 161 -
Tableau XXIX : Etat de fructification des plants à 60 jas sur les coupes du 40è jas	- 164 -
Tableau XXX : Impact des coupes de racines sur la production de coton graine (kg ha ⁻¹) ..	- 165 -
Tableau XXXI : Nombre de capsules récoltées par plante.....	- 167 -
Tableau XXXII : Composition minérale d'un cotonnier à la récolte (g kg ⁻¹ de MS)	- 169 -
Tableau XXXIII : Indices de nutrition minérale des cotonniers à 70 jas.....	- 169 -
Tableau XXXIV : Caractéristiques chimiques du sol en début de rotation (B2)	- 171 -
Tableau XXXV : Potassium du sol (0-20 cm) après la récolte.....	- 171 -
Tableau XXXVI : Indices de nutrition sur cotonnier à 70 jas	- 172 -
Tableau XXXVII : Teneurs en éléments minéraux des feuilles de cotonnier et de maïs	- 174 -
Tableau XXXVIII : Teneurs en potassium des racines des plantes à la récolte	- 174 -
Tableau XXXIX : Potassium des tiges et des feuilles du maïs à la récolte (mg kg ⁻¹).....	- 174 -
Tableau XL : Caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique selon la position topographique.....	- 175 -
Tableau XLI : Rendements obtenus sur sols ferrallitiques de Farako-bâ (B3)	- 176 -
Tableau XLII : Indices de nutrition minérale sur cotonnier à 70 jas.....	- 176 -
Tableau XLIII : Evolution des teneurs en éléments nutritifs des feuilles de cotonniers sur sol ferrallitique de Farako-bâ selon les doses de K ₂ O (P15).....	- 177 -
Tableau XLIV : Teneurs en éléments minéraux des feuilles de cotonniers sur sols ferrallitiques selon la position topographique	- 177 -
Tableau XLV : Caractéristiques chimiques d'un sol ferrugineux de la ferme de Boni selon le niveau topographique.....	- 178 -

Tableau XLVI : Rendements obtenus sur sol ferrugineux tropical (Boni)	- 178 -
Tableau XLVII : Indices de nutrition minérale sur cotonnier à 70 jas.....	- 179 -
Tableau XLVIII : Evolution des teneurs des feuilles de cotonnier sur sol ferrugineux tropical de Boni selon les doses de K_2O	- 179 -
Tableau XLIXa : Teneurs en éléments nutritifs des feuilles de cotonnier sur sols ferrugineux selon la position topographique	- 180 -
Tableau XLIXb : Teneurs en éléments nutritifs des feuilles de maïs selon les doses de K_2O	- 180 -
Tableau L : Caractéristiques chimiques d'un sol brun eutrophe selon le niveau topographique	- 181 -
Tableau LI : Rendements obtenus sur sols bruns eutrophes de la ferme de Mwauvoun (B 22).....	- 182 -
Tableau LII : Indices de nutrition minérale sur cotonnier à 70 jas.....	- 182 -
Tableau LIIIa : Evolution des teneurs en éléments des feuilles de cottonniers sur sol brun eutrophe de Mwauvoun selon les doses de K_2O	- 183 -
Tableau LIIIb : Evolution des teneurs des feuilles de cottonniers sur sols bruns.....	- 183 -
Tableau LIIIc : Evolution des teneurs des feuilles de maïs sur sols bruns.....	- 184 -

Résumé

La stagnation des rendements du cotonnier, observée ces quinze dernières années sur la plupart des exploitations agricoles dans la zone Sofitex, et, l'importance du coton dans l'économie nationale, a suscité une étude en vue de comprendre les mécanismes d'absorption du potassium par le cotonnier dans les systèmes de culture coton-céréales. A cet effet, après collecte et identification de roches mères, trois types de sol représentatifs de cette zone ont été choisis à savoir les sols ferrallitiques, les sols ferrugineux tropicaux et les sols bruns. Sur chaque type de sol, trois segments topographiques ont été déterminés et des études portant sur les profils pédologiques, le système racinaire du cotonnier et les apports de fertilisants potassiques y ont été mis en place, en milieu paysan et en milieu contrôlé.

Les résultats obtenus permettent de dire que le granite, le grès, le gneiss, le basalte, la dolérite et le schiste sont les principales roches-mères sur lesquelles se développent les sols, avec des teneurs moyennes en aluminium, élevées en fer, et très faibles en silice. Elles contiennent, comme minéraux primaires, des micas, des feldspaths, des plagioclases et du quartz, dont l'altération produit, outre du sable, des argiles de type 1/1, dominées par la kaolinite, et de type 2/1, constituées d'illite et de montmorillonite.

Sur chacun des trois types de sol, et en fonction des segments topographiques, on constate que les caractéristiques hydriques, physico-chimiques et agronomiques peuvent varier énormément en cas de pentes fortes. Ainsi, deux sous-groupes de sols ont été identifiés sur sols ferrallitiques (Ferralsols) de Farako-bâ., quatre sous-groupes, sur les sols ferrugineux tropicaux indurés (Lixisols plinthiques) de la ferme de Boni, et deux sous-groupes sur les sols bruns (Cambisols) de la ferme de Mwauvoun. Des horizons latéritiques, sous forme de cuirasse et/ou de carapace, se développent sur les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques, et la dynamique du potassium, sur ces différents sols, dépend de leurs teneurs en matières organiques, de la position topographique, de leur texture, ainsi que des types d'argile.

Le système racinaire du cotonnier se caractérise par un enracinement concentré dans les 30 premiers centimètres de sol, avec une forte corrélation négative entre la profondeur de la racine pivotante et l'extension latérale. Le volume de sol ainsi exploré est évalué à 100,40 dm³. Lorsque la pente est supérieure à 5 p.c., le niveau topographique a un impact direct sur les paramètres hydriques et phytotechniques, qui se traduit par une amélioration de l'humidité du sol et de la masse racinaire. Toute atteinte au système racinaire entraîne une diminution

des rendements, de la production de coton graine, du poids moyen capsulaire et de l'absorption du potassium, lorsque la destruction concerne le pivot.

Les fertilisants potassiques induisent une amélioration des rendements, des indices de nutrition potassique, des teneurs en K des feuilles et des racines, d'autant plus importantes que K est apporté sous forme de fumier ou de compost. Par rapport à la position topographique, c'est en haut de versant que les teneurs en potassium des feuilles de cotonnier sont les plus fortes et les feuilles de maïs ont des teneurs en K souvent plus faibles que celles du cotonnier.

En conclusion, l'absorption du potassium par le cotonnier, 1^{ère} phase du processus de nutrition minérale dans les agrosystèmes, est sous l'influence directe ou indirecte de plusieurs facteurs dont la nature des roches mères, certaines caractéristiques physico-chimiques des sols déterminant la dynamique du K, l'apport de fertilisants, et, l'efficacité du système racinaire.

Mots clés : Sols ferrallitiques (Ferralsols), sols ferrugineux (Lixisols), sols bruns (Cambisols), topographie, versant cotonnier, racines, absorption, potassium, Burkina Faso.

Abstract

Stagnating yields of cotton observed in the last fifteen years on most farms in the Sofitex area and the importance of cotton in the national economy has led a study to understand the mechanisms of potassium absorption by the cotton in the cropping systems cotton-cereal. For this purpose, after collection and identification of rocks, three soil types representative of this area were selected namely ferralitic soils, tropical ferruginous soils and brown soils. On each soil type, three topographical segments were determined and studies of soil profiles, the root system of cotton and potassic fertilizer inputs have been set up in farmers and in a controlled environment.

The results obtained allow to say that the granite, sandstone, gneiss, basalt, dolerite and schist are the main source rocks on which to develop the land, with average grades of aluminum, iron high, and very low silica. They contain, as primary minerals, micas, feldspars, plagioclase and quartz, whose alteration product, besides sand, clay type 1/1, dominated by kaolinite, and type 2/1, consisting illite and montmorillonite.

On each of the three soil types, and depending on topographic segments, we see that the water characteristics, physico-chemical and agronomic can vary greatly in case of steep slopes. Thus, two sub-groups of soils were identified on ferralitic soils (Ferralsols) of Farakoba., Four subgroups, the indurated ferruginous tropical soils (Lixisols Plinthic) of the Boni farm, and two subgroups of brown soils (Cambisols) of the Mwauvoun farm. Lateritic horizons in the form of armor and / or shell, grow on the tropical ferruginous soils and ferralitic soils, and the dynamics of potassium on these soils, depending on their organic matter, the topographic position, texture, and the types of clay.

The root system of cotton plant is characterized by a rooting concentrated within 30 cm of soil, with a strong negative correlation between the depth of the taproot and the lateral extension. The volume of soil explored is estimated at 100.40 dm³. When the slope is greater than 5 pc, the topographic level has a direct impact on water and phytotechnic parameters, resulting in improved soil humidity and root mass. Any affect the root system causes a reduction in yields, production of seed cotton, the average weight capsular and absorption of potassium, when the destruction concerns the pivot.

Potassic fertilizers induce higher yields, indices of potassium nutrition, K contents of leaves and roots, all the more important that K is given in the form of manure or compost. In relation to topographic position, is at the top of slope that the potassium contents of cotton leaves are the strongest and maize leaves have K contents often lower than those of cotton.

In conclusion, the absorption of potassium by the cotton plant, first phase of the mineral nutrition in agro-ecosystems, is under the direct or indirect influence on several factors including the nature of the source rocks, some physico-chemical characteristics of soil that determine the dynamics of K, the addition of fertilizers, and the efficiency of the root system.

Keywords: Ferrallitic soils (Ferralsols), ferruginous soils (Lixisols), brown soils (Cambisols), topography, slope cotton, roots, absorption, potassium, Burkina Faso.

Quintessence

L'absorption des éléments minéraux par les plantes, première phase de la nutrition minérale, est sous la dépendance de plusieurs facteurs :

- les roches-mères qui contribuent à la nutrition potassique soit directement, par leur composition chimique et l'action des racines des végétaux, soit indirectement, par leurs produits d'altération à savoir les minéraux primaires tels les micas et feldspaths potassiques et, par les minéraux secondaires que sont les argiles ;

- les sols, supports des plantes, dont la nature, les propriétés physico-chimiques et les aptitudes agronomiques peuvent changer en fonction de la topographie. Dans les systèmes de culture coton-céréales de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso, l'absorption des ions K^+ varie peu selon les types de sol et les segments topographiques ;

- les caractéristiques de l'enracinement du cotonnier, dont l'architecture type et le volume, très fréquents sur sols ferrallitiques, s'adaptent à la nature des sols et à leur disponibilité en éléments minéraux. Sur sols ferrugineux, le développement du pivot étant souvent contrarié par la présence d'un horizon induré ou d'une couche de gravillons ferrugineux, les racines s'obligent à une plus grande extension latérale. La relative richesse en éléments minéraux des sols bruns n'incite pas au développement d'une grande masse racinaire. L'absorption de K est en étroite relation avec la durée de vie des racines ainsi que l'efficacité spécifique du système racinaire des variétés de cotonnier ;

- l'absorption de K des fumures organo-minérales par le cotonnier ne rencontre aucun problème majeur dans les agro systèmes soudano-sahéliens. Elle est en effet améliorée par la décomposition des racines des céréales de la rotation qui remontent en surface du potassium disponible pour le cotonnier, et, encore plus, par les apports de K, sous forme de fumier ou de compost, qui contribuent à l'amélioration des teneurs en K de la solution du sol, en particulier sur sols ferrallitiques.

Quintessence

The absorption of mineral elements by plants, first phase of mineral nutrition, is dependent on several factors:

- The source rocks that contribute to potassium nutrition either directly by their chemical composition and action of plant roots, or indirectly through their alteration products namely primary minerals such as mica and feldspar, and secondary minerals such as clays;

- Soil, plant supports, whose nature, physico-chemical and agronomic skills may change depending on the topography. However, in cropping systems of cotton-cereal in western cotton zone, the absorption of K^+ ions varies little according soil types and topographic segments;

- Characteristics of the roots of cotton, whose architecture type and volume, very common on ferralitic soils are adaptable to soil type and availability of mineral elements. On ferruginous soils, development of the pivot is often thwarted by the presence of a hard pan or ferruginous gravel layer, the roots themselves to a greater lateral extent. The relative abundance of minerals of brown soil is not conducive to the development of a large root mass. The absorption of K is closely related to the life of roots and specific efficiency of the root system of cotton varieties;

- The K uptake of organo-mineral fertilizers by cotton plant does not encounter any major problem in the sudano-sahelian agro systems. It is improved by the decomposition of roots of cereal, in rotation with cotton, that rise to the surface a K available for cotton, and, even more, by the contributions of K, as manure or compost, which contribute to improving K content of the soil solution, particularly on ferralitic soils.

INTRODUCTION GENERALE

Au Burkina Faso, la culture du coton est pratiquée sur plus de 300 000 exploitations agricoles, et fait vivre directement près de 3 millions de personnes. Le coton constitue la principale source de revenus de l'Etat, car il représente, annuellement, près de 60 p.c. des recettes d'exportation (OCDE, 2005 ; CEDEAO, 2006 ; MEF, 2009). Selon Kouama *et al.* (2007), il a généré environ 3,8 milliards de valeur ajoutée pour l'ensemble des trois sociétés cotonnières du Burkina Faso, au cours de la campagne 2005/2006.

En effet, la filière coton est le secteur de l'économie nationale contribuant le plus au Produit Intérieur Brut (PIB). Cette contribution varie, d'une année à l'autre, car elle est tributaire de nombreux facteurs tels que la pluviométrie, le prix des intrants, le prix d'achat du coton graine aux producteurs, toutes choses qui déterminent les volumes de production.

Dans un passé très récent, le coton s'est révélé un véritable outil de lutte contre la pauvreté, et d'amélioration des conditions de vie en milieu rural. En effet, le coton, qui contribue en moyenne à 65 p.c. des revenus des ménages, est considéré comme une culture créatrice de richesses, permettant de lutter contre la pauvreté en milieu rural (CAPES, 2003 ; Schwartz, 2000 ; OCDE, 2005). Selon le MED (2004), l'indice de pauvreté a baissé en zone cotonnière, tandis qu'il s'est plutôt accentué dans les zones où l'on pratique exclusivement les cultures vivrières. Pour Zonon (2004), cet indice est passé de 50,1 p.c. à 42,4 p.c. chez les producteurs de coton, alors que chez les producteurs de vivriers il a varié de 51,5 p.c. à 53,4 p.c. durant la même période.

Par ailleurs, certaines huileries et industries burkinabé doivent leur existence à la production cotonnière, qui aura permis à des établissements tels SN CITEC, JOSSIRA et FILSAH, de générer, respectivement, 3,02 milliards, 312 millions et 347 millions de F CFA de valeur ajoutée. En effet, la graine de coton procure environ 50 p.c. des besoins en huile du pays, et le tourteau de coton représente la quasi-totalité des aliments pour bétail.

Malheureusement, depuis ces quinze dernières années, on observe une baisse de la production cotonnière en Afrique Subsaharienne, et, au Burkina Faso, la production est passée de 712 500 tonnes en 2005/2006 à 323 500 tonnes, pour la campagne 2008/09, puis à 285 000 tonnes pour la campagne 2010/2011. Cependant, quel que soit le niveau de production, les rendements sont restés quasi identiques et tournent autour de la tonne par hectare.

Sur le plan agronomique, on observe une stagnation, voire une baisse des rendements depuis plus d'une décennie, et cela, malgré toutes les technologies de production mises au point et transférées aux producteurs : aménagement des exploitations, fumures organiques, techniques de conservation des eaux et des sols, agroforesteries, etc. Cette stagnation des rendements est confirmée par SCADD (2006) qui indique que les volumes de production cotonnière obtenus sont, davantage dus plus à l'augmentation des superficies emblavées qu'à une amélioration des rendements. Les causes probables de cette stagnation des rendements sont, entre autres, la baisse de la fertilité des sols sous culture, pratiquement, sans jachère. Or, la baisse de la fertilité des sols se traduit, selon Berger *et al.* (1987), par une réduction de l'efficacité des engrais, qui est passée de +80 p.c., dans les années 1980, à 40-50 p.c. actuellement, en particulier lorsque le taux de matière organique des sols chute en deçà de 0,6 p.c. (Dakouo, 1994). Cette baisse de la réponse aux engrais minéraux n'est rien d'autre que le reflet d'une faible nutrition minérale des plantes, subséquemment, à une faible absorption des éléments nutritifs.

Dans la zone de production cotonnière Sofitex, la perte de productivité à l'hectare s'accompagne d'une manifestation généralisée de problèmes de nutrition minérale, et, spécifiquement, de symptômes de carence en potassium (Dakouo, 1994), quels que soient le type de sol (Dakouo, 1990), les pratiques culturales, le système de production et la position topographique des parcelles dans le paysage. Les symptômes observés au champ sont confirmés par les résultats des analyses d'échantillons végétaux, régulièrement, effectuées en laboratoire.

Ce désordre physiologique, vraisemblablement, reflet d'une baisse de fertilité des sols, se traduit, sur le plan agro-économique, par :

- une réduction du poids moyen capsulaire, et donc de la production par plant ;
- une baisse de la qualité de la fibre, notamment, de la ténacité, du micronaire, de la résistance, de la longueur... ;
- une diminution des revenus des producteurs et des sociétés cotonnières ;
- une baisse de compétitivité de la filière coton.

Par ailleurs, les déficiences en potassium soupçonnées sont d'autant plus sévères que la durée d'exploitation sans jachère des sols est longue (Dakouo, 1994), et elles sont accentuées par la mise en culture des terres marginales de sommet de glacis, du fait du croît démographique, par l'absence de pratiques des restitutions organiques préconisées, l'absence d'aménagement des exploitations selon la topographie, etc. Dans le cas du potassium, cette

faible absorption est fortement corrélée avec l'âge des parcelles, et d'autant plus accentuée que leur durée de mise en culture est longue (Dakouo, 1994). Selon Vognan (2008) la majorité des parcelles cotonnières est en culture continue depuis plus de 20 ans. Par ailleurs, l'utilisation des terres marginales telles les sommets de glaciais ou les sols peu évolués, constitue un facteur limitant pour l'enracinement des plantes car, la plupart de ces terres reposent, soit sur des formations latéritiques, soit directement sur des roches-mères à de très faibles profondeurs (BUNASOLS, 2002 ; 2006). La mise en contact du système racinaire des cultures avec les roches-mères pose ainsi le problème de la contribution de ces dernières à l'alimentation minérale des plantes. De façon globale, il devenait nécessaire de déterminer les effets de la position topographique des parcelles en culture sur leur aptitude à assurer une nutrition minérale adéquate aux plantes et ce, sur les trois principaux types de sols sur lesquels l'essentiel du coton est produit en zone Ouest à savoir les sols ferrallitiques (Ferralsols), les sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) et les sols bruns (Cambisols).

Dès lors, l'on se trouve confronté à un certain nombre d'interrogations :

- la dynamique du potassium dans les sols sous culture est-elle fonction de la nature des roches-mères sous-jacentes, ou dépend elle, uniquement, du type de sols ?
- quelle peut-être l'influence de la topographie sur les caractéristiques intrinsèques des sols et sur leur comportement vis-à-vis du potassium ?
- les pratiques culturales actuelles, notamment en fertilisation, sont-elles adaptées à la situation topographique des parcelles cultivées? Contribuent-elles à favoriser réellement l'alimentation hydrominérale des plantes et l'amélioration de la productivité des exploitations agricoles?
- les connaissances disponibles sur les mécanismes de nutrition minérale des plantes cultivées, particulièrement celles relatives à l'absorption des ions K^+ par le système racinaire du cotonnier, suffisent-elles pour optimiser les conditions naturelles de production?
- enfin, les changements climatiques actuellement observés (Waongo, 2007 ; DNM 2007) n'ont-ils pas une incidence sur les facteurs édaphiques, environnementaux et physiologiques déterminant les processus d'absorption des éléments nutritifs par les plantes?

Autant de questionnements, et la liste est loin d'être exhaustive, qui militent en faveur de la nécessité de rechercher et d'adopter des technologies de production, plus appropriées, à travers une meilleure compréhension du fonctionnement des plantes dans leur milieu, en vue d'optimiser les techniques de production, pour une amélioration de la productivité des cultures, et une gestion durable des ressources naturelles. C'est dans une telle perspective

qu'il est apparu opportun d'étudier les « effets des types de sols et de la topographie sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.), dans les agro-systèmes soudano-sahéliens de l'Ouest du Burkina Faso ». L'amélioration de la productivité du cotonnier dans les systèmes de culture actuels passe donc par une amélioration de l'absorption des éléments nutritifs, en particulier le potassium.

Cet objectif général d'une meilleure compréhension des mécanismes d'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agro-systèmes soudano-sahéliens du Burkina Faso, se décline en quatre objectifs spécifiques, à savoir:

- évaluer l'influence du matériau parental, ainsi que celle de leurs produits d'altération, sur les teneurs en K_2O des sols en zone soudano-sahélienne ;
- évaluer l'effet des différents types de sol et de la topographie sur la dynamique du potassium dans les agro-systèmes soudano-sahéliens;
- déterminer l'influence du type de sol sur l'architecture et l'efficacité du système racinaire du cotonnier, ainsi que leurs effets sur l'absorption des éléments minéraux ;
- apprécier les effets d'apport de fertilisants potassiques sur l'absorption de K^+ par le cotonnier, dans les conditions réelles de production, c'est-à-dire, dans les systèmes de culture coton-céréales.

L'on sait par ailleurs que les études traitant de la plupart des mécanismes d'absorption des éléments minéraux par les plantes en laboratoire ou sous serre sont nombreuses, celles en conditions réelles de production au champ sont, par contre, rares (Hinsinger, 2001).

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs hypothèses ont été formulées :

- la stagnation, voire la baisse, des rendements du cotonnier, de ces quinze ou vingt dernières années, est due, en grande partie à un problème de nutrition minérale ;
- l'amélioration de l'absorption des éléments nutritifs par le cotonnier, se traduit par une amélioration de sa productivité ;
- l'absorption des ions K par les plantes, notamment le cotonnier, est en relation directe avec la fertilisation des systèmes de culture coton-céréales, l'efficacité du système racinaire et les teneurs en K disponible des sols;
- la biodisponibilité de K pour les plantes est fonction du type de sol, de la position topographique des parcelles, et des roches-mères sous-jacentes.

La présente thèse, qui rend compte des travaux réalisés, est structurée en trois parties :

- la 1^{ère} partie rapporte les données de la littérature sur la question, présente le milieu naturel du Burkina Faso, le cadre physique de l'étude et les généralités sur le cotonnier ;

- la deuxième partie traite des matériel et méthodes utilisés;
- la troisième partie rapporte les principaux résultats obtenus et tente de les discuter.

Une conclusion générale, assortie de quelques recommandations et perspectives, ainsi qu'une liste de références bibliographiques et des annexes, complètent le document.

Première Partie:

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : GENERALITES SUR LE BURKINA FASO

Chapitre II : CONTEXTE DE LA ZONE DE PRODUCTION SOFITEX

Chapitre III : COTONNIER ET AGRO-SYSTEMES SOUDANO-SAHELIENS

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE BURKINA FASO

Le Burkina Faso est un pays continental, situé dans la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'ouest, entre les longitudes 5°30 Ouest et 2°30 Est et les latitudes 9° et 15°Nord. Le pays s'étend sur 850 km d'Ouest en Est, 650 km du Nord au Sud, et couvre une superficie totale d'environ 274.000 km². Il est limité, au Sud-Est, par le Bénin, au Sud, par le Togo et le Ghana, au Sud-Ouest, par la Côte d'Ivoire, à l'Ouest et au Nord-Ouest, par le Mali, au Nord-Est, par le Niger.

1.1. Climat

Le Burkina Faso est situé en région tropicale, dans la zone à pluviosité comprise entre 250 et 1200 mm par an (DNM, 2007). Il est sous l'influence de deux hautes pressions ou anticyclones, à savoir :

- l'anticyclone saharien, provoquant sur le Burkina Faso, un vent du Nord-Est qui souffle entre les mois de novembre et avril : c'est l'harmattan ;

- la mousson, vent maritime du Sud-Ouest, à partir du mois de mai, qui apporte les pluies.

La migration du Front Inter tropical (FIT), défini comme étant le lieu de convergence des masses d'air que sont l'harmattan et la mousson, module les saisons. Le climat du pays est donc caractérisé par l'alternance entre une saison sèche et une saison humide, dont dépendent les activités de production agricole.

Selon la durée de la saison des pluies et l'importance des précipitations (Fig.1), on distingue 3 zones climatiques au Burkina Faso, à savoir :

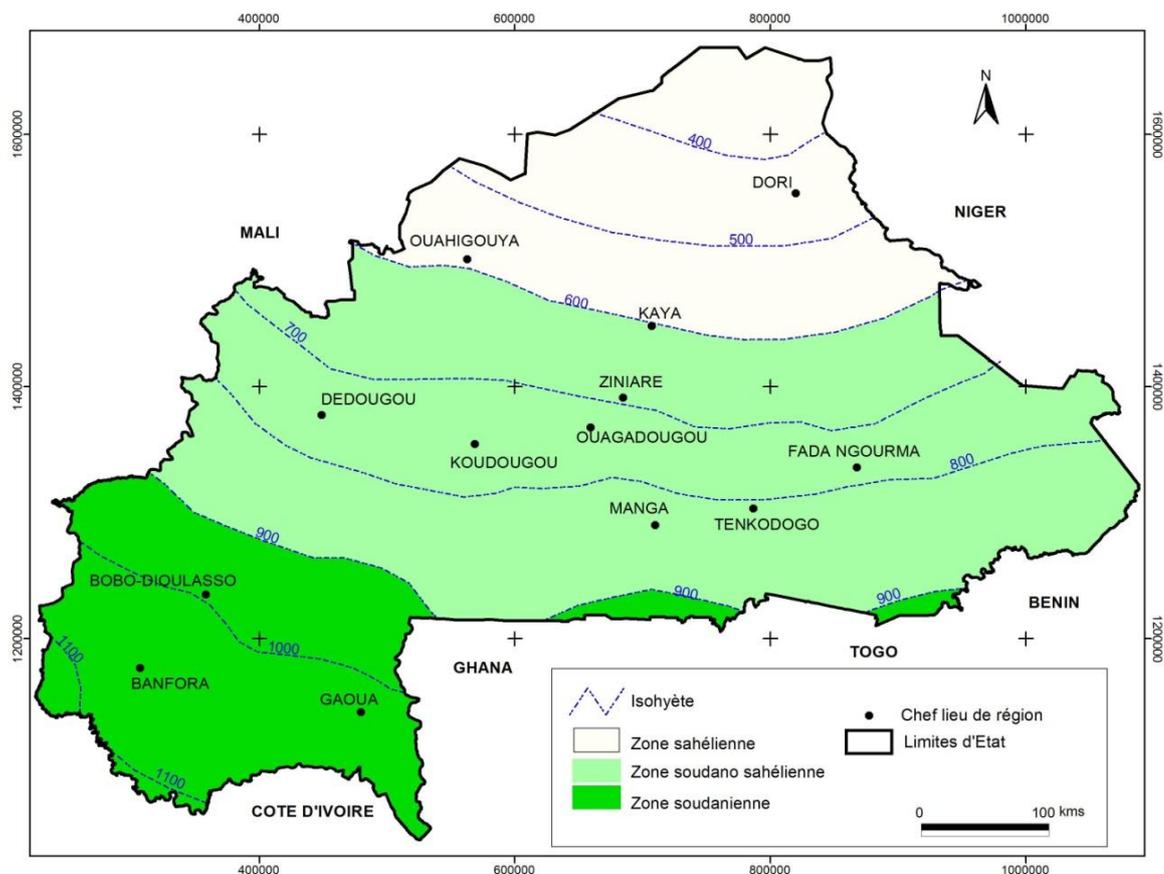
- la zone sahélienne, qui prévaut au Nord du pays, au dessus du 14° de latitude Nord, avec une pluviosité annuelle comprise entre 300 mm et 600 mm. Elle se caractérise par une saison sèche de 8 à 9 mois. Les températures moyennes sont élevées (308-310 K). Selon la Direction de la Météorologie Nationale (2006), l'évapotranspiration potentielle moyenne y est d'environ 2060 mm /an ;

- la zone soudano-sahélienne, située au centre du pays, entre les parallèles 11°30' et 14°N, avec une pluviométrie variant entre 600 mm et 900 mm. La saison des pluies y dure 3 à 4 mois (juin-septembre) et l'évapotranspiration potentielle moyenne est de 1910 mm/an ;

- la zone soudanienne, située au sud du parallèle 11°30' N, au dessus de l'isohyète 900 mm, constituant la partie sud du pays, et la région la plus arrosée, avec une durée de pluie de 5 à 6 mois. L'évapotranspiration potentielle moyenne y est de 1850 mm/an selon la Direction Nationale de la Météorologie (DNM, 2006).

Mais, avec les changements climatiques observés ces dernières années, on note une régression de la pluviométrie au Burkina Faso, par rapport aux normales pluviométriques de 1931 à 2000. Ainsi, la position moyenne des isohyètes 600 et 900 mm, s'est nettement décalée vers le Sud, de 100 à 150 km, au cours de la période 1961-1990 (Sanon *et al.*, 2006). De même, l'analyse de la tendance générale de l'évolution des températures moyennes entre 1961 et 2000, montre une hausse progressive pour l'ensemble du pays. Cette hausse est de +273,20 K pour la zone soudanienne, + 274 K dans la zone soudano-sahélienne, et de +274,35 K, dans la zone sahélienne au Nord du pays. Ces changements climatiques ont provoqué une accentuation de la sécheresse, une baisse de la pluviométrie, entraînant une baisse des productions agricoles. Les valeurs extrêmes de la température, la durée du jour, le rayonnement solaire etc., sont des facteurs déterminants pour la mise en place des cultures. Leurs impacts sur l'agriculture se sont traduits par :

- une migration des systèmes de production vers le Sud du pays ;
- un rétrécissement des aires de production des cultures pluviales tel que le coton ;
- une baisse des rendements.



Source : DNM (2007)

Figure 1 : Zones climatiques du Burkina Faso

1.1.1. Précipitations

Au Burkina Faso, la durée de la saison des pluies et le nombre de jours de pluie décroissent du Sud-Ouest au Nord, et ce, quelle que soit la zone climatique, même si les limites géographiques de ces zones ne sont pas statiques, parce qu'elles varient avec la dérive climatique qui s'est accentuée depuis ces dernières années.

Le régime pluviométrique est de type tropical à 2 grandes saisons : une saison sèche et une saison pluvieuse. Le maximum des précipitations est atteint en août et, la fin de la saison des pluies intervient, généralement, de façon brutale, en octobre, dans tout le pays.

L'essentiel, voire la totalité, des ressources en eau du pays provient des pluies, dont les eaux sont drainées en surface par 4 bassins hydrographiques. En année moyenne, les écoulements représentent 3,6 p.c. des précipitations, et les infiltrations 15,6 p.c. ; ils constituent les seules sources d'alimentation annuelle des réserves en eau de surface et en eau

souterraine. Selon la SCADD (2008), les estimations faites en 2001 montrent une situation moyenne annuelle caractérisée comme suit :

- les précipitations moyennes sont estimées à 206,9 milliards de m³ d'eau, dont 8,79 milliards de m³ d'écoulement, 32,4 milliards de m³ d'infiltration et 165,9 milliards de m³ d'évaporation, soit une moyenne de 2682 mm ;
- l'eau utile renouvelable annuellement est estimée à 40,19 milliards de m³ ;
- la capacité totale de rétention des retenues d'eau et barrages varie entre 5,01 milliards de m³ à 9,33 milliards de m³ d'eau stockée.

Au Burkina Faso, les principales contraintes en matière de ressources en eau sont essentiellement liées au socle géologique, dominé par des roches cristallines couvrant environ 82 p.c. du territoire.

1.1.2. Vents

Le pays est régi par la prédominance de deux flux d'air résultant de deux anticyclones :

- l'harmattan ou vent de saison sèche qui est un flux d'air sec d'origine saharienne, de direction Nord-Est à Est. Il souffle entre novembre et avril et provoque de fortes variations entre les températures diurnes et nocturnes ;

- la mousson, ou vent de saison des pluies, qui est une masse d'air frais et humide d'origine sud-atlantique, et de direction Sud-Ouest à Sud, s'installant, progressivement, en mai, pour s'arrêter brusquement en octobre.

Les vents sont, globalement, peu violents, avec des vitesses moyennes se situant entre 1,5 et 3 m/s, à l'exception des tourbillons et tornades de début et fin d'hivernage (120 km/h).

Le vent peut jouer un rôle non négligeable dans les bilans minéraux à la surface du sol. C'est ainsi que Levêque (1980), étudiant la composition chimique des poussières provenant des pays de l'intérieur vers la Côte d'Ivoire, a estimé que, par ce processus, environ 80 kg ha⁻¹ de K₂O peuvent être reçus. Bado (2010) a observé que le K échangeable des rizières au Sénégal augmentait avec la durée de mise en culture, du fait du potassium reçu sur la côte, provenant des cendres et autres poussières à partir des terres de l'intérieur. Prognon (2006) a, de son côté, noté que la plupart des poussières atmosphériques circulant entre les continents africain et américain étaient riches en illite.

1.1.3. Insolation

La moyenne annuelle de la durée d'insolation varie de 8 heures par jour au Sud-Ouest à plus de 9 heures dans le Nord, avoisinant même 10 heures par jour en février au Nord, et descendant en dessous de 6 heures par jour en avril, dans le Sud (Ouédraogo *et al.*, 1991, DNM, 2006 ; Sanon *et al.*, 2006). Avec les changements climatiques actuellement observés, cette insolation est de l'ordre de 2 828 heures.

Le rayonnement global est, en moyenne, supérieur à $2000\text{J}/\text{cm}^2$ par jour (respectivement, 2000 et $2200\text{J}/\text{cm}^2$ par jour de moyenne annuelle dans le Nord et le Sud du pays).

1.1.4. Températures

La température moyenne est de 300 K, avec une amplitude thermique annuelle moyenne de 278 K (DNM, 2006).

Au Burkina Faso, les variations saisonnières de température donnent lieu à deux périodes fraîches et deux périodes chaudes :

- les deux périodes fraîches s'étalent, respectivement, de décembre à février, et de juillet à septembre, avec des températures maximales, sous abri, allant de 305 à 309 K, tandis que les minimales varient de 294 à 296 K.

- quant aux 2 périodes chaudes, elles vont, respectivement, de mars à mai et d'octobre à novembre. En saison sèche, les températures maximales sous abri varient de 309 à 314 K, tandis que les minimales oscillent entre 296 et 298 K.

Dans l'ensemble, les températures augmentent du Sud au Nord du pays. Les variations climatiques influent sur l'évolution des profils thermiques des sols. Il y a un décalage journalier entre la température de l'air et celle du sol. Au Burkina Faso, la température maximum de l'air se situe vers 14 heures 30 et 15 heures, et celle des sols, à 30cm de profondeur, se situe entre 17 heures 30 et 18 heures. Par ailleurs, l'amplitude des variations de la température de l'air est amortie dans les sols. Par exemple, en décembre, on observe, généralement, 297 K pour l'air, 291 K pour le sol, à 15 cm de profondeur, 289 K à 30 cm. Dans tous les cas, les changements climatiques observés actuellement se traduisent par des climats de plus en plus secs pour l'ensemble du pays, notamment dans la zone soudanienne. A l'exception des mois d'août et de septembre, on peut dire que tous les mois sont relativement secs, y compris, pendant la saison des pluies.

1.1.5. Humidité atmosphérique et évaporation

L'humidité de l'air, exprimée en tension de vapeur, diminue du Sud au Nord, suivant ainsi l'évolution observée pour la pluviométrie. L'humidité relative est généralement très faible (10 à 20 p.c.) en milieu de journée, notamment en saison sèche, mais peut dépasser 90 p.c. en saison pluvieuse, au lever du jour.

Les valeurs moyennes d'évaporation du Bac classe A passent de 7,5 mm/j en février à 2,5 mm/jour en août. Les variations climatiques influencent l'évolution des profils hydriques.

1.2. Végétation

La répartition de la végétation naturelle au Burkina Faso est à l'image de celle des précipitations, et, plus globalement, du climat. Climat et végétation se superposent à tel point qu'aux trois zones climatiques correspondent trois zones phytogéographiques.

Cette végétation peut être divisée en plusieurs groupes, en fonction des formations végétales et des espèces dominantes (Guinko, 1984 ; Guillobez, 1985 ; Fontes et Guinko, 1995). Ainsi, du Nord au Sud, on distingue, schématiquement :

- le domaine phytogéographique, situé au Nord de l'isohyète 600 mm, dont le secteur phytogéographique sahélien, avec une végétation dominée par *Acacia laeta* (Benth), (Mimosaceae), *Acacia seyal* (Del.) (Mimosaceae), *Aristida hordeacea* (Kunth) (Poaceae);

- le domaine phytogéographique soudano-sahélien, situé dans le centre du pays, avec la savane comme végétation caractéristique. Cette zone est dominée par des espèces protégées telles que *Vitellaria paradoxa* (Kotschy) (Sapotaceae), *Parkia biglobosa* (Jacq.) (Mimosaceae), *Lannea microcarpa* (Engl. & Kr.) (Anarcadiaceae), *Andansonia digitata* (L.) (Bombacaceae), *Tamarindus indica* (L.) (Cæsalpiniaceae), *Faidherbia albida* (Delile & Chev.) (Mimosaceae) ;

- le secteur phytogéographique soudanien, subdivisé en 3 districts où *Isobertinia doka* (Craib & Stapf) (Cæsalpiniaceae) domine ;

La végétation est sempervirente et constituée de larges galeries forestières, comportant des espèces guinéennes telles *Antiaris africana* (Engl.) (Moraceae), *Antidesma venosum* (Mey. ex Tul.) (Euphorbiaceae), *Rauvolfia vomitoria* (Afez) (Apocynaceae)...

D'une façon générale, cette végétation est soumise à une intense dégradation par les feux de brousse, le surpâturage, le déboisement anarchique, lié à une pression démographique de plus en plus accentuée, et les changements climatiques. Elle n'arrive donc plus, à l'heure actuelle, à jouer pleinement son rôle dans l'équilibre du milieu, ce qui est à l'origine d'une menace sur la

flore et d'une érosion de la biodiversité, avec la raréfaction et/ou la disparition d'espèces végétales telles *Caralluma retrocipiens*, *Boswellia dalzielii*, *Erythrina senegalensis*, *Andropogon gayanus* (Kunth), *Daniellia oliveri* (Hutch. & Dalz.), *Guiera senegalensis* (J.F. Gmel.), *Pteleopsis suberosa* (Engl. & Diels) (Combretaceae), *Terminalia laxiflora* (Engl. & Diels) (Combretaceae), ... et animales comme *Colobus polykomos* (Zimmermann), *Acinonyx jubatus*, *Hylochoerus meiertzhageni*, *Lycaon pictus*, *Gazella rurifrons*, ...

1.3. Relief

Le Burkina Faso est un pays relativement plat (Boulet et Leprun, 1969). L'écart entre les altitudes extrêmes n'atteint pas 600 m, et l'altitude moyenne ne dépasse pas 400 m. La moitié du pays se situe entre 250 et 350 m. On y distingue cependant deux unités principales : une plaine centrale et deux plateaux latéraux.

La plaine centrale, avec une altitude moyenne de 300 m, occupe plus des 2/3 du pays. L'altitude moyenne des plateaux latéraux est de 550 m. Ces plateaux sont localisés dans l'Ouest et le Sud-Ouest, relié à la falaise de Bandiagara au Mali d'une part, avec, comme point culminant, le mont Tena kourou (749 m), et, d'autre part, dans le Sud-Est, sur une étroite bande dominée par la falaise du Gobnangou, à la frontière du Togo et du Bénin.

La topographie, par les formes du relief, la longueur et la déclivité des pentes, intervient en jouant un rôle important dans le processus de dégradation des sols, notamment par érosion hydrique. Les pertes en terre augmentent, de façon exponentielle, avec la valeur de la pente.

Le facteur topographique comporte deux éléments, à savoir : l'inclinaison et la longueur de la pente. L'action de l'inclinaison de la pente sur le ruissellement est en effet amplifiée par la longueur de la pente, même si l'impact de ce dernier demeure limité (Morschel et Fox, 2004). Au-delà d'une pente supérieure à environ 2 p.c., l'érosion connaît une croissance exponentielle due à la formation de rigoles et à l'augmentation, avec la vitesse de ruissellement, des taux d'érosion diffuse.

Les versants érodés sont des surfaces directement rattachées aux reliefs résiduels et présentant une pente assez forte, supérieure à 5 p.c. Au niveau de cette unité, on constate une forte érosion, qui entraîne un décapage du matériau de surface ; ce décapage étant fonction de la présence ou de l'absence de végétation. Sur ces versants, on retrouve souvent des constituants minéraux individualisés, constitués généralement de fragments de roches, des

blocs au-delà de 100 mm, des cailloux de 10 mm à quelques centimètres, des granules ou graviers de 2 à 10 mm, et des sables grossiers de 2 mm de diamètre (Yao-Kouamé, 2007).

Les glacis sont représentés par des surfaces planes à pente douce et unie, inférieure ou égale à 5 p.c., et constituent la transition entre les ensembles fluvio-alluviaux et les reliefs résiduels. En fonction de la pente, le glacis est subdivisé en trois parties (Zombré, 2003):

- glacis pente supérieure (5 à 4 p.c.) ;
- glacis pente moyenne (4 à 2 p.c.) ;
- glacis pente inférieure (2 à 1 p.c.).

Sur ces glacis, on note souvent un épandage de gravillons, dont la taille décroît, de la pente supérieure vers celle inférieure.

1.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du pays est peu dense. Il se limite, essentiellement, aux ramifications des trois fleuves de la région :

- la Comoé, au Sud-Ouest, notamment dans la région de Banfora, dont le bassin de la Comoé couvre 18 000 km² ;
- les Voltas : le Mouhoun (ex-Volta Noire) à l'Ouest du pays, le Nakambé (ex-Volta Blanche) et le Nazinon (ex-Volta Rouge) au centre ;
- le Niger, à l'Est.

Le bassin de la Volta couvre sur 178000 Km² sur l'ensemble du pays, mais, est important à l'Ouest, comportant le Mouhoun et ses affluents, dont le plus important est le Sourou.

Le pays étant peu arrosé, ces différents cours d'eau ont des régimes variables. Dans le cas du Mouhoun, le plus important cours d'eau du Burkina Faso, le débit varie de 6 m³/heure, durant les étiages, à 120 m³/heure, durant les crues. Les hautes crues interviennent en saison des pluies, entre les mois de septembre et octobre, pour tous ces fleuves, et la plupart d'entre eux tarissent pendant la saison sèche (SCADD, 2008).

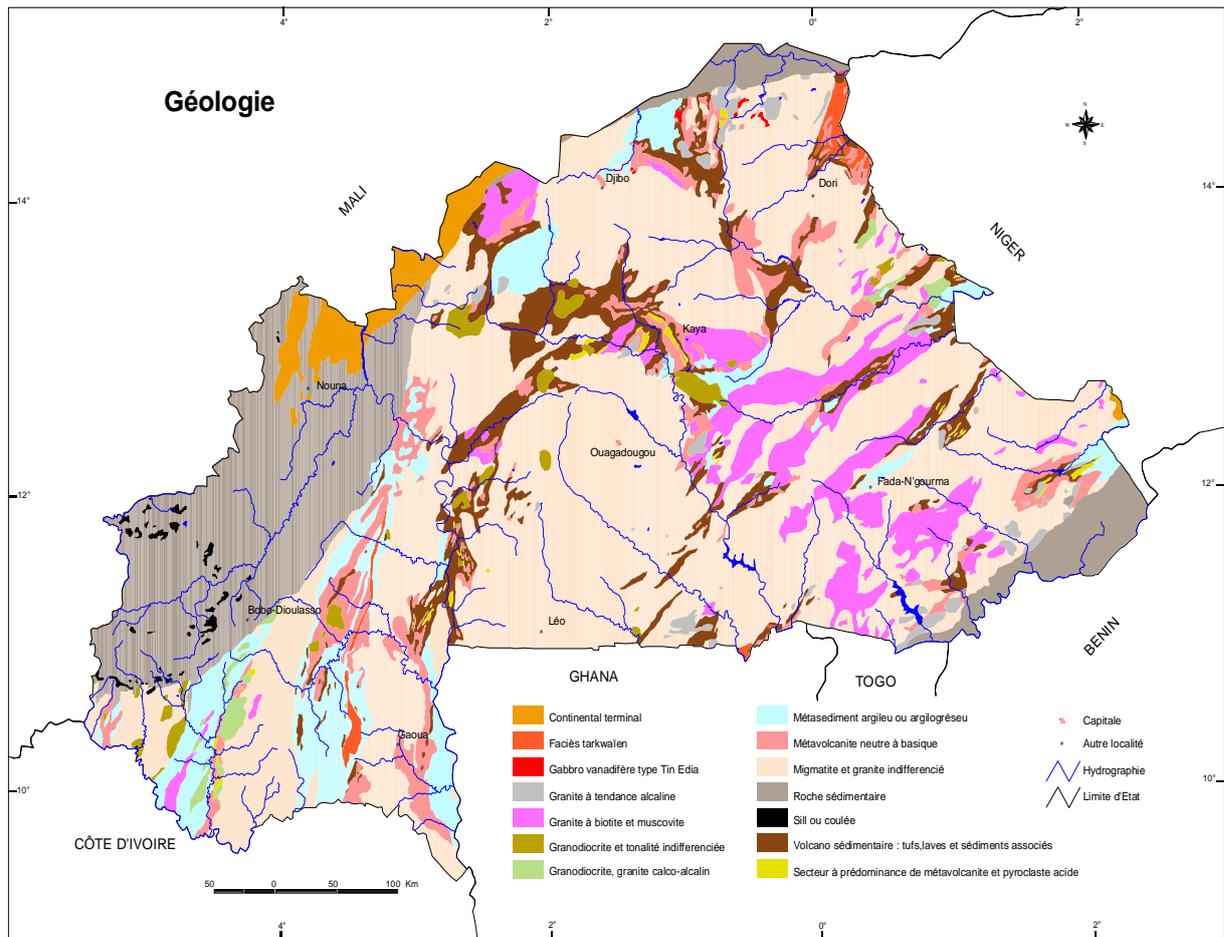
1.5. Substratum géologique

Les premières études géologiques du Burkina Faso datent des années trente. Mais, les travaux les plus connus sont essentiellement ceux de l'ORSTOM, à la fin des années soixante, avec les travaux de Boulet (1968), Boulet et Leprun (1969), Leprun et Moreau (1968), Kaloga (1969), Rieffel et Moreau (1969). La carte au 1/500.000^e qui en a résulté, servit plus tard de bases à d'autres études, notamment celles de Guillobez (1985), de Kaloga (1987), de Hottin et Ouédraogo (1992).

Trois grandes formations caractérisent la géologie du Burkina Faso, à savoir :

- le socle précambrien, métamorphique et éruptif, qui occupe les 3/4 du pays ;
- les couvertures sédimentaires des bordures orientales et nord-orientales du bassin de Taoudéni ;
- les formations de l'Oti, à l'extrémité Nord-Est, appartenant au système voltaïen.

Le pays a subi de très faibles mouvements tectoniques depuis le précambrien. On observe des roches très anciennes, consolidées et arasées, donnant une uniformité au relief de l'ensemble du pays (Fig. 2).



Source : IGB (2002)

Figure 2 : Substratum géologique du Burkina Faso

1.5.1. Socle précambrien

Il a un âge moyen d'environ un milliard d'années, et comprend :

- le précambrien moyen, dont le témoin le plus représentatif est le birimien, constitué de roches très diverses, tels que : schistes, grauwwacks, micaschistes, quartzites et roches vertes d'origine volcanique ;

- le précambrien supérieur, représenté, principalement, par le tarkwaïen, qui occupe le Sud Ouest du pays, formant de minces bandes de grès et de conglomérats, d'orientation Nord-Sud.

1.5.2. Couverture sédimentaire

Elle est mal datée, repose sur un socle et comprend 3 types de formations :

- les formations infracambriennes et primaires, composées de 3 sous-ensembles d'importance inégale ;

* au Nord, on trouve les séries sédimentaires de la "boucle du Niger", constituées, de grès, de schistes, de quartzites et de calcaires dolomitiques de grande épaisseur ;

* au Sud-Est, on rencontre les séries sédimentaires du "système voltaïen" constituées au Nord, de grès, formant le plateau du Gobnangou, et, au Sud, de schistes et grès, vers la frontière du Bénin,

* au Sud-Ouest s'étend le plus vaste ensemble sédimentaire du Burkina Faso, constitué en grande partie, de grès, et prolongeant le vaste "plateau mandingue". Le Sud-Ouest correspond à la région la plus accidentée du pays ;

- les formations tertiaires correspondent aux formations continentales argilo-sableuses du "Continental terminal", recouvrant, au Nord-ouest, la plaine du Gondo ;

- les formations récentes comprennent les sédiments continentaux du quaternaire et les formations cuirassées.

Les sédiments quaternaires se rencontrent dans le sahel, sous forme de cordons dunaires d'orientation Est-Ouest, atteignant 20 m de hauteur, et larges de quelques kilomètres.

Les cuirasses latéritiques sont des formations indurées, présentes presque partout dans le pays, mais généralement plus nombreuses à proximité des roches birimiennes. Elles sont, en général, ferriques, bauxitiques et, quelquefois, magnésiennes.

C'est le lieu de signaler la présence d'alluvions récentes, formant de minces rubans le long des principales rivières.

Au total, le sous-sol du Burkina Faso est en majorité constitué de roches plus ou moins pauvres en potassium, à l'exception des roches cristallines basiques (dolérites) et des alluvions argileuses ou neutres (migmatites) (Poulain *et al.*, 1980; Boulet et Leprun, 1969).

1.5.3. L'altération des roches

Le sol peut être considéré comme une pellicule d'altération, formée d'une fraction minérale et de matières organiques (humus), recouvrant une roche. Il prend naissance à partir de la roche, puis évolue sous l'action des facteurs du milieu, essentiellement le climat et la

végétation. Le sol apparait, s'approfondit, se différencie en strates superposées ou horizons pédologiques, en état d'équilibre avec la végétation et le climat. Pour Beauchamp (2006), le sol peut être défini comme le produit remanié et organisé de l'altération de la couche superficielle de la croûte terrestre, essentiellement sous l'action d'agents climatiques et biologiques. Il est le siège d'un échange intense de matière et d'énergie entre l'air, l'eau et les roches. Il est le support et le pourvoyeur d'éléments nutritifs des plantes. Les sols constituent donc le résultat d'une altération géochimique basée sur une hydrolyse totale, avec recombinaison des constituants des minéraux

En milieu tropical, l'altération est beaucoup développée et le processus dominant est l'hydrolyse forte. Cette hydrolyse est cependant freinée en saison sèche. En fonction des processus d'altération, les argiles, résultant de la destruction de ces minéraux, auront trois origines :

- l'héritage, où les argiles sont directement issues d'une roche-mère sédimentaire, sans aucune modification de leur structure. Il s'agit là d'une simple microdivision des éléments, sans transformation chimique ;

- la transformation, qui a lieu, à partir d'autres minéraux argileux, par une réaction chimique mineure, où les minéraux perdent certains ions mobiles, tout en conservant leur structure. Par exemple, dans une transition mica - argile, les nouveaux minéraux argileux formés à partir des micas (muscovites, biotites et chlorites), conservent plus ou moins leur réseau cristallin (Beauchamp, 2006 ; Marcel et Ferry, 2006; Anonyme, 2010c). Les résultats de cette transformation dépendent de la topographie qui, à son tour, détermine l'intensité du drainage. Ainsi, sur un versant, lorsque le drainage et le lessivage sont bons, la formation d'argile de type 1/1, telle la kaolinite, est favorisée. Au contraire, dans une cuvette, milieu confiné où se concentrent les solutions, la formation des smectites, comme la montmorillonite, est privilégiée.

Diverses théories courent sur le développement des complexes d'altération (Anonyme, 2010b). En général, les principaux minéraux altérés sont des silicates, du quartz (silice), et des carbonates. L'altération de certains minéraux primaires, comme les feldspaths ou les micas, peut entraîner la libération, quoique très lente, du K de ces minéraux. Dans ce cas, le potassium disponible peut devenir du K assimilable (Beauchamp, 2006). En effet, les micas tels que les biotites et muscovites vont libérer les ions K et Fe qui donnent naissance à des glauconites, se transformant en illites, puis en montmorillonites de dégradation.

En fonction du temps, trois types d'altération sont observés :

- la ferstallitisation : c'est le processus qui donne les argiles gonflantes dominantes. Il affecte les silicates, entre autres, les feldspaths, qui sont plus facilement attaqués que le quartz.

- la ferruginisation : elle a lieu en milieu chaud et sec, et consiste en la formation d'oxydes ou d'hydroxydes de fer.

- la ferrallitisation, qui, à la longue, peut aboutir à la formation de la latérite. Le rôle accélérateur de l'augmentation de la température et des précipitations est décisif dans l'état d'équilibre atteint. Selon Legros (2007), la vitesse de réactions chimiques est multipliée par deux, dès que la température augmente de 283 K. Zombré (2003), au Burkina Faso, a noté que la nature du matériau était d'une grande importance. Il a, en effet, noté que :

- les matériaux acides (issus de roche acide ou de cuirasse originellement acide) sont caractérisés par un complexe d'altération à dominante kaolinitique ;

- pour les matériaux neutres, où la cuirasse ferrugineuse provient du moyen glaciaire et le fort drainage, l'altération génère plus de kaolinite ;

- sur les matériaux basiques, l'altération des sols évolués ne fournit de smectites que quand le milieu est confiné dans un environnement alcalino-terreux. Par ailleurs, il a fait remarquer que, pour un même type de sol, il n'y avait pas de différence de minéralogie d'argile entre milieu végétalisé et milieu nu, aussi bien dans les croûtes que dans les horizons de sol.

Le résultat de cette hydrolyse est souvent une solution de silice et de cations (K^+ , Mg^{++}) et un minéral argileux selon l'équation $Minéral\ I + eau \rightarrow Minéral\ II\ (argile) + ions$.

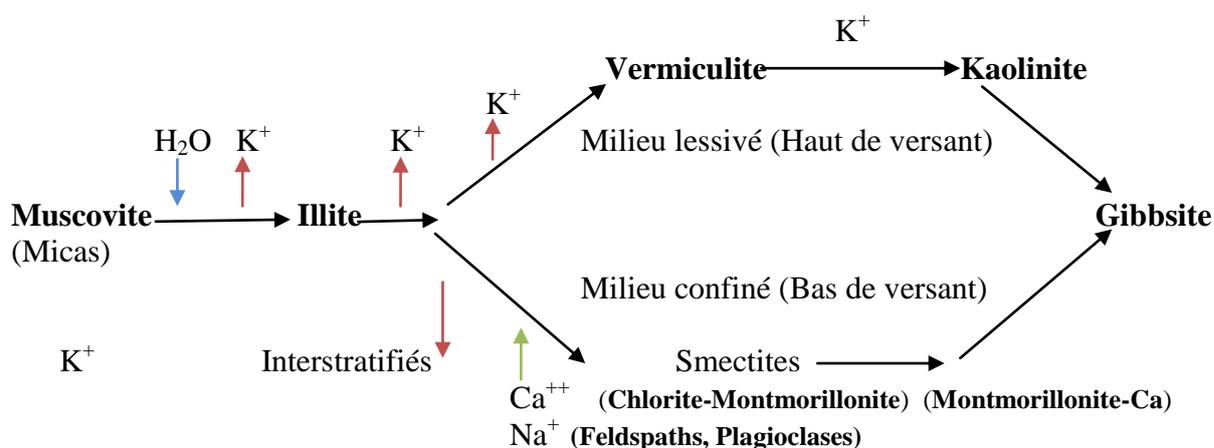


Figure 3 : Processus de formation des argiles en zone soudano-sahélienne

Les argiles confèrent au sol sa structure et ses propriétés mécaniques. Elles sont associées aux autres composants, et constituent les complexes argilo-humiques ou organo-minéraux; leur teneur peut dépasser 50 p.c. Elles sont souvent à l'état floculé, généralement par l'action des ions Ca^{++} et H^+ , ce qui donne au sol ses qualités agronomiques: bonne aération entre les agrégats, retrait modéré à la dessiccation, bonne perméabilité à l'air et l'eau. En revanche, les sols dont les argiles sont dispersées, et non floculées, présentent des caractères défavorables à la culture: mauvais état structural, mauvaise circulation de l'air et de l'eau, retrait important à la dessiccation, forte adhérence aux outils travaillant le sol.

La capacité d'échange en cations des argiles (Tableau II) fait qu'elles constituent, avec les matières organiques, le principal réservoir en éléments nutritifs des sols et conditionnent en grande partie leur comportement vis-à-vis des plantes cultivées.

Tableau I : Caractéristiques et pouvoirs de fixation en cations de quelques argiles

Minéral	Surface interne	Surface externe (m^2/g)	Surface totale	C.E.C ($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)
Kaolinite	0	10-30	10-30	5-15
Illite	20-55	80-120	100-175	10-40
Smectites	600-700	80	700-800	80-150
Vermiculite	700	40-70	760	100-150
Chlorite	-	100-175	100-175	10-40

Source : Anonyme, (2010b)

En zone soudano-sahélienne, nous notons que les pouvoirs de fixation des cations par les argiles représentent, généralement, le tiers de ce qu'on observe en climat tempérée. L'agressivité de l'altération, ainsi que les brusques changements entre les saisons, sont peut-être à l'origine des faibles CEC des argiles dans nos sols.

1.6. Sols

Les études pédologiques publiées sur le Burkina Faso (Boulet et Leprun, 1969 ; BUNASOLS, 1985, 2003), ont permis d'établir la carte des principales unités pédologiques du pays, et d'en indiquer les principales caractéristiques. Les différents types de sol rencontrés sont :

◆- les sols minéraux bruts, peu profonds et difficiles à pénétrer par les racines des plantes. Ils ont un faible intérêt agronomique, et représentent environ 3,2 p.c. de la superficie du pays ;

◆- les sols peu évolués (26,2 p.c.), souvent associés aux sols ferrugineux tropicaux, et à faible aptitude agronomique. Toutefois, lorsque la pression démographique l'exige, ces sols sont mis en culture, comme c'est souvent le cas sur le plateau central ;

◆- les vertisols (5,8 p.c.), les sols bruns eutrophes (6,2 p.c.) et les sols halomorphes (4,8 p.c.), se caractérisant souvent par une importante proportion en minéraux argileux gonflants ;

◆- les sols bruns eutrophes se différencient des vertisols par des horizons moins compacts, une plus faible teneur en argile, une teneur en matériaux grossiers plus élevée et une meilleure porosité. Du fait de leur potentiel chimique élevé, ils constituent les meilleurs sols du Burkina Faso. Leurs teneurs en K échangeable varient de 0,20 à 0,70 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$, avec un K total d'environ 1 à 4 mg kg^{-1} . Les sols bruns sont caractéristiques des pays tropicaux à saison sèche marquée. Le processus de formation de ces sols est lié aux conditions physico-chimiques de la station, notamment d'hydromorphie (Baisse du pH, dans un milieu saturé d'eau réductrice), liée à la topographie, due aux conditions de climat (tropical humide à saison sèche), ou aux conditions stationnelles (roche éruptive libérant beaucoup d'ions Ca et Mg), qui favorisent la néoformation massive de montmorillonite.

◆- les sols bruns subarides, fréquents au Nord, correspondent au faciès sahélien des sols bruns eutrophes.

◆- les sols halomorphes, associés, au Nord, aux sols bruns et aux sols ferrugineux et, connaissent au Sud, un développement très limité, sont associés aux vertisols.

◆- les sols bruns rouges subarides à recouvrement sableux d'origine éolienne de la zone sahélienne caractérisés par une grande fragilité et une faible capacité de rétention en eau, à vocation généralement pastorale.

◆- les sols ferrugineux tropicaux ou lixisols (39,1 p.c.) se caractérisent par une épaisseur variable (0,15 à plus de 2m), un horizon gris clair, une faible teneur en matière organique et en éléments chimiques, notamment en calcium, carbone et phosphore. Les teneurs en K échangeable varient de 0,05 à 0,34 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$, tandis que le K total va de 1 à 5 mg kg^{-1} .

Ils sont issus de sols ferrallitiques formés à une époque où la pluviométrie était bien plus abondante qu'aujourd'hui. Sous un climat chaud et très humide, une intense pédogenèse a donné naissance à des sols profonds et lessivés. Depuis, sous un climat plus contrasté, l'eau des nappes phréatiques remonte par capillarité entraînant les oxydes de fer et d'alumine qui cristallisent au contact de l'air, formant une cuirasse ferrugineuse. La profondeur de cette croûte est variable, mais elle affleure, généralement, sur les parties les plus hautes du relief

(escarpements, buttes ou sommet des interfluves), où se sont formés des lithosols de très faible épaisseur.

Les argiles de néoformation de type 1/1 (kaolinite) l'emportent sur les argiles 2/1 (Illite).

Les sols ferrugineux se forment, essentiellement, dans les régions où règne une très longue saison sèche, et sur un pédoclimax de savane à graminées. Ces sols sont riches en fer et en argile kaolinitique, mais, pratiquement, voire totalement, dépourvus d'alumine libre.

Au Nord du pays, les sols ferrugineux tropicaux (lixisols) se constituent aux dépens des sables éoliens fixés, en forme de minces bandes horizontales. Au centre et, surtout, au Sud, une relative abondante pluviosité contribue à la formation de sols lessivés.

◆- les sols ferrallitiques (ferralsols) moyennement désaturés sont caractérisés par une altération intense des minéraux primaires. Très profonds (6 m), les sols ferrallitiques sont rouges, à pH acide, perméables, chimiquement pauvres. Leurs teneurs en K échangeable varient de 0,10 à 0,60 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ avec une moyenne de 0,26. Le K total va de 0,5 à 3,5 mg kg^{-1} . Une famille de ces sols recouvre des surfaces importantes, sur grès, de Bobo-Dioulasso à Orodara à l'Ouest, et de Bobo-Dioulasso à Bondoukuy, au Nord.

Le profil type d'un sol ferrallitique comporte une partie profonde, de plusieurs mètres, avec un horizon d'altération, résultat d'une hydrolyse totale où s'évacuent les bases et la silice. Cet horizon est surmonté d'un horizon très épais, généralement, saturé d'eau, appelé zone tachetée (Zt) ou saprolithe, plus acide, où a lieu la néoformation de kaolinite.

Dans la partie supérieure (1 à 3 m), sous l'influence de la matière organique; on observe deux types d'horizons B : B₁, ocre, à goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) et B₂, rouge, à hématite (Fe_2O_3). Ces sols se développent sur du matériau gréseux, et se caractérisent par un profil très épais (plus de 7 m), une couleur homogène rouge foncée.

◆- les sols hydromorphes, caractérisés par un excès d'eau temporaire, se subdivisent en :

- sols hydromorphes à pseudogley, structurés sur matériau argilo-sableux, colluvial-alluvial, et sur matériau argileux issu de schistes. Ils ont des teneurs en azote et en phosphore faibles à moyennes. Le potassium échangeable y est d'environ 0,18 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$, tandis que le K total est de 0,7 à 5 mg kg^{-1} .

- sols hydromorphes inondés, ou fortement engorgés en surface, ou sur l'ensemble du profil. Ce sont soit des sols à pseudogley, à taches et concrétions, modaux, soit des sols à pseudogley structurés, ou encore des sols à gley. Ces sols ont des potentialités variables et une vocation essentiellement rizicole.

Ces formations sont représentées en zone soudano-sahélienne par les cuirasses et les carapaces. Les carapaces et cuirasses sont donc des indurations de sesquioxides de fer, qui cristallisent sous l'effet des températures élevées. On parle de carapaces quand ces indurations peuvent être brisées à la pioche, et de cuirasses quand les dalles ne peuvent plus être brisées par des outils maniés à la seule force humaine.

En général, les sols du Burkina Faso ont une profondeur limitée par une cuirasse qui affleure en surface en certains endroits. Le niveau de la réserve en eau varie selon le segment topographique. Généralement faible (< 60 mm) en haut de versant, la réserve utile peut dépasser 150 mm/m de sol dans les sols alluvionnaires, le long des cours d'eau.

En ce qui concerne les différentes formes de potassium existant dans les sols, ainsi que leur provenance, en particulier, pour les terres sous culture, les processus d'altération dominant en zone soudano-sahélienne montrent clairement, que la nature de la roche-mère intervient sur la teneur en potassium des sols.

1.7. Milieu humain

Le dernier recensement effectué en 2006 (INSD, 2006), évalue la population administrative à 14.017.262 habitants dont 52 p.c. de femmes et un taux de croissance annuel d'environ 3,1 p.c. Environ 77 p.c. de cette population vivent en milieu rural et 46,6 p.c. ont moins de 15 ans. La population du Burkina Faso est très irrégulièrement répartie sur l'ensemble du territoire. La densité est de 51,8 habitants/km² au niveau national, avec de fortes variations entre les régions. Ainsi, la densité varie entre 10,2 hbts/km² dans la Kompienga et 94,7 hbts/km² dans le Zandoma (INSD, 2006). Dans les régions densément peuplées, on assiste à un appauvrissement très rapide des sols et à une dégradation accélérée de la végétation, suite à une agriculture d'autosubsistance de type extensif.

1.8. Activités socio-économiques

L'économie Burkinabè est caractérisée par une prédominance du secteur agricole, avec environ 3,5 millions d'ha mis en culture chaque année, sur une superficie agricole totale de 8.915.000 ha, soit 1/3 du territoire national (CEDEAO, 2006). Ce secteur occupe 80 p.c. de la population, contribue pour 30 à 35 p.c. à la formation du PIB, et génère 80 p.c. des recettes d'exportations. Toutefois, les systèmes de cultures sont caractérisés par une faible productivité.

En effet, l'agriculture burkinabé est avant tout une agriculture de subsistance, basée sur les céréales (sorgho, mil, maïs, riz et fonio), qui occupent, à elles seules, plus de 88 p.c. des surfaces emblavées, ne laissant qu'une portion congrue aux cultures de rente et aux autres cultures vivrières. C'est une agriculture extensive, dominée par de petites exploitations familiales de 3 à 6 ha, en moyenne, et qui fait face à d'importantes contraintes limitant ses performances : faibles capacités techniques, équipement insuffisant des producteurs, mauvaise organisation des filières, faibles compétitivités.

Les systèmes de culture vont de l'élevage nomade au Nord, à l'exploitation soudano-guinéenne, avec culture de tubercules, au Sud, en passant par le système de culture caractéristique de l'exploitation soudano-sahélienne, de type coton-céréales. Ces systèmes de culture sont tous fonction des zones climatiques. La zone climatique nord-soudanienne, la plus cultivée du pays, peut recevoir, quasiment, toutes les cultures pratiquées au Burkina Faso.

Cette agriculture occupe 9 p.c. des ressources en terre. Mais, au rythme actuel de croissance des superficies cultivées, le potentiel arable sera saturé à partir de 2033. D'une manière générale, dans les différents agro-systèmes, le niveau de dégradation des terres est préoccupant. Cet état de dégradation est lié, non seulement aux caractéristiques intrinsèques des sols, mais aussi aux facteurs climatiques, anthropiques et socio-économiques. Dans la partie Sud du pays, cette dégradation est faible (65 p.c.) à moyenne (27 p.c.).

1.8.1. Caractéristiques des systèmes de production agricoles

L'agriculture burkinabé se pratique essentiellement dans de petites exploitations familiales (environ 800.000 exploitations), de 3 à 6 ha maximum. Les superficies cultivables sont estimées à 9 millions d'hectares (soit environ 30 p.c. de la superficie totale du pays). Seulement 3,5 à 4 millions d'hectares sont effectivement cultivés chaque année (Blein *et al.*, 2008). Elle est extensive, et caractérisée par sa faible productivité. Elle est, essentiellement, pluviale, car, seulement 24 000 ha, environ, sont irrigués, pour un potentiel irrigable de 233.500 ha. Les cultures irriguées sont le riz, la canne à sucre et les cultures maraîchères.

* Pour les cultures pluviales, les superficies occupées par les céréales, en 2008, ont été 3 840 969 ha, contre 621 521 ha pour les cultures de rentes et 135 170 ha pour les autres cultures vivrières (DGPER, 2009). La proportion des superficies fertilisées par les engrais minéraux (NPK, urée) par rapport aux superficies totales cultivées était de 29,3 p.c. en 2006. D'une moyenne de 15 p.c. au cours de la période 1993-96, le ratio oscillait autour de 24 p.c.

au cours de la période 1997-2005 et a atteint 29 p.c. en 2004 et en 2005 (DGPER, 2007). Cela pourrait s'expliquer par l'accroissement des superficies de coton, qui bénéficient de fertilisants par rapport aux autres spéculations. Ce ratio est en baisse ces dernières années à cause de la diminution des superficies cotonnières amorcées depuis 2006, le coton étant la principale culture fertilisée permettant, en outre, de financer l'engrais céréales dans les zones cotonnières.

Les doses théoriques appliquées sont en moyenne de 8 kg ha⁻¹, en faisant le rapport de la quantité totale d'engrais sur l'ensemble des superficies emblavées. Sur cette base et selon les résultats de la DGPSA (2006), les doses à l'hectare des cultures sur la période 1993-2005 étaient de 146 kg ha⁻¹ pour les cultures de rente, contre 75 kg ha⁻¹ pour les céréales et 68 kg ha⁻¹ pour les autres cultures vivrières. Cependant, pour l'ensemble du pays, les statistiques disponibles indiquent qu'au total, seulement, 3 p.c. des surfaces cultivées sont fertilisés selon les normes en vigueur. Ce qui donne une moyenne nationale d'utilisation d'engrais d'environ 10 kg ha⁻¹ (CEDEAO, 2006 ; Bationo *et al.*, 2010).

Les productions céréalières sont évaluées à 4 213 256 tonnes en 2008, et l'augmentation de la production observée au cours des années 2001, 2002 et 2003 est davantage liée à l'accroissement des superficies (qui explique à 57 p.c. l'accroissement de la production céréalière) qu'à celui des rendements. En effet, les rendements céréaliers sont faibles, dans l'ensemble. Ils sont restés en dessous d'une tonne par hectare pour le sorgho (0,872 t ha⁻¹), le mil (0,749 t ha⁻¹), et le fonio (0,716 t ha⁻¹). Ils sont de 1,517 t ha⁻¹ pour le maïs et 1,9 t ha⁻¹ pour le riz.

Les superficies des cultures de rente ont connu un accroissement moyen annuel de 5,6 points, dont 4 points imputables au coton. Elles ont eu une croissance moyenne de 16,31 p.c., entre 2003 et 2008. Le coton qui est la première culture de rente, de par les superficies cultivées, a connu une forte croissance des superficies dès les années 2000, à la faveur d'un plan de relance de cette filière, mis en œuvre en 1995. Ceci a permis d'atteindre un maximum de 621 748 ha en 2005. Les baisses des superficies cotonnières, entre 2000 et 2007/2008, sont liées, essentiellement, à des problèmes climatiques et à la baisse tendancielle du prix d'achat au producteur (175 F CFA contre 155 F CFA).

Toutes les cultures du Burkina Faso peuvent s'adapter au secteur soudanien méridional, toutefois, on y rencontre des zones de spécialisation. La zone ouest demeure, par excellence,

celle de la culture du cotonnier, du maïs, du fonio et des arbres fruitiers. Dans le cas du coton, une analyse approfondie de l'évolution de la production cotonnière permet de mettre en exergue les éléments suivants :

- le niveau global de la production a été largement influencé par l'accroissement des superficies emblavées, et surtout par la politique de prix d'achat garanti aux producteurs ;
- un déplacement de la production cotonnière du centre-nord vers le sud-ouest du pays (ces zones regroupent actuellement 85 p.c. de la production totale), du fait de la dégradation de l'environnement. Cette dégradation du milieu peut, à long terme, entraver la durabilité de la filière coton. Cependant, chaque année, environ 500.000 ha de terres sont consacrées à la culture cotonnière.

La production du coton a connu une forte progression, de 2001 jusqu'en 2006, puis, une baisse importante, en 2007/2008. La chute de la production, constatée depuis 2007, s'explique par l'effet conjugué de la baisse du prix du coton graine aux producteurs et de la hausse des prix des intrants.

L'analyse, par spéculation, montre que le rendement du coton, malgré les fertilisants dont il bénéficie, a été, en moyenne, de 1 t ha^{-1} , entre 1998 à 2008, mais, avec une tendance à la baisse ces trois dernières années. L'accroissement de la production de coton est expliqué par l'augmentation des superficies, et non par un gain en termes de productivité.

L'égrenage du coton graine est assuré par 18 unités d'égrenages des sociétés cotonnières, mais la transformation de la fibre de coton est seulement assurée, aujourd'hui par la Filature du Sahel (FILSAH), qui transforme entre 2 et 3 p.c. de la production nationale. Dans le secteur de la trituration, foisonne une multitude d'unités semi industrielles, aux côtés de la SN-CITEC, qui a une capacité de trituration de 225.000 tonnes, la SOFIB (20.000 tonnes) et JOSSIRA (30 000 tonnes), qui sont les principales unités industrielles de production d'huile à base de graine de coton. On estime à 50 000 tonnes la capacité des tritrateurs artisanaux. Les besoins en huile alimentaire sont estimés à 72 000 tonnes. La transformation des graines de coton permet de couvrir 52 p.c. de ces besoins.

* En cultures irriguées, les superficies actuellement aménagées et exploitées ont été estimées à 28.410 ha en 2006, ce qui représente, seulement, 12,2 p.c. du potentiel irrigable (DGPSA, 2006). A la base de cette réalité se trouve, en premier lieu, le coût élevé de l'hectare aménagé (4 à 5 millions de FCFA avant dévaluation et 7 à 10 millions après, pour les grands et moyens périmètres).

Les spéculations produites sous irrigation sont essentiellement le maïs, le riz et les produits maraîchers. La part de la superficie irriguée dans la superficie totale cultivée se situe en moyenne, autour de 0,46 p.c., au cours de la période 1993-2006. En 2006, les superficies exploitées en irrigué représentaient 0,63 p.c. des superficies cultivées, ce qui correspondrait à 4 533 149 ha (DGPER, 2009). C'est dire donc que l'agriculture burkinabè dépend essentiellement de la pluviométrie, et, par conséquent, subit les caprices de celle-ci.

* L'élevage est caractérisé d'une part, par l'existence d'un cheptel, numériquement, important et diversifié, et, d'autre part, par un système d'exploitation extensif, qui tente de s'adapter à la variabilité saisonnière et interannuelle des ressources pastorales. La contribution de l'élevage à la formation de la valeur ajoutée nationale est estimée à, environ, 259 milliards de F CFA, soit près de 15 p.c. Cette valeur ajoutée prend en compte celle dégagée au stade producteur, estimée à 195 milliards de F CFA, et celle générée par les activités de commercialisation ou de transformation des produits animaux, estimée à 63,2 milliards.

* De nos jours, les ressources fauniques sont exploitées sous plusieurs formes : i) la chasse traditionnelle, ou chasse rituelle, ou coutumière, pratiquée par les populations locales; ii) la chasse sportive ; iii) le tourisme de vision ; iv) le ranching de gibier ; v) l'élevage de petits gibiers, initié depuis quelques années. Pour l'ensemble des acteurs dans le sous secteur des forêts, les recettes sont estimées à 4,394 milliards FCFA, en 2003, et à 5,568 milliards FCFA en 2015 (MEF, 2009). Dans ce domaine, l'Etat a engrangé la somme de 224 millions en 2003. Ces revenus sont estimés à 530 millions FCFA en 2015. Le chiffre d'affaires des concessionnaires passerait, selon les mêmes estimations, de 1,036 milliards FCFA, en 2003, à 1,800 milliards, en 2015 (MEF, 2009).

* Concernant l'exploitation des ressources halieutiques, la production nationale de poisson découle, essentiellement, de la pêche de capture, et prend, de plus en plus, de l'importance, avec la construction de nouveaux grands barrages.

1.8.2. Organisations de producteurs de coton

Au regard de l'importance économique du coton, et pour développer la production du coton, la SOFITEX a élaboré, à partir de 1995, un plan de relance, qui a permis aux producteurs de s'organiser, autour de la caution solidaire, en différents groupements de producteurs de coton (GPC), en unions départementales de producteurs de coton (UDPC) et

en unions provinciales de producteurs de coton (UPPC), puis, en une union nationale des producteurs de coton du Burkina (UNPCB), pour assurer la production (UNPCB, 2007).

Les GPC ont été créés à partir de 1996, en remplacement des groupements villageois (GV) (CNCA-SOFITEX, 1995). Ils sont régis par les dispositions de la loi N°014/99/AN du 15 avril 1999. Ils sont constitués sur la base d'affinité, d'appartenance à une même famille ou un même quartier. De ce fait, un village peut comprendre plusieurs GPC. Au nombre de 12 250, au plan national, chaque GPC comprend 15 à 20 membres, ou produisant 40 tonnes de coton graine.

L'union nationale des producteurs de coton du Burkina a été créée le 15 Avril 1998, l'UNPCB est régie par la loi N°014/99/AN du 15 Avril 1999, portant réglementation des sociétés coopératives et groupements. Elle est la structure faîtière, qui réunit l'ensemble des organisations des producteurs de coton (GPC, UDPC, UPPC).

CHAPITRE II : CONTEXTE DE LA ZONE DE PRODUCTION SOFITEX

La zone de production SOFITEX, située à l'Ouest du Burkina Faso (Fig. 4), est déterminée par le décret N°2001-763/PRES/PM/MCPEA/MEF/AGRI du 31 décembre 2001 tel que modifié par le décret n°2003-301/PRES/PM/MCPEA/MFB/MAHRH du 16 juin 2003. Dans cette zone, la SOFITEX assure les activités de production cotonnière. Le nombre total des producteurs de coton était estimé à 186 292 au cours de la campagne 2005/2006 à 234 758 en 2006-2007. L'Ouest est la zone la plus importante en termes de superficie et de quantité de coton produite. En effet, la production cotonnière dans cette zone est passée de 147 000 tonnes, en 1995, à 600 378 tonnes, en 2006, pendant que les superficies passaient de 170 000 ha à 558 611 ha pour la même période (SOFITEX, 2007).

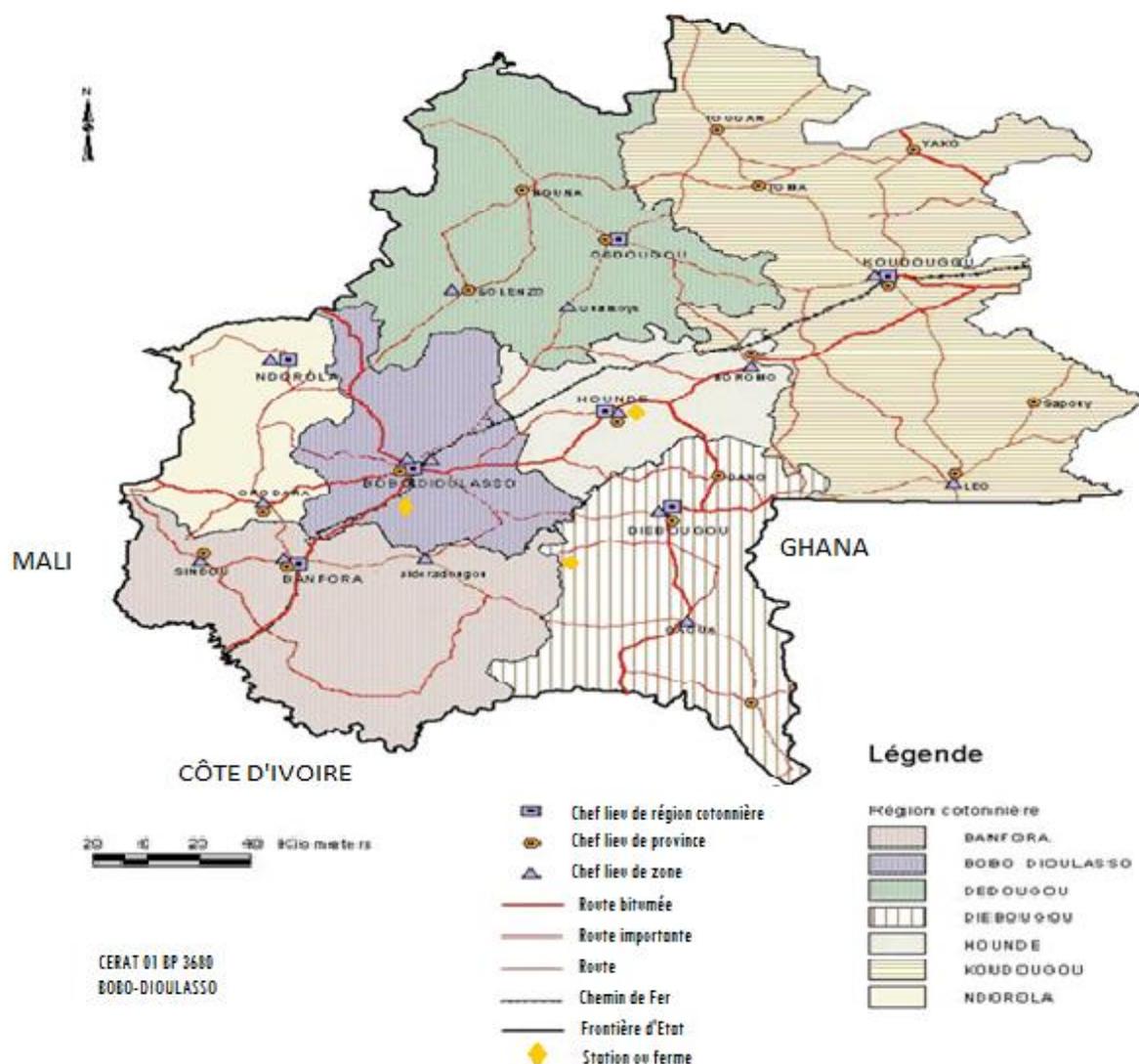


Figure 4 : Carte de la zone SOFITEX

2.1. Localisation

La zone cotonnière ouest du Burkina Faso est située entre le 10^e et le 14^e parallèles Nord. Elle couvre les centres régionaux de promotion agro-pastorale des Hauts-Bassins, de la Boucle du Mouhoun, du Sud-Ouest et de la région des Cascades, et est soumise à un climat tropical de type soudano-sahélien. Cette zone comprend les régions de la Boucle du Mouhoun, des Hauts Bassins, des Cascades, du Centre-Ouest et du Sud-Ouest. Elle est composée de vingt (20) provinces dont deux non productrices de coton : les Balés, les Banwa, le Bulkièmdé, la Comoé, le Houet, le Kéné Dougou, la Kossi, la Léraba, le Mouhoun, le Nayala, le Noumbiel, le Poni, le Sanguié, la Sissili, le Tuy, le Ziro, le Ioba, et le Sourou (MATD, 2005). Elle est située dans la fenêtre géographique $-5,5^{\circ}\text{O}-2,5^{\circ}\text{O}$ et $9,5^{\circ}\text{N}-13,75^{\circ}\text{N}$, avec une superficie totale estimée à 94.089 km² soit 35 p.c. de la superficie totale du pays. Cette zone fournit 75 à 90 p.c. de la production cotonnière du pays. La station de Farako-bâ (près de Bobo-Dioulasso), la ferme de Boni (près de Houndé) ainsi que la ferme de Mwauvoun sont toutes situées dans cette zone.

2.1.1 Sites d'étude

2.1.1.1. Station de Farako-bâ sur sol ferrallitique (Ferralsol) développé sur grès

La station de Farako-bâ, siège du Centre Régional de Recherches Agricoles (C.R.R.A) du Sud, se situe sur la longitude $04^{\circ}20'$ Ouest et sur la latitude $11^{\circ}06'$ Nord, à une altitude de 405 m (432 m en P15).

Le climat est de type Sud-Soudanien et la pluviométrie moyenne calculée sur les dix dernières années est de 1014,4 mm. Les températures minima et maxima sont, respectivement, de 287,8 K, en décembre, et 308,8 K en avril. L'évapotranspiration potentielle (ETP) varie de 8,9 mm/jour en janvier-février à 3,7 mm/jour en août.

La station de recherches agricoles de Farako-bâ repose sur du grès, avec essentiellement deux types de sol. En effet, le bloc Sud ou P Sud est dominé par les sols ferrugineux tropicaux sableux ou gravillonnaires avec des pentes variables selon les parcelles de 2 à 4 p.c. Le bloc Nord ou P Nord, site de nos expérimentations, est dominé par les sols ferrallitiques moyennement désaturés, avec une pente moyenne de 2,43 p.c. Ces sols correspondent aux sols ferrallitiques moyennement désaturés, remaniés, sur matériaux argilo-

sableux issus de grès (Rieffel et Moreau, 1969). Les caractéristiques morphologiques essentielles du profil sont une grande profondeur (6 m), une couleur rouge à rouge foncé et une grande homogénéité. La cohésion d'ensemble est moyenne, malgré une teneur en argile élevée. Les caractéristiques analytiques de ces sols sont:

- des réserves en matières organiques et de taux d'azote faibles dans l'horizon humifère ;
- des teneurs en bases échangeables faibles, puisque dans tout l'horizon B, le taux de calcium est inférieur à $0,5 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$. Les taux de saturation reflètent cette faiblesse, car ils sont inférieurs à 40 p.c. dans l'horizon B, justifiant le classement dans la sous-classe moyennement désaturée ;
- des pH variant entre 5,1 et 5,4 ;
- des perméabilités bonnes à élevées, supérieures à 4 cm/h, dans l'horizon B ;
- de très faibles teneurs en potassium échangeable, devenant nulles à partir de 4 m de profondeur.

Ces sols correspondent aux ferralsols rhodiques de la classification FAO *et al.* (1999).

2.1.1.2. La ferme de Boni sur sol ferrugineux développé sur granite

Le domaine Sofitex, d'une superficie de 102 ha 43a 61ca, est situé à environ 10 km, à l'Est de Houndé, sur l'axe Bobo–Ouaga. Ces coordonnées géographiques, déterminées au GPS, sont :

- latitude : $11^{\circ}33'21,7''$ Nord;
- longitude : $3^{\circ}26'5,1''$ Ouest ;
- l'altitude moyenne est d'environ 343 m.

Il est limité, à l'Est, par une végétation naturelle du terroir du village de Boni ; à l'Ouest, par une végétation naturelle et des champs paysans du terroir du village de Bansié ; au Nord, par des exploitations paysannes appartenant aux deux villages ; au Sud, par la route nationale N°1, c'est-à-dire l'axe Ouagadougou-Bobo-Dioulasso.

Sur les vingt dernières années, la pluviométrie moyenne y a été de 954 mm de pluie en 54 jours.

La ferme expérimentale de Boni, sur laquelle les tests ont été conduits, a un climat de type sud soudanien, caractérisé par une saison pluvieuse s'étendant de mai à octobre, et une saison sèche, de novembre à mai. La pluviométrie annuelle varie entre 800 et 1000 mm,

répartis sur 50 à 75 jours. Cette ferme est dominée par des sols ferrugineux tropicaux remaniés, indurés, sur matériaux gravillonnaires, et à lithosols sur cuirasse, avec une pente moyenne de 2,42 p.c. En fonction du segment topographique et de la profondeur de l'horizon latéritique, on y distingue :

- les sols ferrugineux tropicaux superficiels;
- les sols ferrugineux tropicaux peu profonds ;
- les sols ferrugineux tropicaux moyennement profonds ;
- les sols ferrugineux tropicaux profonds ;
- les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes en bas de versant.

Ces sols, généralement dépourvus d'aluminium libres, sont le plus souvent riches en sesquioxides de fer et en oxydes de manganèse. La kaolinite, mêlée d'illite, et les oxydes métalliques, constituent les colloïdes minéraux de ces sols.

2.1.1.3. La ferme de Mwauvoun

Cette ferme agro-sylvo-pastorale, d'une superficie d'environ 150 ha, est implantée à Bamuru, ancien hameau de culture en terroir Godogo, proche du village de Gaulofaso (Département de Iono-nioro, dans la province de la Bougouriba), à 10 km, au Sud-Est du village de Diosso, soit à environ 80 km, au Sud-Est de Bobo-Dioulasso. Les coordonnées géographiques, déterminées au GPS, sont les suivantes :

- latitude : 10° 43' 20,5'' Nord ;
- longitude : 3° 50' 32,7'' Ouest ;
- altitude : 296 m.

Elle est limitée, au Nord, par la Bougouriba, un cours d'eau à écoulement semi-permanent (8 mois/an); à l'Est, et au Sud, par des collines rocheuses de grès et/ou de basalte ; à l'Ouest, par des exploitations agricoles appartenant à d'autres producteurs. On y distingue plusieurs types de sol :

- les sols ferrugineux tropicaux sableux, sur grès, avec une pente moyenne de 2,3 p.c. ;
- les sols ferrugineux tropicaux gravillonnaires, sur granite, avec une pente moyenne de 3 p.c. ;
- les sols bruns eutrophes tropicaux sur basalte, avec des pentes, allant de 3 à 5 p.c. ;
- les sols ferrallitiques en inclusion, sur grès;
- les sols ferrugineux hydromorphes, dans la partie supérieure du bas-fond ;

- les sols alluvionnaires de bas-fond.

Le climat est de type sud soudanien, caractérisé par une saison pluvieuse s'étendant de mai à octobre, et une saison sèche de novembre à mai. La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1100 mm, répartis sur 60 à 80 jours.

2.2. Climat

La zone cotonnière s'étend sur deux zones climatiques :

- la partie soudano-sahélienne, au Nord (Dédougou), où les pluies s'installent, généralement, à la mi-juin, avec un léger retard par rapport à la zone Sud ;
- la partie soudanienne au Sud (Bobo-Dioulasso-Diébouyou). Cette zone bénéficie généralement, des premières pluies, avec la remontée du FIT, qui progresse vers le Nord, favorisant une installation des pluies, relativement, plus tôt, à la fin mai.

Les variations spatio-temporelles des pluies ont entraîné, ces dernières années, un déplacement latitudinal de l'isohyète 900 mm vers l'extrême Sud, et, cela, au rythme d'environ deux degrés tous les dix ans, avec une diminution du nombre de précipitations journalières, supérieurs à 40 mm (DNM, 2005).

La saison des pluies y est suffisamment longue pour permettre une production agricole. Mais, la pluviométrie est très souvent irrégulière, et la variabilité qui joue sur la production des cultures est interannuelle ou saisonnière, car, d'une manière générale, à l'intérieur même de cette zone, les conditions climatiques sont variables dans le sens Nord-Sud, à l'instar de la pluviométrie.

2.2.1. Pluviosité

Le climat de toute la région est marqué par de larges variations des précipitations, une année sur l'autre.

- En plus de ces variations interannuelles, on observe une tendance climatique vers la sécheresse, donc une tendance à la baisse de la pluviosité. Dans la succession des périodes sèches et des périodes humides, on constate, également, que périodes humides et périodes sèches deviennent toutes de moins en moins pluvieuses.

En ce qui concerne les variations mensuelles, les observations météorologiques permettent de dire que :

- les pluies utiles, pour les plantes cultivées dans la région, compte tenu de leurs cycles végétatifs et de l'importance des précipitations, commencent en mai et s'arrêtent en octobre ;
- la pluviométrie du mois de mai est généralement faible, surtout au nord de la zone cotonnière (Dédougou) ;
- la pluviométrie des mois de juin et juillet a également tendance à diminuer, quoique suffisante, mais elle est très erratique ;
- le mois d'août a souvent une pluviométrie trop forte, et constitue, de ce fait, un facteur défavorable; elle peut être à l'origine de risques d'asphyxie par excès d'eau, ou d'un ensoleillement insuffisant, pouvant entraver le développement des plantes ;
- le mois de septembre, comme celui de juin, a une pluviométrie suffisante, mais faible ;
- la pluviométrie du mois d'octobre a une importance capitale, surtout si le mois de juin a été peu pluvieux.

En tout état de cause, on peut dire que les quantités d'eau tombées annuellement sont suffisantes pour assurer de bonnes productions cotonnière et céréalière. Mais, la mauvaise répartition des pluies, en début et en fin de saison pluvieuse, compromet fréquemment les productions agricoles.

Les rendements des cultures, surtout ceux du cotonnier (cycle de 150 jours) sont très étroitement conditionnés par la précocité des semis et par la pluviométrie du mois d'octobre, ce facteur ayant des effets d'autant plus importants que les semis sont tardifs.

L'aire culturale du cotonnier est donc limitée, au Nord, par l'isohyète 700 mm, et, au Sud, par l'isohyète 1200 mm. La longueur de la période de croissance varie de 160 à 200 jours.

2.3. Végétation et réseau hydrographique

La zone cotonnière, située principalement dans l'Ouest du pays, entre les isohyètes 700 et 1200 mm est entièrement couverte par le domaine soudanien.

La majorité des activités agricoles, notamment la culture du coton, a lieu sur des unités morpho-pédologiques de type glacis, résultant des unités géomorphologiques, de leur matériau lithologique et des types de sols qui en dérivent (BUNASOLS, 2005; 2006). Ce glacis peut être subdivisé en trois segments topographiques :

- le haut versant, dominé par les sols ferrugineux tropicaux lessivés, indurés, peu profonds, associés aux sols ferrugineux lessivés à concrétions ;
- le moyen versant, où les sols ferrugineux lessivés à taches et concrétions sont majoritaires, associés aux sols ferrugineux tropicaux indurés, moyennement profonds ;
- le bas versant, où dominent les sols ferrugineux lessivés hydromorphes, également, associés aux sols ferrugineux tropicaux indurés moyennement profonds.

Du point de vue réseau hydrographique, cette zone est parcourue par le Mouhoun et ses affluents, dont la Bougouriba. Le fleuve prend sa source dans la région de Banfora, à une altitude de 550 m, et où les précipitations dépassent 1000 mm. Il a un régime tropical irrégulier, reflétant le rythme des précipitations.

Pendant la saison des pluies, saison des hautes eaux, en août-septembre, la hauteur d'eau peut atteindre 6 m, avec des débits forts, pouvant atteindre, voire, dépasser $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Pendant la saison sèche, le niveau baisse, progressivement, et, en mars-avril, il atteint à peine 1,50 m, avec des débits très faibles, de l'ordre de $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Selon Fontes et Guinko (1995), la végétation de la zone ouest permet de distinguer deux secteurs soudaniens, à savoir :

- le secteur soudanien septentrional, qui concerne les provinces du Nord, Kossi, Mouhoun, Sourou, Banwa et Nayala, avec une pluviométrie annuelle comprise entre 600 et 900 mm ;
- le secteur soudanien méridional, qui recouvre les provinces de la Bougouriba, de la Comoé, du Houet, du KénéDougou, du Poni, du Noubiel, du Tuy et des Ioba, où la pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1200 mm.

Cette végétation est dominée par les formations ouvertes, à tapis graminéen important, que sont les savanes arborées et arbustives. On y note, cependant, la présence de formations plus denses au Sud, constituées de forêts claires ou sèches, et de galeries forestières. Les savanes herbeuses sont, quant à elles, généralement, des formes dégradées des autres formations, du fait de l'emprise humaine.

Les espèces fréquentes de la flore du secteur septentrional sont : *Andropogon pseudrapricus*, au niveau du tapis herbacé. Les espèces comme *Vittelaria paradoxa*, *Terminalia avicenoides*, *Pterocarpus erinaceus*, *Burkea africana*, *Deutarium microcarpum* et les *Combretum spp*, caractérisent les ligneux.

Dans le secteur méridional, on rencontre comme ligneux, *Isoberlinia spp*, *Burkea africana*, *Terminalia sp* et *Deutarium microcarpum*. Le tapis herbacé est surtout dominé par *Andropogon gayanus*. Dans les forêts et les formations ripicoles, se rencontrent, fréquemment,

Berlinia grandiflora, *Cola laurifolia*, *Syzysium guineense*, *Lophira lanceolata* et *Chlorophora exelsa*.

La zone ouest regorge de formations anthropiques constituées de parcs à *Acacia albida*, *Vittelaria paradoxa* (karité), *Parkia biglobosa* (Néré), *Lanea* et *Borassus flabellicifer* (Ronier).

2.4. Géomorphologie

La zone cotonnière ouest est située dans la plaine centrale, dont l'altitude d'ensemble varie de 250 à 350 m. Elle est dominée par une pénéplaine faiblement ondulée, qui révèle la présence de deux zones à savoir une zone de plateaux et une zone de plaines. Cette subdivision coïncide avec celle des formations géologiques.

Ainsi, la partie au nord-ouest est caractérisée par un plateau d'une altitude moyenne de 400 m, surface relativement ondulée. On y rencontre de nombreux sommets, dont le plus important, le mont Ténakourou, à l'Ouest, culmine à 749 m.

La plaine a une altitude moyenne de 300 m. Sa surface est fortement disséquée par de nombreux cours d'eau, organisés autour de la Bougouriba, de la Comoé et du Poni. La platitude d'ensemble de cette région n'exclut pas une certaine dénivellation. C'est ainsi qu'on y rencontre des collines à Bagassi, près de Boromo, les monts de Konkolikoro (621 m), de Nakorgo (561 m) dans le sud du secteur de Houndé, des collines birimiennes de Boni, des collines de roches vertes, dominant la plaine depuis Sikongo, au Sud-Est de Diosso, à Mana, en passant par Kongolikan-Dougoumato.

L'ensemble des cours d'eau de la région appartient à deux grands bassins : le bassin versant de la Comoé et celui du Mouhoun. Les plaines du Gondo, les plateaux sédimentaires, les collines de roches vertes, en zone sud soudanienne, et les milieux kaoliniques, en zone nord soudanienne, occupent la presque totalité de la région.

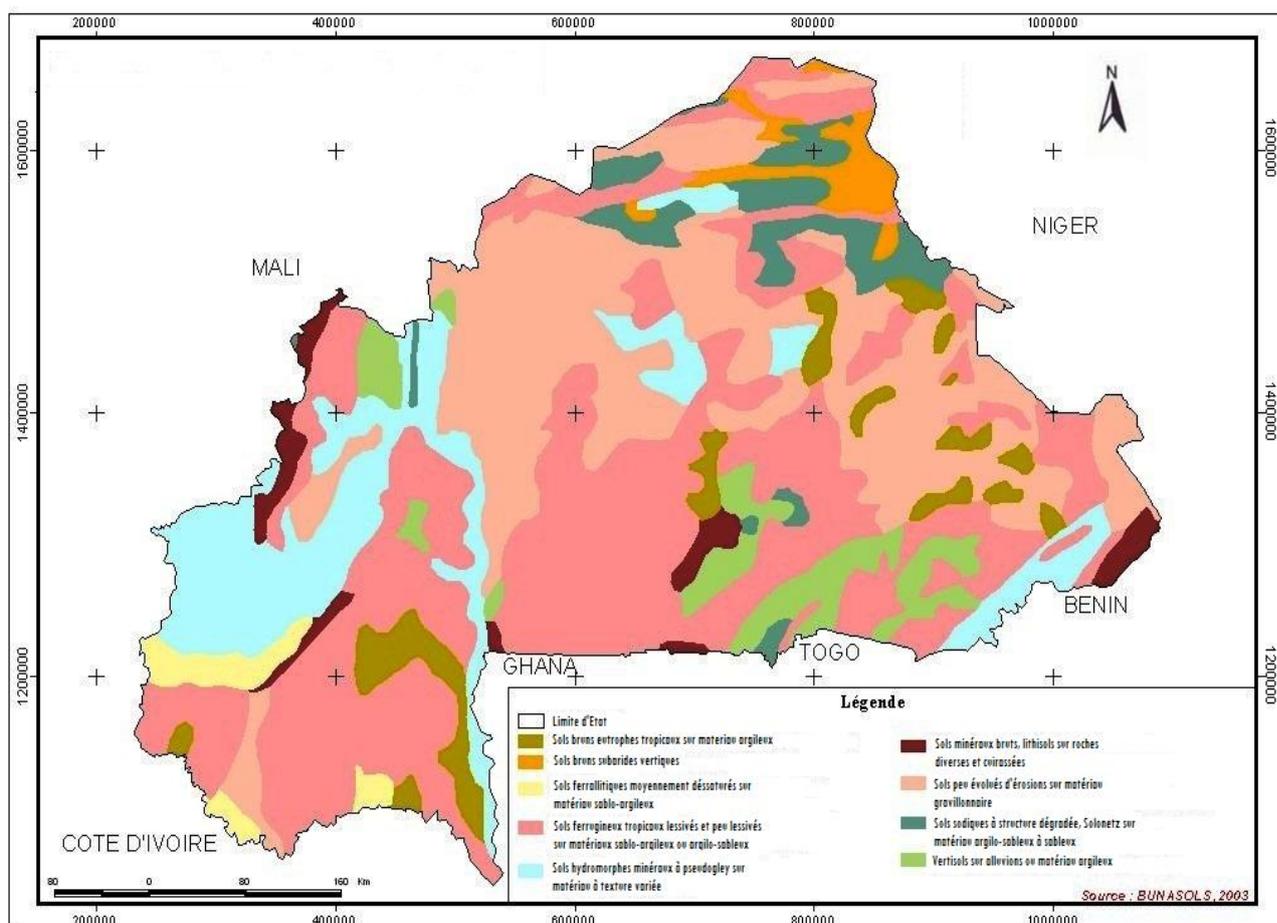


Figure 5: Principaux types de sols du Burkina Faso

2.5. Substratum géologique

L'étude géologique de la région révèle la présence de deux grands ensembles géologiques (Leprun, 1977 ; Hottin et Ouédraogo, 1992 ; BUNASOLS, 2003) :

- les formations sédimentaires ;
- les formations cristallines et volcano-sédimentaires.

Les formations sédimentaires, datant de l'antéquatenaire, occupent la partie nord-ouest de la région. Elles ont une orientation Nord-Ouest-Sud-Ouest. On distingue d'Ouest en Est :

- les grès de base ;
- les grès de Sotuba ;
- les grès à yeux de quartz ;
- les grès schisto-dolomitiques ;

- les grès roses ;
- les schistes ;
- les grès de Koutiala ;
- les grès de Bandiagara.

Situées au Nord-Est et au Sud-Est, les formations cristallines et volcano-sédimentaires, à orientation Nord-Sud, occupent à peu près la moitié de la région.

2.6. Sols en zone SOFITEX

Différentes études du Bureau National des Sols (2002, 2005, 2006) ont montré que la région ouest du Burkina Faso est caractérisée par une diversité de sols, liée notamment à la nature des substrats géologiques, au contexte géomorphologique et au paléoclimat (Fig. 4). Ainsi, sept unités taxonomiques de sols sont décrites en zone Sofitex, à savoir :

- ◆ les sols minéraux bruts, où l'on rencontre, essentiellement, les lithosols sur cuirasse (Plinthosols épipétriques), sur grès ou sur roches diverses (Reptosols lithiques). Ils sont caractérisés par une séquence d'horizon de type (A)R ;

- ◆ les sols peu évolués d'apport alluvial modaux (Fluvisols eutriques), ou hydromorphes (Fluvisols gleyiques), d'apport colluvial modaux (Lixisols ferriques) ou d'apport colluvial hydromorphes (Lixisols épi-gleyiques) ainsi que les sols peu évolués d'érosion (Leptosols lithiques), régosolique (Régosols épi-squelettiques (eutriques));

- ◆ les vertisols, toujours situés en bas de versant. Ils ont un profil de type A(B)C, A(B)gC ou A(B)Cg, plus ou moins homogénéisé par des mouvements internes. On y distingue les vertisols vertiques (Vertisols maziq-hypereutriques (hypogleyique)) et les vertisols hydromorphes (Vertisols pelliques eutriques);

- ◆ les sols brunifiés ou sols à mull (Cambisols), sont issus de l'altération de roches basiques (schistes, andésites, basaltes, gabbros) ou développés sur des matériaux issus de roches doléritiques, ou encore sur des alluvions argileuses. Les sols bruns eutrophes (Cambisols) sont argileux, profonds et à fertilité moyenne. On y distingue 5 sous classes :

- les sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisés (Cambisols gleyiques eutriques), généralement situés en haut de versant ;

- les sols bruns eutrophes tropicaux peu évolués (Régosols eutriques), situés à moyen versant ;

- les sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques (Cambisols gleyiques vertiques) présents sur le moyen versant et le bas versant ;

- les sols bruns eutrophes tropicaux modaux (Cambisols eutriques) ;

- les sols bruns eutrophes vertiques (Cambisols vertiques hyper-eutriques), en bas de versant.

◆ Les sols à sesquioxydes de fer et/ou de manganèse. Ils se développent sur des grès et granites acides, et sont présents sur toute la toposéquence. On y trouve :

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés modaux (Lixisols chromiques) ;

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions (Lixisols ferriques);

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions (Lixisols gleyiques ferriques) ;

- les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes (Lixisols gleyiques hypoferriques) ;

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes ;

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés (Plinthosols épi-pétriques).

Les sols ferrugineux tropicaux (Luxisols, Lixisols), en général, rouges ou gris, à texture limono-sableuse en surface, et argileuse en profondeur, présentent une induration, ou recouverts de graviers ferrugineux, avec une fertilité faible à moyenne.

Les sols indurés se rencontrent surtout sur les glacis, les buttes et les plateaux cuirassés. L'induration est soit, une cuirasse, soit, une carapace, utilisée, généralement, pour la confection de parpins latéritiques. En fonction de l'apparition de l'horizon induré dans le profil et des types d'utilisation des sols, on distingue :

- les sols indurés superficiels, qui ont moins de 20 cm d'épaisseur utile;

- les sols indurés peu profonds, avec une épaisseur utile comprise entre 20 et 40 cm ;

- les sols indurés moyennement profonds, de 40 à 60 cm d'épaisseur utile;

- les sols indurés profonds, ayant une profondeur supérieure à 60 cm.

◆ Les sols ferrallitiques (Ferrasols). Ce sont des sols rouges, profonds, à texture légère sur l'ensemble du profil. Leur fertilité est moyenne à faible. Ils se développent sur du matériau essentiellement gréseux. Leur profil, de type A-B-C, est très épais, avec une couleur rouge vive. En fonction du segment topographique, on distingue :

- les sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux (Ferralsols rhodiques) en haut de versant ;

- les sols ferrallitiques faiblement désaturés remaniés modaux (Ferralsols rhodiques) en bas de versant.

◆ Les sols hydromorphes (Gleysols). Ces sols se localisent, principalement, dans les bas fonds, les plaines alluviales, les bourrelets des berges, et, dans une moindre mesure, sur les bas de versant des glacis. Ils comprennent :

- les sols hydromorphes peu humifères, à pseudo-gley (Gleysols eutriques) d'ensemble ;
- les sols hydromorphes peu humifères, à redistribution de calcaire en nodules.

Tous ces sols sont soumis, à des degrés divers, à une culture intensive, avec de faibles restitutions organiques sur des exploitations de plus en plus sédentarisées, avec disparition des jachères.

2.7. Agro-systèmes cotonniers

Les agro-systèmes cotonniers sont caractérisés par des systèmes de culture coton-céréale-élevage, où la culture cotonnière est pratiquée en régime strictement pluvial. Sur les exploitations cotonnières, la superficie globale mise en culture, toute spéculation confondue, est, en moyenne, de 8,41 ha, avec des extrêmes de 2,94 et 62,83 ha (Ouédraogo, 2008).

Cette culture est pratiquée par de petits producteurs qui y consacrent une partie de leurs terres, l'autre partie étant destinées aux productions de céréales, de légumineuses, de tubercules, etc. Sur une exploitation cotonnière, les assolements pratiqués sont, en moyenne, de :

- 45 p.c. pour le coton ;
- 46 p.c. pour les céréales avec le maïs comme principale culture ;
- 9 p.c. pour les autres spéculations.

Le niveau d'équipement des exploitations en matériel agricole est, en général, faible, et beaucoup de travaux sont encore exécutés à la main, c'est-à-dire non mécanisés. Bien que la culture attelée soit répandue, on constate une sous utilisation des équipements, au fur et à mesure que l'on progresse vers des opérations culturales chronologiquement plus éloignées, dans le temps. Par exemple, malgré le fait que le labour et le semis en ligne du coton soient réalisés presque à 100 p.c. chez les paysans équipés, plus de 2/3 des sarclages sont effectués manuellement. Selon Ouédraogo (2008), on observe que :

- 35 p.c. des exploitations cotonnières sont non équipées, et pratiquent toujours la culture manuelle ;
- 40 p.c. sont en cours d'équipement, et disposent d'au moins un attelage, c'est à dire une charrue et une paire de bœuf ou un âne ;
- un peu plus de 24 p.c. d'entre elles disposent d'un équipement complet (charrue, sarcleur et/ou butteur, charrette, etc.) ;
- seulement, moins de 1 p.c. possède, en plus d'un équipement complet en culture attelée, un tracteur et un équipement de labour.

Dans ces systèmes de culture, le coton est cultivé, et, de plus en plus, le maïs, de façon relativement intensive, avec des inputs comme les engrais organiques et minéraux, les herbicides et les pesticides. La terre et la main d'œuvre constituent les principaux facteurs de production. Le travail est fourni par la main d'œuvre familiale, où l'homme représente la principale source d'énergie.

En effet, dans les zones cotonnières, on distingue trois systèmes de culture, en fonction des équipements :

- le système de culture manuelle, dominé par les producteurs non équipés, appelés « manuels ». Dans les zones de production de SOFITEX, et, pour la campagne 2005-2006, ils représentaient 33,7 p.c. des exploitations, pour une moyenne nationale, en zone cotonnière nationale, de 31,7 p.c. (Kouama *et al.*, 2007). Dans ce système les superficies sont comprises entre 3,90 et 7,30 ha, avec une prédominance des cultures vivrières (Dakouo et Koulibaly, 1997). Ainsi, la part du coton dans l'assolement est, en moyenne, 7,92 p.c.; soit 0,88 ha, et la quantité de coton produite, faible. A titre d'exemple, elle est estimée à 43 167 tonnes pour la campagne 2005-2006 ; soit 6 p.c. de la production totale ;
- le système de culture à faible équipement, qui concerne les exploitants ayant une paire de bœufs et une charrue, occupe 65 p.c. des exploitations. Les producteurs de cette catégorie sont appelés «petits attelés». En zone SOFITEX, ces exploitations représentent 42,6 p.c., avec une moyenne de 44,1 p.c., toutes zones cotonnières confondues. La superficie moyenne de ces exploitations est comprise entre 6,10 et 12 ha, avec une moyenne d'environ 9 ha.
- le système de culture à fort équipement. Il est pratiqué par les cotonculteurs appelés «gros attelés», possédant au moins deux paires de bœufs, y compris ceux ayant des tracteurs.

Ces exploitations représentent, en moyenne, 24,1 p.c. de l'ensemble ; les 15 000 exploitations ainsi catégorisés produisent, environ, 40 p.c. du coton, en zone SOFITEX.

Les producteurs des zones cotonnières arrivent, plus ou moins, à atténuer les effets des aléas climatiques, par des méthodes culturales appropriées : choix des terres, fumures minérales et organiques, façons culturales, assurant ainsi une autosuffisance alimentaire régionale et une production cotonnière croissante. En effet, environ 80 p.c. du maïs commercialisé proviennent de ces zones. On peut cependant dire que la culture du coton reste largement dominée par des pratiques semi-traditionnelles et extensives, posant, en partie, le problème de la sécurisation foncière. En effet, devant l'affluence des migrants, les potentialités agricoles s'amenuisent, et des changements sont perceptibles dans le comportement des populations autochtones. L'importance du flux migratoire induit une course à la terre, qui contraint, de fait, les populations autochtones à occuper de nouvelles parcelles prélevées sur leurs réserves foncières, au mépris des règles de gestion de la fertilité des terres sous culture, et, donc, d'une production cotonnière durable.

CHAPITRE III : LE COTONNIER DANS LES AGRO-SYSTEMES SOUDANO-SAHELIENS

Le cotonnier est une plante vivace, mais qui ne peut être exploitée dans nos conditions actuelles de production qu'en culture annuelle, du fait, d'une part, de ses exigences écologiques, et, d'autre part, des coûts de production, notamment, en matière de lutte contre les ravageurs et les mauvaises herbes.

3.1. Botanique

Dans les agro-systèmes, en zone soudano-sahélienne, le cotonnier est un arbuste ligneux de 1 à 1,80 m de hauteur.

Sur le plan systématique, le cotonnier, dicotylédone dialypétale, peut être présenté de la façon suivante :

Lignée des Plantae ;

Sous-règne des Tracheobionta ;

Division des Magnoliophyta ;

Classe des Magnoliopsida ;

Sous-classe des Dilleniidae ;

Ordre des Malvales ;

Famille des Malvaceae ;

Sous-Famille des Hibisceae ;

Genre *Gossypium*. ;

Il existe quatre espèces du genre *Gossypium* qui constituent le groupe des cotonniers cultivés, caractérisés par la présence, sur les graines, de poils celluloseux utilisés par l'industrie textile (Anonyme, 2010a). On y rencontre deux types d'espèces.

Les espèces diploïdes ($2n = 26$ chromosomes), sont constituées par :

- *G. herbaceum* L., à petites capsules rondes, avec des feuilles aux lobes arrondis, et des bractées aux dents peu marquées ;

- *G. arboreum* L., à capsules allongées, et des feuilles aux lobes très marqués. Ces deux espèces donnent du coton à fibres épaisses et courtes. Ces espèces, à courtes soies, sont surtout cultivées en Inde, au Pakistan et en Chine, pour la fabrication de pansements et d'ouate.

Les espèces tétraploïdes ($2n = 52$ chromosomes) se composent de :

- *G. barbadense* L., avec des capsules allongées, fortement frustulées, à feuilles lisses, à fleur à colonne staminale longue, le stigmate dépassant les étamines et des taches rouges à la

base des pétales jaunes. Cette espèce produit du coton à fibres longues et fines, et représente environ 5 p.c. du coton produit actuellement dans le monde entier. De plus, les variétés à longues soies, de types *barbadense* sont cultivées en Egypte, pour les filatures et tissage de haute qualité ;

- *G. hirsutum* L., caractérisée par des capsules plus rondes et lisses, des fleurs à colonne staminale courte, un stigmate au niveau des étamines, des pétales de couleur blanche à crème, des feuilles velues à très velues, et ayant des fibres intermédiaires. Ces espèces sont cultivées aux USA, en Russie, en Chine, en Inde et en Afrique de l'Ouest. Ce genre regroupe plus de 50 espèces, avec près de 95 p.c. du coton actuellement produit dans le monde.

Il existe également des espèces sauvages, dépourvues de lint, mais qui peuvent être exploitées pour les améliorations génétiques des cotonniers cultivés, tels que la résistance, la longueur, la finesse des fibres et les caractères de résistance à certaines maladies ou à la sécheresse, etc.

3.2. Architecture du cotonnier

La morphologie du cotonnier, très complexe, à cause du caractère indéterminé de sa croissance, est caractérisée 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.

3.2.1. Partie aérienne

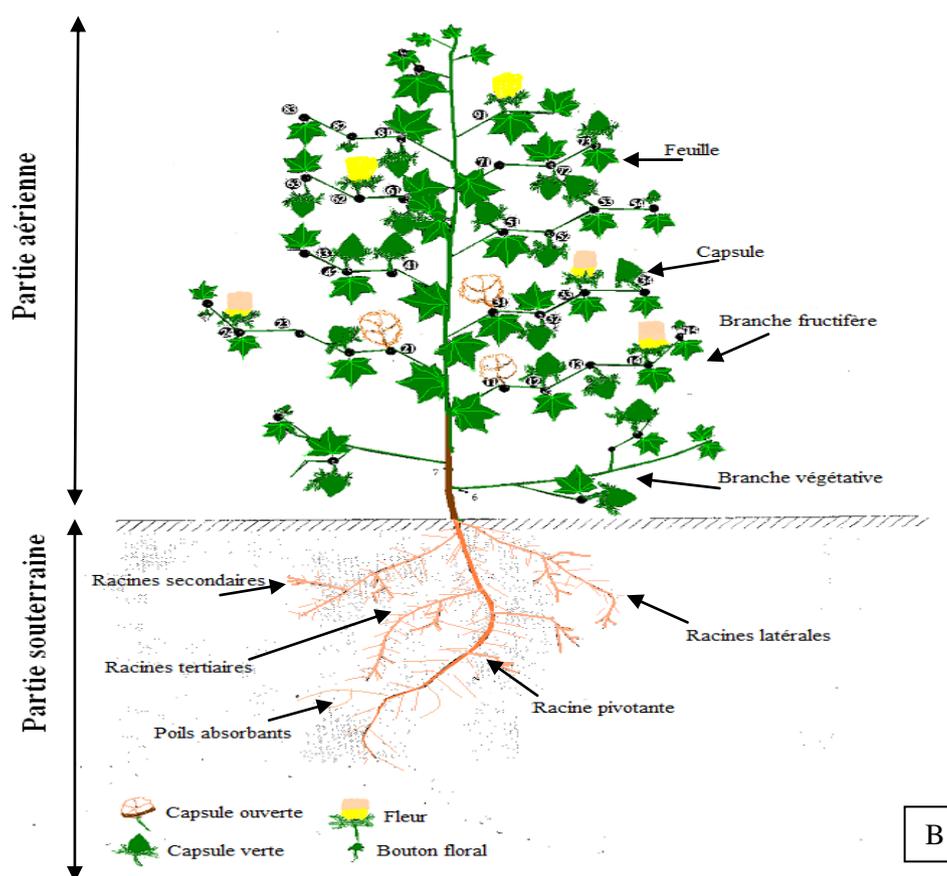
La partie aérienne qui supporte la récolte, se compose d'une tige principale et des rameaux, qui naissent aux nœuds de ce dernier. Cette tige, de couleur verte à rouge violacée, porte des nœuds d'où partent des rameaux de deux natures (Fig. 6) :

* les branches végétatives (BV), qui se développent sur les nœuds de la base, au-dessus du nœud cotylédonaire. Leur croissance est monopodique, et leur nombre varie de 0 à 4, en fonction des conditions de culture.

* les branches fructifères (BF). Elles se développent à partir du 5^e ou 8^e nœud de la tige principale. Leur nombre dépend, également, des conditions de culture, mais on observe, généralement, dans les conditions du Burkina Faso, que seules les 10 premières branches sont productives. Ces branches sont formées de segments successifs, dus à leur développement sympodique.



A



B

A : Cotonnier type à 100 jours après semis

B : Schéma d'un cotonnier type à 100 jours après semis

Figure 6 : Cotonnier à 100 jas dans les agro-systèmes

* les feuilles de cotonnier mesurent 12 cm de large et 15 cm et de long, et sont implantées en spirales, tous les 5 à 8 cm, le long de la tige principale, avec une phyllotaxie de 3/8. En plus de leurs rôles de réserve, d'assimilation, de respiration et de transpiration (45.000 stomates au cm²), les feuilles permettent d'apprécier l'état des transferts sol-plante par le contrôle de la nutrition. En effet, ces feuilles atteignent l'âge adulte à 20 jas, date à partir de laquelle elles deviennent exportatrices nettes de sucres, jusqu'à 60 jas, et meurent après (80 j).

* le fruit du cotonnier, ou capsule, a un diamètre de 2 à 3 cm, et, le délai entre la fécondation d'une fleur et l'ouverture de la capsule correspondante est d'environ 2 mois. A l'instar de la phyllotaxie observée sur les feuilles, l'ouverture des fleurs du cotonnier a lieu selon un mouvement hélicoïdal ascendant, se traduisant par l'ouverture de deux fleurs situées sur la même branche fructifère, tous les 6 jours. Cet intervalle est réduit à 3 jours lorsqu'il s'agit de fleurs situées l'une au dessus de l'autre, sur la même position.

Dans les conditions d'égrenage ou de trituration du Burkina Faso, sur 100 kg de coton graine, on obtient :

- 42,5 p.c. de fibres ;
- 53 p.c. de graines ;
- 3 à 7 p.c. de déchets ;
- 25 à 27 p.c. d'amande ;
- 20 à 30 p.c. de coques.
- 20 à 24 p.c. d'huile ;

* La graine de coton est la deuxième source mondiale d'huile comestible, après le soja. Les tourteaux sont utilisés dans l'alimentation du bétail et dans la fabrication de farines comestibles par l'homme, notamment en sauces ou sous formes de beignets frits. En effet, le cotonnier produit des glandes qui contiennent un pigment, le gossypol, affectant l'utilisation des graines pour l'alimentation des monogastriques. Ces glandes sont de deux types :

- les glandes externes ou nectaires, présentes sur les nervures principales des feuilles et dans les fleurs ;
- les glandes internes, qui sont des sacs ovoïdes répartis dans le plant entier, à l'exception des racines, et qui libèrent, à l'intérieur, des composés chimiques, dont le gossypol.

Schématiquement, le cotonnier est un arbuste caractérisé par :

- une tige principale, 2 à 4 branches végétatives, 15 à 20 branches fructifères, ayant 2 à 6 nœuds, avec un organe fructifère à chacun d'entre eux ;
- une racine pivotante, complétée par des racines secondaires ;

- des fleurs, caractérisées par une colonne staminale soudée,
- des fruits (capsules) constitués de 3 à 5 loges, contenant, chacune, 6 à 8 graines.

Chaque capsule produit 3 à 6 g de coton graine ;

- des graines vêtues, recouvertes de fibres, et contenant une amande riche en huile (20 à 30 p.c.), selon qu'on réalise l'extraction à la presse ou au solvant, et de protéines (20 à 45 p.c.).

Le nombre de nœuds et de points fructifères indiquent les potentiels de production sur chaque parcelle. La position de la première branche fructifère indique la précocité d'apparition des branches. Une bonne croissance végétative semble favoriser l'apparition précoce des Branches Fructifères (BF). La hauteur de la première BF permet d'apprécier la croissance végétative en particulier, durant le début du cycle du cotonnier.

3.2.2. Partie souterraine

La partie souterraine du cotonnier est essentiellement constituée par un système racinaire de type I, à architecture de type pivotant (Fig.6), composée :

- d'une racine primaire, insérée sur la tige principale ou pivot, qui est une racine orthotrope verticale, à croissance orientée vers le bas, selon un géotropisme positif ;
- de ramifications latérales constituées de racines secondaires, qui partent, à partir du pivot, et de racines tertiaires, se terminant par une zone pilifère, constituée de poils absorbants, zone d'entrée des éléments nutritifs. L'apparition des racines secondaires sur le pivot suit la même prophylaxie que l'apparition des branches fructifères sur la tige principale.

L'extrémité du pivot peut atteindre 0,6 à 1,20 m de profondeur, parfois même beaucoup plus lorsque les conditions de sol, de température et d'humidité sont favorables. Ainsi, en absence d'obstacle, et, dans un sol profond et léger, la racine pivotante peut atteindre 3 m de profondeur, et les racines latérales qui se développent, presque horizontalement, peuvent s'étendre jusqu'à 1 m de la base de la plante. Si la racine pivotante et les racines secondaires ont une durée de vie fonctionnelle de la plante, les racines tertiaires, en revanche, ont une durée de vie fonctionnelle, qui n'excède pas trois semaines (Jourdan, 2003 ; IPI, 2005, Reddy *et al.*, 2000). La productivité du cotonnier serait donc en relation directe avec la colonisation du sol par les racines. Une restriction de la croissance des racines conduit alors au développement de plantes caractérisées par de courts entre-nœuds, et par un nombre réduit de feuilles. Dans les conditions normales de

culture (Oosterhuis, 2001), le système racinaire du cotonnier se développe bien avant la partie aérienne, selon le rythme indicatif ci-après :

- 6 cm à 5 jas, c'est-à-dire à la levée;
- 14 cm à 35 jas, correspondant à l'initiation florale;
- 55 cm à 60 jas, soit en début de floraison;
- 140 cm à 100 jas, au début de la maturation des capsules.

Cependant, le développement du système racinaire du cotonnier est intimement lié à la nature du sol, car le volume de sol exploré dépend de certaines caractéristiques physico-chimiques, telles que la densité, l'aération du sol, la teneur en éléments nutritifs. Le poids racinaire du cotonnier, qui représente environ 50-45 p.c. de matière sèche à la levée, n'est plus que de 10 p.c. à la récolte. En effet, selon Reddy *et al.* (2000), Oosterhuis (2001), le rapport [MS des racines/MS de la partie aérienne] est d'environ 45 p.c. à la levée (10 jours), 40 p.c. à l'apparition du 1^{er} bouton floral (25 jours), 30 p.c. à l'ouverture de la 1^{ère} fleur (97 jours) et 5 p.c. à 110 jours, aux USA.

Diverses études portant sur le système racinaire du cotonnier au Burkina Faso (Ilboudo, 1997 ; Koulibaly, 1991 ; 2005 ; Son *et al.*, 2004 ; Koulibaly *et al.*, 2007) permettent de dire que :

- la profondeur atteinte par la racine pivotante se situe entre 33 et 47 cm, y compris à 120 jas, toutes formules de fertilisation confondue; c'est dire que la majorité des racines explore les horizons relativement plus riches en nutriments, plus favorables à la croissance des cotonniers. En fonction de l'âge des plants de cotonniers, on observe que la vitesse de pénétration de cette racine est forte, entre 30 et 50 jas, où elle passe de 15,95 cm à 30,62 cm, soit 7,3 mm/jour. Entre 50 jas et 80 jas, la racine principale n'atteint que 33,70 cm, et, à 120 jas la profondeur maximale est de : 39,89 cm. Selon le mode d'apport des engrais, Koulibaly (2005) obtient 15,86 cm de profondeur, à 30 jours, 29,51 cm, à 50 jours, 33,76 cm, à 80 jours, et 40,35 cm, à 120 jas, dans le cas d'un apport fractionné de l'engrais coton et de l'urée.

La profondeur de la racine pivotante varie également selon les techniques de travail du sol, tel que l'a indiqué Son *et al.* (2004) pour le labour à plat, offrant une profondeur d'enracinement significativement différente par rapport au semis direct. Ainsi, à 120 jas, on a obtenu, sur une parcelle labourée, 34,50 cm de profondeur du pivot, contre 31,00 cm par semis direct, sur sol ferrugineux tropical gravillonnaire. On admet, généralement, que la présence de gravillons peut bloquer la pénétration de la racine pivotante, ou provoquer des déformations de celle-ci.

Par ailleurs, dans une étude portant sur l'importance du système racinaire du cotonnier en fonction de l'ancienneté de mise en culture des parcelles, Berger (1969) montre que la

profondeur d'enracinement, la quantité des racines et le poids des racines, diminuent avec l'âge de la parcelle. En effet, la profondeur d'enracinement du cotonnier peut passer de 1,20 m, pendant les trois premières années de mise en culture, à 30 cm, en 15^e année de culture. En outre, sous faible alimentation minérale, de nombreuses plantes produisent des racines de petit diamètre et ont donc un faible volume exploité, compte tenu de la mobilité des ions (Jourdan, 2003).

Au niveau des racines latérales, on a dénombré 14 à 18 racines latérales, en moyenne par pied, sur un sol ferrugineux développé sur grès, à la station de recherches agricoles et environnementales de Farako-bâ. Le nombre de racines latérales varie en fonction de l'âge des cotonniers. Ainsi, à 30 jas, l'on dénombre 12,13 racines par pied ; à 50 jas, ce nombre passe à 15,55 ; à 80 jas, il est de 16,56, et 17,83, à 120 jas. Dans la majorité des cas, le nombre de racines latérales n'augmente plus après 80 jas.

La répartition des racines latérales est fonction, non seulement de la profondeur de sol considérée, mais aussi, dépendent de l'âge des plantes, tel que cela apparaît dans le tableau I.

Tableau II : Répartition des racines du cotonnier selon l'âge et la profondeur de sol

Profondeurs	50 jas (p.c.)	80 jas (p.c.)	120 jas (p.c.)	Moyenne
0-10 cm	60,20	56,40	52,00	56,20
10-20 cm	26,00	25,80	28,00	26,60
20-30 cm	9,60	8,00	9,40	9,00

On peut en conclure, avec Koulibaly *et al.* (2007), que sur sol ferrugineux tropical, 92 p.c. des racines du cotonnier sont situés entre 0 et 30 cm de profondeur, parmi lesquels 57 p.c. s'observent entre 0-10 cm, 25 p.c. entre 10-20 cm, et 10 p.c. entre 20-30 cm. Selon Jourdan (2003), la distribution des racines des végétaux tend à correspondre à des zones de sol les plus fertiles. De plus, selon (Reddy *et al.*, 2000), la quantité de racines connaît un pic au cours de la phase de floraison (60-80 jours), puis, diminue, ensuite, à cause du transfert des glucides vers les capsules.

L'extension latérale à 120 jas de ces racines est aussi fonction de la profondeur des couches de sol explorées : elle est de 36,05 cm pour l'horizon 0-10 cm, 26,70 cm, entre 10 et 20 cm de profondeur, et, pour la couche 20-30 cm, elle n'est plus que de 9,77 cm. La vitesse moyenne de croissance latérale des racines est de 3,6 mm/jour, au 60^e jour ; 6,1 mm/j, entre 60 et 80 jas, et diminue, ensuite, à 2,7 mm/j, après, selon Son *et al.*, (2004). Cependant, dans certains

cas, l'extension latérale des racines se produit au même rythme et est identique aux 60^e, 80^e et 120^e jas (Ilboudo, 1997).

On pourrait donc dire que le rhyzocylindre est représenté par un cône de diamètre supérieur ou égal à 80 cm, et, un cône inférieur, ayant 20 cm de diamètre. Le système racinaire du cotonnier se caractériserait donc, dans nos conditions de culture, par une profondeur d'enracinement d'environ 40 cm à 120 jas, pour un volume moyen de sol exploré de 0,157 m³, la texture du sol étant un facteur essentiel de la croissance racinaire.

Selon Son *et al.* (2004) ; Koulibaly *et al.* (2007), l'évolution du poids sec des racines à 30, 40, 50, 60 et 80 jas a montré :

- une augmentation progressive du poids des racines, résultant de la croissance du système racinaire des cotonniers, due à un accroissement de leur nombre et dimensions ;
- que l'application de la fumure organique, en l'occurrence le fumier, entraîne une forte augmentation du poids des racines. Le fumier favoriserait donc la croissance pondérale des racines, mais aussi l'activité racinaire.

En phase d'implantation de la culture (7- 40 jas), et selon les techniques de préparation du sol, l'étude de la biomasse racinaire montre que :

- le labour à plat, précédé de l'éclatement de billons, produit plus de biomasse racinaire (0,58g/plant) que les semis directs et autres techniques de travail du sol selon Son *et al.* (2004) ;
- le labour à plat, seul, produit 0,49 g de MS par plant. Selon l'âge des cotonniers et les techniques de préparation du sol, Son *et al.* (2004) ont noté que l'augmentation du poids sec des racines était proportionnelle à la profondeur de l'enracinement. Pour un labour à plat, il a ainsi obtenu 0,49 g/pied, 4,00 g/pied et 5,25 g/pied de MS, respectivement, à 40 jas, 68 jas et 120 jas, pour des profondeurs de 24,25cm, 32,50 cm et 34,50 cm. La production maximale de racines survient entre 40 et 80 jas. Durant cette phase, le cotonnier a produit entre 50 p.c. et 67 p.c. de la biomasse totale des racines. La croissance racinaire est donc proportionnelle à la croissance végétative.

En termes de matière sèche, le poids sec de la partie aérienne (tiges et branches) va de 45,04 à 50,79 g par pied, tandis-que celui des racines fluctue très peu, entre 6,25 et 6,70 g de matière sèche par pied de cotonnier, ce qui donne un rapport moyen de 7,57 g, quoi que selon les conditions de culture, ce rapport varie de 7,12 à 8,22.

L'indice de fructification, qui est le rapport [(coton gaine + capsules vides) / MS parties aériennes], est de 1,03. Cet indice peut varier de 0,8 à 1,2, en fonction des conditions de protection phytosanitaire.

3.3. Cycle de développement

Le cycle de développement des cotonniers actuellement cultivés implique une possibilité de récolte entre 110 et 120 jours, après le semis. Au 150^e jour, toutes les capsules sont ouvertes. L'on peut distinguer, dans ce cycle, plusieurs stades ou phases, qui se suivent ou se superposent plus ou moins :

- phase de levée, de la germination à l'étalement des feuilles cotylédonaires. Elle dure 4 à 10 jours, dans les conditions normales, et selon l'état de la semence. Avec la semence vêtue, la levée a lieu au bout de 6 jours, alors qu'avec la semence délintée, ce délai n'est plus que de 4 jours ;

- phase plantule : de l'étalement des feuilles cotylédonaires au stade 3-4 feuilles, avec une durée moyenne de 15 -20 jours, soit 30 à 35 jas; (15 jours)

- phase de préfloraison : elle va du stade 3-4 feuilles au 50^e jas, c'est à-dire à l'apparition de la 1^{ère} fleur ; (30 jours)

- phase de floraison : du 50^e jour (1^{ère} fleur) à la récolte. La floraison maximale a lieu à 80 jas) ; (50 jours),

- phase de maturation : de la formation de la 1^{ère} capsule, après fécondation, à la récolte (150 jas), (50 jours).

Dans les conditions normales de production au Burkina Faso, on peut conclure que, schématiquement, un cotonnier présente 10 branches fructifères productives, avec 4 organes fructifères chacune (soit 40 organes), dont 60 p.c. tombent, généralement. Il reste alors 16 capsules de 3-4 g, soit 48 g. Avec une densité théorique de 62 500 pieds/ha, cela devrait correspondre à 3 tonnes de coton graine à l'hectare. Le potentiel de production varie de 2 à 3 tonnes en culture pluviale, et de 3 à 5 tonnes, en culture irriguée.

* Un cotonnier produit (p.c. de MS) :

- 20 p.c. de feuilles ;
- 25 p.c. de tiges et de branches ;
- 10 p.c. de racines ;
- 45 p.c. de capsules.

* Une capsule saine représente :

- 22 p.c. de graines ;
- 10 p.c. de fibres ;
- 13 p.c. de valves ou carpelles.

* 100 kg de coton graine donnent :

- 53 p.c. de graines ;
- 42 p.c. de fibres ;
- 4 p.c. d'impuretés.

* 100 kg de graine à environ 10 p.c. d'humidité représentent :

- 30-34 p.c. de coques ;
- 36-40 p.c. de tourteau ayant 20 à 45 p.c. de protéines ;
- 10 p.c. de linter ;
- 24 p.c. d'huile brute (soit 20 p.c. de l'huile extractible de la graine) dont 4 p.c. de gossypol ;
- 20 p.c. d'huile raffinée.

3.3.1. Protection phytosanitaire du cotonnier dans les agro-systèmes

Parmi les plantes tropicales, le cotonnier paie un lourd tribut au parasitisme, ce qui rend la protection phytosanitaire indispensable, car, elle constitue un facteur d'amélioration important, dans le bilan économique de la culture.

Les problèmes phytosanitaires ont évolué en fonction des transferts de technologies avec des conséquences sur la biocénose, le système de culture, la protection insecticide, et sur le milieu humain. Les principaux ravageurs du cotonnier peuvent être classés en 4 groupes :

- les ravageurs de l'appareil reproducteur (boutons floraux, fleurs et capsules), qui constituent, potentiellement, le groupe le plus dangereux. Il s'agit essentiellement de chenilles de lépidoptères : *Helicoverpa armigera*, *Diparopsis watersi*, *Earias biplaga* et *Earias insulana*, *Pectinophora gossypiella*, *Cryptophlebia leucotreta* et de chenilles défoliatrices : *Spodoptera littoralis*, *Sylepte derogata*, *Cosmophila flava*.

Cauquil (2000), puis Vaissayre et Cauquil (2004), estiment que les dégâts les plus importants occasionnés sur le cotonnier sont imputables à ces chenilles, qui attaquent à la fois les organes florifères et fructifères du cotonnier ;

- les piqueurs suceurs : jassides, aleurodes et cochenilles. Ces insectes sont les potentiels vecteurs de maladies du cotonnier à transmission biologique (virose ou mycoplasme). *Aphis gossypii*, *Bemisia tabaci*, *Ferrisia virgata*, *Dysdercus volkerii*...produisent des miellats aux conséquences néfastes ;

- les acariens : *Polyphagotarsonemus latus* est le plus fréquent, et sévit dans les écorégions de savanes boisées, à hygrométrie élevée. Les Tétranyques ont une incidence économique moindre, mais ont une distribution géographique très vaste.

Ainsi, les pertes de rendement causées par les insectes sur la culture du cotonnier, dans le monde, ont été estimées à environ 16 p.c. de la production potentielle. Ces pertes peuvent atteindre 50 p.c. au Burkina Faso, en cas de non protection sur coton conventionnel. Dans le cas du coton transgénique, cette protection est assurée par la plante elle-même. En effet, l'introgession des deux gènes Cry1 Ac et Cry2 Ab dans les variétés de cotonnier Bt permettent à ces plantes de sécréter des substances toxiques pour les larves des lépidoptères carpophages et phyllophages (INERA, 2009).

3.3.2. Abscission des organes fructifères et pouvoir compensateur

Le cotonnier, comme toutes les plantes cultivées, comporte un certain nombre de particularités, qui méritent d'être soulignées, afin de mieux comprendre les mécanismes de nutrition minérale et d'élaboration du rendement au champ, et de mieux apprécier les fluctuations éventuelles.

L'abscission des organes fructifères ou shedding est la chute des boutons floraux, des fleurs et des capsules. On distingue trois types d'abscission :

- l'abscission par contrainte, due à divers facteurs tels qu'un déficit hydrique, une mauvaise nutrition minérale, une insolation insuffisante ou une attaque parasitaire ;

- l'abscission physiologique, 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. Dans les conditions de culture, au Burkina Faso, l'abscission physiologique se subdivise en une abscission préflorale (80 p.c.) et une abscission post-florale (20 p.c.). Ainsi, sur 100 boutons floraux initiés, seules 40 deviennent des fleurs, qui donneront 16 capsules par plante. Parmi les facteurs qui influent sur le shedding physiologique, on peut citer :

- les facteurs environnementaux (Hodges *et al.*, 1993 ; Reddy et Zhao, 2005.). Une augmentation du taux de CO₂, de 350 à 1000 µl/l, réduit l'abscission des capsules de 39,9 à 16,4 p.c. et un accroissement de la photopériode, de 8 à 14 heures, diminue l'abscission ; celle-ci est, au contraire, accrue par des températures élevées pendant la nuit, et par une faible luminosité ;

- le stress hydrique. Plusieurs auteurs, notamment (Safya, 1991 ; Triboulot et Pritchard, 1997; Mugishawimana, 2000) ont indiqué que le stress hydrique entraînait une production d'éthylène dans les pétioles, et donc une plus grande abscission des organes fructifères ;

- l'abscission par fécondation insuffisante, qui intervient lorsque l'ovaire ne reçoit aucun tube pollinique, ou si le nombre d'ovules fécondés est insuffisant dans les jeunes capsules. Cela se produit lorsque la carence en bore est prononcée ou en cas d'éclairement insuffisant. L'abscission joue donc un rôle régulateur important dans la production du cotonnier.

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. La floraison s'intensifie et se prolonge, les chutes de capsules diminuent, par rapport au niveau qui aurait pu être atteint en absence de phénomène perturbateur. Les variétés africaines à cycle long de *G. hirsutum* L., et, plus encore, de *G. barbadense* L., sont particulièrement adaptées à un tel comportement.

3.4. Ecophysiologie et nutrition minérale du cotonnier

Dans la zone soudano-sahélienne d'Afrique de l'Ouest, où la pluviométrie est aléatoire et les sols pauvres, le niveau d'alimentation hydrique et minéral des cultures paraît jouer un rôle fondamental dans l'élaboration des rendements. Une bonne connaissance des principales caractéristiques de l'enracinement des plantes cultivées, dans leurs conditions naturelles de production, semble également capitale, Chopart (1980). En effet, bien que la nutrition des plantes puisse s'effectuer, à la fois par les feuilles et par les racines, c'est le système racinaire qui joue le rôle essentiel dans l'absorption de l'eau et des éléments minéraux. L'alimentation minérale et hydrique met en jeu des processus complexes, intéressant à la fois la physico-chimie du sol et la physiologie du végétal.

3.4.1. Itinéraires techniques et absorption des éléments nutritifs

La culture du cotonnier nécessite un climat réunissant des conditions de sol, de température, d'ensoleillement et d'eau, favorables à une bonne production. Le coton est produit au Burkina Faso, sous une pluviométrie de 700 à 1000 mm, une température moyenne de 300 K durant la phase de croissance, une période de végétation de 150 jours, une insolation moyenne de

6,5 à 9,3 heures. L'humidité relative varie de 40 à 80 p.c. pendant la saison des pluies selon les mois et les zones. Les sols ont, en général, une faible teneur en potassium échangeable. Ce potassium échangeable est, lui-même, sous la dépendance de nombreux facteurs pédologiques, climatiques et agricoles, qui conduisent à une grande variabilité des teneurs observées dans les sols cultivés. Dans une expérimentation portant sur l'étude du statut potassique de quelques types de sol, Dakouo (1990) montre qu'au cours de l'alimentation potassique des plantes, trois facteurs jouent un rôle important, à savoir : la teneur en potassium du sol, sa teneur en matière organique, son taux d'argile.

Dans le cadre de l'amélioration de la productivité des cultures, il convient d'examiner, avec soin, le rôle de l'enracinement et les facteurs qui l'influencent, surtout, dans un contexte de stagnation des rendements, actuellement observée en zone cotonnière. En effet, on a noté, qu'avec les changements climatiques de ces dernières années, les systèmes de production subissent des évolutions se traduisant par une migration vers le sud du pays, un rétrécissement des aires de production des cultures pluviales tel que le cotonnier, et une baisse des rendements pour les productions végétales (DNM, 2007).

3.4.1.1. Itinéraire technique en production cotonnière

L'itinéraire technique en culture cotonnière peut être résumé comme suit :

- type de rotation : coton-céréales ;
- densité moyenne de semis : 80 cm x 40 cm, 2 pieds/poquet soit 62.500 plants/ha ;
- période optimum de semis : 20 mai au 20 juillet ;
- préparation du sol : labour sur 12-15 cm de profondeur, aux bœufs ou au tracteur;
- épandage de NPK à 15 jas, à la dose de 150 kg ha⁻¹, avec des formules d'engrais de type 14-23-14-6-1, 15-20-15-6-1, ou 14-18-18-6-1, soit 45,5 N, 30 P₂O₅, 22,5 K₂O, 9 S et 1,5 B.
- épandage d'urée à 40 jas, à la dose de kg ha⁻¹, soit 23 unités d'azote;
- entretiens : 1 à 2 sarclages, un buttage, un désherbage après buttage;
- utilisation d'herbicides (pré-levée, post-levée, totaux), à la demande;
- protection phytosanitaire : 6 traitements sur coton conventionnel, selon le principe des programmes fenêtres du Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier, en Afrique (PR-PICA), 2 à 3 traitements aphicides, sur coton transgénique ;
- Récolte : 1^{ère}, à 120 jours, 2^e, à 150 jours.

En conditions pluviales strictes, les plantes sont soumises aux effets directs du climat, qui sont déterminants dans la réussite d'une campagne agricole. En effet, les facteurs climatiques, tels que l'humidité et la température, jouent, aussi bien, sur le fonctionnement des sols que sur celui des végétaux. Dans le cas du cotonnier, l'impact sur le fonctionnement de la plante, notamment sur les mécanismes d'absorption des éléments nutritifs par le système racinaire, peut être déterminant dans la production. En effet, la plante puise dans le sol, grâce à ses racines, l'eau et les éléments minéraux indispensables à son développement. En outre, les racines sont le siège, comme tous les organes vivants de la plante, d'un métabolisme, qui a une incidence sur le fonctionnement général de la plante. Il est donc nécessaire de comprendre l'impact de ces facteurs sur les mécanismes de la nutrition minérale, et plus particulièrement la nutrition potassique.

3.4.1.2. Nutrition minérale

La nutrition minérale est l'ensemble des processus qui permet aux végétaux d'absorber dans le sol, et d'assimiler les éléments minéraux nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, production. Cette nutrition fait appel à des processus d'absorption d'éléments minéraux, dans la solution nutritive du sol, par les racines, dans le cas des végétaux vasculaires (Rosolem *et al.*, 2003 ; Coker *et al.*, 2003). La fonction de nutrition minérale s'applique à des processus nutritionnels que sont : l'absorption, le transport, l'utilisation et l'exorption des éléments nutritifs (Oosterhuis, 2001). L'absorption des ions minéraux correspond à l'activité de prélèvement de ceux-ci, par les racines, dans le sol. Elle peut être passive ou active et comporte plusieurs étapes :

- la première étape de l'absorption est la diffusion. De par leurs déplacements spontanés, auxquels s'ajoute l'effet du potentiel électrochimique, les particules dissoutes s'introduisent, réversiblement, dans un espace libre apparent. Les poils absorbants des racines, cellules uniques, de forme allongée, constituent la principale voie d'absorption pour l'eau et les éléments minéraux ; leur nombre et finesse permettent d'augmenter la surface de contact avec le milieu extérieur. La diffusion est donc un mécanisme passif. Les particules diffusent d'autant mieux qu'elles sont plus petites, les cellules absorbant certains éléments et s'opposant à l'accumulation d'autres, d'où le fait que la composition d'un végétal diffère toujours de celle du milieu sur lequel il se développe (Rosolem *et al.*, 2003).

- à l'intérieur de la racine, le cadre lignifié de l'endoderme oppose une barrière infranchissable au cheminement des ions, dans les espaces intercellulaires. Seule l'évapotranspiration de la plante permet la poursuite de l'absorption au-delà de l'espace libre apparent des racines. Cette phase de transport actif permet aux éléments de pénétrer à l'encontre de leur gradient de concentration, et consomme d'importantes quantités d'énergies dégagées par la respiration, d'où les effets du degré d'aération du sol.

Une pénétration à l'encontre du gradient de concentration peut être passive pour un ion donné mais il y a alors une contrepartie : soit un échange contre d'autres ions de même signe (Equilibre de Donnan), soit une absorption préalable d'ions de signe opposé, qui ont pénétré par voie active. Par ailleurs, la plante maintient toujours l'équilibre de ces charges électriques, c'est pourquoi le milieu s'acidifie lorsque l'absorption des cations est plus forte que celle des anions et s'alcalinise dans le cas inverse (Rosolem *et al.*, 2003).

L'absorption des ions minéraux, qui permet aux racines de tirer, d'un milieu hétérogène, les éléments qui sont nécessaires à la plante, est sélective, et consomme de l'énergie. La sélectivité de l'absorption est un aspect fondamental de la nutrition minérale. Elle implique, en effet, que le prélèvement effectué par les racines modifie le substratum dans lequel elles se développent ; il en résulte que les végétaux vont contribuer à modeler le milieu dans lequel ils vivent.

3.4.2. Facteurs climatiques affectant l'absorption des éléments minéraux

3.4.2.1. Effets de l'humidité

En pratique, le cotonnier a besoin d'au moins 700 mm d'eau durant son cycle de production. La répartition de celle-ci est extrêmement importante, et en liaison étroite avec les différentes phases de développement de la plante. L'eau de pluie, qui tombe sur une parcelle, peut être subdivisée en plusieurs parties (Sansoulet, 2007) :

- une fraction est interceptée par la végétation. Elle peut, soit s'évaporer, soit s'infiltrer dans le sol ;

- une fraction arrive au sol. Elle peut être également subdivisée en plusieurs parties : une partie évaporée directement, à partir de la surface du sol, et une partie transpirée par la végétation, après avoir été absorbée par les racines des plantes. Les parties évaporées et transpirées constituent l'évapotranspiration. Une partie s'infiltré dans le sol, et une partie

ruisselle à la surface du sol. Toutes ces parties vont intervenir dans les processus de nutrition hydrominérale des végétaux.

Les besoins en eau du cotonnier sont variables au cours du temps, en fonction du stade de développement de la plante d'une part, et en fonction des facteurs de l'environnement d'autre part. En effet, l'humidité du sol et les flux hydriques favorisent largement la mobilité des ions, et l'absorption de l'eau par la plante facilite celle des éléments minéraux. Il a souvent été observé pour le potassium, des teneurs plus élevées dans les plantes bien alimentées (Blanchet *et al.*, 1974). Le stress d'eau réduit la croissance des jeunes racines, ainsi que le transport d'eau vers le sommet de la plante.

Pour une durée de pluies utiles de 110 jours (D), les besoins en eau du cotonnier peuvent être estimés comme suit :

- du semis au stade de préfloraison, qui dure 35 jours, le cotonnier a besoin de 4,5 mm d'eau par jour, soit un cumul de 157,50 mm ;
- de la floraison jusqu'au début de capsulaison, soit 60 jours, les besoins quotidiens sont d'environ 5 mm/j, soit l'équivalent de 300 mm de pluie ;
- de la capsulaison à la récolte, 82,50 mm d'eau sont nécessaires, soit l'équivalent de 5,5 mm/j durant 15 jours. En théorie, un cumul saisonnier de 540 mm d'eau devrait suffire pour la culture du cotonnier. Mais, dans les conditions soudano-sahéliennes du Burkina Faso, le cotonnier ne peut se produire qu'au delà de l'isohyète 600 mm (600 à 1200 mm), la répartition de la pluviométrie étant beaucoup plus importante que les quantités totales d'eau tombées au cours d'une campagne.

En effet, outre le développement végétatif, qui est fortement sensible au déficit hydrique, et qui peut conduire à la modification de la concentration de plusieurs hormones inductrices de l'abscission des feuilles et des capsules, un stress nutritionnel, induit par ce même déficit hydrique, peut compromettre l'absorption des ions minéraux du sol, en l'occurrence, le potassium, et entraîner une dépréciation de la qualité de la fibre (Safya, 1991).

3.4.2.2. Effets de la température

Le cotonnier est une plante originaire de pays chauds, et, pour le genre *Hirsutum*, les besoins en chaleur sont les suivants :

- zéro de végétation : 285 à 288 K ;
- température de germination : 287-288 K ;

- optimum de levée : 298 à 308 K ;
- optimum de croissance : 303 K ;
- optimum pour la formation des organes fructifères : 293 à 313 K ;
- température minimum létale : à 277 K ;
- température maximum létales : à 323 K.;

Les effets de la température peuvent se manifester sur tous les organes du cotonnier, soit directement, au niveau de l'atmosphère ambiant, soit au niveau du sol. Stone et Taylor (1983) ont montré que la température a une influence sur le développement de la racine pivotante et des racines latérales, car les racines se développent avec une grande rapidité, lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables. Le taux de matière sèche est considérablement réduit en présence d'une température basse, au niveau des racines.

Sur les feuilles, en plus des rôles de réserve, d'assimilation, de respiration et de transpiration, les feuilles permettent d'apprécier l'état des transferts sol-plante par le contrôle de la nutrition.

Hodges *et al.*, (1993) ont précisé que la température de la feuille pouvait augmenter de 278 K lorsque la transpiration était réduite, et qu'une feuille turgescente pouvait avoir une température inférieure de 278,5 K à celle d'une feuille âgée. La régulation de la transpiration, liée au jeu des stomates, rejaillit, directement, sur les échanges gazeux au niveau foliaire et sur la diffusion des ions minéraux.

La température a également une influence sur le début de la floraison. On a ainsi observé au Burkina Faso, que pour le genre *hirsutum*, le début de la floraison pouvait être retardé de plus de 15 jours, en cas de températures trop basses. Par ailleurs, l'abscission est accrue par des températures élevées pendant la nuit (Dakouo, 1986).

3.4.2.3. Effets de l'ensoleillement

Le taux de matière sèche est considérablement réduit en présence d'une faible intensité lumineuse. Les feuilles de cotonnier sont capables, dans une certaine mesure, de s'orienter par rapport au soleil, de manière à recevoir ses rayons, perpendiculairement à leur surface, tout au long de la journée. Ce phénomène d'héliophilie se manifeste surtout aux jeunes stades de la plante (levée-début floraison), du lever du jour à 10 heures, et de 16 heures au coucher du soleil. Un accroissement de la photopériode, de 8 à 14 heures, diminue l'abscission, qui est accrue, au contraire, par une faible luminosité, car le cotonnier est une plante de jours courts.

3.4.3. Facteurs édaphiques au niveau de la rhyzosphère

3.4.3.1. Humidité du sol

L'état d'humidité du sol est souvent exprimé, soit par le cumul des pluies antérieures, soit par des indices d'humidité établis à partir de la chronique des précipitations antérieures. L'indice le plus utilisé est l'indice des précipitations antérieures (IPA). La valeur de cet indice augmente après chaque pluie, puis décroît régulièrement jusqu'à la prochaine précipitation. Le profil hydrique dépend, non seulement du type de sol, mais aussi des horizons pédologiques. Pendant qu'en sol humide les mouvements de K et son absorption sont améliorés, on a noté qu'un temps sec ralentit le mouvement du potassium dans le sol vers les racines (Reddy *et al.*, 2000). La faible humidité favorise également la fixation du potassium sous formes non assimilables par certains minéraux argileux (Yoboué, 2006).

Cependant, un léger déficit hydrique favorise la croissance racinaire, améliorant ainsi l'absorption des éléments nutritifs (Chopart, 1980). Les transports passifs de la phase liquide du sol sont nettement insuffisants pour assurer les besoins en potassium des plantes. Il est indispensable que d'autres mécanismes, tels que la diffusion et le flux de masse dans le cas du potassium, interviennent pour satisfaire l'alimentation minérale des plantes. Tous ces mécanismes sont influencés par l'humidité du sol et l'alimentation hydrique de la plante (Sebillotte, 1988).

Par ailleurs, les caractéristiques thermiques d'un sol, tels que son albédo, sa capacité thermique et sa conductivité thermique, varient au cours du temps, en relation avec les modifications de teneur en eau, et, de manière différentielle, selon la profondeur.

3.4.3.2. Température du sol

Au fur et à mesure que la température du sol augmente, le taux de diffusion et la croissance des racines augmentent aussi, ce qui favorise la disponibilité du potassium. En effet, selon Hodges *et al.* (1993) il existe une relation entre la température du sol au niveau des racines et la teneur en éléments minéraux. Ils ont mis en évidence une interaction entre les effets de la température du sol au niveau des racines et ceux de l'intensité lumineuse reçue par le feuillage.

S'agissant de l'action de la température, dans les limites biologiques, c'est-à-dire supérieure à 273 K, et dans une plage n'excédant pas 308 K ou 318 K, une élévation de la température stimule l'absorption. La température du sol, dans les limites biologiques, stimule les

phénomènes de croissance racinaire et de ryhizogénèse, dont la vitesse. Elle a aussi une influence sur la direction de croissance des racines.

3.4.4. Interactions sol et système racinaire

Les relations entre la plante et le sol s'établissent par l'intermédiaire des racines. Les facteurs favorables ou défavorables du sol auront des conséquences appréciables sur la nutrition minérale de la plante. En couplant l'analyse des profils hydriques du sol à l'étude du profil pédologique dans l'environnement du système racinaire, il est possible de mieux comprendre les relations qui existent entre les macro et microstructures du sol, tout comme le fonctionnement du système racinaire en ce qui concerne l'absorption des éléments nutritifs. Les modifications des microstructures du sol par l'activité racinaire sont d'ordre multiple. Pour les plantes annuelles, l'enracinement, la consommation d'eau ou d'éléments nutritifs sont particulièrement importants dans les couches de surface du sol.

Les diverses relations impliquées modifient, en permanence certaines caractéristiques physico-chimiques et hydriques du sol, et vice-versa. L'étude des microstructures du sol renseigne sur la disponibilité des éléments minéraux du sol pour la plante (Epstein et Bloom, 2005). L'étude des interactions entre l'enracinement et les caractéristiques du sol doit prendre en compte, non seulement les propriétés des différentes couches du sol, mais, aussi, le comportement hydrique de l'ensemble des horizons et l'importance de la colonisation racinaire (Epstein et Bloom, 2005).

La structure du sol influence directement la disponibilité et l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par la plante. Selon Chopart (2004), la disposition des racines joue sur les transferts de l'eau dans le profil cultural et sur l'alimentation hydrique. Les mécanismes déterminant l'absorption minérale par les racines dans le sol sont favorisés par la répartition des racines et celle des éléments minéraux dans le profil (Elberling *et al.*, 2003). L'absorption préférentielle de l'eau à partir des horizons de surface humides, favorise les mouvements d'ions vers les racines.

Au niveau du système racinaire, les caractéristiques concernées sont : la croissance, la distribution et le fonctionnement des racines. Bien qu'il y ait une grande quantité de potasse dans le sol, seulement 1 p.c. à 2 p.c. de la potasse du sol est facilement assimilable par les plantes (Rosolem *et al.*, 2003). Environ 10 p.c. sont lentement assimilables, car un certain nombre de facteurs influe sur l'absorption du potassium, notamment, les argiles et les matières organiques :

les sols qui sont pauvres en argiles ou en matières organiques retiennent moins de potassium. Les sols sableux pourraient nécessiter des épandages de potassium plus fréquents que les autres types de sols.

Dans une même couche de sol, le système racinaire est susceptible d'évoluer dans des microsites variés. En relation avec le régime hydrique, ces microsites conditionnent les échanges avec la phase liquide du sol, et, par là même, les phénomènes d'absorption des éléments par les racines (Elberling *et al.*, 2003). Par ailleurs, la sélectivité de l'absorption étant un aspect fondamental de la nutrition minérale, cela implique que les prélèvements effectués par les racines modifient le substratum sur lequel les plantes se développent.

3.4.4.1. Modifications mécaniques

Le système racinaire des végétaux supérieurs a deux fonctions principales : rôle d'ancrage et rôle d'absorption de l'eau et des éléments minéraux. Chez les végétaux terrestres, l'entrée de l'eau et des ions minéraux s'effectue essentiellement au niveau des poils absorbants. L'évolution constante du système racinaire et la colonisation du sol par les racines sont un phénomène fondamental de la nutrition des plantes.

Le système racinaire des plantes modifie continuellement l'organisation du sol; il fragmente et désorganise les structures du plasma, transforme la porosité et l'aération. A ces actions mécaniques, s'ajoutent les modifications physico-chimiques dans la zone d'influence du rhizocylindre :

- dans les couches de surface, les racines évoluent dans un milieu organo-minéral, souvent bien aéré. Elles contribuent, par leur action mécanique et par l'émission du suc racinaire, à améliorer la structure du sol ;

- dans les horizons intermédiaires, elles participent aux modifications des structures pédologiques ;

- dans les couches profondes, les racines participent à l'altération des sédiments, et construisent des chemins privilégiés où s'infiltrent les eaux chargées de gaz carbonique et d'acide organique.

La résistance mécanique des sols à la pénétration et les voies de circulation préférentielle pour la progression des racines dépendent des caractéristiques du sol, dont la texture, la porosité et la structure. Dans un sol compact, mal aéré, le faible niveau d'oxygène nuit à l'absorption du potassium. Non seulement les racines n'ont pas accès à un grand volume de sol, mais, aussi, le

système respiratoire des racines est modifié. L'augmentation de la respiration se traduit ainsi par des besoins accrus en oxygène.

En outre, un sol compacté provoque un accroissement de la pression sur les parois cellulaires, ce qui réduit la vitesse d'élongation racinaire, et accroît leur diamètre. Or, la diminution de la croissance des racines rend la plante plus sensible à la sécheresse : l'impact d'un déficit hydrique, même superficiel, est à la fois plus rapide et plus fort. D'où l'intérêt des façons culturales qui, combinées aux intenses activités biologiques au niveau des couches superficielles du sol, tendent à homogénéiser les microstructures du sol. Sur un sol sableux, il n'y a plus de croissance racinaire chez le cotonnier lorsque la résistance à la pénétration dépasse 29 bars. La croissance racinaire est ralentie bien avant cette valeur. La croissance racinaire est favorisée par une texture grossière. Cependant, les racines peuvent déformer la structure d'un sol argileux et humide, tandis-que pour un sol sableux, cela n'est pas possible, car la structure est beaucoup plus rigide.

Une diminution de la porosité entraîne, généralement, une diminution de la densité racinaire, surtout dans les milieux tassés, où la porosité est en dessous de 40 p.c. Cette résistance mécanique à la pénétration, et l'aération découlant de la porosité du sol, ont une influence sur la respiration et la colonisation du sol par les racines. Si la résistance à la pénétration est le plus important facteur, de très faibles teneurs en oxygène, en cas d'engorgement, affectent aussi le développement racinaire, bien que l'absence totale d'oxygène dans le milieu ne provoque pas forcément l'arrêt complet de la croissance des racines (BUNASOLS, 2005 ; Ouattara, 2009).

La croissance racinaire est liée à la nature du sol, si bien que les racines pourraient atteindre trois mètres de profondeur dans un sol profond, avec une faible densité apparente, en conditions de culture pluriannuelle. Si la racine pivotante est bloquée par un obstacle quelconque, les racines latérales se développent, mais restent superficielles, rendant ainsi le cotonnier sensible aux variations d'humidité (Ouattara, 2009). La restriction de la croissance des racines conduit au développement de plantes caractérisées par de courts entre-nœuds, et par un nombre réduit de feuilles.

Kuchenduch (1985) indique que l'absorption de fines particules d'argile par le mugicel constitue la première étape de la formation de micro-agrégats stables autour des racines. Cette agrégation des particules argileuses, soudées par le mucigel, constitue une protection de la racine contre un dessèchement excessif du sol. Elle lui permet ainsi d'assurer son alimentation, dans la mesure où une partie de la phase liquide du sol peut être conservée dans ces agrégats (Wesemael, 2006). La racine crée un pore, assez rapidement, en progressant, à l'aide de sa coiffe, puis, au cours d'un léger dessèchement, elle contracte sa membrane

épithéliale, se fixant sur une partie du pore racinaire. Le mucilage séparé de la racine constitue des ponts entre les particules argileuses élémentaires, qui s'agglomèrent progressivement. Ce mode d'arrangement des agrégats développés autour des racines est caractéristique des couches de surfaces, où la croissance du système racinaire s'effectue sans contraintes majeures.

3 4.4.2. Modifications chimiques

De nombreux auteurs ont montré que la croissance des cotonniers est réduite dans des conditions de faibles pH du sol (Safya, 1991 ; Oosterhuis, 2001 ; Rosolem *et al.*, 2003). Le cotonnier préfère des sols riches en éléments nutritifs, profonds, homogènes, meubles, et favorisant la pénétration des racines et des sols à textures argilo-sableuses ou sablo-argileuses, avec un pH compris entre 6 et 7. Cette dernière observation est confirmée par Berger *et al.* (1987), qui indique une forte toxicité en milieu acide, de l'aluminium échangeable, qui bloque l'absorption hydrique des racines. Safya (1991), rapporte que la manifestation d'une forte toxicité de l'aluminium échangeable sur sol ferrallitique et sur cotonnier, lorsque le seuil de $0,27 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ est atteint.

Si le pH est trop élevé, les éléments qui ne sont pas sous forme ionique peuvent être prélevés par la plante. Par ailleurs, le pH ayant une influence sur la disponibilité et l'absorption des éléments minéraux ; Oosterhuis (2001), Rosolem *et al.* (2003) ont indiqué que ce sont les pH proches de la neutralité (6,5 à 7,5) qui sont favorables à la disponibilité des éléments minéraux.

La diffusion, sous la dépendance du gradient de concentration, est influencée par certaines caractéristiques physico-chimiques, telles que la capacité d'échange pour le potassium ainsi que la distance à parcourir, c'est-à-dire le degré de colonisation du sol par les racines.

Les transferts par flux de masse sont liés à l'humidité du sol, au transport de l'eau, à l'intervention d'échanges continus entre la solution du sol et le complexe adsorbant, et à la libération d'anions, notamment de carbonates, par la respiration des racines. Ceci permet d'expliquer que les racines peuvent se trouver en présence de quantités de potassium supérieures à ce que la phase liquide pourrait laisser supposer.

De nombreux liens existent entre l'absorption et le métabolisme, notamment respiratoire. L'absence d'oxygène diminue fortement l'absorption.

3.4.4.3. Modifications biologiques

Les plantes sont aidées, dans l'absorption des nutriments minéraux, par une foule de microorganismes qui forment des associations étroites avec les racines. En effet, au cours de sa croissance, la surface externe de l'épiderme de la jeune racine se recouvre par une couche de mucilage ou mucigel. Le mucigel sécrété par les racines présente un fort pouvoir d'adsorption vis-à-vis des argiles. Cette sécrétion de suc racinaire est particulièrement active dans la zone sub-apicale, au voisinage de la coiffe; elle est constituée, en majeure partie, de polysaccharides, de lipides et de peptides, milieu particulièrement favorable au développement des microorganismes.

Les interactions racines-microorganismes (bactéries) du sol entraînent, dans certains cas, l'émission de plusieurs racines secondaires protéoïdes, proches de la surface du sol, qui améliorent l'absorption des éléments nutritifs (Reddy *et al.*, 2000; Legros, 2007; Epstein et Bloom, 2005). Les microorganismes peuvent donc modifier la morphologie et la croissance du système racinaire des plantes.

3.4.5. Fertilisation et nutrition potassique du cotonnier dans les agro-systèmes

D'une façon générale, la fertilisation vise à :

- redresser les déficiences du sol, ou à restituer au sol, au moins, l'équivalent des exportations afin de ne pas l'appauvrir ;
- assurer à la plante ses besoins minéraux, aux périodes critiques (cas du soufre entre la levée et le 50^e jour, du bore durant la floraison, du potassium durant tout le cycle, surtout lors de la période de maturation, de l'azote et du phosphore tout au long du cycle).

Les doses d'engrais conseillées pour la culture du cotonnier, au Burkina Faso, sont de 150 kg ha⁻¹ de NPKSB (14-23-14-6-1, 15-20-15-6-1, 14-18-18-6-1), à la levée, et de 50 kg ha⁻¹ d'urée (46 p.c. N), au 40^e jour après semis.

Tous ces éléments nutritifs apportés par la fertilisation participent à la nutrition minérale du cotonnier, mais, chacun joue un rôle spécifique dans la physiologie de la plante. Ainsi :

- l'azote a des effets directs se traduisant par un accroissement de la taille des cotonniers, non pas par allongement des entre-noeuds et de la distance entre branches, mais par un plus grand nombre d'entre-noeuds (Oosterhuis (2001). Par ailleurs, il a indiqué que l'azote augmente

le volume et la précocité de la floraison. Les besoins en azote du cotonnier sont très variables, et il est nécessaire d'assurer une nutrition azotée en début de végétation, une déficience précoce, mal corrigée, étant toujours difficile à compenser ;

- le phosphore participe à la plupart des activités biochimiques : respiration, synthèse et dégradation des glucides, synthèse des protéines et activités diastatiques. Il est, généralement, absorbé sous la forme d'ion H_2PO_4^- , exceptionnellement, sous la forme HPO_4^{2-} , mais, jamais sous la forme PO_4^{3-} . Il est abondant dans les organes jeunes, ou les cellules en multiplication intense, renfermant une plus grande proportion d'acides nucléiques (Oosterhuis, 2001). Sur le cotonnier, la déficience phosphorique se traduit par une teinte vert foncé, presque bleutée, du feuillage, par une réduction de la taille des feuilles et du plant, et donc du potentiel productif ;

- le soufre est un élément qui entre dans la composition de molécules essentielles tels que les protéines et divers cofacteurs (vitamine B1 et Coenzymes) indispensables au métabolisme des plantes. Il est peu mobile dans la plante, et sa déficience entraîne l'arrêt de la synthèse protéique, qui conduit à une accumulation de composés solubles. Les symptômes visuels de carence sont proches de ceux de l'azote : décoloration ou jaunissement du limbe, surtout des feuilles du sommet du plant, les nervures demeurant vertes, contrairement à ce que l'on observe avec la déficience azotée. Les feuilles deviennent cassantes en s'épaississant, et elles prennent une forme convexe. La déficience s'aggrave avec l'apport d'azote.

- le bore est absorbé par la plante sous forme d'ion borique H_2BO_3^- , mais, il ne passe pas dans la sève du phloème. Il tend à s'accumuler, à l'instar du calcium, dont il favorise d'ailleurs l'absorption, et, réciproquement (Martin-Prevel *et al.*, 1984). Impliqué dans la synthèse des bases azotées, il est indispensable au fonctionnement des méristèmes. C'est pourquoi, les carences en bore provoquent des déformations et des nécroses sur les jeunes organes. Les symptômes visuels sont caractéristiques : les pétioles présentent des renflements annulaires vert foncé, pourvus d'une pilosité plus abondante, les lobes insuffisamment fécondés de certaines capsules s'affaissent et prennent l'aspect de noix de cola. Une bonne nutrition en bore augmente l'efficacité de la fructification, et on observe une importante abscission des capsules, sous une déficience en bore.

Dans le sol, le bore est lié à la matière organique; sa disponibilité dépend des facteurs qui affectent la minéralisation de la matière organique. L'apport du bore se fait par la boracine associée aux formules d'engrais ;

- le calcium intervient dans la formation des parois pectocellulosiques. Le défaut de calcium ou sa disparition, par suite d'antagonisme avec le potassium ou le magnésium, a pour effet de désagréger les tissus (Epstein et Bloom, 2005). Il est généralement présent en quantité

suffisante pour l'alimentation des plantes. Seuls quelques cas de déficiences directes de calcium sur le cotonnier ont pu être mis en évidence ;

- le magnésium est l'activateur privilégié de la plupart des ATPases, et stimule la nutrition phosphorée de la plante. La molécule de chlorophylle contenant un atome de magnésium, la carence magnésienne se manifeste par une destruction localisée de ce pigment, se traduisant par un rougissement du feuillage. Cette carence se manifeste sur les vieilles feuilles par un mécanisme d'appel du magnésium vers les plus jeunes ;

- le potassium joue un rôle d'activateur du métabolisme et de régulateur des fonctions de la plante. Il a été découvert en 1807 par Sir Humphry Davy qui l'obtient par électrolyse d'hydroxyde de potassium, représente le premier métal isolé par électrolyse, constitue environ 2,58 p.c. du poids total de la croûte terrestre, dont il est un des sept éléments les plus abondants. En effet, bien qu'il puisse être synthétisé par voie chimique, selon la formule $[HCl + KOH \rightarrow KCl + H_2O]$ (1), la majorité des fertilisants potassiques se rencontre sous forme de minerais, car K élément n'est jamais rencontré dans la nature, en raison de sa réactivité chimique. Les gisements de potasse se présentent sous forme de lits de sels ou minerais au fond des anciens lacs et mers morts, d'où le potassium est extrait. Parmi les minerais, importants de potassium à exploitation économique, on peut citer la sylvinite, la carnallite ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$), la langbeinite ($K_2Mg_2(SO_4)_3$), la polyhalite ($K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$) et la sylvine (KCl).

De nos jours, les principaux gisements de potassium sont situés au Saskatchewan (Biélorussie), en Alsace (France), en Allemagne, en Californie, au Nouveau-Mexique et en Utah aux Etats Unis. Par ailleurs, les océans constituent une réserve importante de potassium ou KCl est associé à NaCl, même si sa concentration y est plus faible que celle du sodium. En effet, les saumures contiennent environ 3 p.c. de K_2O .

Pour la fabrication des engrais potassiques, on utilise, comme matières premières, des minerais extraits de divers gisements potassiques, à savoir :

- la sylvinite, qui se compose principalement de chlorure de potassium (KCl) et de chlorure de sodium (NaCl), contenant 20 à 30 p.c. de K_2O . C'est notamment le cas en Alsace ;
- la sylvite, qui se compose, essentiellement, de KCl, contenant environ 63 p.c. de K_2O ;
- de la carnallite, mélange de chlorure de potassium (KCl) et de chlorure de magnésium ($MgCl_2$) ;
- de la kaïnite, mélange de chlorure de potassium (KCl) et de sulfate de magnésium ($MgSO_4$) ;
- la langbeinite, qui se compose, en grande partie, de sulfate double de potassium (K_2SO_4) et de magnésium ($MgSO_4$), avec environ 23 p.c. de K_2O .

La production du chlorure de potassium (KCl), qui dose 60 p.c. de K_2O , consiste à le séparer des autres sels, à débarrasser le minerai brut de ses impuretés et à le raffiner, pour obtenir des engrais, par des procédés de cristallisation ou de flottaison (Fig. 6). Dans le cas de la sylvinite, deux procédés sont utilisés :

- le procédé thermique, qui s'appuie sur la différence de solubilité entre le chlorure de potassium, plus soluble à chaud qu'à froid, et le chlorure de sodium, dont la solubilité ne varie pas ;

- le procédé de «flottation», par introduction d'un réactif se fixant seulement sur les cristaux de chlorure de potassium, qui, pris dans un souffle d'air, flottent à la surface. Il faut noter que la majorité du KCl agricole est produit par le processus de flottaison.

L'attaque du chlorure de potassium par l'acide sulfurique permet de fabriquer du sulfate de potassium (K_2SO_4), fertilisant utilisé pour les cultures exigeantes en soufre ou sensibles à l'ion Chlore (Cl). Le sulfate de potassium (K_2SO_4), appelé encore (SOP), contient environ 50 p.c. de K_2O et 18 p.c. de soufre (S). Comme sa teneur en chlore est en dessous de 2,5 p.c., il est plutôt utilisé pour les cultures sensibles au chlore, tels que les fruits, le tabac, et sur certains arbres auxquels il fournit le soufre.

Le sulfate double de potassium et de magnésium ($K_2SO_4-2MgSO_4$) contient environ 22 p.c. de K_2O , 11 p.c. de magnésium (Mg) et 22 p.c. de soufre (S). Il se présente, dans la nature, sous forme de minerai, la langbeinite qui, après raffinage, donne l'engrais commercial. C'est une excellente source de K et de Mg solubles à l'eau, et très importante en cas de déficience en magnésium (Mg) et/ou en soufre (S).

Le nitrate de potassium (KNO_3) contient peu ou pas de Cl ou de S. Il contient environ 44 p.c. de K_2O et 13 p.c. d'azote (N). Pour des raisons économiques, il n'a jamais fait l'objet de commande au Burkina Faso, bien qu'il soit efficace sur cotonnier.

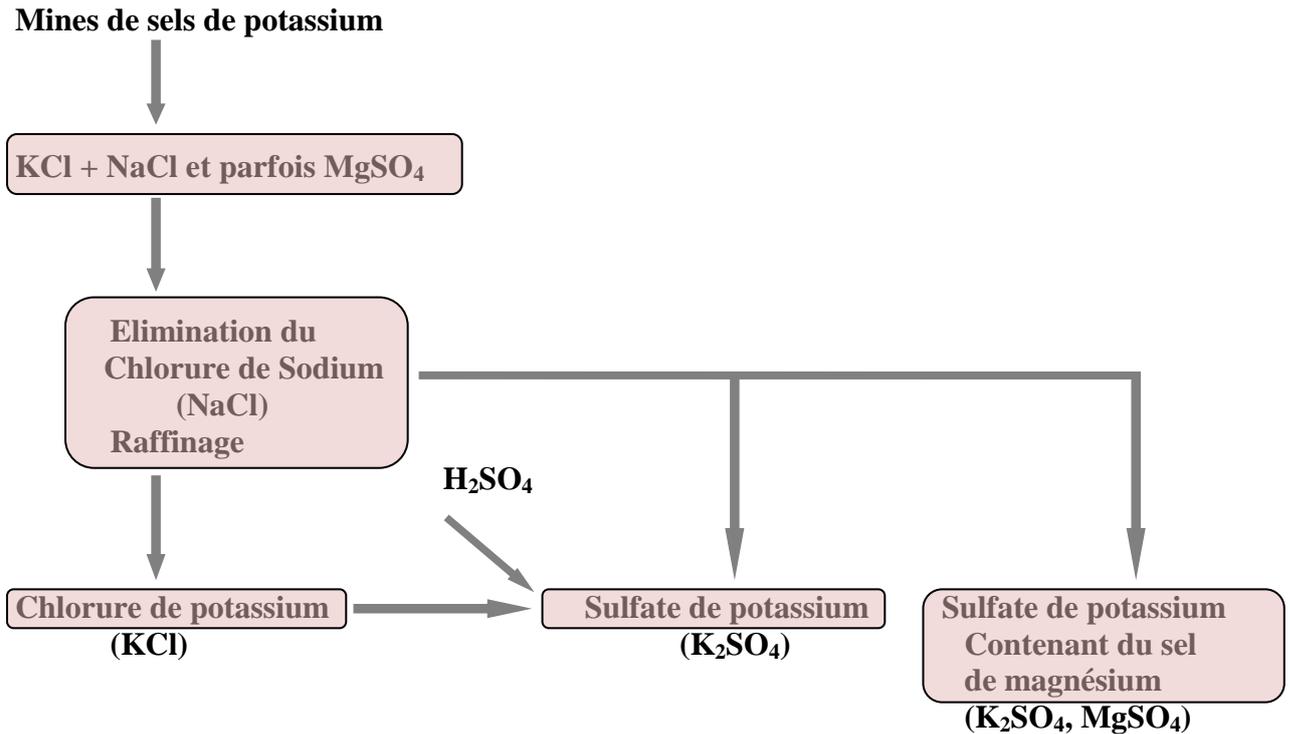


Figure 7 : Schéma simplifié de production des engrais potassiques

Le potassium 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 (Martin-Prevel, 1984; Heller *et al.*, 1989). Le potassium diminue donc les pertes d'eau, par transpiration, et augmente l'efficacité de l'osmorégulation chez les plantes cultivées, ce qui rend son usage particulièrement bénéfique dans des conditions climatiques sèches, notamment en zone soudano-sahélienne. Par ce phénomène, le K joue un rôle très important sur la qualité de la fibre de coton, en occurrence la longueur (Rosolem *et al.*, 2003). Par ailleurs, selon l'Institut International de la Potasse (2005), les besoins du cotonnier en K sont de 3 à 5 kg ha⁻¹ par jour. A maturité, le cotonnier contient 110 à 250 kg ha⁻¹ de potassium, dont 54 p.c. dans les organes végétatifs et 46 p.c. dans l'appareil reproducteur. On estime que pour produire une balle de fibre de coton soit environ 220 kg, on a besoin de 20 kg de potassium. En effet, K est le cation le plus abondant dans la fibre de coton, (IPI, 2005). Par ses fonctions, le potassium est un élément valorisateur des hautes intensités lumineuses, qui favorise la résistance à certaines maladies cryptogamiques.

Le potassium se porte vers les méristèmes, et ses teneurs sont décroissantes avec l'âge des plants (Braud, 1987). Par un mécanisme d'appel, ce sont les organes âgés qui manifestent les

premiers signes de la carence en potassium, très caractéristique chez le cotonnier : les feuilles les plus anciennes présentent un jaunissement des internervures, puis une nécrose en bordure du limbe, la feuille se desséchant ensuite, tout en restant accrochée au plant.

La période critique des besoins en K sur cotonnier se situe au moment du remplissage des capsules. C'est pourquoi Reddy *et al.* (2000) ont défini ci-après les teneurs en K des pétioles en situation de croissance optimale, aux USA :

- début floraison : 45.000 mg kg⁻¹ ;
- floraison maximum : 30.000 mg kg⁻¹ ;
- ouverture 1^{ère} capsule : 15.000 mg kg⁻¹ ;
- récolte : 10.000 mg kg⁻¹.

Oosterhuis (2001) estime que les teneurs optimales en potassium dans les pétioles de feuilles de cotonniers peuvent être calculées comme suit :

- 4 p.c. à l'ouverture de la 1^{ère} fleur ;
- 3 p.c. à la floraison maximale ;
- 2 p.c. à l'ouverture de la 1^{ère} capsule ;
- 1 p.c. à la récolte.

L'absorption du potassium suit la production de matière sèche, sauf qu'elle atteint son pic à 110 jours après la levée, et décroît après, pendant que la production de matière sèche continue.

Mais, cette carence en potassium n'apparaît pas de façon brutale (Braud, 1987). En effet, il serait possible, à partir du diagnostic foliaire, de prévoir une carence en potassium sur cotonnier au moins deux ans avant son apparition. Nonobstant ces observations, l'apparition des déficiences peut être subdivisée en plusieurs stades :

- stade de nutrition correcte ;
- stade de carence latente, détectable par diagnostic foliaire, mais sans incidence sur le faciès foliaire ;
- stade de carence faible, perceptible au diagnostic foliaire, avec quelques symptômes visuels au champ mais sans conséquences pour les rendements ;
- stade de carence grave, donnant au champ l'aspect "rouille ou chauves-souris", car les feuilles desséchées restent accrochées aux tiges. Cet état de carence limite le nombre et les dimensions des capsules mûres, et est responsable de la qualité inférieure des graines et du lint.

C'est dire que la déficience en K affecte aussi bien le rendement égrenage que la qualité de la fibre.

Toutefois, il convient de noter que les teneurs en potassium dans le cotonnier peuvent dépendre de plusieurs facteurs. On peut citer, notamment, le type d'organe choisi (feuille, limbe

ou pétiole), de sa position sur le plant (au sommet ou à l'aisselle d'une fleur), de l'âge physiologique des plants, déterminé par le niveau de floraison. Le facteur variétal, l'alimentation hydrique ainsi que les interactions avec les autres éléments de la fumure (en particulier le soufre) sont également des paramètres à prendre en considération. Dans tous les cas, l'expression des déficiences en potassium sur cotonnier dépend des teneurs en d'autres éléments nutritifs présents dans les sols.

Pour les diverses pertes, on peut noter le potassium exporté par les récoltes (tiges et pailles), le potassium des cendres de brûlis emportées par le vent et les ruissellements, le potassium des drainages, évalué entre 5 et 10 kg de K_2O /an/ha, et le potassium perdu par l'érosion des sols, quoi que très variable.

Dans le calcul du bilan potassique, il faut tenir compte, en plus des engrais, d'autres sources d'apport de K, tels que :

- le potassium apporté par les pluies, qui est estimé à 5 kg de K_2O /ha/an, selon (Beauchamp, 2006) ;
- le potassium provenant des cendres de brûlis sous forme de K_2CO_3 , dont les quantités sont très variables ;
- le potassium des fumiers, évalué entre 1 à 3 p.c. K_2O par rapport à MS ;
- le nitrate de potassium ou salpêtre (KNO_3), utilisé dans la fabrication de poudre à canon.

Tableau III : Caractéristiques de quelques sels de potassium utilisés en milieu rural

	Potasse traditionnelle (K_2CO_3)	Salpêtre (KNO_3)
pH eau	11,20	8,44
pH KCl	11,16	8,35
N (p.c.)	0,005	9,16
P tot. (p.c.)	1,30	4,00
K tot. p.c.)	60,96	69,30

En ce qui concerne les interrelations entre les éléments minéraux, elles sont très variables. Par exemple l'absorption des éléments peut indiquer des antagonismes dont le mécanisme est complexe (Soltner, 1994).

L'ion potassium absorbé peut diminuer l'absorption des autres ions; il y a concurrence ionique. Quelques exemples peuvent être cités :

- une offre croissante de K diminue l'absorption de Mg et, accessoirement, de Ca ;
- une offre croissante de Ca diminue l'absorption de K et de Mg ;

- une offre croissante de Mg diminue l'absorption de K et de Ca.
- l'assimilation accrue de l'azote provoque une réduction du taux de soufre dans la plante, soit par dilution, en cas de croissance, soit par opposition à l'absorption. Par ailleurs, les plantes absorbent les anions et les cations, presque en quantités équivalentes, avec un ratio $(\text{NH}_4+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg})/(\text{NO}_3+\text{Cl}+\text{SO}_4+\text{PO}_3)$, légèrement, supérieur à 1.

Il est donc indispensable de considérer les relations entre les éléments dans l'élaboration des formules d'engrais complexe, qui doivent présenter un équilibre entre des éléments minéraux compatibles avec une bonne nutrition du cotonnier.

3.4.6. Absorption des ions K^+ dans les zones soudano-sahéliennes

Le potassium est absorbé par la plante sous sa forme ionique K^+ . Il est essentiel pour la translocation des sucres et pour la formation de l'amidon. Il intervient dans la régulation osmotique et ionique, ainsi que dans le processus d'ouverture et de fermeture des stomates. Le potassium est nécessaire pour plusieurs fonctions enzymatiques, et pour le métabolisme des protéines et des carbohydrates. Le potassium joue un rôle important dans les réactions intervenant dans l'assimilation chlorophyllienne, la formation et la mise en réserve des glucides. Du fait de cette influence, le potassium favorise, indirectement, le développement des racines et la résistance à la verse. Sa déficience entraîne l'apparition progressive de symptômes, se traduisant par :

- une réduction de la production de fibre, à travers la limitation de la taille des capsules ;
- un accroissement artificiel de la précocité, par la limitation de la période de fructification ;
- une ouverture forcée, c'est-à-dire prématurée des capsules, donnant de la fibre immature ;
- une présence accrue de capsules momifiées.

Le potassium joue un rôle d'activateur du métabolisme et de régulateur des fonctions de la plante. 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, le potassium limite la transpiration; en activant leur ouverture, il permet la reprise de la photosynthèse, dès que le déficit n'est pas limitant (Martin-Prevel, 1984). Par ailleurs, le potassium intervient dans l'équilibre acido-basique des plantes, car la neutralisation des acides organiques des plantes est assurée à 90 p.c. par le potassium, les 10 p.c. restant ne sont que

l'œuvre du Na, Ca, Mg et Al. C'est donc un régulateur physiologique (Oosterhuis, 2001; Dong *et al.*, 2004).

Les besoins en K d'une plante sont fonction :

- du type de plante : les dicotylédones, comme le cotonnier, absorbent moins de K que les monocotylédones (ex. maïs). Les céréales, en particulier, absorbent beaucoup de K au début de la montaison, avant la période de croissance rapide, et avant la période de besoins rapides en N : le maximum est situé à la floraison. Les céréales, du fait de leur système racinaire plus dense et fin, exploitent mieux le potassium du sol que les cotonniers, qui développent de plus grosses racines ;

- de la variété ;
- du niveau de rendement ;
- de la profondeur du sol accessible aux plantes ;
- de l'apport d'autres éléments nutritifs ;
- des conditions climatiques ;
- des quantités d'eau disponible.

Le potassium migre vers les méristèmes, et ses teneurs sont décroissantes avec l'âge des plants. Dans le sol, le potassium se trouve sous quatre formes principales de valeur inégale pour la plante. Selon un degré de disponibilité décroissante, on distingue : ainsi, le potassium dans la solution du sol, le potassium adsorbé, le potassium à l'intérieur des réseaux cristallins, le potassium non échangeable.

Le potassium dans la solution du sol est directement absorbé par la plante. Cette fraction de potassium est la plus faible et la plus variable dans le sol. La vitesse de réapprovisionnement de la solution du sol en potassium est une caractéristique intrinsèque du sol. Cette capacité représente le pouvoir tampon du sol. Quand les plantes puisent leurs besoins en potassium du sol par absorption racinaire, les sols argileux réapprovisionnent plus rapidement la solution du sol en cet élément que les sols sableux (Elsass, 2005 ; Legros, 2007). Dans la solution du sol, K est un cation soluble sec, avec un potentiel ionique de 0,37(1/2,66). Selon Beauchamp (2006), K de la solution du sol est évalué entre 5 à 10 kg ha⁻¹ de K₂O, soit au maximum 10 p.c., et, bien souvent, beaucoup moins (1 p.c.).

Il existe un équilibre entre le potassium de la solution du sol et celui qui est adsorbé sur le complexe d'échange cationique, les deux constituent un tout, utilisable pour l'alimentation de la plante : c'est le potassium échangeable ou assimilable. Il est extractible avec une solution d'acétate d'ammonium normale et neutre. Par cette méthode, 95 p.c. du potassium adsorbé au complexe argilo-humique peuvent être extraits (Beauchamp, 2006). Le potassium échangeable

est donc un très bon indice de la disponibilité du potassium dans les sols. On estime K fixé sur le complexe adsorbant ou K éch. = 200 à 500 kg de K_2O , dans l'horizon 0 - 20 cm. Le potassium adsorbé représente 90 p.c., ou davantage, du potassium échangeable. Les plantes peuvent utiliser, aussi bien le potassium libre de la solution du sol, que le potassium adsorbé sur le complexe adsorbant, c'est-à-dire sur le complexe argilo-humique. Lorsque le potassium est lié aux matières organiques, il est particulièrement facile à utiliser par les végétaux. Une liaison particulière du potassium avec les matières organiques existe lorsque le K^+ est adsorbé sur la paroi bactérienne, ou encore lorsque les bactéries intègrent cet élément au cours de leur métabolisme. À leur mort, ces bactéries restituent le potassium sous une forme particulièrement utilisable.

Le potassium échangeable est à la fois le potassium de la solution du sol et le potassium adsorbé sur les colloïdes argilo-humiques. Cette forme de potassium ne représente qu'une infime part du potassium total contenu dans les sols (entre 1 et 5 p. c).

Le potassium à l'intérieur des réseaux cristallins, c'est-à-dire à l'intérieur des feuillets d'argiles, intervient plus difficilement dans l'alimentation des plantes. C'est le potassium rétrogradé ou fixé, c'est-à-dire fixé sous forme non échangeable. On dit que le potassium est rétrogradé quand les ions K^+ passent de la surface externe des argiles pour s'insérer à l'intérieur, entre les feuillets d'argile (surtout les montmorillonites et les illites). La rétrogradation des ions K^+ rend leur mobilisation difficile. Cette rétrogradation se fait quand le pH du sol augmente, en période de dessiccation, et lorsque la présence d'ions calcium augmente dans la solution du sol. Mais, ce processus n'est pas irréversible. La libération des ions K^+ peut se faire en période d'humectation, et, surtout, aussitôt que la réserve d'ions K^+ pour les plantes diminue, on dit alors que le potassium est régénéré. En effet, quand ce potassium repasse à l'extérieur du complexe, il redevient utilisable par les plantes ; on dit alors que le potassium est régénéré. Cette forme de potassium peut, dans certaines conditions, contribuer, de manière très significative, à l'alimentation des plantes. En effet l'ion K^+ est un cation sec, avec un diamètre ionique de $2,66 \text{ \AA}$, et un potentiel ionique de 0,37. Il est donc très mobile dans le sol. La quantité de K dans les réseaux des argiles (éch. ou rétro) varie selon la nature des minéraux argileux : elle est importante dans le cas de l'illite, et faible pour la kaolinite.

Le potassium des minéraux silicatés ou potassium non échangeable : les formations cristallines et volcaniques sont généralement riches en potasse (2 à 7 p.c. dans les feldspaths du granite), mais cette potasse se trouve sous forme pratiquement insoluble, donc inutilisable par la plante. Les micas, les feldspaths et certaines argiles, comme les illites, sont très riches en

potassium. Cette forme de potassium, constituant des matériaux silicatés, représente 98 p.c. du poids total de cet élément dans les sols. Naturellement, ce potassium n'est pas directement disponible. Toutefois, sous l'action des facteurs atmosphériques et des racines, une petite fraction pourrait être mise à la disposition des plantes. En effet, selon Elsass (2005), les plantes peuvent intervenir dans l'altération des minéraux. Cette disponibilité acquise, le plus souvent, au terme d'une activité biologique plus ou moins longue, aboutira à l'altération des matériaux silicatés.

Le mécanisme de fixation et de rétrogradation du potassium est lié à la structure cristalline des argiles. Par exemple chez l'illite, le K interfeuillet est complètement inaccessible aux racines. Chez le chlorite (14 Å), la rétention du K est majoritairement externe. Chez la montmorillonite (15,5 Å), les espaces interfeuillet sont occupés par Ca et Mg, ce qui rend difficile l'alimentation des plantes en K. La kaolinite (7,1 Å), quant à elle, est incapable de fixer K. D'où l'importance de la matière organique, car, en plus, les capacités d'échange en bases de ces différents types d'argiles, exprimées en $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$, sont :

- kaolinite : $3 < T < 15$;
- illite : $10 < T < 40$;
- montmorillonite : $80 < T < 150$;
- humus : $300 < T < 500$.

De plus, les différentes roches mères ont une incidence sur la nutrition minérale des plantes, parce que les différents sols qu'elles portent sont, en grande partie, constitués à partir de leurs produits d'altération.

Dans la solution du sol, on distingue deux processus dans l'absorption du potassium (Rosolem *et al.*, 2003) ; Epstein et Bloom, 2005 ; Girma, *et al.*, 2007) : le flux de masse et la diffusion. La distance de mobilité du potassium dans le sol, et donc sa faculté de diffusion, est seulement de 7,5 mm. Dans le sol, les mouvements d'ions vers les racines s'effectuent sur des distances limitées, de l'ordre du centimètre, pour le potassium, par diffusion et flux de masse. Le volume de sol réellement utilisé dépend donc de la longueur totale de l'enracinement. Le contrôle de l'absorption des éléments minéraux par la racine est exercé par la membrane plasmique de cellules individuelles.

Par ailleurs, les mécanismes d'absorption varient selon la nature des ions. Ainsi, Epstein et Bloom (2005) prenant l'exemple des ions K^+ , NO_3^- , H_2PO_4^- pour les plantes cultivées, ont défini les taux d'absorption de K selon les trois mécanismes que sont la diffusion, le flux de masse et l'interception par les racines.

Tableau IV : Mécanismes d'absorption des ions minéraux par les plantes

	Interception	Flux de masse p.c.	Diffusion
NO ₃ ⁻	7	83	11
H ₂ PO ₄ ⁻	24	20	56
K ⁺	7	30	63

Cela est confirmé par Rosolem *et al.* (2003) qui, dans une étude sur la disponibilité du potassium aux plantes de cotonnier, conclut que la grande partie du potassium atteint les racines du cotonnier par le processus de diffusion.

Par ailleurs, l'absorption des ions ne s'effectue pas uniformément tout le long de la racine. Par exemple, chez le maïs, l'absorption du K dans les quinze premiers centimètres, à partir de l'apex, est différente de celle opérée à partir du collet. C'est dire que les racines des plantes ne peuvent intercepter qu'une faible quantité de K. En outre, l'intensité de l'absorption varie en fonction du type, de l'âge et de l'espèce des cellules. En effet, une cellule méristématique absorbe intensément les ions K⁺, NO₃⁻, H₂PO₄⁻, alors qu'une cellule sénescence se chargera de Ca₂⁺. La nature de l'espèce végétale est également à prendre en compte, car, selon Heller *et al.* (1989) ; Junk *et al.* (1982) et Kemler (1987), les dicotylédones absorbent moins de potassium que les monocotylédones.

Rosolem *et al.* (2003) ont, par ailleurs, noté, avec un apport de potassium dans la fertilisation du cotonnier :

- une augmentation de la production de biomasse ;
- une augmentation des teneurs en K des feuilles, tiges et racines selon les doses de K ;
- une augmentation de l'interception de K, par les racines, proportionnelles aux doses d'apport ;
- une augmentation du flux de masse, avec la quantité de racines fines, c'est-à-dire tertiaires.

La diffusion est la principale forme d'absorption du K par le cotonnier, quand le sol est bien pourvu en potassium ; mais, dans certaines circonstances, le flux de masse peut jouer un grand rôle. Quand les teneurs en K de la solution du sol et la teneur en K échangeable sont faibles, les coefficients de diffusion sont également faibles. Les apports de K sous forme de fertilisation ne font qu'améliorer ces paramètres. Par rapport au taux de diffusion de K, l'efficacité du système racinaire dépend du taux de croissance racinaire, de la longueur des racines et de la surface des racines.

Le coton est connu comme ayant une faible densité racinaire par rapport aux autres grandes cultures, comme les céréales. La concentration de K dans les racines et dans les tiges augmente jusqu'à la dose de 60 mg kg^{-1} de K, de façon linéaire, K intercepté par les racines étant inférieur à 1 p.c. du total, même dans les sols bien pourvus en K, où K intercepté par les racines ne dépasse guère 2 p.c. du total.

La diffusion est également linéaire et proportionnelle aux doses de K. Le flux de masse est également proportionnelle et linéaire, mais, exponentielle en cas d'apport de dolomie, c'est-à-dire amendement. L'interception racinaire donne une réponse quadratique.

Quand la demi-distance entre racines voisines est inférieure à 4 mm, il ya compétition entre racines par rapport à la diffusion (Chopart, 2004). Par ailleurs, Rosolem *et al.* (2003) ont estimé la longueur totale des racines du cotonnier, entre 9 et 12 m, alors que celle spécifique des racines tertiaires serait de 3,5 à 5,5 m.

Le cotonnier laisserait dans le sol, 50 à 400 g m^{-2} , soit 0,5 à 4 tonnes de MS racinaire.

Les plantes peuvent répondre à la diminution de la disponibilité d'un élément du sol, en augmentant la croissance des racines aux dépens de la croissance des tiges, ce qui a pour effet d'augmenter la surface d'absorption au niveau du système racinaire, et l'envoi des racines dans de nouvelles zones (Chapin, 1980). En d'autres termes, les systèmes racinaires des plantes couvrent le sol à la recherche des éléments nutritifs, par la mort des racinaires tertiaires, des zones appauvries, et par l'émission de nouvelles racines tertiaires, dans de nouvelles zones.

Les expériences de Nemeth et Rex (1981), Jungk *et al.* (1982) ainsi que de Kuchenduch (1985) montrent que les besoins nutritifs des plantes peuvent être satisfaits par une faible proportion de racines (5 p.c. des racines suffisent pour une bonne nutrition de la plante si les éléments nutritifs sont disponibles).

La majorité des ions absorbés dans l'apex reste dans la racine. La proportion d'ions transportés vers les feuilles augmente en fonction de la distance à l'apex.

Deuxième Partie :

MATERIEL ET METHODES

Chap. IV : MATERIEL

Chap. V : METHODES

CHAPITRE IV : MATERIEL

Afin d'apporter des réponses adéquates aux multiples questions que pose notre étude, divers types de matériel ont été utilisés. Il s'agit de matériel :

- pour l'étude de roches mères, et de produits intermédiaires d'altération ;
- ayant servi pour les prélèvements et analyses de sol, et pour la confection de profils pédologiques ouverts, sur chaque segment topographique des sols. En effet, sur chaque type de sol, des prélèvements ont été effectués selon trois segments topographiques : haut de versant, mi-versant et bas de versant ;
- pour l'étude du système racinaire du cotonnier ;
- pour les prélèvements et les analyses de tissus végétaux sur cotonnier et maïs, lorsque la disposition des cultures le permet, c'est-à-dire lorsque les cultures sont disposées parallèlement, dans le sens de la plus grande pente ;
- pour la réalisation des essais et tests de fertilisation potassique sur cotonnier, aussi bien en milieu contrôlé (Station, ferme) qu'en parcelles paysannes.

4.1. Matériel végétal

4.1.1. Variétés de cotonnier

Deux variétés de cotonnier, toutes en grande culture, ont été utilisées au niveau des expérimentations. Il s'agit notamment des variétés conventionnelles *FK 37* et *STAM 59A* et leurs dérivées transgéniques *FK 95 BG 2* et *FK 96 BG 2*. Les caractéristiques agronomiques et technologiques de ces cotonniers figurent dans les tableaux Va et Vb.

Tableau Va : Caractéristiques agronomiques et technologiques de la variété *Stam 59 A***Variété : STAM 59 A**

Généalogie : [(SR1F4*L 299-10)* (Ston 213* {G115-7}3)] X [(T120-7* U585-12)* (T120-7* 279)]

Origine : Station d'Anié Mono (Togo)

Aire de culture : Zone Nord soudanienne à pluviométrie < 800 mm.

Port de la plante	Pyramidal
Ouverture 1 ^{ère} fleur (JAS)	55
Ouverture 1 ^{ère} capsule (JAS)	110
Branches végétatives	1 à 2
Forme capsule	Ronde
Pilosité	Moyenne
Ouverture stormproof	Moyenne
Hauteur moyenne (cm)	120
Entre-nœuds	Courts
Précocité (p.c. 1 ^{ère} récolte)	80
Poids moyen capsulaire (g)	4,7
Rendement coton graine (kg ha ⁻¹)	2500 à 3000
Rendement égrenage (20 scies) p.c.	43,63
Poids de 100 graines (g)	7,5
Longueur UHLM (mm)	29,35
Ténacité (g/tex)	30,46
Allongement (p.c.)	5,2
Reflectance (RD p.c.)	77,9
Indice de jaune	8,2
Micronaire	4,0
Teneur en huile (p.c.)	20 à 30

Source : IN.E.R.A (2009)

NB : Les caractéristiques agronomiques et technologiques de la variété de coton transgénique *FK 96 BG 2*, ne diffèrent pas de celles de la *STAM 59 A* dont elle dérive.

Tableau Vb : Caractéristiques agronomiques et technologiques de la variété *FK 37***Variété: FK 37**Généalogie : H²784 * IRMA BLT/PF

Origine : IN.E.R.A/Programme Coton, Station de Farako-bâ

Aire de culture : Zone Sud soudanienne à pluviométrie > 800 mm

Port de la plante	Elancé
Ouverture 1 ^{ère} fleur (JAS)	65
Ouverture 1 ^{ère} capsule (JAS)	115
Branches végétatives	1 à 2
Forme capsule	Ovoïde
Pilosité	Moyenne
Ouverture stormproof	Bonne
Hauteur moyenne (cm)	150
Entre-nœuds	Longs
Précocité (p.c. 1 ^{ère} récolte)	70
Poids moyen capsulaire (g)	4,8 à 5,2
Rendement coton graine (kg ha ⁻¹)	2500 à 3500
Rendement égrenage (20 scies) p.c.	43,40
Poids de 100 graines (g)	9,0
Longueur UHLM (mm)	30,70
Ténacité (g/tex)	34,20
Allongement (p.c.)	5,40
Reflectance (RD p.c.)	75,20
Indice de jaune	9,0
Micronaire	3,8
Teneur en huile (p.c.)	20 à 30

Source : IN.E.R.A (2009)

NB : Les caractéristiques agronomiques et technologiques de la variété de coton transgénique *FK 95 BG 2*, ne diffèrent pas de celles de la *FK 37* dont elle dérive.

La transformation des variétés conventionnelles en variétés transgéniques s'est faite par introgression des gènes Cry1Ac et Cry2Ab, qui permettent aux plantes de lutter contre deux groupes de ravageurs du cotonnier que sont les chenilles carpophages et phyllophages. Ces deux gènes n'ont pas d'effet sur les piqueurs-suceurs, et cette transformation ne devrait affecter en aucun cas, une autre caractéristique des cotonniers.

Dans les conditions actuelles de production, 95 p.c. de la production de capsules des cotonniers sont portés par les branches fructifères, et seuls 5 p.c. de ces capsules sont produits par les branches végétatives. Le poids moyen capsulaire varie de 2 à 5 g, pour une moyenne de 3,5 g, avec des capsules de 3 à 5 lobes. Un cotonnier normal produit 100 boutons floraux, qui donneront 40 fleurs qui, à leur tour, produiront 16 capsules. Le shedding total est dû, pour 80 p.c., au shedding pré-floral, et pour 20 p.c., au shedding post-floral.

4.1.2. Variétés de maïs

Une variété améliorée de maïs a été utilisée, aussi bien pour nos tests et essais qu'en milieu paysan. Il s'agit de la *SR 21*, qui a un cycle semis-maturité de 100 à 105 jours, une hauteur de 215 cm environ. Son grain est de couleur blanche, de texture cornée et dentée. Le rendement potentiel moyen est de 4000 kg ha⁻¹, pour une pluviométrie moyenne de 900 mm/an.

4.2. Fumure minérale

La formule de fertilisation, généralement, utilisée est basée sur l'engrais coton, de formule 14-23-14-6S-1B, 15-20-15-6S-1B ou 14-18-18-6S-1B, apporté à la dose de 150 kg ha⁻¹, à 15 jours après la levée, associé à 50 kg d'urée 46 p.c. de N, au 40^e jour. Cette formule peut être fabriquée, soit à partir d'une formulation complexe résultant de combinaison chimique, soit par mélange compacté ou non compacté, sous forme de bulk blending. Du point de vue des caractéristiques physiques, cet engrais se présente sous forme de granulés, de dimension moyenne comprise entre 2 mm et 4,5 mm, dont 90 p.c. compris entre 2,5 et 4 mm. La teneur en éléments fertilisants, exprimés en nombre d'unités fertilisantes par 100 kg d'engrais, est la suivante :

- Azote (N) : 14 ;
- Anhydride phosphorique (P₂ O₅) : 18 ;
- Oxyde de potassium (K₂ O) : 18;

- Soufre (S) : 6 ;
- Anhydride borique ($B_2 O_3$) : 1.

L'azote est sous forme uréique ou ammoniacale, à l'exclusion de toute forme nitrique ;

L'acide phosphorique (P_2O_5) est à 100 p.c. soluble dans une solution aqueuse de citrate d'ammonium neutre à 1 p.c. et, au moins à 80 p.c. soluble dans l'eau ;

Le potassium (K_2O) est sous forme de KCl granulé, ou finement broyé, et à 100 p.c. soluble dans l'eau ;

Le soufre (S) est à 100 p.c. soluble dans l'eau et ne contient aucune forme de soufre fleur ;

Le bore est à 100 p.c. soluble dans l'eau, à l'exclusion de toute forme insoluble, tel que le borate de calcium.

La teneur en eau doit être inférieure à 1 p.c., afin d'éviter toute prise en masse dans son emballage d'origine, pendant au moins 18 mois, dans les conditions de stockage du Burkina Faso. La dureté moyenne des granulés est supérieure à 2,5 kgf, et le taux de bris inférieur à 5 p.c.

Une telle formule peut être composée à partir des substrats ci-après :

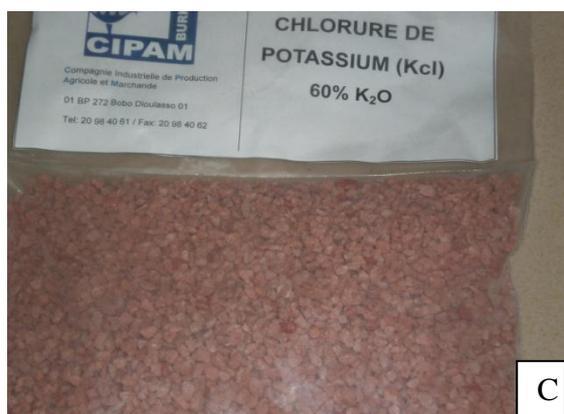
- di-ammonium phosphate ou DAP [$(NH_4)_2 HPO_4$: 18 p.c. N, 46 p.c. P_2O_5], pour la totalité du phosphore, et une partie de l'azote ;
- sulfate de potasse (K_2SO_4 : 50 p.c. K_2O , 18 p.c. de S), pour la totalité du soufre et une partie du potassium, ou sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$: 21 p.c. N, 24 p.c. S) pour la totalité du soufre et une partie de l'azote ;
- chlorure de potasse (KCl) titrant 60 p.c. de K_2O , pour la totalité du potassium. Le chlorure de potassium ou muriate de potasse, compte pour plus de 90 p.c. du K vendu au Burkina Faso. Il est hydrosoluble, contient en moyenne 60 p.c. de K_2O , et la totalité de cet engrais est obtenue, soit par appels d'offres, soit par dons : le pays n'en produisant pas ;
- boracine, pour le bore [$Na_2 B_4 O_7, 5H_2O$: 11,3 p.c. B].

Pour les formules d'engrais moins acidifiants, on utilise souvent le sulfate double de potassium et de magnésium, qui titre 30 p.c. de K_2O soluble eau, 10 p.c. de MgO soluble eau, et 17 p.c. de soufre soluble eau.

La somme exclusive des écarts négatifs devra être inférieure à 1,9, et les écarts individuels dans les limites $\pm 1,1$ p.c.. Normes UE pour S et B_2O_3 .

* L'engrais simple azoté est sous forme d'urée, [$(NH_2)_2 CO$], perlée ou granulée, avec les caractéristiques ci-après :

- teneur en azote (N) 46 p.c. \pm 0,4 p.c. ;
- taux de biuret < 1,2 p.c. ;
- humidité < 0,5 p.c. ;
- granulométrie : 90 p.c. > 1 mm.



- A : Engrais coton de type bulk
B : Urée perlée 46 p.c. N
C : Chlorure de potassium granulé
D : Chlorure de potassium pulvérulent

Figure 8 : Quelques fertilisants utilisés en culture cotonnière

4.3. Fumure organique

Les types de matières organiques utilisés pour ce travail sont, le fumier de parc ou d'étable, et le compost, dont les compositions moyennes respectives figurent dans le tableau V.

Tableau VI : Composition moyenne du fumier et du compost (en M.S.)

Caractéristiques chimiques du compost et du fumier issus des tiges de sorgho

Caractéristiques	Compost*	Fumier**
C total (g kg ⁻¹)	285,02 ± 34,04	287,57 ± 52,64
N total (g kg ⁻¹)	22,18 ± 5,98	22,18 ± 0,91
C/N	13,32 ± 2,38	12,97 ± 2,38
P total (g kg ⁻¹)	19,28 ± 5,55	10,69 ± 2,02
K total (g kg ⁻¹)	17,71 ± 4,32	17,59 ± 8,22
S total (g kg ⁻¹)	3,11 ± 0,91	2,99 ± 0,74
Ca total (g kg ⁻¹)	14,63 ± 3,30	14,30 ± 2,40
Mg total (g kg ⁻¹)	6,54 ± 2,26	5,97 ± 0,91

* Compost des tiges de sorgho.

** Fumier des tiges de sorgho selon la technique du parc d'hivernage.

4.4. Matériels techniques de terrain

4.4.1. Matériel de prospection

Pour les travaux de terrain, nous avons eu besoin de matériel de prélèvement et de conditionnement des échantillons de sol destinés aux analyses de laboratoire. Pour les levées topographiques, nous avons utilisé un GPS de marque Garmin, modèle 72, ou le théodolite (Fig. 8). Les prises de vues ont été effectuées à l'aide de deux appareils photonumériques, de marque Olympus FE 280 à 8 méga pixels, de résolution, et Canon Power Short 620, avec une résolution de 7,1 méga pixels.



A



B



C



D

A : GPS type Garmin 72

B : Théodolite

C : Mire

D : Prise de vue

Figure 9 : Quelques appareils de levée topographique

4.4.2. Matériel pour la confection des fosses pédologiques

Pour l'ouverture des différentes fosses pédologiques, nous avons eu besoin du matériel ci-après :

- manchette pour déblayer le site des fosses ;
- pic-hache pour le creusage des fosses ;
- pelle pour l'évacuation de la terre ;
- cuvette plastique pour recueillir les échantillons de terre ;
- ruban métrique pour mesurer l'épaisseur des différentes couches de sol.

4.4.3. Matériel pour le prélèvement et le conditionnement des échantillons de sol et de tissus végétaux

Le matériel utilisé pour le prélèvement des échantillons de sol et de leur conditionnement a été composé des éléments suivants :

- un cylindre métallique, pour creuser et prélever le sol ;
- un pinceau, pour nettoyer le matériel ;
- une cuillère plastique, pour collecter la terre ;
- des sachets plastiques transparents, pour conditionner les échantillons de sol ;
- des étiquettes en papier, pour la numérotation des échantillons de sol ;
- des marqueurs, pour inscrire les références des échantillons sur les étiquettes ;
- une cuvette, pour prélever l'échantillon de sol ;

Pour la préparation des échantillons destinés aux analyses de laboratoire, nous avons utilisé un tamis de maille carrée de 2 mm de côté, pour séparer la terre fine et le taux d'éléments grossiers ;

- des enveloppes en papier, pour les prélèvements de feuilles ;
- des sachets plastiques, pour les échantillons de feuilles broyées

4.4.4. Matériel pour l'étude du système racinaire

Pour l'extraction et le lavage des racines des cultures, nous avons utilisé essentiellement deux types de puvérisateurs (Fig. 10) à savoir :

- un pulvérisateur à dos à pression entretenue d'un volume de 16 litres muni d'une lance, d'une buse herbicide à fente et d'un régulateur de pression qui permet de fixer la pression de 1 à 3 bars selon les besoins;

- un pulvérisateur à pression préalable de 1,5 litre de volume et à pression fixe de 1,5 bars avec une buse conique à jet modifiable.



A



B

A : Pulvérisateur à dos à pression entretenue (1-3 bars)

B : Pulvérisateur à pression préalable (1,5 bar)

Figure 10 : Appareils à pression utilisés pour l'extraction à l'eau des racines

4.5. Matériel de laboratoire



A : Tronçonneuse pour roche

B : Microscope polarisant

C : Spectromètre pour ICP-MS

D : Absorption atomique AA 7000



E : Four à moufle CSF 1200

F : Absorption atomique AA3000

G : Photomètre de flamme Jencons

H : Autoanalyseur Skalar

Figure 11 : Matériels de laboratoire pour les analyses de roches et de sols

4.5.1. Matériel pour les analyses de roches

Pour la confection des lames minces, nous avons utilisé une tronçonneuse (Fig. 11A) pour découper et dimensionner les échantillons de roches. Pour le polissage, on a utilisé le dispositif du Bureau de la Géologie et des Mines (BUMIGEB) prévu à cet effet.

Pour l'observation des lames minces, nous avons utilisé un microscope polarisant (Fig. 11B) de marque Olympus, et servant en même temps pour les photographies. Le même type de dispositif utilisé à la PETROCI a été également mis à contribution.

Pour les analyses chimiques des roches, nous avons utilisé un Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer Perkins de marque Elan 9000 (Fig.11C).

4.5.2. Matériel pour les analyses de sol

Pour le séchage des différents échantillons de sols et de tissus végétaux nous disposons de deux étuves Memmert 854, l'une pour le séchage des échantillons de sols à la température de 105°C et l'autre pour les échantillons de tissus végétaux à 70°C et d'un incubateur Thermosi 3000SR. La calcination des échantillons de feuilles de cotonnier et de maïs a été réalisée dans un four à moufle (Fig. 11E)

Pour la détermination de la granulométrie, du complexe adsorbant et des propriétés physico-chimiques en laboratoire, nous avons eu besoin de :

- un pH-mètre à électrodes combinées, pour mesurer l'acidité;
- des pipettes de Robinson-Köhn, pour suivre la vitesse de sédimentations des différents constituants du sol mis en suspension ;
- un spectromètre d'absorption atomique (SAA) (Fig. 11D) pour doser le magnésium ;
- un spectromètre à flamme (Fig. 11G), pour doser le potassium et le calcium ;
- des fioles, pour contenir les solutions ;
- des Béchers.
- des mortiers pour le broyage des échantillons de sol ;
- des broyeurs pour la mouture des tissus végétaux.

4.5.3. Matériel pour analyse de tissus végétaux

Dans le cas du dosage des teneurs en éléments minéraux dans les tissus végétaux, nous avons utilisé :

- pour N, P, K, Ca, Mg et Na, les mêmes appareils que pour sol. Cependant, quelques précisions sont nécessaires pour certains éléments.
- un four à moufle, pour la calcination (voie sèche) de poudre végétale finement broyée et préalablement séchée à l'étuve au préalable ;
- un photomètre de flamme, pour le dosage de K, S, Cl;
- un colorimètre, pour le dosage du bore.

4.6. Produits chimiques

Les produits chimiques utilisés ont été essentiellement les réactifs de laboratoire. Il s'agit de:

- acétate d'ammonium 1 M, tamponné à pH 4;
- acide nitrique 1 N ;
- acide sulfurique 1 N ;
- sel de bichromate 1 N ;
- eau oxygénée ;
- eau distillée.

4.7. Autre matériel scientifique et technique

- les logiciels Word et Excel, pour le traitement des données et du texte;
- le logiciel Xlstat (version 7.01), et Stabox, pour l'analyse statistique des données numériques ;
- le logiciel Paint, pour l'analyse et la réalisation de certains schémas.

CHAPITRE V : METHODES

Afin d'apporter des réponses adéquates aux questions que pose notre étude, plusieurs méthodes ont été utilisées. Il s'agit, notamment des études minéralogiques de roches mères, par lames minces.

Pour la collecte des différents échantillons de roches, nous avons eu à faire plusieurs sondages, qui consistaient soit à :

- collecter, directement, des échantillons de roches, là où la roche mère affleurerait, notamment, sous formes de collines rocheuses, au voisinage immédiat des parcelles ;
- rechercher des carrières de prélèvement de roches, pour des besoins de bitumage des voies dans les environnements les plus proches possibles des exploitations ;
- prélever sur les sites d'orpillage les plus proches, où les excavations de sol dépassaient quelques fois trente mètres de profondeur, permettant de remonter à la surface des échantillons de roches mères ;

Là où la roche mère était profondément enterrée, on a effectué des recherches d'échantillons autour des puits, forages et autres carrières de prélèvement de sable ;

- des études chimiques d'échantillons de roches et de produits intermédiaire d'altération par l'ICP-MS. La méthode gravimétrique a été utilisée pour la détermination du taux d'humidité des roches ;

- des analyses chimiques et physico-chimiques des sols. Ces analyses ont porté, sur environ soixante exploitations cotonnières, réparties entre les sols ferrallitiques (Ferrasols) (14 p.c.), les sols ferrugineux tropicaux (Lixisos) (47 p.c.) et les sols bruns (Cambisols) (39 p.c.). Sur chaque type de sol, des prélèvements ont été effectués selon trois niveaux ou segments topographiques : haut de versant, mi versant et bas de versant. Ces enquêtes ont été complétées par des études détaillées de fosses pédologiques ouvertes sur chaque segment topographique, pour chaque type de sol ;

- des études du système racinaire du cotonnier, par la méthode du profil cultural, ou par une autre méthode, in situ, dérivée du monolithe;

- des analyses chimiques de feuilles de cotonnier et de maïs, pour la détermination des teneurs en éléments minéraux. Ce diagnostic foliaire a concerné tous les essais et tests de fertilisation potassique mis en place, aussi bien en milieu contrôlé (Station, ferme) que sur les exploitations paysannes.

5.1. Etude micromorphologique

Chaque échantillon de roche est d'abord traité afin de confectionner une lame mince, c'est-à-dire que la roche est découpée, taillée en un fin morceau rectangulaire, puis collé sur une lame de verre, l'ensemble étant aminci par polissage, jusqu'à une épaisseur d'environ 30 micromètres (0,001 mm). Ensuite, pour la lecture, on utilise un microscope polarisant. En microscopie optique et en lumière polarisée, on place l'échantillon entre un polariseur et un analyseur, afin de détecter les variations de la lumière après la traversée de l'échantillon de roche.

Pour l'analyse minéralogique de la roche, on utilise un compteur de points, qui déplace la lame mince selon un pas constant, à la surface de la platine du microscope polarisant, ce qui permet de connaître la proportion de chaque minéral dans la roche, et, par là, sa composition minéralogique quantitative. Le microscope polarisant permet, en outre, d'analyser la disposition des minéraux entre eux, de déterminer leur ordre de cristallisation, d'observer leur arrangement, selon des plans ou des alignements, de mettre en évidence la structure de la roche.

5.2. Analyse chimique des roches et des produits d'altération

L'analyse des différentes roches mères, ainsi que leurs produits d'altération, a été faite à l'aide de la méthode ICP, en cours au Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina Faso (BUMIGEB). La méthode ICP-MS ou Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry permet le dosage des éléments majeurs (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Fe_2O_3 , Mn_3O_4 , Mn_2O_3 , TiO_2) comme celui des éléments traces (Sr, Ba, V, Ni, Co, B, Zn, Ga, Cu, Pb etc.).

La torche à plasma est une méthode physique d'analyse chimique, permettant de doser, simultanément la quasi-totalité des éléments. La méthode consiste à ioniser l'échantillon, en l'injectant dans un plasma d'argon, ou parfois d'hélium, c'est-à-dire que les atomes de la matière à analyser sont transformés en ions par une sorte de flamme extrêmement chaude : jusqu'à 8 000 K, mais, en général, autour de 6000 K, pour les applications géochimiques. L'échantillon, préalablement transformé en une suspension de fines particules, pénètre, généralement, dans le plasma, sous une forme condensée (liquide ou solide), et doit donc y subir les changements d'états suivants : fusion, vaporisation, ionisation. L'introduction a lieu au centre du plasma, parallèlement au flux de gaz plasmagène.

Pour la préparation des échantillons, on procède, par dissolution acide, appelée minéralisation par voie humide, afin d'analyser la solution. Celle-ci est injectée dans le plasma sous forme d'un fin aérosol. Les particules les plus fines sont ensuite sélectionnées par des méthodes de ségrégation physiques, dans une chambre de nébulisation.

Pour la spectrométrie de masse (ICP-MS), on utilise le fait que des ions peuvent être séparés les uns des autres par application de champs électromagnétiques, en fonction de leur masse atomique, de leur charge électrique et de leur vitesse. Partant du principe que les ions générés par les plasmas d'argon sont en général ionisés une seule fois, il est possible de séparer les ions du plasma en fonction de leur seule masse atomique. La technique des ICP-MS permet de doser des éléments à des concentrations de l'ordre de $1\mu\text{g.l}^{-1}$, soit de la partie par milliard (ppb) en masse.

5.3. Analyses de sol

Les enquêtes par prélèvements et analyses de sols sont destinées à établir un diagnostic par l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques des divers types de sols échantillonnés.

Dans ces analyses, un accent particulier est mis sur les paramètres influant sur le statut et le comportement potassique de ces sols.

Généralement, les prélèvements sont effectués à la tarière, sur les horizons 0-20 cm et 20-40 cm. On prélève un échantillon moyen d'un (1) kg, qui sera séché, d'abord à l'air, puis à l'étuve, à 378 K, durant 48 heures. De cet échantillon passé au tamis de 2 mm, 200 g seront retenus pour les analyses. Pour la détermination de la teneur des différents éléments, on a utilisé les méthodes internationales en cours au Bureau National des Sols (BUNASOLS, 2006).

*** Granulométrie**

La méthode internationale adaptée à la pipette de Robinson-Köln est utilisée pour la granulométrie à 5 fractions. La matière organique est détruite par de l'eau oxygénée (H_2O_2). L'argile est dispersée par l'hexamétaphosphate de sodium.

On procède ensuite aux prélèvements pour isoler les éléments non tamisables (éléments < 50μ) et à la séparation par tamisage des sables fins et grossiers (tamis de 50 et 200μ).

*** pH (eau et KCl)**

Le pH (eau et KCl) du sol est mesuré sur une suspension, par la méthode électrométrique au pH-mètre, dans une électrode de verre, dans un rapport sol/solution de 1/2,5.

*** Azote total**

La méthode de dosage utilisée est celle de Kjeldahl, qui comporte deux phases:

- la minéralisation, qui transforme toutes les formes d'azote du substrat (sol ou végétal) en azote ammoniacal ;

- le dosage : un aliquot de minéralisat, introduit dans un ballon Kjeldahl, en présence de NaOH 10 N, est distillé, permettant ainsi le déplacement de l'ammoniaque, qui est recueilli dans un bécher contenant une solution d'acide borique H_3BO_3 2 p.c. et un indicateur coloré. Le dosage est effectué par H_2SO_4 N/10.

*** Carbone**

Le carbone organique est déterminé par la méthode Walkley-Black (1934). Le sol est soumis à une oxydation par une solution normale de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) de normalité 1, en excès, en présence d'acide sulfurique. $K_2Cr_2O_7$ transforme le carbone du sol en CO_2 .

La quantité de $K_2Cr_2O_7$ réduite est proportionnelle à la teneur en carbone. On dose donc l'excès de bichromate par une solution de sel de Mohr $[Fe(SO_4)_2 (NH_4)_2]$, en présence de diphénylamine. On obtient alors la quantité de $K_2Cr_2O_7$ réduite.

L'oxydation du carbone n'étant pas complète, on corrige le résultat obtenu par le facteur 1,33.

La teneur en matière organique est calculée en multipliant la valeur du carbone obtenue par 1,724.

*** Bases totales**

Le sol est détruit avec un mélange d'acide nitrique (HNO_3) et d'acide sulfurique concentrés. L'extraction est faite avec une solution de nitrate de lanthane $[La (NO_3)_3 6H_2O]$, à 2000 ppm. Le dosage est effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique. Cette méthode est utilisée pour Ca et Mg.

Pour le potassium total, 2,5 g de sol séché à l'air, et tamisé à 0,5 mm, sont soumis à une minéralisation, avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4) en présence de sélénium et de l'acide salicylique ($C_7H_6O_3$), en présence de peroxyde (H_2O_2), le sélénium étant utilisé comme catalyseur. Le potassium est déterminé ensuite au spectrophotomètre de flamme.

*** Bases échangeables**

Les cations échangeables sont déplacés du complexe adsorbant par une solution de thio-urée d'argent [Ag (H₂NCSNH₂)₂⁺²]. L'argent, en raison de son affinité pour les particules négatives, procure une saturation complète du sol, et donc un déplacement de tous les cations échangeables, lesquels sont déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique, pour Ca²⁺ et Mg²⁺, et par photométrie de flamme, pour K⁺ et Na⁺.

*** Capacité d'échange cationique**

Elle se mesure à partir de la solution d'extraction des bases échangeables. La teneur en ions Ag⁺ dans cette solution est déterminée. On déduit la quantité d'argent retenu par le sol par comparaison de cette teneur avec celle obtenue avec un échantillon "blanc" témoin.

*** Phosphore**

L'extraction du phosphore total se fait par attaque perchlorique à chaud. Le dosage est effectué par colorimétrie, en présence du vanado-molybdate.

Quant au phosphore assimilable, il est déterminé par la méthode de Bray n°2, utilisant le fluorure d'ammonium 0,03 N et l'acide chlorhydrique 0,025 N comme solution d'extraction.

Le dosage se fait par colorimétrie, en utilisant l'acide ascorbique, qui réduit le complexe phosphomolybdique formé, par ajout de molybdate d'ammonium, en bleu de molybdène. La réaction s'effectue en présence d'acide sulfurique 2,5 N. La mesure de l'extinction est faite à 720 nm.

5.4. Analyses d'échantillons végétaux

Les enquêtes par prélèvement et analyses de tissus végétaux ont été effectuées dans les différentes zones cotonnières, pour compléter les informations obtenues par les analyses de sols. Un accent particulier est mis sur le potassium, afin de comprendre pourquoi la nutrition K est normale ou déficiente dans certaines zones. Les résultats obtenus devraient donc permettre d'identifier les sols et les niveaux topographiques sur lesquels des problèmes de nutrition potassique se posent, et avec quelle intensité.

Sur cotonnier, les prélèvements de feuilles sont effectués sur des cotonniers, à 70 jours après la levée, et avant 9 heures du matin (Fig.12A, B). Seules les feuilles situées à l'aisselle d'une fleur ouverte le jour du prélèvement sont concernées. On prélève, chaque fois, des feuilles

en position 1, et situées sous des fleurs ouvertes le jour du prélèvement. Les différentes positions de ces prélèvements nous permettent de calculer l'âge physiologique de la plante, par la détermination du niveau de floraison.

Sur maïs, les feuilles à prélever sont celles situées à l'aisselle de l'épi (6^e feuille en général) qui, à elles seules, contribuent pour 30 à 40 p.c. au remplissage en sucres des graines de l'épi (Fig.12C, D). Le prélèvement se fait au stade de pleine floraison, sur 60 pieds.



A : Feuilles de cotonnier

B : Séparation limbes et pétioles

C : Feuilles de maïs

D : Prélèvement du tiers médian

Figure 12 : Prélèvements de feuilles sur cotonnier et maïs

Les analyses de tissus végétaux ont pour rôle de contrôler, au cours de la période de croissance, l'état nutritionnel des plantes, et d'en déceler les déséquilibres éventuels.

L'essentiel de ces analyses a porté sur le cotonnier. Généralement, sur les pétioles, on dose les cations K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et Na^+ . Sur les limbes, sont dosés NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , Cl^- et $H_2BO_3^-$, c'est-à-dire les anions.

Pour N, P, K, Ca, Mg et Na, les méthodes d'analyses sont pratiquement les mêmes pour les échantillons de sol et de végétaux. On peut donc se référer aux méthodes d'analyses précédemment décrites au niveau des analyses de sol. Cependant, quelques précisions sont nécessaires pour certains éléments.

*** Potassium**

Le dosage du potassium dans un végétal se fait en deux étapes :

- la minéralisation par calcination (voie sèche), qui consiste à calciner 500 mg de poudre végétale finement broyée et séchée à l'étuve au préalable. Les cendres obtenues sont reprises une première fois avec de l'acide nitrique HNO_3 1N. Après passage dans un four à moufle à 673 K, elles sont reprises une 2^e fois, avec de l'acide chlorhydrique HCl 1N. Le filtrat obtenu servira au dosage de K. L'extraction est faite avec HCl 0,1 N.

- le dosage proprement dit s'effectue par photométrie de flamme, et en utilisant une solution aqueuse de 100 mg kg^{-1} de K étalonnée à 10 - 20 - 30 - 40 mg kg^{-1} , pour les lectures.

*** Soufre**

La minéralisation est effectuée par voie sèche, après imprégnation par HNO_3 concentré, et en présence de $Mg(NO_3)_2$.

La colorimétrie automatique s'adresse à la détermination des sulfates, par l'utilisation de molécules tensioactives qui, ajoutées au milieu, stabilisent les suspensions insolubles.

Les cendres obtenues sont reprises une 1^{ère} fois avec de l'acide nitrique HNO_3 1N. Après passage dans un four à moufle à 793 K, elles sont reprises une 2^e fois, avec du $Mg(NO_3)_2$.

Le filtrat obtenu servira au dosage du soufre total.

*** Bore**

Là également la minéralisation est effectuée par voie sèche. Un gramme de poudre végétale est calciné dans un four à moufle, entre 773 et 793 K. Les cendres qui en résultent sont reprises avec

de l'acide acétique 0,25 N. Le dosage est effectué par colorimétrie, en utilisant une solution aqueuse de 200 µB/ml, avec des solutions standard préparées par dilution, dans un milieu acide.

* **Chlore**

L'extraction du chlore se fait par voie mécanique, par l'acide nitrique dilué, et le dosage est du type potentiométrique, sur environ 1 gramme (g) de matière végétale finement broyée, après séchage et digestion par HNO₃ dilué. Le titrage doit être effectué jusqu'au point d'équivalence.

◆ **Expression des résultats du diagnostic foliaire**

Dans le cas du cotonnier, les teneurs des éléments nutritifs sont, généralement, exprimées en pourcents de la matière sèche. Cependant, dans les pays d'Afrique francophone, producteurs de coton, ces résultats sont également exprimés, selon des fonctions de production ou indices de nutrition, mis au point par les systèmes nationaux de recherche, en collaboration avec l'ancien Institut français de Recherches sur le Coton et les Textiles exotiques (ex-IRCT). Ces indices de nutrition offrent l'avantage, qu'en plus de la teneur en valeur absolue d'un élément donné, ils tiennent compte d'autres éléments, qui peuvent avoir des rapports de type antagoniste ou synergique. Ainsi, pour un élément donné, nous avons la relation $Rdt(-X) = f(N, P, S, K \text{ et } P.S)$ (1), dans lesquelles Rdt (-X) est le rendement que donne une fumure minérale complète, dont on a soustrait l'élément X, exprimé en pour cents (p.c.) de celui obtenu avec une formule complète. P.S. = poids sec à 70°C de l'échantillon prélevé ramené à 30 feuilles. Dans le cas du potassium, nous avons donc :

$$F(K) = [83,18 - 161,78/K - 18,79 Mg + 132,26/\sqrt{K} - 1,24/\sqrt{Cl} - 44,42/p.s.] \quad (2)$$

où Cl (p.c.) est la teneur en chlore des limbes; K (p.c.) et Mg (p.c.) les teneurs en potassium et en magnésium de la matière sèche des pétioles ; p.s. le poids sec en grammes de 30 feuilles séchées à l'étuve, à 70°C, durant 48 heures. Cela a permis de définir les normes ci-après :

- indice de nutrition ≥ 100 : nutrition minérale optimale, voire consommation de luxe ;
- $90 \leq$ indice < 100 : nutrition minérale normale ;
- $80 <$ indice ≤ 90 : sols déficitaires en un élément donné, autrement dit, carence latente ;
- indice ≤ 80 : carences perceptibles, même par observation visuelle au champ. A partir de cette valeur, les carences deviennent de plus en plus prononcées, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ce seuil. L'aspect "chauve-souris ou rouille", qui est le stade extrême d'une carence en potassium sur cotonnier, est observé quand l'indice de nutrition potassique est proche de 50.

NB : dans les analyses de feuilles de cotonnier, les teneurs des anions sont déterminées dans les limbes, et celles des cations, dans les pétioles.

Pour le maïs, l'expression des teneurs en éléments nutritifs peut également être, soit traduite en pour cents, soit adaptée à une formule, du type $[IK = p.c. K \times 100 / (1,6 + 0,525 N p.c.)]$ (3), propre aux graminées (Pettigrew, 2008).

5.5. Etudes du système racinaire du cotonnier

Pour les observations du système racinaire du cotonnier, diverses études ont été mises en place tant en milieu paysan qu'en parcelles de recherche, telles que :

- l'étude de caractérisation et d'évaluation du fonctionnement du système racinaire ;
- l'étude de l'évaluation de l'absorption du potassium par les cultures, dans une rotation coton-maïs-sorgho sur sol ferrallitique.

Dans l'étude de caractérisation et d'évaluation du fonctionnement du système racinaire, deux parties du système racinaire sont mises en relief : la racine pivotante et les racines latérales. L'examen du système racinaire a été réalisé in situ selon la méthode du profil cultural ou après extraction à l'eau à des pressions comprises entre 1,5 et 3 bars. On procède par une destruction localisée, en supprimant des parties bien définies du système racinaire. La suppression de la racine pivotante se fait à 2 profondeurs distinctes, qui sont 5 cm et 10 cm du collet de la plante, après avoir dégagé la terre d'un côté, ce qui permet d'isoler seulement une portion du système racinaire, tout en évitant de détruire les racines latérales.

Dans le cas des racines latérales, on dégage la terre autour du système racinaire, sans atteindre l'extrémité du pivot, avant de couper les racines latérales, soit de moitié, soit en totalité. Ces coupes de racines sont réalisées, à 40, 60, 70 et 80 jas, représentant des stades d'intenses activités physiologiques.

Des diagnostics racinaires à 50, 70, 80 et 110 jas ont été effectués, pour suivre la dynamique du système racinaire entier, et évaluer l'influence de la coupe des racines sur la production. Les racines coupées ont été réexaminées une dizaine de jours après, sur certains plants.

*** Traitements**

Suivant les modes et degrés de destruction des racines, cinq traitements ont été définis.

T1 : Système racinaire complet ;

T2 : Racine pivotante sectionnée à 5 cm ;

T3 : Racine pivotante sectionnée à 10 cm ;

T4 : Racines latérales coupées à 50 p.c. ;

T5 : Racines latérales coupées à 100 p.c.

*** Dispositif et conduite de l'étude.**

Un dispositif statistique en blocs de Fisher, comportant 6 répétitions, est adopté pour l'étude. La parcelle élémentaire (P.E.) d'une superficie de 80 m² compte 5 lignes de 20 m de long, écartées de 0,80 m. Deux lignes constituent la parcelle utile (32 m²). Les destructions des racines ont été réalisées sur les 2 premières lignes de la P.E. Les semis sont réalisés dans des poquets écartés de 0,40 m.

Le suivi de la nutrition minérale a été réalisé par des prélèvements de feuilles, pour un diagnostic foliaire au 70^e jour.

*** Observations**

La coupe des racines a été réalisée à 30, 40, 50 et 80 jas, représentant des stades d'activités physiologiques importantes. L'examen des systèmes racinaires a été faite in situ selon la méthode du profil cultural ou après extraction à l'eau à une pression de 1,5 à 3 bars, dans le cas des poils absorbants.

Des diagnostics racinaires à 40, 50, 80 et 110 jas, ont été effectués, pour suivre, dans les conditions de culture, la dynamique du système racinaire entier, et évaluer l'influence de la coupe sur le fonctionnement des plantes.

Les racines coupées ont été réexaminées par le choix de certains plants, 10 jours après, par un diagnostic racinaire retour. L'on a aussi noté :

- le poids des racines ;
- la profondeur et la densité des racines ;
- la répartition spatiale des racines, afin de déterminer la distribution des racines sur l'ensemble du profil
- le poids sec des tiges, pour le calcul de l'indice de fructification ;

- les rendements par type de sol, niveau topographique et dose de K appliquée, selon la formule de fertilisation.

Des observations morphologiques des plants de cotonnier, au 35^e, 50^e, 80^e jours après semis, et à la récolte; densités des cotonniers au 35^e jour après semis, et à la récolte (150 jas), pour établir des corrélations.

L'étude de l'évaluation de l'absorption du potassium par les cultures, dans une rotation coton-maïs-sorgho sur sol ferrallitique (ferralsol), vise à évaluer, dans un système de culture comportant une rotation coton-maïs-sorgho, l'efficacité du système racinaire de chacune de ces plantes, par rapport à l'absorption du potassium. Un essai a donc été réalisé sur sol ferrallitique, à la station Farako-bâ, durant trois campagnes agricoles, afin d'évaluer la capacité des systèmes racinaires de chacune des cultures, pour l'absorption du potassium, car, à un système racinaire puissant devrait correspondre une plante robuste qui, à son tour, améliore la productivité. Pour ce faire, les trois cultures de la rotation ont été soumises aux doses de potassium ci-après, dans un dispositif statistique en split-plot, à 3 répétitions, avec des parcelles élémentaires de 4 lignes (20 m x 0,80 m) :

Traitement principaux

T1 : témoin sans engrais

T2 : 25 mg kg⁻¹ de potassium (30 K₂O)

T3 : 60 mg kg⁻¹ de potassium (60 K₂O)

Traitement secondaires : 3 cultures :

C : coton

M : maïs

S : sorgho

5.6. Essais et tests de fertilisation

Ces essais ont eu pour but de :

- évaluer les effets du type de sol et de la topographie sur la dynamique du potassium, dans les conditions agropédoclimatiques de la zone cotonnière;
- apprécier les effets de la topographie sur l'enracinement et l'absorption des ions minéraux par le cotonnier, dans les conditions tropicales de culture.

- évaluer les effets du type de sol et de la topographie sur la réponse du cotonnier à la fertilisation potassique.

En milieu contrôlé (station ou ferme) ils ont été implantés, respectivement, à la station de Farako-bâ, sur sol ferrallitique (Ferrasol), à la ferme SOFITEX de Boni, sur sol ferrugineux tropical gravillonnaire (Lixisols) et à la ferme de Mwauvoun, sur sol brun eutrophe (Cambisol). Pour le milieu paysan, des tests complémentaires sur les trois types de sols ont été implantés sur les exploitations cotonnières en zone SOFITEX.

A. Cas des essais en milieu contrôlé (Station ou ferme)

*** Traitements principaux (3) : niveau topographique**

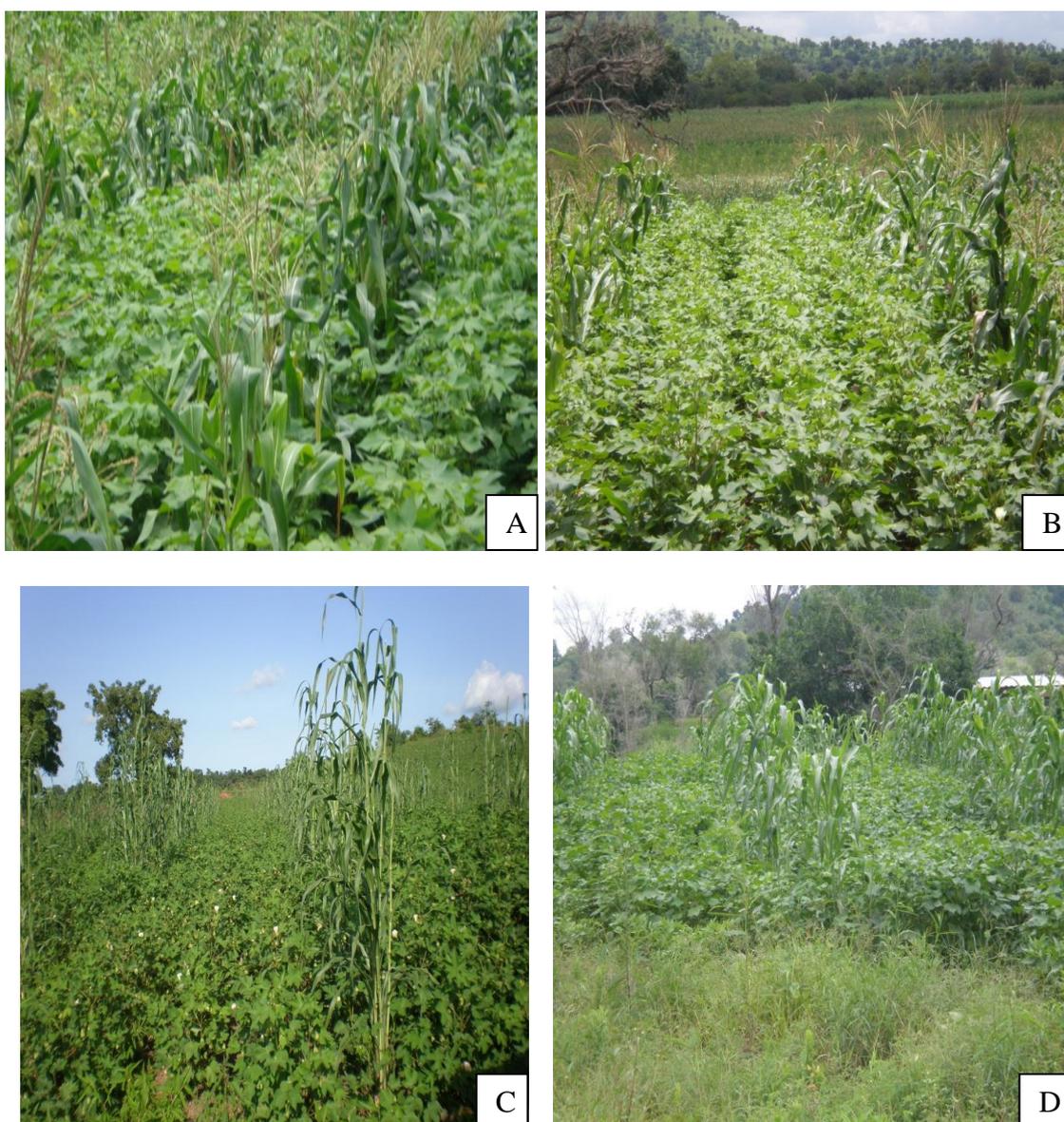
- H1 : haut de versant
- H2 : mi versant
- H3 : bas de versant

*** Traitements secondaires (4) :**

- T1 : Témoin sans K, mais avec 50 (NH₄)₂SO₄ + 47 TSP + 3,13 Boracine + 76 urée
- T2 : (T1 + 50 KCl)/ha
- T3 : (T1 + 4 tonnes de fumier + 50 Urée)/ha
- T4 : (T1 + 150 KCl)/ha

NB : L'apport de la fumure minérale, c'est-à-dire 150 kg ha⁻¹ de 14-18-18-6S-1B, est effectué à la levée (15-20 jours) ; le complément azoté de 50 kg d'urée à 40 jas, soit 37 N ; 27 P₂O₅ ; 27 K₂O ; 9 S et 1,5 B. Le fumier, ou le compost, est apporté, de préférence, au labour.

Les essais sont conduits, selon un dispositif factoriel en blocs de Fisher, à six répétitions. La superficie d'une parcelle élémentaire (PE) est de 80 m², soit 5 lignes de 20 m, écartées de 0,80 m. La parcelle utile (PU) est constituée par les 3 lignes centrales, soit 48 m². La superficie d'une répétition est donc de 320 m² (25 lignes), et celle d'un essai de 1920 m² (120 lignes). Chaque essai a donc été implanté sur une parcelle de 20 m de largeur, sur 200 m de longueur, dans le sens de la plus grande pente.



A : Coton/maïs
B : Coton/maïs

C : Coton/mil
D : Coton/sorgho

Figure 13 : Disposition expérimentale des cultures

Comme plante témoin, le maïs (*Zea mays* L) a été choisi, en raison, d'une part, de sa grande affinité pour le potassium, et, d'autre part, à cause du fait que la zone cotonnière est également la zone de prédilection du maïs. Pour la détermination des teneurs des feuilles de maïs en K, deux types de dispositifs ont été utilisés (Fig. 11) :

- sur la ligne centrale de chaque parcelle utile, des poquets de maïs sont intercalés, avec les poquets de coton, à raison d'un poquet de maïs pour trois poquets de coton ;
- le second dispositif a consisté à installer une parcelle de maïs en parallèle, avec l'essai coton de façon, à avoir le même nombre de lignes sur le même niveau de pente. La

distance de séparation entre les deux parcelles étant de 2 à 3 m.

Sur le maïs, on s'est limité uniquement à des prélèvements de feuilles sur chaque niveau de pente déterminé. Sur chaque type de sol, la disposition des parcelles élémentaires (PE) de l'essai s'est faite de façon perpendiculaire à la ligne de la plus grande pente afin d'obtenir des PE en haut de versant, à mi versant, et en bas de versant.

*** Réalisation et mise en place.**

Le labour a été réalisé aux bœufs ou au tracteur, suivi d'un hersage de la parcelle. Le semis du coton a été effectué à plat, à raison de 3 graines dans des poquets écartés de 40 cm. Des re-semis ont été réalisés 10 jours après la levée, et le démariage, une semaine plus tard.

Pour le maïs, le semis a été fait à plat, avec 2 graines par poquet, à raison d'un poquet de maïs tous les trois poquets de coton. Par contre, en culture pure, le semis s'est fait dans des poquets écartés de 40 cm. Des re-semis ont été également nécessaires, suivis de démariage 15 jours plus tard.

L'apport de la fumure minérale sur coton a été fait selon les traitements. L'engrais a été appliqué dans une raie, tout le long de la ligne de semis, avant d'être enfoui.

Pour le maïs en culture pure, on a apporté une dose uniforme de fumure minérale, soit 150 kg de NPK à la levée et 50 Kg d'urée à 40 jours selon les pratiques des producteurs.

Les sarclages ont été réalisés à la demande, et le buttage au 40^e jal, juste après l'apport de l'urée.

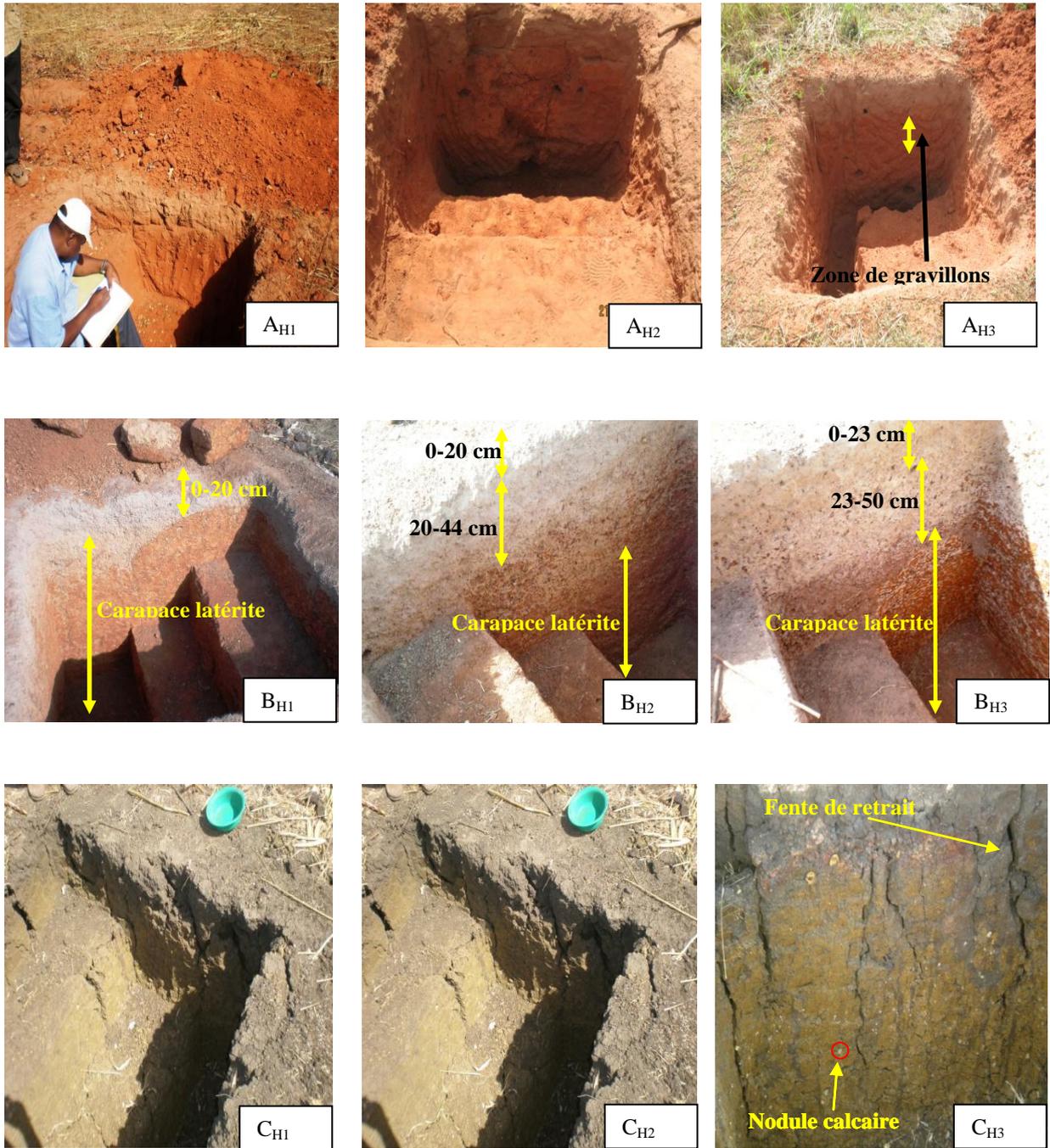
Les traitements phytosanitaires sur cotonnier ont été effectués avec les produits vulgarisés à partir de 30 jours après levée, sur coton conventionnel, et à partir du 86^e jour, après levée, sur coton transgénique.

*** Observations :**

Dans chaque exploitation, on a procédé à la détermination, à l'aide de GPS, de la topographie du milieu. On a aussi identifié la pente dominante et prélevé des échantillons de roches mères et des produits intermédiaires d'altération présents.

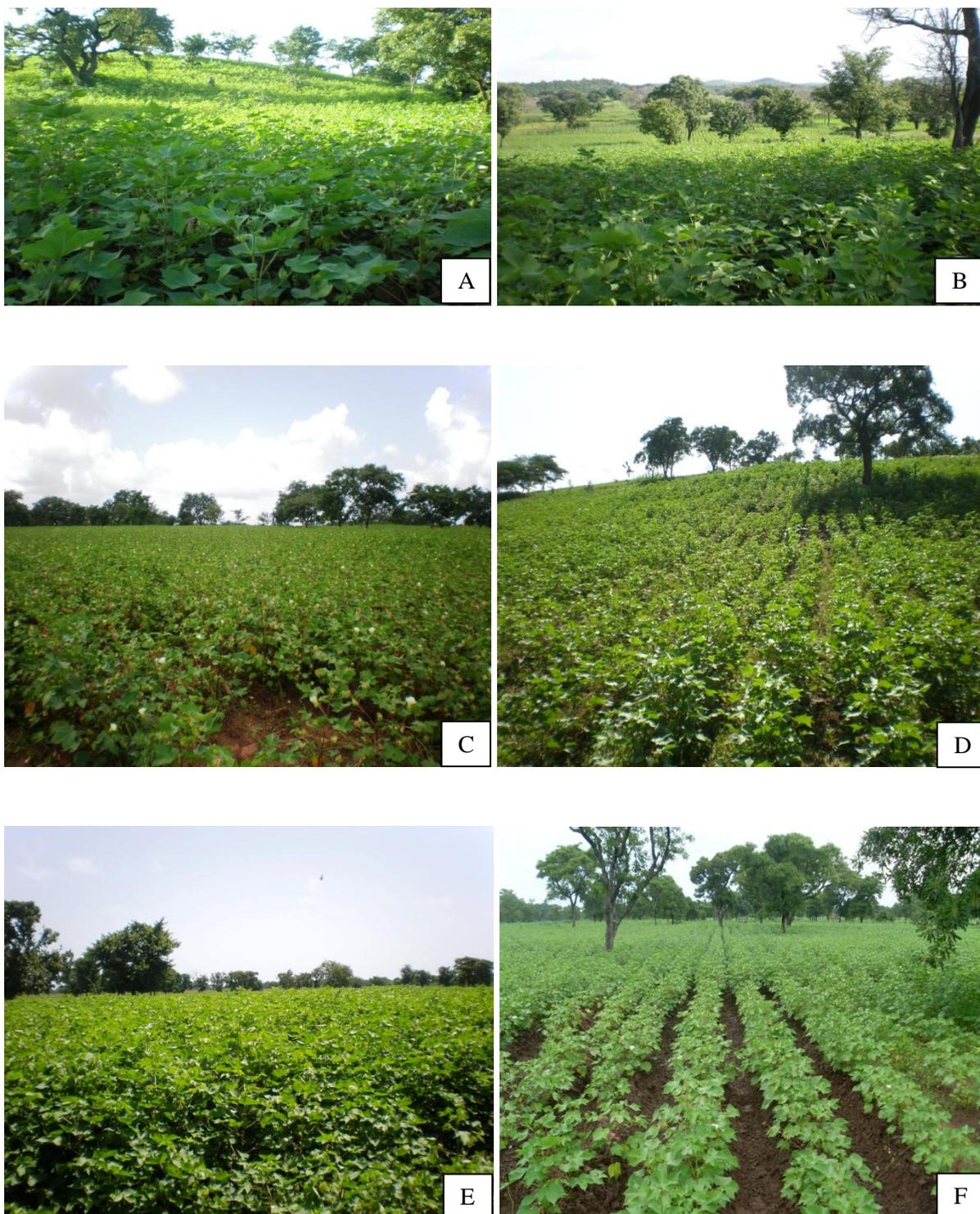
*** Prélèvements d'échantillons de sol:**

Trois fosses pédologiques ont été creusées pour chaque type de sol, selon la topographie, afin de procéder à des prélèvements d'échantillons de sol pour des analyses physico-chimiques complètes : un en haut de versant, un à mi versant, et un en bas de versant, aussi bien en milieu contrôlé, dans les fosses pédologiques (Fig.12), que dans les parcelles paysannes (Fig.13). En rappel, les types de sols concernés sont les sols ferrallitiques (Ferrasols) (sols A), les sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) (Sols B) et les sols bruns (Cambisols) (Sols C).



	Sol A	Sol B	Sol C
Haut de versant	A _{H1}	B _{H1}	C _{H1}
Mi versant	A _{H2}	B _{H2}	C _{H2}
Bas de versant	A _{H3}	B _{H3}	C _{H3}

Figure 14 : Fosses pédologiques selon les types de sols et les segments topographiques



A : Bana1
B : Guéguéré
C : Sidi

D : Mana
E : Guéguéré 2
F : Soungalodaga

Figure 15 : Quelques exploitations paysannes en zone cotonnière

B. Cas des tests en milieu réel (Exploitations paysannes)

Le choix des parcelles tests a été effectué sur des exploitations qui remplissaient toutes les trois conditions ci-après :

- être sur l'un des types de sol concerné ;
- sur la même parcelle, disposer de parcelles de coton et de maïs associées ou contiguës, et parallèles, dans le sens de la plus grande pente ;
- avoir une superficie minimum de 0,5 ha de coton.

Sur chaque type de sol, les prélèvements de sols sont réalisés sur les horizons 0-20 cm et 20-40 cm, et ceux des feuilles de cotonnier et de maïs, selon les trois niveaux de topographie : haut de versant, moyen versant, bas de versant.

Les traitements mis en comparaison sont une combinaison des niveaux de topographie et des formules de fertilisation, donnant ainsi neuf traitements. Dans l'impossibilité de mettre en place les 9 traitements dans un même dispositif, nous avons été amenés à retenir les tests selon les trois niveaux de topographie, avec un à 3 tests, selon la superficie de l'exploitation, et les doses de fertilisants ci-après.

Tableau VII : Formules de fertilisation mises en comparaison

Objets	Doses de fumures (kg ha ⁻¹)	Unités Fertilisantes		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1	50(NH ₄) ₂ SO ₄ +47TSP+3,13 Boracine+76 Urée	45,5	22,5	0
T2	T1 + 50 KCl	45,5	22,5	30
T3	T1 + 4000 fumier + 50 Urée	64,2	22,5	60
T4	T1 + 150 KCl	45,5	22,5	90

NB: Composition moyenne du fumier (en g kg⁻¹) : N = 10,3; P₂O₅ = 4,3; K₂O = 15; CaO = 3,2; MgO = 8,8.

Le fumier ou le compost est apporté, de préférence, au labour. Le dispositif expérimental est celui des blocs dispersés, la parcelle de chaque producteur étant considéré comme une répétition.

Les labours ont été réalisés aux bœufs ou au tracteur selon le niveau d'équipement du producteur. Le semis du coton a été réalisé à plat, à raison de 5 graines dans des poquets écartés de 40 cm sur des lignes espacées de 75 cm. Des re-semis ont été réalisés à la levée et les démariages sont intervenus 20 jours plus tard sur coton comme sur maïs.

L'apport de la fumure minérale sur coton a été faite selon les traitements. L'engrais a été appliqué dans une raie tout le long de la ligne de semis avant d'être enfoui.

Pour le maïs en culture pure, on a apporté une dose uniforme de fumure minérale, soit 150 kg de NPK à la levée et 50 Kg d'urée à 40 jours, selon les pratiques des producteurs.

Les sarclages ont été réalisés à la demande et le buttage au 40^e jal, juste après l'apport de l'urée.

Les traitements phytosanitaires sur cotonnier ont été effectués avec les produits vulgarisés, à partir de 30 jours après levée, sur coton conventionnel, et à partir du 86^e jour, après levée sur coton transgénique.

Les différentes observations ont été effectuées selon les méthodes décrites ci-dessus et au paragraphe 5.5. (page 100) pour le système racinaire du cotonnier.

5.7. Autres paramètres d'absorption des éléments minéraux

*** Régime thermique**

La température moyenne mensuelle, pendant la période de croissance en est le facteur diagnostic. Dans la zone cotonnière Ouest, cette température est estimée à 299,50 K pour les cultures pluviales telles le cotonnier, dont le cycle végétatif court de mai à octobre de chaque année.

*** Disponibilité en eau**

Elle est influencée par le climat, le sol, les formes de terrain et l'hydrologie. Son estimation est basée sur la pluviométrie annuelle, la longueur de la période de croissance, qui est de 140 à 160 jours dans nos conditions climatiques, et la réserve en eau utile du sol. Cette réserve en eau est calculée selon la formule $RU \text{ (mm)} = d.a.x \text{ eau pF (2,5 ou 3) - eau pF4,2} \times z$ (3) avec d.a. la densité apparente du sol, et z (dm) la hauteur de la tranche de sol.

*** Disponibilité en oxygène au niveau racinaire**

Pour cela, on a utilisé la classe de drainage FAO, estimée à partir des observations de terrain, telle la couleur du sol, les taches d'oxydo-réduction. L'échelle de notation va de la note 0 pour une très pauvre disponibilité en oxygène à 6, lorsqu'elle est excessive (AP3A, 2001 ; FAO, 2001).

*** Disponibilité en éléments minéraux**

Le facteur classe de fertilité, qui comporte dix paramètres, a été retenu. Ces paramètres sont : la matière organique, N total, P assimilable, P total, K disponible, K total, CEC, taux de saturation en bases, SBE et le pH eau. Chaque paramètre, est coté de 1 (défavorable) à 5

(favorable) (AP3A, 2001 ; BUNASOLS, 2002). C'est la somme de notation de ces dix paramètres qui permet de déterminer la classe de disponibilité, selon l'échelle ci-après :

- très bas : < 20,9 ;
- bas : de 21,0 à 26,9 ;
- moyen de 27,0 à 32,9 ;
- élevé de 33,0 à 38,9 ;
- très élevé > 39,0.

*** Conditions d'enracinement des plantes**

Ce facteur dépend de la profondeur effective du sol explorable par les racines, de la charge graveleuse, c'est-à-dire le taux d'éléments grossiers, de diamètre supérieur à 0,2 cm et de la texture appréciée à partir des classes texturales FAO (2001).

*** Risques d'érosion hydrique**

Le risque d'érosion dépend de :

- l'érodibilité du sol liée, à sa texture, au taux de matière organique et à la perméabilité ;
- l'importance de la pente, notamment sa longueur et sa valeur ;
- la présence et la fréquence de rigoles, griffes et ravines.

La notation, qui comporte cinq échelles, va de très faible à très élevée (FAO, 1983 ; BUNASOLS, 1990).

5.8. Analyses statistiques

Pour l'analyse des données, plusieurs méthodes ont été utilisées :

- le traitement de texte a été effectué avec le logiciel Word 2003 et 2007;
- les analyses statistiques ont été réalisées grâce aux logiciels Statitcf, Xlstat 6.9.1 et StatBox 7.1.

Le test de Newman-Keuls a été choisi pour la comparaison des moyennes, lorsque l'analyse de variance révèle des différences significatives entre objets au seuil de probabilité fixé.

Les logiciels Word, Paint et Excel ont été utilisés pour les graphiques.

Troisième Partie:

RESULTATS ET DISCUSSION

Chap. VI : RESULTATS

Chap. VII : DISCUSSION

CHAPITRE VI : RESULTATS

Ce chapitre présente les résultats des différentes investigations menées au cours de notre étude. Il traitera, tour à tour, des résultats d'analyses des roches et de leurs produits d'altération, de la variation des caractéristiques physico-chimiques des trois types de sol, en fonction de leurs positions topographiques, de l'architecture et du fonctionnement du système racinaire du cotonnier, et, enfin, de l'efficacité de ce système racinaire, vis-à-vis de l'absorption des éléments minéraux.

6.1. Contribution des roches mères et des produits d'altération aux variations de teneurs en potassium des sols en zone soudano-sahélienne

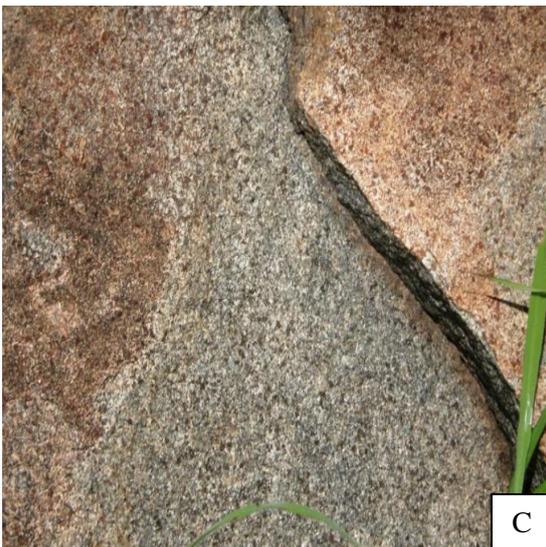
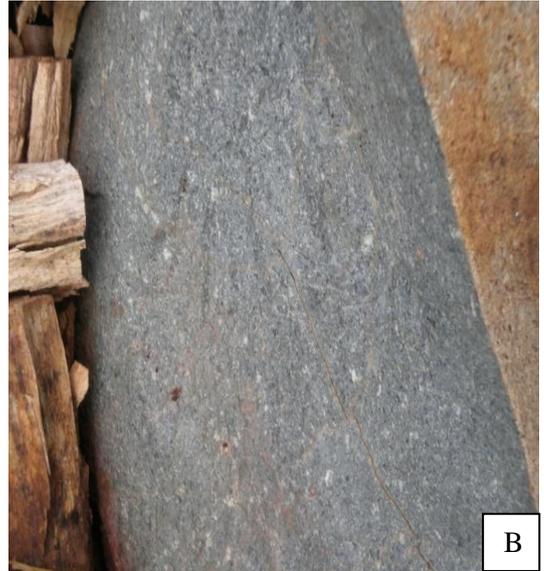
6.1.1. Examen macroscopique et micromorphologique des roches

L'examen des lames minces, taillées dans les échantillons de roches, a permis de déterminer la nature des substrats géologiques sur lesquels repose la plupart des sols de notre zone d'étude. Les roches-mères identifiées sont du granite, du gneiss, du grès, de la dolérite, du basalte, du schiste et de la latérite (Hottin et Ouédraogo, 1992 ; Anonyme, 2010c ; Thebault, 2011) (Fig. 14 et 15).

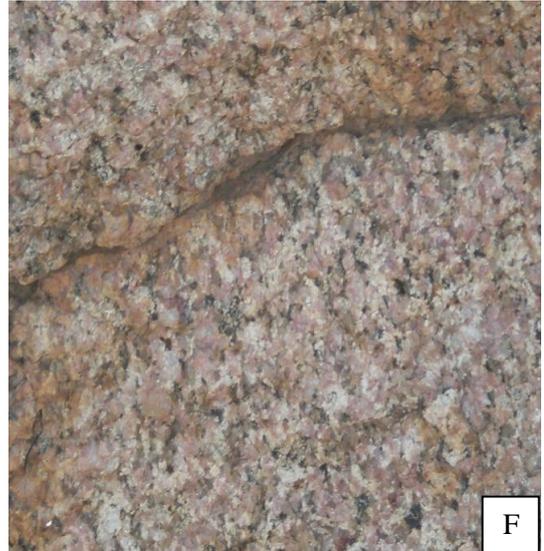
6.1.1.1. Granite

Deux types de cette roche ont été rencontrés : le granite noir (Fig.16E) et le granite rose (Fig. 16F). Au Burkina Faso, le granite affleure en de nombreux endroits, notamment dans les régions de Niangoloko, de Zawara, de Wara et de Bobo-Dioulasso, où le village de Koro repose sur d'énormes blocs de granite.

Au microscope polarisant (Fig.17A à D), on distingue, outre le minéral opaque, constitué d'oxydes tels que l'hématite (Fe_2O_3), la magnétite (Fe_3O_4) et la pyrite (FeS), du quartz (SiO_2), du plagioclase, de la chlorite, de la biotite $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, de l'orthose (KAlSi_3O_8) et de l'épidote ($\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3[(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})]$). Dans le cas du granite rose, en plus du minéral opaque, il y a du quartz, du plagioclase, de la biotite, de la séricite et de l'albite. Notons que la composition minéralogique des roches est déterminée à partir de lames minces de 25 micromètres d'épaisseur.



- A : Basalte
- B : Dolérite
- C : Gneiss
- D : Latérite (Carrière de briques)



- E : Granite noir
- F : Granite rose
- G : Schiste
- H : Grès rose

Figure 16 : Principales roches-mères des sols en zone cotonnière ouest

6.1.1.2. Dolérite

La dolérite est une roche magmatique massive et compacte, de couleur gris-noir ou vert, intermédiaire entre le basalte (texture microlitique) et le gabbro, de texture grenue (Fig. 16B). L'analyse au microscope polarisant a permis de distinguer les éléments suivants, sur lames minces de 25 micromètres : plagioclase, pyroxène, biotite $K(Mg,Fe)_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$.(Fig. 17I, J).

6.1.1.3. Basalte

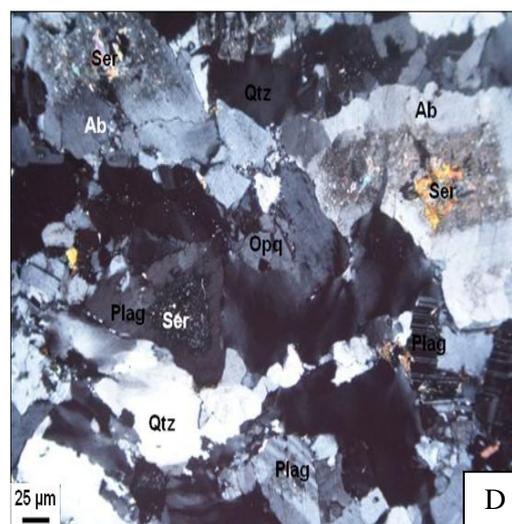
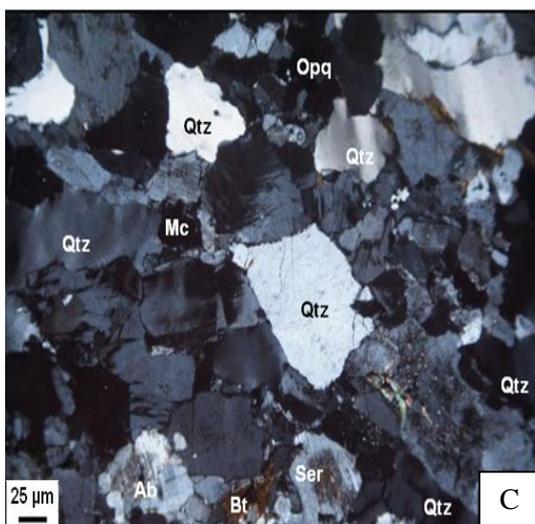
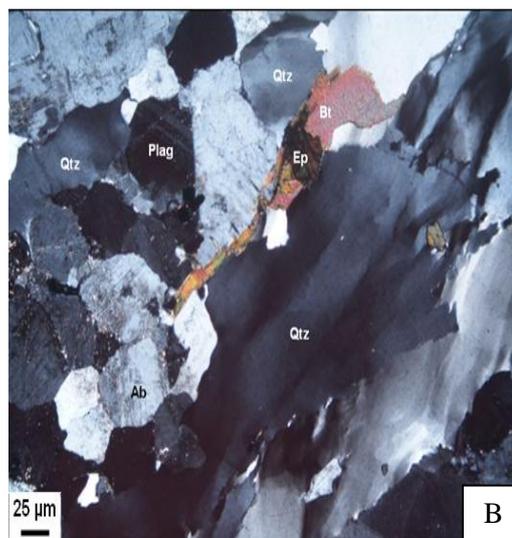
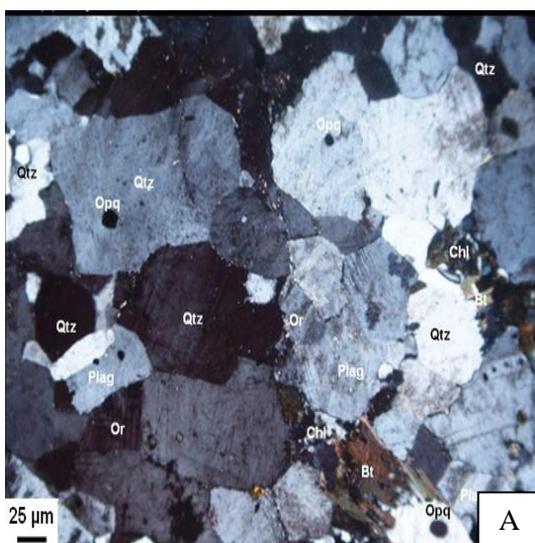
Le basalte est une roche magmatique, métamorphique, volcanique (Fig.16A). C'est une roche noire, à texture microlitique, composée, principalement, de plagioclases et de clinopyroxènes (augite), ces derniers pouvant être accompagnés, suivant le cas, d'olivine, d'hyperstène, de magnétite et d'ilménite. L'observation au microscope polarisant sur des lames minces de 25 micromètres permet d'y distinguer outre le minéral opaque, les éléments constitutifs ci-après : calcite ($CaCO_3$), plagioclases, quartz (SiO_2), amphibole, pyroxène, ainsi qu'une matrice sous forme de pâte de feldspaths et de minéraux ferromagnésiens (Fig.17G, H).

6.1.1.4. Grès

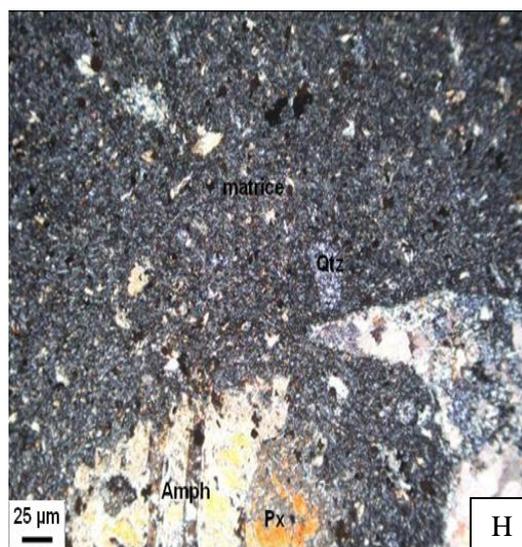
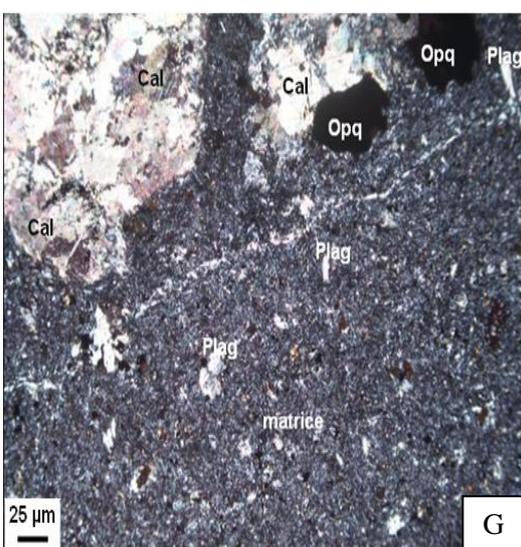
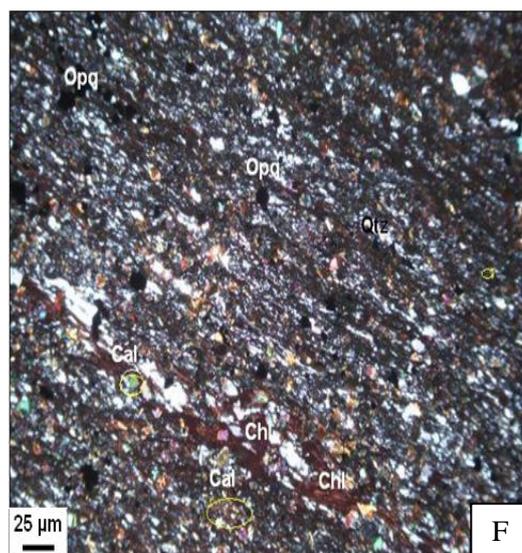
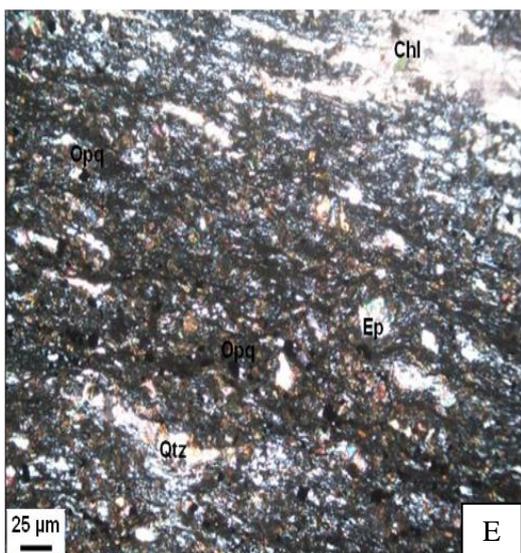
Le grès est une roche sédimentaire consolidée, constitué de grains de roches siliceuses, qui sont soudés entre eux par un ciment pouvant être siliceux, argileux, calcaire, ferrugineux ou feldspathique (Fig.16H). Les lames minces de 10 micromètres du grès rose de Sara, permettent de distinguer du quartz (SiO_2), des plagioclases, de la biotite $K(Mg,Fe)_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$.et du microcline ($KAlSi_3O_8$) (Fig. 17K, L).

6.1.1.5. Schiste

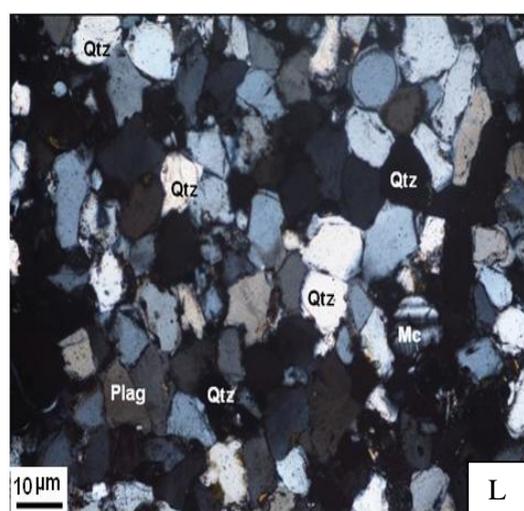
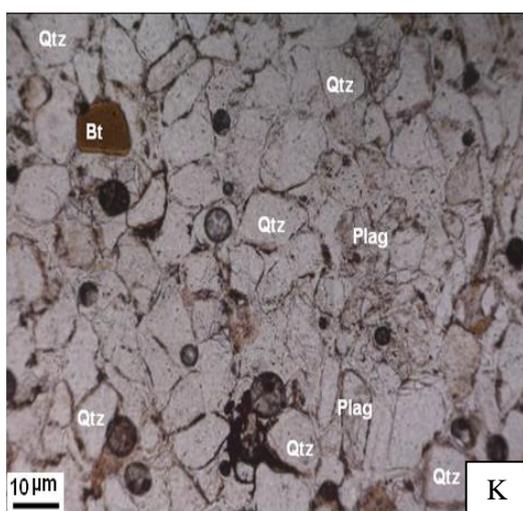
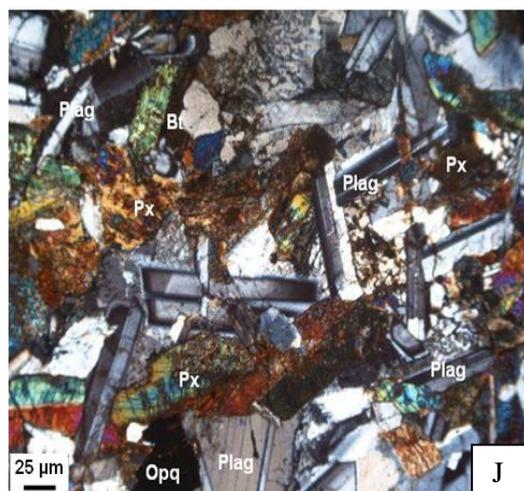
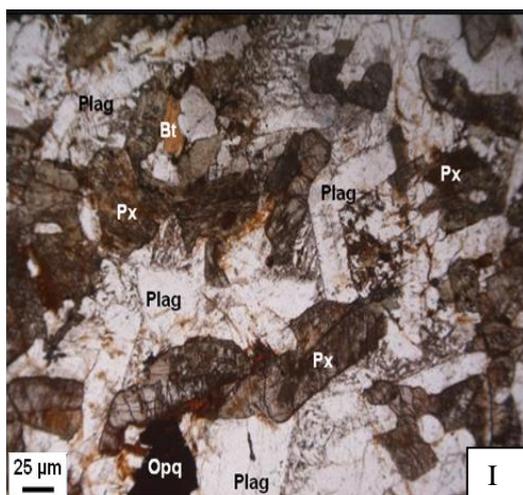
Les schistes naturels sont des argiles anciennes que le poids du terrain a rendues schisteuses (Fig.16 G). Elles peuvent être verdâtres, grisâtres ou rougeâtres comme les argiles. Les lames minces de 25 micromètres observées ont révélé la présence de minéraux tels que le quartz (SiO_2), le chlorite, l'épidote, la calcite et du minéral opaque, qui permet de conclure qu'il s'agit d'un schiste chloriteux (Fig. 17E, F).



- A : Granite noir
- B : Granite noir
- D : Granite rose
- C : Granite rose



- E : Schiste chloriteux
- F : Schiste chloriteux
- G : Basalte
- H : Basalte



I : Dolérite

J : Dolérite

K : Grès rose

L : Grès rose

Figure 17 : Composition minéralogique des roches

6.1.1.6. Gneiss

Le gneiss est une roche métamorphique ayant la même composition chimique que le granite (Fig. 16C). Ces cristaux sont en général plus fins que ceux du granite, avec des minéraux formant une foliation d'aplatissement. Les gneiss de couleur rouge à presque blanche, ressemblent beaucoup à un granite. Au cours de notre étude, il a été observé en de nombreux endroits en zone Ouest surtout dans les régions de Sindou dans la Léraba et de Sidi au Kéné Dougou.

Au microscope polarisant, on distingue, outre le minéral opaque constitué d'oxydes tels que l'hématite (Fe_2O_3), la magnétite (Fe_3O_4) et la pyrite (FeS), du quartz (SiO_2), du plagioclase, du chlorite, de la biotite $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, de l'orthose (KAlSi_3O_8) et de l'épidote ($\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_3[(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})]$).

6.1.1.7. Latérite

La latérite est une roche rouge ou brune, qui se forme par l'altération des roches sous climats tropicaux (Leprun, 1977). C'est une roche de néoformation que l'on rencontre, essentiellement, en zone intertropicale et qui désigne l'ensemble des matériaux riches en hydroxydes de fer ou d'aluminium (Fig. 16D). Elle peut se former sur n'importe quel type de roche mais seulement si le climat est aride sur une période prolongée et c'est ce qui explique qu'il y a autant de types de latérite qu'il y a de roches d'origine. On peut donc, raisonnablement, penser que la latérite au Burkina Faso aurait la même composition que les roches dont elle est issue. C'est le fer oxydé qui donne la couleur rouge d'une latérite ce que les résultats des analyses chimiques ont confirmé. La présence d'alumine Al_2O_3 fait de certaines latérites appelées bauxites, le principal minerai d'aluminium. Compte tenu du degré de friabilité de cette roche, la confection de lames minces n'a pas été possible.

En plus des analyses minéralogiques, nous avons procédé à l'analyse des roches collectées par la méthode ICP-MS dont les résultats sont présentés dans le tableau VIII. Quelle que soit la roche, l'analyse chimique révèle des teneurs très faibles en silice qui vont de 0,72 p.c. dans le granite rose à 4,95 p.c. dans le gneiss. Les teneurs en aluminium vont de 8,16 p.c. dans la cuirasse latéritique, 12,69 p.c. dans le granite rose à 20,80 p.c. dans le basalte. Par contre, l'ensemble des roches présente des teneurs très élevées en fer, qui vont de 34,61 p.c. dans le gneiss à 65, 66 p.c. dans le schiste puis à 76,30 dans la cuirasse latéritique pour atteindre 89,76 p.c. dans la cuirasse latéritique.

Quant aux teneurs en potassium, elles sont de 6,96 p.c. pour le basalte, 8,97 p.c. dans la dolérite, 11,50 p.c. du schiste, 12,64 p.c. dans le granite, 13,82 p.c. pour le grès et 18,28 p.c. pour le gneiss. Dans le cas de la latérite, ces teneurs ne sont plus que de 1,40 p.c. pour la carapace et 0,44 p.c. pour la cuirasse.

Tableau VIIIa : Composition chimique de quelques roches

Eléments	Granite noir	Granite rose	Gneiss	Grès	Basalte	Schiste	Dolérite
	p.c.						
SiO₂	2,02	0,72	4,95	1,65	0,56	0,74	0,66
Al₂O₃	13,12	12,69	18,98	21,23	20,8	15,67	13,8
Fe₂O₃	39,98	41,94	34,61	57,9	46,34	65,66	36,03
K₂O	12,61	12,67	18,28	13,82	6,93	11,5	8,97
MgO	4,96	5,71	3,82	1,25	6,84	2,52	14,8
CaO	1,85	2,22	2,35	1,31	8,64	0,96	10,36
Na₂O₃	2,49	3,81	5,37	0,33	2,32	0,44	1,93
MnO	1,53	0,96	0,6	0,29	0,85	0,47	0,51
TiO₂	2,44	2,8	1,51	0,15	2,67	0,09	2,59
P₂O₅	0,62	0,65	0,51	0,67	0,77	0,63	0,99
H₂O	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5
Rapports entre éléments							
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,15	0,05	0,26	0,07	0,02	0,04	0,04
Fe ₂ O ₃ /Al ₂ O ₃	3,04	3,30	1,82	2,72	2,22	4,19	2,61
K ₂ O/MgO	2,54	2,21	4,78	11,05	1,01	4,56	0,60
K ₂ O/CaO	6,81	5,70	7,77	10,54	0,80	11,97	0,86

Tableau VIIIb : Composition chimique de quelques roches

Eléments	Carapace latéritique	Cuirasse latéritique
	p.c.	
SiO₂	0,18	0,10
Al₂O₃	20,34	8,16
Fe₂O₃	76,3	89,76
K₂O	1,4	0,44
MgO	0,13	0,12
CaO	0,1	0,12
Na₂O₃	0,05	0,03
MnO	0,24	0,05
TiO₂	0,24	0,25
P₂O₅	0,08	0,09
H₂O	2,46	2,15
Rapports entre éléments		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,00	0,01
Fe ₂ O ₃ /Al ₂ O ₃	3,75	11,0
K ₂ O/MgO	10,76	3,66
K ₂ O/CaO	14	3,66

Même en ayant la même composition chimique, la transformation d'une carapace en une cuirasse se traduit principalement par une diminution de la teneur en aluminium, qui passe de 20,34 p.c. à 8,16 p.c. Par contre, on assiste à un enrichissement en Fe_2O_3 dont la teneur passe de 76,30 p.c. dans la carapace, à 89,76 p.c. dans la cuirasse. On note également une réduction du taux d'humidité de la carapace à la cuirasse latéritique.

Dans le cas du grès, l'altération produit un sable fin, où la plupart des éléments de la roche saine sont évacués, à des taux allant de -31 p.c. pour le titane, à -96 p.c. pour le fer. Par contre, on constate un enrichissement de ce sable en magnésium (+165 p.c.), en sodium (+237 p.c.) et en phosphore (+22 p.c.).

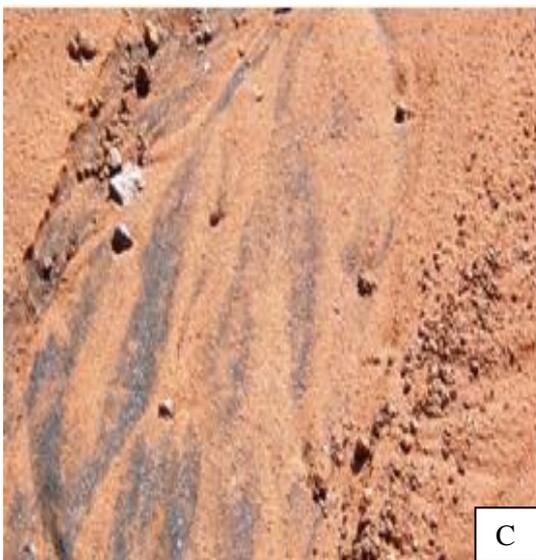
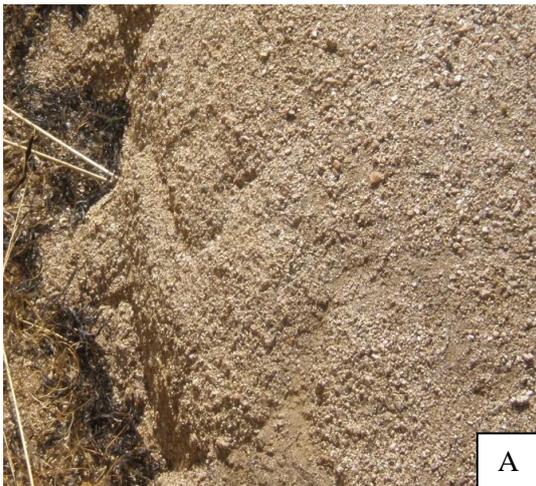
6.1.2. Produits d'altération des roches

L'altération des roches donne, essentiellement, naissance à deux types de produits, à savoir : les sables et les minéraux primaires qui produiront par la suite des argiles. Toutefois, dans le cas des roches basiques telles le basalte, la dolérite et le schiste, on obtient d'abord des blocs de roche et des cailloux avant le sable.

6.1.2.1. Sables

Les sables sont issus de l'altération de la plupart des roches rencontrées tels le granite, le grès, le gneiss, le basalte et la dolérite. Les sables obtenus par destruction de ces différentes roches sont décrits ci-dessous.

Lors de l'altération, le granite se désagrège et se réduit à un amas de grains, formant une sorte de sable grossier, de couleur, généralement, grise, appelé arène granitique, composée de grains de quartz non altérés, de grains de feldspaths restant, plus ou moins altérés, surtout le feldspath orthose, plus résistant que les plagioclases, d'oxydes de fer et d'argiles provenant de l'hydrolyse des micas et des feldspaths (Fig. 18). Ce sable va s'accumuler à la base de l'affleurement, ou entre les blocs de granite non encore altérés, tandis que les eaux de ruissellement et d'infiltration emporteront les composés solubles issus de l'hydrolyse. L'arène granitique est par la suite emportée, soit par le vent, soit par les eaux de ruissellement, dégageant, progressivement, les blocs de granite. Au Burkina Faso, ces blocs de granite sont fréquemment rencontrés dans les régions de Boromo (Wanko, Zawara), de Niangoloko et de Léo. Ils peuvent aussi restés empilés les uns sur les autres, créant, dans le paysage, des structures appelées chaos, visibles à Koro, village situé à 12 km à l'Est de Bobo-Dioulasso.



A : Amas de sable de granite
B : Carrière de sable de Gneiss

C : Sable de grès sur voie d'eau
D : Sable de basalte sur voie d'eau

Figure 18 : Sables produits par l'altération de différentes formations rocheuses.

Quelque fois, cette arène granitique se retrouve dans une dépression, au pied des blocs de granite, constituant ainsi un gisement de sable grossier, que l'on prélève pour les travaux de construction. Il arrive aussi que ce gisement de sable soit alimenté par une source d'eau quelconque, le transformant alors en sables mouvants, devenant ainsi un piège pour les animaux et les hommes, comme c'est le cas à Borodougou, à la Léra, sur l'axe Sindou-Baguéra.

Le sable issu de l'altération du grès est plus fin, de couleur blanche, jaune, rouge à rouge brique, composé de grains de quartz non altérés et de feldspaths restant, plus ou moins altérés, d'oxydes de fer et d'argiles. Ce sable, qui se constitue au pied des collines gréseuses, est en majorité entraîné par le vent, la gravité et les eaux de ruissellement, pour ensuite se déposer sur les voies de circulation d'eau ou sur les pistes. Au Burkina Faso, ce genre de dépôts sableux se rencontre fréquemment en bas des collines de grès, notamment dans la Kossi, plus particulièrement sur l'axe Konkuy-Koro-Doumbala, Doumbala-Djibasso et Bomborokuy-Djibasso-Frontière du Mali.

L'altération du basalte produit des minéraux argileux, des oxydes d'aluminium de fer et de titane. Les oxydes hydroxydes de titane, d'aluminium et de fer sont les résidus les plus stables de l'altération, ce qui explique leurs taux dans les analyses chimiques. Le sable fin à grossier, provenant du basalte en décomposition est de couleur grise à noire, très fréquent dans la région de Diosso, de Dougoumato-Kongolekan. Sa composition chimique est très voisine du sable issu de l'altération de la dolérite ou du granite. Les roches basiques, tel le basalte, la dolérite et le schiste, produisent nettement moins de sable que le granite, le grès ou le gneiss.

Au Burkina Faso, ce genre de dépôts sableux se rencontre, fréquemment, au voisinage des collines de gneiss, notamment, dans la Léraba, et dans la région de Sindou. Il arrive aussi que ce gisement de sable soit alimenté par une source d'eau quelconque, et se transforme en sables mouvants, devenant ainsi un piège pour les animaux et les hommes, comme c'est le cas à la Léra, sur l'axe Sindou-Baguéra.

Il convient toutefois de signaler que l'altération des roches basiques (basalte, dolérite, schiste) produit beaucoup moins de sable que celle des roches acides. De plus, ces sables sont entraînés par les eaux de ruissellement sur de longues distances d'où la difficulté à le retrouver en quantité importante près de ces roches.

Sur roches acides telles le granite, le gneiss et le grès, l'altération produit beaucoup de sable, au pied des roches dans le cas du granite et du gneiss, le long des voies en aval des massifs rocheux pour le grès.

Tableau IX : Composition chimique des sables d'altération de roche

Eléments	Grès non altéré	Sable de grès	Variations		Kaolin (granite)
		$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$	p.c.	p.c.
SiO₂	668270	224648	- 443622	- 66	3,61
Al₂O₃	8611096	3219733	- 5391363	- 62	34,71
Fe₂O₃	23484159	743360	- 22740799	- 96	12,95
K₂O	5605965	1387906	- 4218059	- 75	42,25
MgO	507449	1348426	+ 840977	+ 165	3,20
CaO	531724	306590	- 225134	- 42	0,44
Na₂O₃	134485	453830	+ 319345	+ 237	1,96
MnO	118838	25049	-93789	- 78	0,08
TiO₂	62504	42749	- 19755	- 31	0,23
P₂O₅	272854	333136	+ 60282	+ 22	0,38

Le tableau IX montre que, si le sable issu de l'altération du grès s'appauvrit pour tous les éléments chimiques, par contre il s'enrichit en P, Mg et surtout en Na. On note que les teneurs en Fe et K s'inversent lorsque l'altération du granite a lieu en profondeur pour donner du kaolin.

L'analyse chimique par ICP-MS montre un enrichissement en Al₂O₃, Fe₂O₃ et K₂O et un appauvrissement en SiO₂, FeO, CaO et Na₂O. Toutefois, la composition chimique de ces divers sables semble très voisine.

6.1.2.2. Minéraux primaires

Quatre groupes de minéraux ont été identifiés comme constituant les différentes roches lors des analyses micromorphologiques. Ces minéraux, sous l'action des divers processus d'altération, produisent, dans les conditions soudano-sahéliennes, des minéraux tels :

- les feldspaths potassiques (Si, Al, K), sous forme d'orthose, dont l'altération donnera naissance vraisemblablement à de l'illite, qui, par dégradation, va se transformer en kaolinite, avec libération de cations tels K⁺ ;

- les plagioclases (Si, Al, Ca, Na), qui produiront, en principe des minéraux argileux comme l'illite, accompagné de Ca⁺⁺, Na⁺, puis de la kaolinite, Ca⁺⁺ et Na⁺ risquant d'être entraînés en profondeur par lixiviation;

- les micas (Si, Al, K, Fe, Mg), qui donneront la chlorite, des cations K⁺ et Mg⁺⁺ et des oxydes de fer ;

- le quartz (Si), dont la décomposition donne de la silice SiO₄.

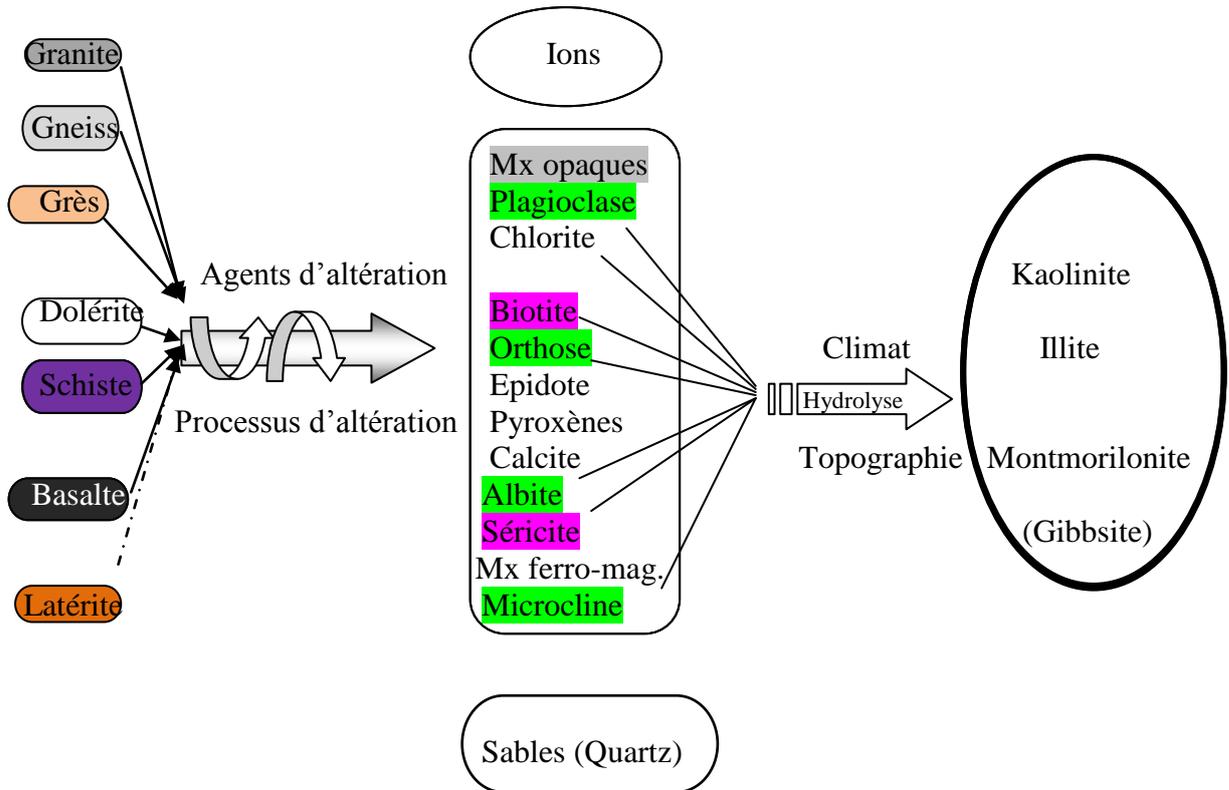


Figure 19 : Schéma d'altération de roches en zone soudano-sahélienne

Les minéraux primaires ci-dessus cités, produiront des minéraux secondaires ou argiles. En fonction du type de minéral silicaté, de l'intensité de l'hydrolyse, du drainage et de la topographie, on obtient des argiles de nature différente. Cependant, dans les conditions soudano-sahélienne, on aboutit fréquemment à la formation des trois minéraux argileux ci-après :

- la kaolinite où l'hydrolyse est totale et le drainage bon. La réaction a lieu selon l'équation $[NaAlSi_3O_8 + 11H_2O \rightarrow Si_2O_5 Al_2(OH)_4 + 4H_4SiO_4 + 2(Na^+, OH^-)]$ (4);

- la montmorillonite, qui nécessite un milieu confiné, avec une réaction du type $[2,3 Na Al Si_3O_8 + H_2O \rightarrow Si_3, 7Al_{0,3} O_{10} Al_2 (OH)_2 Na_{0,3} + 3,2 H_4SiO_4 + 2(Na^+, OH^-)]$ (5). Pour cette argile gonflante (14-18 Å), du groupe des smectites, de formule $2Al_2O_3, 8SiO_2, 2H_2O, nH_2O (Mg,Ca)O, Al_2O_3, 5SiO_2, nH_2O$, on observe une substitution de Al par Mg et Fe ;

- l'illite (10 Å), argile non gonflante, de formule $Al_2(OH)_2, (AlSi_3(O,OH)_{10})$, a une structure où il ya substitution de Si par Al. Par ailleurs, on note également la présence de la chlorite (14 Å), argile non gonflante de type 2/1/1, de formule $Mg_5 (Al,Fe)(OH)_8 (Al,Si)_4 O_{10}$, il ya substitution de Al par Fe avec en plus une couche Mg-OH.

6.2. Effet des types de sol et des segments topographiques sur la dynamique du potassium dans les systèmes de culture coton-céréales

6.2.1. Ferralsols

Les sols ferrallitiques (Ferralsols) sont, en général, des sols rouges, très riches en oxydes de fer (hématite ou goethite) et d'alumine (gibbsite), caractérisés par une altération poussée des minéraux primaires et comportant exclusivement des argiles 1/1 qu'est la kaolinite. Quelquefois, le fer libre peut précipiter en milieu engorgé, sous forme d'oxydes, et participer à la formation, soit de nodules ferrugineuses, soit de carapace et de cuirasse.

Dans la zone de production Sofitex, ils présentent une pente moyenne de 2,45 p.c. mais cette valeur varie de 1,49 p.c. à 5,06 p.c. Selon le code Munsell (1975), leur couleur va du rouge foncé 2.5YR, dans le Kéné Dougou (Fig.19C, D), au rouge clair 5YR, notamment dans le Houet et le Mouhoun (Bondokuy) (Fig.19A, B).

A la station de Farako-bâ, les profils de haut de versant et de mi versant présentent, à peu de choses près, des caractéristiques qui sont proches de celles des sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux (Ftm) correspondant aux ferralssols rhodiques (FAO *et al.*, 1999 ; BUNASOLS 2006). Par contre le profil du bas de versant équivaut à celui des sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques remaniés modaux (Frm), ou ferralsols rhodiques. Notons que la principale différence entre ces deux groupes de profils est la présence d'une mince couche, à une faible profondeur, de taux de gravillons ferrugineux (BUNASOLS, 2006).

Sur les sols ferrallitiques de la station de Farako-bâ, on distingue seulement trois horizons pédologiques, quelle que soit la position topographique du profil pédologique. En haut de versant, l'horizon de surface, de couleur gris rouge (5YR 5/6) à 5YR 4/6, si humide, a seulement 8 cm de profondeur, avec une texture sablo-limoneuse. Sur les 78,05 p.c. de teneur en sables, 85 p.c. sont constitués de sables fins, indiquant ainsi que la roche mère de ces sols est constituée de grès. Les réserves en eau sont faibles (6,47 p.c.), soit 85,40 mm d'eau. La teneur en matière organique est faible (8,3 g kg⁻¹), de même que les teneurs en potassium disponible.

Le deuxième horizon est situé entre 8 et 23 cm, et la troisième couche, entre 23 et 120 cm de profondeur.

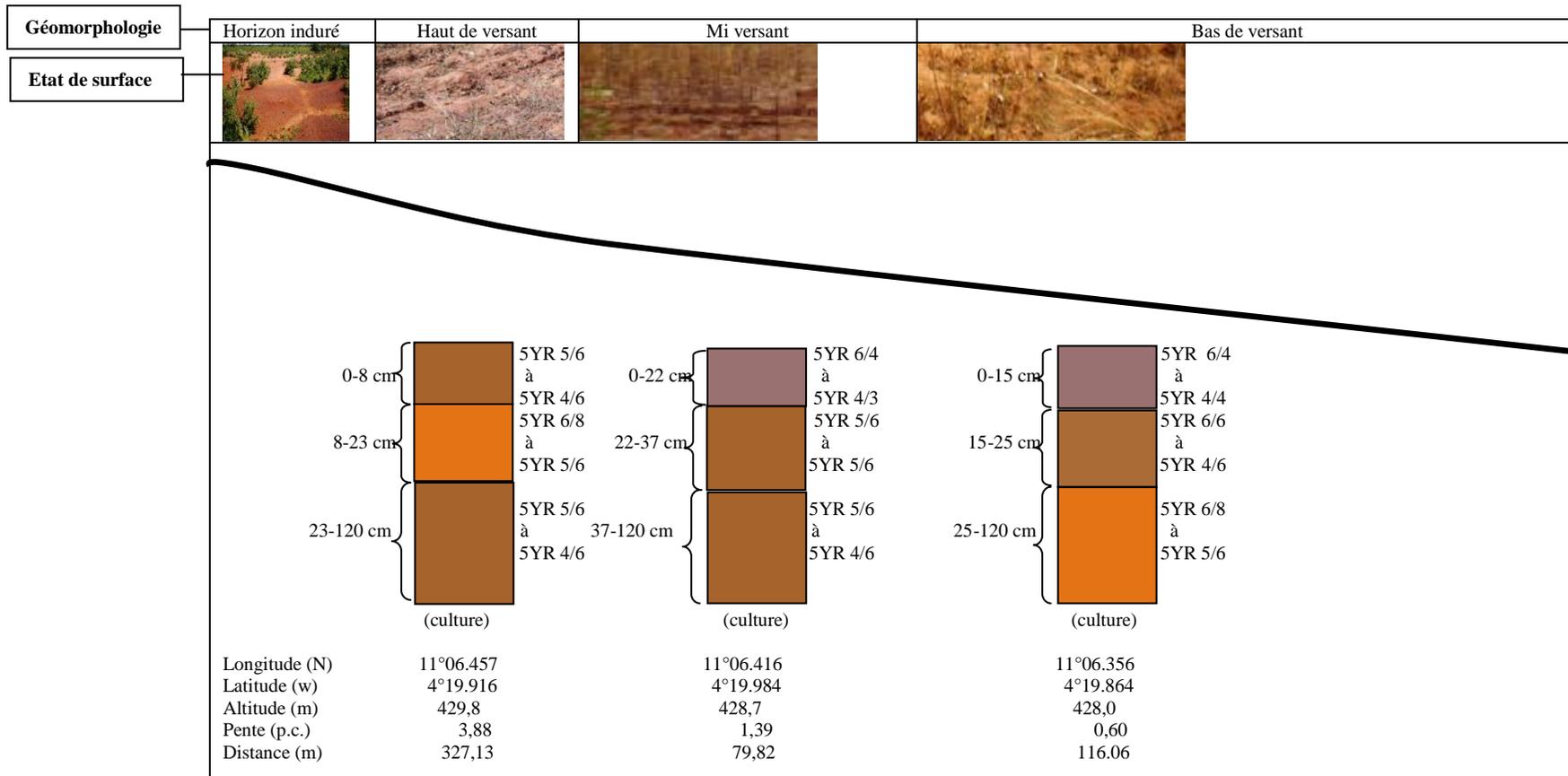
Selon les résultats de l'étude micromorphologique, les minéraux primaires identifiés, ainsi que leurs produits d'altération, on peut conclure que les sols ferrallitiques sur grès de la station de Farako-bâ sont composés de 92 p.c. de kaolinite et de 8 p.c. d'illite.



A : Farako Ba P15
B : Sokoroni (PK 10)

C : Sokouraba
D : Samogohiri

Figure 20 : Etats de surface de quelques sols ferrallitiques (Ferralsols)



Sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux (Ftm) Sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques remaniés modaux ou ferralsols rhodiques

Figure 21 : Profils pédologiques des sols ferrallitiques (Ferralsols) de Farako-bâ

Tableau X : Caractéristiques des sols ferrallitiques (Ferralsols) de la station de Farako-bâ

	Profondeur	Texture	A	Lf	Lg	Sf	Sg	C	Fe total	Fe libre	(S/T)	Humidité
	cm		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹		p.c.	mm/m
	0-8	SL	97,7	34,9	86,9	668,5	112	4,82	1,5	1,17	55	8,4
Haut de versant	8-23	LS	167,4	32,6	68,7	593,6	137,7	3,83	2,03	1,76	51	14,2
	23-120	AS	362,8	51,2	95,2	435,1	5,57	3,83	4,38	3,17	53	270,8
	0-22	SL	72,1	37,2	54,7	523,2	312,8	9,3	1,02	0,92	59	15,16
Mi-versant	22-37	LS	137,2	44,2	57,3	535,5	225,8	4,82	1,8	1,56	59	17,98
	37-120	AS	376,7	55,8	98	372	97,5	3,83	3,65	3,46	58	106,66
	0-15	LS	102,3	48,8	88,2	612	148,7	4,53	1,3	1,07	53	88,25
Bas de versant	15-25	LS	134,9	48,8	85,7	592,5	138,1	4,59	1,6	1,29	52	120,29
	25-120	LA	386	74,4	112,5	381	46,1	3,72	3,65	2,99	54	160,2

A : argile, Lf : limon fin, Lg : limon grossier, Sf : sable fin, Sg : sable grossier

On note un accroissement des teneurs en argiles, en limons, en fer, avec la profondeur, sur toutes les positions topographiques, à l'inverse de celles des sables et du carbone. Le taux de saturation semble être constant. Les résultats concernant le pH et la CEC sont donnés dans le tableau XI.

Tableau XI : CEC et pH des sols ferrallitiques (Ferralsols) de la station de Farako-bâ

	Profondeur (cm)	pH eau	pH KCl	Δ pH	CEC ($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)
Haut de versant	0-8	5,46	3,97	1,49	3,42
	8-23	5,04	4,65	0,39	3,71
	23-120	5,26	4,65	0,61	3,85
Mi-versant	0-22	5,61	4,41	1,20	3,24
	22-37	5,30	4,00	1,30	3,89
	37-120	5,35	4,34	1,01	5,44
Bas de versant	0-15	5,25	4,00	1,25	3,35
	15-25	5,15	3,95	1,20	3,18
	25-120	5,35	4,15	1,20	4,44

Les différences entre le pH (KCl) et le pH (eau) vont de 0,61 à 1,49, et les valeurs de CEC varient de 3,18 à 5,44 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$. Les résultats des enquêtes de sol en milieu paysan sont présentés dans le tableau XII.

Tableau XII : Caractéristiques des sols ferrallitiques (Ferralsols) en zone ouest

	Haut de versant		Mi-versant		Bas de versant	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Argiles (g kg ⁻¹)	159,3 ± 28,8	247,5 ± 61,0	152,0 ± 22,0	254,9 ± 43,6	142,2±14,3	267,1 ± 52,4
Limons (g kg ⁻¹)	154,4 ± 18,4	196,1 ± 67,7	164,18 ± 10,9	169,0 ± 27,8	169,1 ± 12,1	183,8 ± 55,2
Sables (g kg ⁻¹)	686,3 ± 39,9	556,4 ± 87,5	683,8 ± 26,6	576,0 ± 36,4	688,7±18,5	549,0 ± 60,9
Carbone (g kg ⁻¹)	6,04 ± 0,8	5,40 ± 0,8	5,29 ± 0,40	4,76 ± 0,6	5,17 ± 0,75	4,82 ± 0,63
K. total (mg kg ⁻¹)	665,65± 204,6	553,10 ± 298,7	569,79±152,1	536,62±159,4	797,13±271,7	605,92±372,8
K.disp (mg kg ⁻¹)	68,63 ± 21,1	49,25 ± 14,1	54,37 ± 14,2	53,87 ± 14,5	50,62 ± 11,3	40,12 ± 13,68
K.disp/K.tot (p.c.)	10	8	9	10	6	6

Les éléments fins (argiles et limons) diminuent lorsque l'on passe du haut au bas de versant, tandis-qu'avec le sable, on observe le contraire. Le potassium est partout plus présent dans l'horizon de surface (0-20 cm). La disponibilité de cet élément semble meilleure en haut de versant.

Tableau XIII : Texture, matière organique et K des sols ferrallitiques selon les doses de K₂O

Profondeur cm	Argiles	Limons	Sables	C total	K total	K disp	K disp/K.total	
								g kg ⁻¹
T1	0-20	111,10 ± 36	98,1 ± 28	790,8 ± 24	6,27 ± 1,5	119,18 ± 19	32,17 ± 19	26
	20-40	222,2 ± 58	98,0 ± 21	679,7 ± 63	5,58 ± 0,8	162,48 ± 31	25,33 ± 13	15
T2	0-20	111,08 ± 16	98,1 ± 12	790,8 ± 24	5,17 ± 0,7	114,60 ± 27	27,33 ± 16	23
	20-40	179,7 ± 57	140,5 ± 67	679,7 ± 60	5,00 ± 0,5	144,65 ± 36	19,33 ± 11	13
T3	0-20	104,55 ± 27	117,7 ± 25	777,8 ± 29	5,98 ± 0,4	157,08 ± 68	44,00 ± 13	28
	20-40	215,7 ± 59	150,3 ± 73	634,0 ± 107	5,63 ± 1,3	172,33 ± 29	32,67 ± 15	18
T4	0-20	117,63 ± 46	111,1 ± 32	771,2 ± 59	6,56 ± 1,0	127,35 ± 17	42,50 ± 17	33
	20-40	196,1 ± 112	101,3 ± 23	702,6 ± 127	5,93 ± 1,5	168,05 ± 42	27,83 ± 8	16
T5	0-20	98,02 ± 21	107,9 ± 21	794,1 ± 16	5,46 ± 0,5	127,86 ± 48	39,67 ± 18	31
	20-40	244,5 ± 115	137,2 ± 55	818,3 ± 337	5,63 ± 1,4	182,13 ± 79	25,67 ± 18	14

Dans ce tableau XIV, T1 constitue un témoin absolu sans fertilisant. Tous les autres objets ont reçu des doses uniformes en azote, phosphore, soufre et bore. Seules les doses de potassium différent et sont de 0 kg de K₂O pour T2, 30 K₂O pour T3, 60 K₂O pour T4 et 90 K₂O pour T5.

6.2.1.1. Sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux (Ftm) ou ferralsols rhodiques de haut de versant

* **Caractéristiques morphologiques (profil A_{H1} et A_{H2})** : ils font au moins 1,20 m de profondeur, accusent une couleur brun rouge (5YR5/6) en surface, et brun clair (5YR6/8) dans les horizons sous jacents. Ils ont une texture grossière sur les 15-40 premiers cm, et fine au-delà. Dans certains cas, une texture moyenne (limono-argilo-sableuse) précède l'horizon à texture fine.

Ces sols contiennent peu ou pas d'éléments grossiers. La structure est faiblement développée, de type polyédrique subangulaire, mais tend à devenir massive en profondeur, quand le taux d'argile augmente. Les sols sont poreux et bien drainés, l'activité biologique y est bien développée, et la présence des racines s'observe jusqu'en profondeur. Les horizons 2 et 3 sont tous de couleur beige.

Selon leurs propriétés analytiques, les horizons de surface sont pauvres en argile et en limons ; en revanche, les taux de sables atteignent 80 p.c. En profondeur, par contre, le taux d'argile croît jusqu'à 45 p.c.

Les quantités d'eau utile sont très faibles, atteignant rarement 4 p.c. On enregistre, seulement entre 8,5 et 26,4 mm d'eau dans les 50 premiers cm, contre 23 à 54,9 mm, dans les 100 premiers cm.

Les teneurs en matière organique sont faibles et, généralement, en dessous de 1 p.c., mais la valeur du rapport C/N indique sa bonne décomposition.

Les teneurs en azote total sont également basses, restant, le plus souvent, en dessous de 6,0 g kg⁻¹. Les sols sont très pauvres en phosphore total et en phosphore assimilable, induisant ainsi une carence en phosphore. Ils sont également très pauvres en potassium total et en potassium disponible, alors que les besoins en potassium sont élevés, selon le rapport K/T

La somme des bases échangeables est faible (1,9 à 3,9 cmol⁺ kg⁻¹). La capacité d'échange cationique s'avère également faible (2 à 6 cmol⁺ kg⁻¹). Le taux de saturation est, quant à lui, élevé à moyen. Les sols sont moyennement à très fortement acides (pH 6,0 à 5,6), et peu fertiles, dans leur majorité.

6.2.1.2. Sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques remaniés modaux ou ferralsols rhodiques des bas de versant

Du point de vue des caractéristiques morphologiques (profil A_{H3}), ces sols sont profonds, de couleur beige (5YR6/4) en surface et beige rougeâtre (5YR6/8) en profondeur, bien drainés, homogènes. Ils accusent une texture grossière en surface (limono-sableuse) et

fine en profondeur (argilo-sableuse). La présence d'éléments grossiers sous forme de nodules d'oxydes de fer dans le profil est assez notable, et constitue le principal signe distinctif de ces sols, par rapport au Ftm ci-avant décrits. Le taux de ces éléments grossiers varie entre 50 et 250 g kg⁻¹: ils sont constitués de concrétions et gravillons ferrugineux. La structure, comme dans le cas précédent, est faiblement développée, polyédrique subangulaire à tendance massive dans les couches de texture plus fine.

A l'état frais, les sols sont friables ; ils sont poreux, surtout dans les horizons de surface, où se rencontre le système racinaire. L'activité biologique y est bien développée.

Pour leurs propriétés analytiques, on note, dans la composition granulométrique, à peine 100 g kg⁻¹ d'argile et 150 g kg⁻¹ de limon en surface, contre 740 g kg⁻¹ de sables. En profondeur, le taux d'argile croît jusqu'à 350-390 g kg⁻¹. Celui des sables décroît (470-540 g kg⁻¹), tandis que le taux de limons reste autour de 170-70 g kg⁻¹. Les teneurs en eau utile sont très faibles (1 à 4 p.c.). Elles tournent entre 18,2 et 28,9 mm dans les 50 premiers centimètres (RFU 12,1 et 19,2 mm), 46,7 et 48,2 mm, dans les 100 premiers cm (RFU 31,1 et 32,1 mm). Les sols sont pauvres en matière organique et en éléments nutritifs N, P₂O₅, K₂O. La somme des bases échangeables et la CEC sont faibles. Le taux de saturation est moyen en surface (47 p.c.) et faible en profondeur (30-39 p.c.). Le pH est fortement acide (5,5 à 5,2). La fertilité de ces sols est faible.

En milieu paysan, quelle que soit la position topographique, aucune tendance claire ne se dessine, c'est-à-dire que les prélèvements en haut de versant présentent les mêmes teneurs en argiles que les prélèvements du bas de versant, sur 0-20 et 20-40 cm de profondeur. Cela est également valable pour les taux de limons et de sables. Mais, pour la matière organique, le K total et le K disponible, les teneurs semblent liées à la position topographique, même si il n'existe pas de différences significatives entre niveaux topographiques. Néanmoins, on note que les teneurs de K disponible baissent de 26 p.c. entre A_{H1} et A_{H2}, et de 7 p.c. entre A_{H2} et A_{H3}. Les taux de matière organique évoluent selon la même tendance baissant de 14 p.c. entre le haut de versant et le moyen versant et de 3 p.c. entre le mi versant, et le bas de versant, sur les deux profondeurs de sol considérées. Les teneurs en K total semblent être extrêmement variables.

6.2.2. Sols ferrugineux tropicaux (Lixisols)

Les sols ferrugineux tropicaux occupent la majeure partie du paysage de la zone cotonnière. Leur couleur varie du gris (7,5YR), sur granite (Fig. 22A) au brun jaunâtre 10YR sur grès (Fig. 22C), selon la nature de la roche mère.



A : Sols ferrugineux sur granite (Boni)

B : Sols ferrugineux (Ferme de Mwauvoun)

C : Sols ferrugineux sableux sur grès

D : Horizon de surface après labour

Figure 22: Etats de surface de quelques sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de Houndé

Ces sols se caractérisent par une dominance des oxydes de fer et de manganèse cristallisés, goethite ou hématite, une altération encore incomplète des minéraux primaires. Les argiles de type 1/1, de néoformation, sont dominantes, avec cependant, la persistance de minéraux primaires et d'argile 2/1, de type illite ou montmorillonite.

Au Burkina Faso, les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés occupent presque toutes les positions du relief, sur une pente moyenne de 3,40 p.c. (0,5 à 6,11 p.c.). Ils sont caractéristiques de la zone tropicale à saison sèche.

Sur la ferme de Boni, les profils pédologiques ouverts ont révélé des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés (Lixisols plinthiques), dont les caractéristiques sont décrites ci-après.

Sur le plan des caractéristiques morphologiques, ce type de sol présente la particularité d'avoir, à des profondeurs variables, en tout cas, avant 120 cm, un horizon de cuirasse difficilement destructible à la pioche, ou de carapace, plus facilement brisable. Selon le niveau d'apparition de cet horizon induré, des subdivisions ont été opérées, pour répondre, surtout, au souci d'utilisation. On distingue ainsi :

- les sols indurés superficiels (Fs), ou plinthosols épipétrique ferriques : 0-20 cm ;
- les sols indurés peu profonds (Fpp), ou plinthosols épipétrique ferriques : 20-40 cm ;
- les sols indurés moyennement profonds (Fmp), ou lixisols endo-petroplinthique ferriques : 40-60 cm
- les sols indurés profonds (Fp), ou lixisols endo-petroplinthique ferriques: > 60 cm.

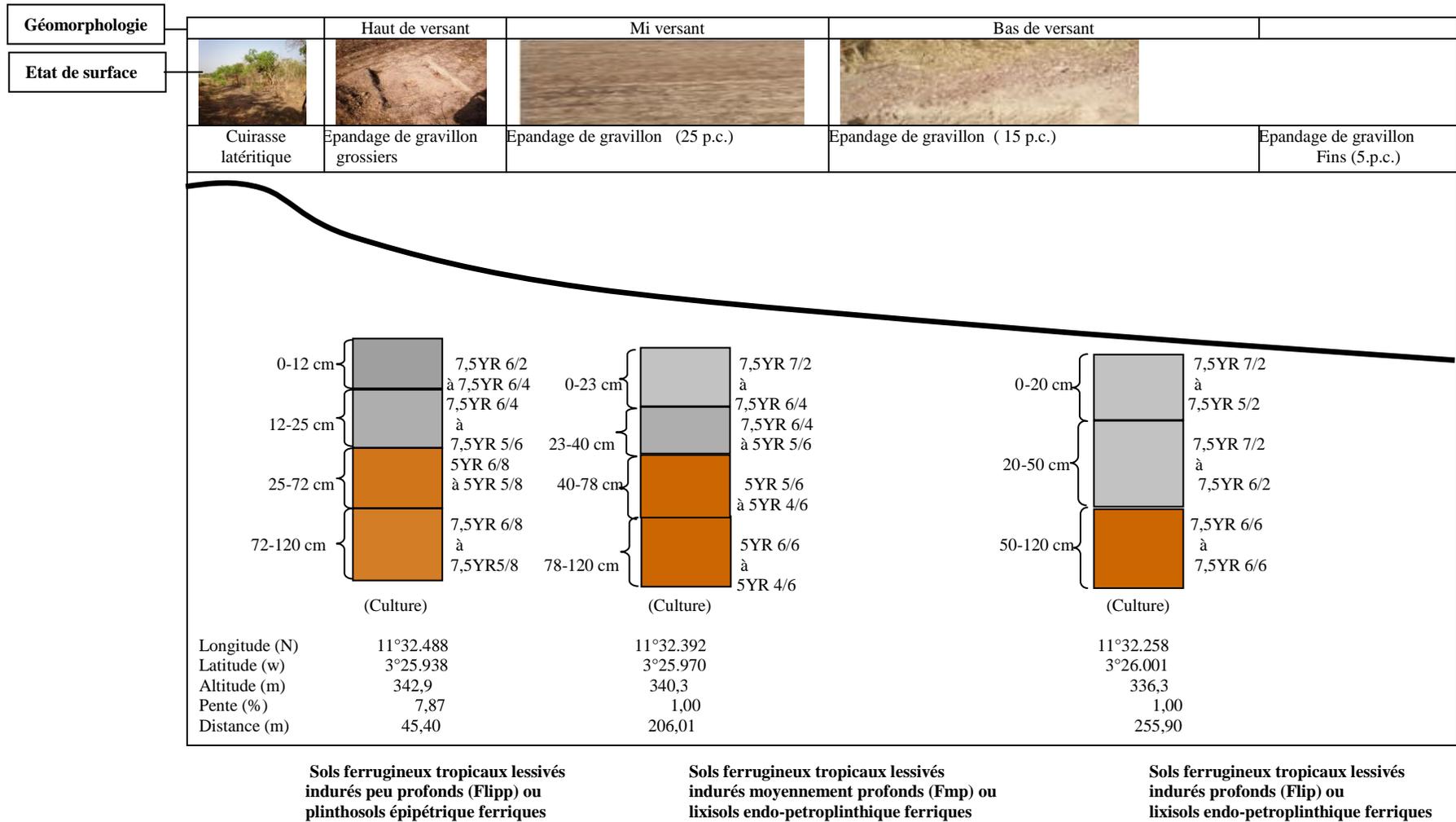


Figure 23 : Profil pédologique des sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de Boni

Tableau XIV : Caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de la ferme de Boni

	Profondeur	Texture	A	Lf	Lg	Sf	Sg	C	Fe	Fe libre	(S/T)	Humidité
	cm								total	mg kg ⁻¹	p.c.	mm/m
			g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
Haut de versant	0-12	L	132,5	167,5	228,6	209,2	262,2	16,9	3,8	3,8	54	23,1
	12-25	L	202,5	140	197,2	179	281,3	10,6	5,6	4,9	55	19,0
	25-72	A	415	167,5	105,3	122,8	189,4	2,9	12,6	8,0	54	84,3
	72-120	A	492,5	137,5	99,4	105,8	164,8	6,3	8,3	5,8	62	75,5
Mi- versant	0-23	L	107,5	160	282,5	253,5	196,5	7,7	2,0	1,8	61	35,6
	23-40	L	170	170	264,6	232,3	163,1	11,4	2,6	2,4	59	22,0
	40-120	LA	307,5	170	117,9	148,5	256,1	3,4	14,1	7,6	57	67,9
Bas de versant	0-20	LS	147,5	235	281,1	220,1	116,3	10	9,1	0,9	64	33,8
	20-50	L	237,5	195	256,2	190,7	120,6	7,9	1,9	1,1	57	45,7
	50-120	LA	305	160	158,6	160,9	215,5	8,5	6,7	1,5	55	96,3

D'un point de vue granulométrique, la texture de ces sols est dominée par les limons, sur toutes les positions topographiques. Les quantités du fer augmentent avec la profondeur, à l'instar des taux d'humidité (Tableau XIV).

Tableau XV : CEC et pH des sols ferrugineux tropicaux de la ferme de Boni

	Profondeur (cm)	pH eau	pH KCl	ΔpH	CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹)
Haut de versant	0 - 12	5,30	4,11	1,19	5,27
	12 - 25	5,30	4,10	1,20	2,7
	25 - 72	4,86	4,00	0,86	3,20
	72 - 120	4,55	4,00	0,55	3,39
Mi-versant	0 - 23	6,10	4,40	1,70	3,10
	23 - 40	6,00	4,65	2,65	3,49
	40 - 120	5,25	4,40	0,85	4,56
Bas de versant	0 - 20	5,60	3,98	1,62	3,56
	20 - 50	5,38	3,86	1,52	3,22
	50 - 120	4,75	3,76	0,99	3,4

Ces sols sont plus acides en profondeur et les valeurs de CEC, très faibles, varient de 2,7 à 5,27 cmol⁺ kg⁻¹ de sol (Tableau XV).

Tableau XVI : Caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) en zone ouest

	Haut de versant		Mi versant		Bas de versant	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
Argiles (g kg ⁻¹)	267,7 ± 77	315,2±50	260,2 ± 63	325,4±48	231,4 ± 65	282,3±55
Limons (g kg ⁻¹)	303,9 ± 77	276,8±58	313,8 ± 60	291,3±30	319,0 ± 56	289,7±42
Sables (g kg ⁻¹)	428,4±62	404,7±87	426,0±62	406,2±59	449,6±63	439,5±77
Carbone (g kg ⁻¹)	11,04 ± 3	9,06 ± 2	10,58 ± 2	9,18 ± 1	9,65 ± 3	8,72 ± 3
K. total (mg kg ⁻¹)	803,24±156	863,94±208	812,4 ± 79	790,8±261	799,29±262	889,64±352
K. disp. (mg kg ⁻¹)	93,64 ± 57	69,72 ± 28	96,99 ± 52	60,42 ± 29	80,42 ± 40	59,73 ± 24
K.disp/K.tot (p.c.)	11	8	11	7	10	6

En milieu réel, les teneurs en argiles, en sables et en limons sont plus importantes en surface. La disponibilité de K est, également, plus importante en surface (0 - 20 cm) qu'entre 20 et 40 cm de profondeur. De même, cette disponibilité semble diminuer, quand on passe du haut de versant au bas de versant (Tableau XVI).

Tableau XVII : Texture, matière organique et K des sols ferrugineux (lixisols) selon les doses de K₂O

Trait	Profondeur	Argile	Limons	Sables	C	K tot	K disp	K dis/K tot
	cm	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹		
T1	0 - 20	137,3 ± 28	385,6 ± 77	477,1 ± 88	4,94 ± 0,8	1003,82 ± 211	54,83 ± 7	5
	20 - 40	209,1 ± 85	277,7 ± 75	513,1 ± 113	4,70 ± 0,7	1721,78 ± 283	57,57 ± 14	3
T2	0 - 20	137,3 ± 46	401,9 ± 51	460,8 ± 64	5,05 ± 1,3	988,07 ± 397	52,82 ± 11	5
	20 - 40	199,3 ± 94	300,6 ± 66	500,0 ± 114	4,53 ± 0,7	1520,98 ± 333	54,93 ± 17	3
T3	0 - 20	134,0 ± 29	411,7 ± 39	454,2 ± 44	5,29 ± 1,2	931,85 ± 132	52,20 ± 5	5
	20 - 40	209,2 ± 84	294,1 ± 43	496,7 ± 96	4,65 ± 1,0	1622,07 ± 329	52,22 ± 18	3
T4	0 - 20	111,1 ± 20	366,0 ± 64	522,6 ± 68	5,05 ± 1,2	935,28 ± 241	53,27 ± 9	5
	20 - 40	209,1 ± 85	300,6 ± 78	490,2 ± 146	4,82 ± 1,5	1696,12 ± 532	55,57 ± 18	3
T5	0 - 20	134,0 ± 53	431,3 ± 58	434,6 ± 54	4,88 ± 0,7	1005,87 ± 272	61,67 ± 11	6
	20 - 40	173,2 ± 40	382,3 ± 110	444,4 ± 96	4,41 ± 1,5	1767,38 ± 430	58,82 ± 18	3

L'apport de doses croissantes de K₂O ne semble pas beaucoup influencer la disponibilité de K sur sols ferrugineux. Est-ce à dire que les sols ferrugineux tropicaux répondent moins à la fertilisation potassique ? Par contre, la disponibilité de K, sur l'horizon 0-20 cm, est toujours plus grande que sur 20-40 cm.

6.2.2.1. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels (Flis) ou plinthosols épipétriens ferriques de haut de versant.

Ils sont souvent confondus aux lithosols sur cuirasse, et se rencontrent, en majorité, sur les plateaux cuirassés et les glacis de haut de versant. C'est le cas de la plaine cuirassée de Boni. Ils sont rarement exploités pour l'agriculture. Dans la classification FAO *et al.* (1999), on les appelle plinthosols épipétriens. On y distingue 4 horizons : le premier, avec une épaisseur de 12 cm, le deuxième est situé entre 12 et 25 cm de profondeur, de couleur beige (7,5YR6/4). Entre 25 et 72 cm de profondeur, il existe une carapace latéritique, de couleur rouge brique (5YR6/8). Entre 72 et 120 cm, une quatrième couche, meuble, réapparaît.

Sur le plan morphologique (profil BH1), la cuirasse apparaît à 12 cm. La couche superficielle de 12 cm est de couleur gris clair (7,5YR 6/2), une texture limono-sableuse, une structure polyédrique subangulaire, faiblement développée, et renferme 40 p.c. de graviers ferrugineux.

Pour les caractéristiques analytiques, leur granulométrie est dominée par les sables (725 g kg⁻¹), suivis des limons (215 g kg⁻¹). La réserve en eau utile est de 6 p.c. correspondant à 12 mm. Les sols sont pauvres en matière organique (6 g kg⁻¹) et en azote total (0,32 mg kg⁻¹). Le potassium disponible est de 35 mg kg⁻¹, contre 352 mg kg⁻¹ pour le K total. Ils sont pauvres en phosphore total (61 mg kg⁻¹) et en phosphore assimilable (2,83 mg kg⁻¹). La somme des bases (1,85 cmol⁺ kg⁻¹), la CEC (2,30 cmol⁺ kg⁻¹) sont très basses, même si le taux de saturation est élevé (80 p.c.). Le pH est faiblement acide (6,5).

6.2.2.2. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds (Flipp) ou plinthosols épipétriens ferriques de mi versant

Ces sols se rencontrent, surtout, sur les pentes supérieures et moyennes des glacis, et sur les plateaux cuirassés. Dans la classification WRB (1999; 2006), ils correspondent aux Plinthosols épipétriens, ferriques.

* **Caractéristiques morphologiques** : ils sont de couleur gris foncé (7,5YR6/2) sur les 15 premiers cm, et gris clair (7,5YR6/4), de 15 à 35 cm. Au-delà, se situe une carapace ferrugineuse. La couche utile de 35 cm a une texture limono-sableuse à limoneuse. La charge graveleuse varie de 20 à 35 p.c. La structure est polyédrique subangulaire, faiblement développée. La consistance est peu dure à dure. La porosité est faible. Les racines se concentrent dans les 15 premiers cm. L'activité biologique est bien développée.

* **Caractéristiques analytiques** : les teneurs en argiles vont de 120 à 250 g kg⁻¹ de terre, et celles en sables de 610 à 370 g kg⁻¹ sur les 35 premiers cm. La réserve en eau utile est élevée, soit 70 mm. Ils sont pauvres en matière organique (8,6 g kg⁻¹), en azote total (0,42 mg kg⁻¹) et en potassium disponible (36 mg kg⁻¹). Ils sont très pauvres en phosphore total (63 mg kg⁻¹) et phosphate assimilable (3,02 mg kg⁻¹). Les teneurs en potassium total sont moyennes (1101 mg kg⁻¹). La somme des bases échangeables est faible (2,01 cmol⁺ kg⁻¹). La CEC est très faible (3,64 cmol⁺ kg⁻¹). La saturation en bases est moyenne (55 p.c.). Les sols sont faiblement acides (pH 6,1 à 6,5). La fertilité chimique est faible, avec une cotation de 26,5.

6.2.2.3. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds (Fmp) ou lxisols endo-petroplinthique ferriques

Sur la ferme de Boni (bloc Est), ce type de sol s'observe en bas de versant. Mais, en général, ces sols se rencontrent, essentiellement, sur les hauts de versant et mi versants des glacis, ou sur les plateaux cuirassés. Grâce à des conditions édaphiques plus favorables, on y observe souvent des champs de maïs, de cotonnier, de mil et de sorgho. Dans la classification WRB, (1999), ils sont appelés lxisols endopédroplinthic-ferriques (chromique).

Du point de vue des caractéristiques morphologiques, leur profondeur utile est limitée à 54 cm par une cuirasse ferrugineuse. La couleur est gris claire (7,5YR7/2) sur les 12 premiers cm, et beige (5YR6/4), de 12 à 54 cm. Ces sols sont bien drainés. Leur texture est limoneuse en surface, limono-argileuse à argileuse dans les horizons sous-jacents. La charge graveleuse, faible dans les 34 premiers cm, atteint 50 p.c. entre 34 et 54 cm. La structure est polyédrique subangulaire, faiblement développée. La consistance est dure à l'état sec. La porosité est élevée et les racines sont assez nombreuses. L'activité biologique est bien développée. Sur le profil BH2 de mi-versant, on a noté l'existence de deux horizons de sols et de deux types de carapace latéritique. Le premier horizon (0-23 cm) est de couleur gris-clair (7,5YR7/2), alors que l'horizon sous-jacent, situé entre 23 et 40 cm, est de couleur beige (7,5YR6/4). Le 1^{er} horizon latéritique, situé entre 40 et 78 cm de profondeur, et, de couleur 5YR5/6, nous paraît en cours de formation, donc moins dur que le second (78 - 120 cm), de couleur 5YR6/6.

En ce qui concerne les caractéristiques analytiques, leur texture est dominée par les limons, qui varient de 510 g kg⁻¹ en surface à 390 g kg⁻¹, dans l'horizon précédant l'induration. Les limons sont suivis de l'argile, dont le taux croît, de haut en bas, de 180 à 410 g kg⁻¹. Les sables représentent 310 g kg⁻¹ en surface, et, environ, 200 g kg⁻¹, dans les horizons

sous-jacents. La réserve en eau utile est faible (4,8 p.c., soit 44 mm dans l'épaisseur utile). Les teneurs en carbone sont faibles, représentant 5,81 g kg⁻¹ de terre dans les 40 premiers cm. Les sols sont pauvres en azote total (0,50 mg kg⁻¹). Le rapport C/N est de 13 en surface et 11 en profondeur, indiquant une minéralisation acceptable de la matière organique. Ils sont également pauvres en potassium disponible (33 mg kg⁻¹), en phosphore total (127 mg kg⁻¹), très pauvres en phosphore assimilable (1,0 mg kg⁻¹). Ils sont moyennement riches en potassium total (1497 mg kg⁻¹). La somme des bases échangeable et la CEC sont faibles (respectivement, 4,09 et 5,34 cmol⁺ kg⁻¹). Le taux de saturation est élevé (73 à 80 p.c.). Le pH est neutre (pH 6,8 à 7,1). La fertilité chimique est moyenne (cotation 28,75).

6.2.2.4. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds (Flip) ou lixisols endo-petroplinthique ferriques : > 60 cm

***Caractéristiques morphologiques** : leur profondeur minimale utile est de 60 cm, mais peut atteindre 2 m. Les sols ont une couleur gris claire (7,5YR 7/2) à beige (7,5YR6/6). L'horizon sous-jacent est de couleur gris-blanchâtre, avec des concrétions ferrugineuses enrobées dans une matrice blanchâtre. Ils sont bien drainés. Leur texture est limono-sableuse à limoneuse, sur les 30 premiers cm, et devient limono-argileuse au-delà. On y observe 20 à 50 p.c. de gravillons et concrétions ferrugineux, de la surface vers la profondeur. La structure est polyédrique subangulaire, faiblement développée. La consistance, à l'état sec, est tendre à peu dure. Les sols sont poreux, et l'activité biologique y est bien développée. Les racines sont rares dans l'ensemble du profil. On y observe, quelque fois, des taches d'oxydo-réduction, selon la position topographique. En bas de versant (profil B_{H3}), deux horizons de sols ont été observés, un entre 0-20 cm de profondeur, et, l'autre, entre 20 et 50 cm de profondeur, ayant tous les deux, la même couleur, gris clair (7,5YR7/2). A partir de 50 cm de profondeur, tout le reste du profil est occupé par une carapace, de couleur beige (7,5YR 6/6).

***Caractéristiques analytiques** : les teneurs en argiles sont croissantes, de la surface en profondeur (60 à 350 g kg⁻¹), à l'inverse de celle en sables (590 à 310 g kg⁻¹). Les taux de limons sont assez constants (350 à 310 g kg⁻¹). Les limons sont suivis de l'argile, dont le taux croît, de haut en bas, de 180 à 410 g kg⁻¹. L'eau utile dans les 50 premiers cm est moyenne (7 p.c., soit 62 mm). Les sols sont moyennement riches en matière organique, dans les 40 premiers cm (11,5 g kg⁻¹). Ils sont, par contre, pauvres en azote total (0,55 mg kg⁻¹). La vitesse de décomposition de la matière organique est moyenne, le rapport C/N est de 13 à 12.

Les sols sont faiblement fournis en potassium total (948 ppm), moyennement pourvus

en potassium disponible (64 mg kg^{-1}). Ils sont pauvres en phosphore total (132 mg kg^{-1}), très pauvres en phosphore assimilable ($1,6 \text{ mg kg}^{-1}$). La somme des bases échangeable est faible ($4,19 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$). Il en est de même de la CEC ($5,36 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$). Le taux de saturation est élevé (74 à 84 p.c.). Le pH est neutre (pH 7,2). La fertilité chimique est moyenne (cotation 28,34).

Ces sols accusent dans leur grande majorité une texture moyenne en surface et fine jusqu'à la couche indurée. Ils sont bien drainés, et renferment des taux variables d'éléments grossiers allant de 5 à 30 p.c. La structure est faiblement développée de type polyédrique subangulaire. La porosité est bonne. Les racines et l'activité biologique y sont bien développées.

* **Propriétés analytiques** : les teneurs en eau utile sont en général faibles, variant de 3 à rarement, 8 p.c. Cela correspond à 38,2 mm, pour les Fpp, 30 à 45 mm, pour les Fmp, et 49,5 à 110 mm, pour les Fp. Les teneurs en matière organique sont, le plus souvent, faibles. Elles peuvent être, exceptionnellement, moyennes à élevées, en surface. Les teneurs en N total, P total et P assimilable sont basses, et une carence en phosphore se manifeste. Les réserves en K total et K disponible sont, par contre, meilleures, sans toutefois être bonnes. Le pH est très fluctuant, d'un profil à l'autre, allant de faiblement à très fortement acide. La CEC, tout comme la somme des bases échangeables, est faible. Les sols ferrugineux tropicaux indurés sont dans la classe de fertilité faible à moyenne.

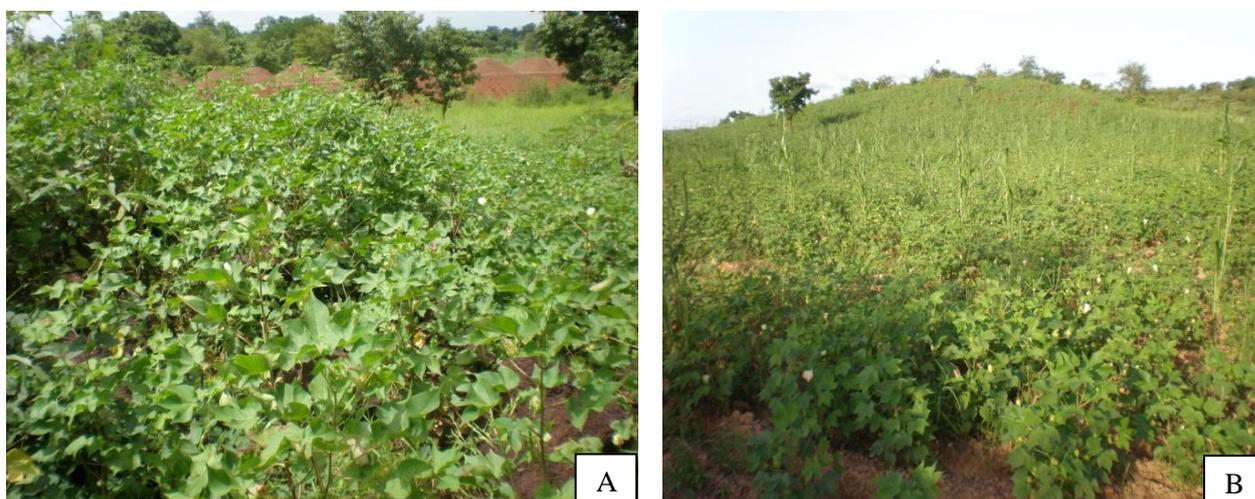
Sur sol ferrugineux tropical, il n'existe aucune différence significative, d'un point de vue statistique, entre les niveaux topographiques, pour un même paramètre. Cependant, les teneurs en argiles s'améliorent lorsque l'on passe de l'horizon 0-20 à 20-40 cm, pendant que pour le K disponible et la matière organique, qui évoluent dans le même sens, on observe le contraire. C'est dire donc l'importance de la matière organique sur les teneurs en K échangeable des sols tropicaux. En effet, quel que soit la position topographique considérée, on observe une baisse des taux de K disponible, d'environ 30 p.c., et, pour les argiles, ce taux est de l'ordre de 14 p.c. entre les deux horizons. Pour les autres composantes de la texture, aucune différence n'apparaît.

On note que les teneurs de K disponible baissent de 15 p.c. entre H₁ et H₂, et de 2 p.c. entre H₂ et H₃. Les taux de matière organique évoluent selon la même tendance, diminuant de 2 p.c., entre le haut de versant et le mi versant, et de 5 p.c. entre le mi versant et le bas de versant, sur les deux profondeurs de sol considérées. Les teneurs en K total semblent être extrêmement variables.

Quant au taux de disponibilité de K, qui est calculé par $(K. \text{ disponible}/K. \text{ total}) \times 100$, il est en moyenne, de 10,66 p.c. dans l'horizon 0 - 20 cm, et de 7 p.c. entre 20 et 40 cm de profondeur

6.2.2.5. Sols ferrugineux à pente forte (≥ 15 p.c.) sur blocs de latérite

Ces sols sont fréquents dans la zone de Guéguéré dans les Ioba, et autour de Mana, dans les Balés, au Nord-Ouest de Bagassi, avec des pentes variant de 17,37 p.c. à 25 p.c., pour une moyenne de 21,59 p.c. Ils présentent un faciès proches des sols bruns ferruginisés ou cambisols eutriques (ferrique) (FAO *et al.*, 1999 ;WRB, 2006), parce que généralement plus riches en argiles que les sols ferrugineux tropicaux classiques (Fig. 24).



A : Région cotonnière de Bobo

B : Région cotonnière de Dédougou

Figure 24 : Parcelles cotonnières sur blocs latéritiques de sols ferrugineux tropicaux à pentes fortes

Tableau XVIIIa : Caractéristiques sur 0-20 cm des sols ferrugineux (Lixisols) sur pentes fortes

	Argile	Limons	Sables	Carbone	K total	K disponible
			g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹
Haut de versant	-	313,7 ± 14	450,9 ± 148	12,38 ± 0	983,7 ± 41	140,0 ± 10
Mi-versant	-	274,4 ± 14	529,4 ± 14	12,55 ± 0	1437,65 ± 540	52,5 ± 10
Bas de versant	-	3040 ± 0	519,5 ± 0	12,20 ± 0	443,20 ± 581	55,3 ± 0
Moyenne		297,4	213,0	12,38	954,85	49,99
F		2,18	3,25	3,25	1,57	9,51
Probabilité (5 p.c.)		0,43	0,23	0,23	0,38	0,23
CV (p.c.)		6,59	1,19	1,19	58,82	3,92

Tableau XVIIIb : Caractéristiques sur 20-40 cm des sols ferrugineux (Lixisols) sur pentes fortes

	Argile	Limons	Sables	Carbone	K total	K disponible
			kg ⁻¹			mg kg ⁻¹
Haut de versant	294,1 ±18	274,5 ±4	431,3 ±14	10,46 ±1	958,45 ±10	53,0 ±13
Mi-versant	264,7 ±5	264,7 ±18	470,6 ±14	11,51 ±1	1687,2 ±952	64,5 ±9
Bas de versant	245,1 ±23	254,9 ±23	500,0 ±0	13,02 ±2	904,4 ±943	39,0 ±4
Moyenne	267,9	264,7	467,3	11,68	1083,35	52,16
F	2,71	0,43	12,28	1,03	0,15	2,46
Probabilité (5 p.c.)	0,26	0,69	0,07	0,49	0,86	0,28
CV (p.c.)	7,90	7,99	2,97	15,36	87,49	22,03

Sur les sols ferrugineux à pentes fortes, on observe les mêmes tendances, en ce qui concerne la disponibilité du potassium, que sur les sols ferrugineux classiques, c'est-à-dire que les teneurs de haut de pente sont toujours plus fortes qu'en bas de pente (Tableau XVIIIa). Par contre, les taux de carbone sont quasi identiques. Au niveau des argiles, les valeurs diminuent avec la variation de la topographie (Tableau XVIIIb). Ces sols présentent, généralement, des pentes allant de 2 à 7, 40 p.c. avec une moyenne de 3,95 p.c. Bien que l'on puisse les inclure dans les sols marginaux, la production du coton ne semble pas y rencontrer d'obstacles majeurs hormis la préparation du lit de semis.

6.2.3. Sols bruns (Cambisols)

L'examen des lames minces et de leurs produits d'altération, indique que les argiles des sols bruns eutrophes tropicaux sur basalte, de la ferme de Mwauvoun, sont composées de 82 p.c. de montmorillonite, 10 p.c. d'illite et 8 p.c. de kaolinite.

Sur la ferme de Mwauvoun, on distingue, selon la position topographique, les sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes en haut de versant, et les sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques, à mi versant, et en bas de versant (Fig.25).



A : Etat de surface avant labour
B : Etat de surface après récolte

C : Après labour
D : Après semis direct de maïs

Figure 25 : Etats de surface des sols bruns eutrophes tropicaux de la ferme de Mwauvoun

Sur ces sols, l'une des principales caractéristiques est leurs taux de saturation élevés (89 à 98 p.c.) (Tableau XIX). Le fer est présent sur l'ensemble du profil dans tous les segments topographiques.

Tableau XIX : Caractéristiques pédologiques des sols bruns eutrophes (Cambisols) de Mwauvoun

	Profondeur	Texture	A	Lf	Lg	Sf	Sg	C	Fer total	Fer libre	(S/T)	Humidité
	cm											
Haut de versant	0 - 10	LA	375	122	174	123	205	17,26	7,2	5,6	94	7,8
	10 - 42	A	527	157	99	58	157	5,4	8,3	5,2	97	50,2
	42 - 60	A	455	117	59	64	304	2,79	9,8	6,4	94	6,5
	60 - 120	LAS	350	112	40	91	406	1,62	7,2	4,1	96	20,7
Mi- versant	0 - 12	LA	340	190	247	81	142	17,26	6,5	5,7	92	14,2
	12 - 64	A	500	180	150	72	98	7,09	7,2	4,7	89	46,5
	64 - 120	A	505	182	144	61	108	4,82	9,1	5,3	90	34,1
Bas de versant	0 - 5	LA	370	182	164	126	157	16,74	6,4	5,2	96	3,0
	5 - 14	LA	390	265	195	104	46	5,0	4,9	3,6	97	6,6
	14 - 25	LA	390	237	146	80	146	12,61	6,5	4,0	95	9,2
	25 - 65	A	467	200	154	83	95	12,84	6,9	4,4	96	23,6
	65 - 120	A	490	182	146	77	105	6,74	7,0	4,4	98	76,3

Le tableau XX montre que les valeurs de pH vont de 6,62 à 8,18 et celles de la CEC de 21,42 à 25,13.

Tableau XX : CEC et pH des sols bruns eutrophes de Mwauvoun

	Profondeur (cm)	pH eau	pH KCl	ΔpH	CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹)
Haut de versant	0 - 10	7,12	5,50	1,62	23,93
	10 - 42	7,48	6,20	1,28	25,13
	42 - 60	7,85	6,60	1,25	24,32
	60 - 120	8,18	7,24	0,94	21,12
Mi-versant	0 - 12	6,88	5,24	1,64	23,59
	12 - 64	6,95	5,28	1,67	24,75
	64 - 120	7,96	6,70	1,26	25,05
Bas de versant	0 - 5	6,96	5,74	1,57	21,42
	5 - 14	6,62	5,05	1,57	23,19
	14 - 25	6,70	4,90	1,80	24,14
	25 - 65	6,80	5,03	1,77	23,10
	65 - 120	6,60	5,50	1,10	22,03

Sols bruns (Cambisols) de Mwauvoun

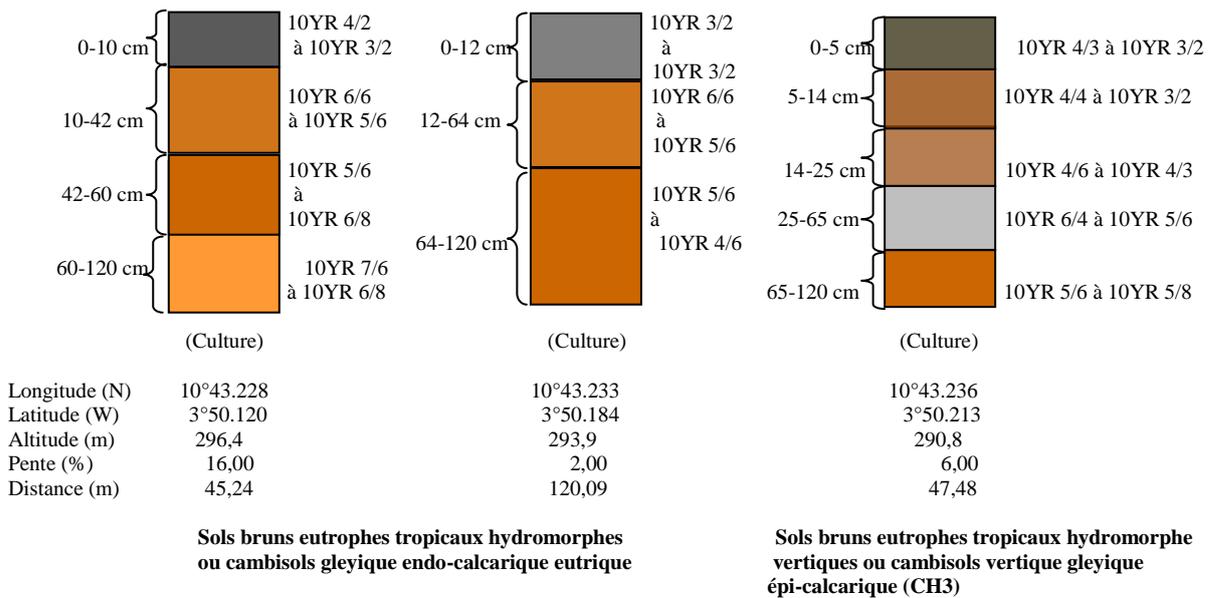
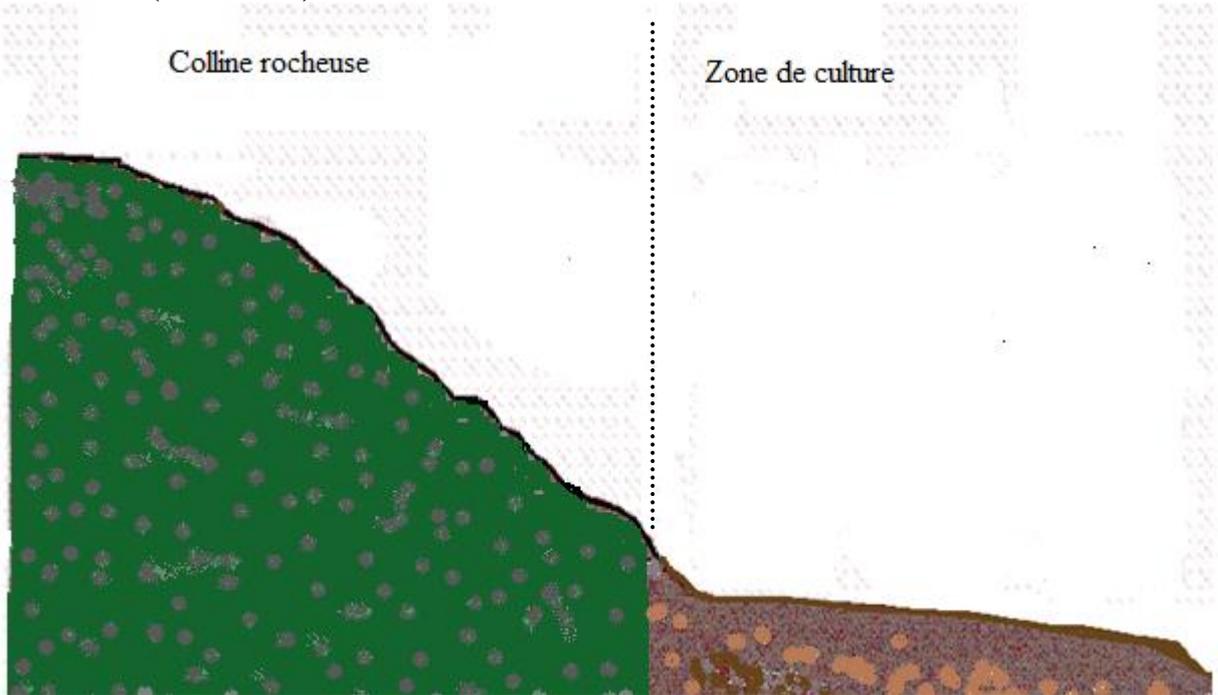


Figure 26 : Profils pédologiques de sols bruns eutrophes (Cambisols) (Ferme de Mwauvoun)

On note que la disponibilité du K est toujours meilleure en haut de versant, et demeure toujours supérieure en surface (Tableau XXI). Le tableau XXII montre que l'apport de doses croissantes de K_2O ne semble pas beaucoup influencer la disponibilité du K sur ces sols argileux.

Tableau XXI : Caractéristiques des sols bruns tropicaux (Cambisols) en zone ouest

	Haut de versant		Mi-versant		Bas de versant	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm	0 - 20 cm	20 - 40 cm
Argiles (g kg ⁻¹)	386,6±25	422,5±63	352,1±22	388,5±47	328,9±25	387,3±56
Limons (g kg ⁻¹)	276,5±33	267,7±39	298,5±32	290,5±4	307,9±35	288,4±35
Sables (g kg ⁻¹)	336,9± 70	307,2 ± 68	349,4± 6	320,8 ±371	363,2± 59	327,1 ± 61
Carbone (g kg ⁻¹)	11,22± 1	9,30 ± 1	10,81± 1	9,53 ± 1	11,04± 1	8,66 ± 1
K. total (mg kg ⁻¹)	936,44± 417	824,42±657	1200,90±651	1264,08 ±1028	995,94± 361	1108,39±822
K. disp. (mg kg ⁻¹)	122,86± 72	89,73 ± 45	93,91± 30	73,00 ± 21	100,43± 77	65,09 ± 39
K disp/K tot (p.c.)	13	10	7	5	10	5

Le potassium disponible est toujours plus abondant dans l'horizon 0-20 cm (103,55 mg kg⁻¹) qu'entre 20 et 40 cm (70,80 mg kg⁻¹) (Tableau XXII). Entre les différentes doses de K_2O , aucune tendance claire ne se dessine c'est-à-dire que l'apport de K ne se traduit pas forcément par une augmentation des teneurs en cet élément dans les horizons 0-20 et 20-40 cm.

Tableau XXII : Texture, matière organique et K des sols bruns selon les doses de K_2O

Trait	Profondeur cm	Argile	Limons	Sables	C	K tot.	K disp.	K dis/K tot
T1	0 - 20	385,6 ± 27	251,6 ± 87	362,7 ± 107	8,48 ± 1	2008,45 ± 1237	104,13 ± 37	5
	20 - 40	447,8±94	199,4±15	352,9±98	5,88±1	1801,62±765	68,32±16	3
T2	0 - 20	398,7 ± 20	264,7 ± 16	336,6 ± 29	8,83 ± 2	2051,30 ± 1146	105,77 ± 64	5
	20 - 40	464,0±74	243,1±50	336,6±139	6,91±1	1819,53±1045	73,98±43	4
T3	0 - 20	428,1±67	225,5 ± 56	346,4 ± 76	7,90 ± 2	1820,80 ± 963	90,02±52	4
	20 - 40	415,0±60	258,1±61	326,8±85	7,15±1	1696,10±934	87,92±50	5
T4	0 - 20	398,7 ± 63	254,9 ± 39	346,4 ± 75	8,13 ± 1	2244,03 ± 927	101,73 ± 32	4
	20 - 40	398,7±146	268,0±46	333,3±78	7,84±1	1794,57±1236	63,35±50	3
T5	0 - 20	385,6 ± 46	271,2 ± 66	343,1 ± 76	8,66 ± 1	2318,45 ± 98	114,12 ± 69	4
	20 - 40	444,5±38	254,9±30	300,6±52	7,03±1	2071,75±808	60,43±14	2

6.2.3.1. Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes ou cambisols gleyique endo-calcaire eutrique en haut de versant

En haut de versant (profil C_{H1}), on distingue 4 horizons :

- un 1^{er} horizon (0-10 cm) de profondeur, de couleur 10YR4/2 ;
- un 2^e horizon de 10 à 42 cm de profondeur, de couleur 10YR6/6 ;
- un 3^e horizon situé entre 42 et 60 cm de profondeur, de couleur 10YR 5/6 ;
- 4^e horizon de couleur 10YR 7/6 entre 60 et 120 cm de profondeur.

Sur ce premier profil, les fentes de retrait se limitent à 80 cm de profondeur. De plus, on note la présence d'une couche de quartz, de 20 cm d'épaisseur, à 69 cm de profondeur. Il y a également présence de blocs de pierre dans le profil, entre 20 et 60 cm de profondeur.

Ce groupe de sols se rencontre surtout sur les bas de versant des glaciers, les bourrelets de berges et dans certains bas-fonds. Au processus fondamental de la brunification se greffe celui de l'hydromorphie. Dans la classification FAO *et al.* (1999), on les appelle les cambisols gleyiques. Du point de vue des caractéristiques morphologiques, ce sont des sols profonds, de couleur matricielle brune en surface (10YR4/2), brun jaunâtre clair (10YR6/6), à brun pâle (10YR5/6), dans la partie médiane, gris clair (10YR7/6) en profondeur. A partir de 40 cm des taches jaunes brunâtre apparaissent, avec une intensité progressive de 10 à 20 p.c. vers la base du profil. Le drainage est modéré à imparfait. La texture est fine, limono-argileuse en surface, à argileuse en profondeur. 2 à 5 p.c. de concrétions ferrugineuses s'observent entre 40 et 100 cm. La structure est polyédrique subangulaire, faiblement développée dans les 20 premiers cm, moyennement développée dans la couche médiane, et faiblement développée en profondeur. La consistance est dure, à l'état sec. La porosité de ces sols est assez bonne. Les racines, nombreuses en surface, deviennent progressivement peu nombreuses, puis rares avec la profondeur, à partir de 80 cm. L'activité biologique est bien développée en surface, mais se dégrade dans les horizons sous-jacents. On note la présence de nodules calcaires à la base du profil.

Pour le profil C_{H2} de mi versant, les fentes de retrait sont présentes sur toute la profondeur du profil. Ce profil comporte 3 horizons, dont le 1^{er} est de couleur 10YR3/2, et d'une épaisseur de 0-12 cm ; le deuxième horizon, situé entre 12 et 64 cm de profondeur, est de couleur 10YR6/6, alors que le 3^e horizon, situé entre 64 et 120 cm de profondeur, a une couleur de 10YR 5/6. De plus, dans cet horizon, on note la présence de nodules calcaires. Les autres paramètres sont très proches de ceux du profil C_{H3}.

6.2.3.2. Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques ou cambisols vertique gleyique épi-calcaire (C_{H3}) du bas de versant

Dans la classification WRB (1999 ; 2006), on les appelle cambisol vertique-gleyique (hypereutric). Ces sols sont présents sur les pentes moyenne et inférieure du glacis, en milieu doléritique ou basaltique. Ils sont riches en argile de type montmorillonitique.

* **Caractéristiques morphologiques** : l'épaisseur du sol va au delà du mètre. La couleur matricielle est brun jaunâtre (10YR4/5) sur les 30 premiers cm, et brun olive clair (10YR5/6) au-delà, avec 5 à 15 p.c. de taches brunâtres et jaunâtres. La texture est fine, c'est-à-dire argileuse, sur l'ensemble du profil. On note 5 à 20 p.c. de nodules calcaires, entre 25 et 100 cm de profondeur. La structure est fortement développée, de type polyédrique subangulaire à angulaire. Les inondations saisonnières et la nature gonflante des argiles provoquent, au cours de l'alternance des phases de dessiccation et d'humidification, des faces brillantes de pression ou de glissement sur les agrégats, dès 15 - 20 cm de profondeur. En période sèche, la surface du sol est parcourue par des fentes de retrait, de largeur variable (0,5 à 5 cm). La porosité, bonne en surface est mauvaise en profondeur. Les racines sont nombreuses, jusqu'à 85 cm, et deviennent rares au-delà. Les sols sont durs, à l'état sec, adhésifs à l'état humide. Le profil C_{H3} de bas de versant, correspond aux sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques décrits ci-après. On y distingue 5 horizons :

- 0 - 5cm, de couleur 10YR4/3. Compte tenu de sa proximité avec la ligne de collecte des eaux, on note la présence de petits gravillons, dus au ruissellement, avec du sable.
- un horizon situé entre 5 et 14 cm de profondeur, de couleur 10YR4/4 ;
- un horizon de couleur 10YR4/6, situé entre 14 et 25 cm de profondeur. C'est une zone rougeâtre d'oxydo-réduction, ou de terre brûlée, après passage d'un feu intense ;
- un horizon situé entre 25 et 65 cm de profondeur, de couleur 10YR6/4 ;
- un horizon situé entre 65 et 120 cm de profondeur, de couleur 10YR5/6, avec la présence de nodules calcaires.

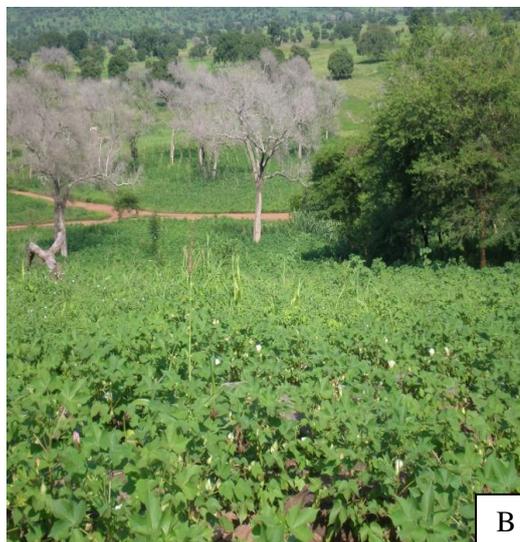
* **Propriétés analytiques** : le taux d'argile représente, à lui seul, plus de la moitié de la composition granulométrique : 549 à 607 g kg⁻¹ de sol. Les teneurs en limons sont de 176 à 196, et celles des sables, seulement, de 98 à 255 g kg⁻¹. La valeur de l'eau utile est moyenne : 5,5 à 6 p.c. ce qui correspond à une R.U. de 92,8 mm dans le premier mètre (RFU : 61,9), et 42 mm dans les 50 cm de surface (RFU = 22 mm).

Les teneurs en matière organique sont moyennes à élevées, en surface (20 à 38 g kg⁻¹), et faibles, en profondeur (< 10 g kg⁻¹). Les taux d'azote total sont très élevés, et les valeurs du rapport C/N indiquent une bonne minéralisation. Le rapport N/P (5 à 14) révèle une carence en phosphore, dont les teneurs sont effectivement très faibles: 174 à 87 mg kg⁻¹ pour P total, et 0,85 à 0,34 mg kg⁻¹ pour P assimilable.

Les sols sont, par contre, riches en potassium total et en potassium échangeable. On note aussi que la somme des bases échangeables est relativement élevée (17,3 à 11,7 cmol⁺ kg⁻¹). Il en est de même de la CEC (17,3 à 27,7 cmol⁺ kg⁻¹). Le taux de saturation en bases est fort, variant de 67,7 à 79,1 p.c. Le pH est moyennement alcalin (8,1 à 8,2). Au total, les sols bruns eutrophes hydromorphes vertiques paraissent être des sols à fertilité élevée.

6.2.3.3. Sols bruns à pente forte (≥ 15 p.c.) sur blocs de roches vertes

La figure 27 présente quelques parcelles paysannes sur pentes fortes. On y distingue aisément les blocs de roches vertes sous les plants de cotonniers.



A : Guéguéré
B : Mana Village

C : Mana Est
D : Mana Ouest

Figure 27 : Parcelles cotonnières sur sols bruns, à pentes fortes et sur roches vertes

Ces sols sont très fréquents dans les Balés, sur des pentes allant de 13,79 à 38,11 p.c., avec une moyenne de 22,72 p.c. On n'y observe pas de fentes de retrait, car ils paraissent moins riches en argiles que les sols bruns ; Par contre leurs taux de limons semblent plus élevés (Tableau XXIII). Le K disponible semble plus important que sur les sols de glaciais.

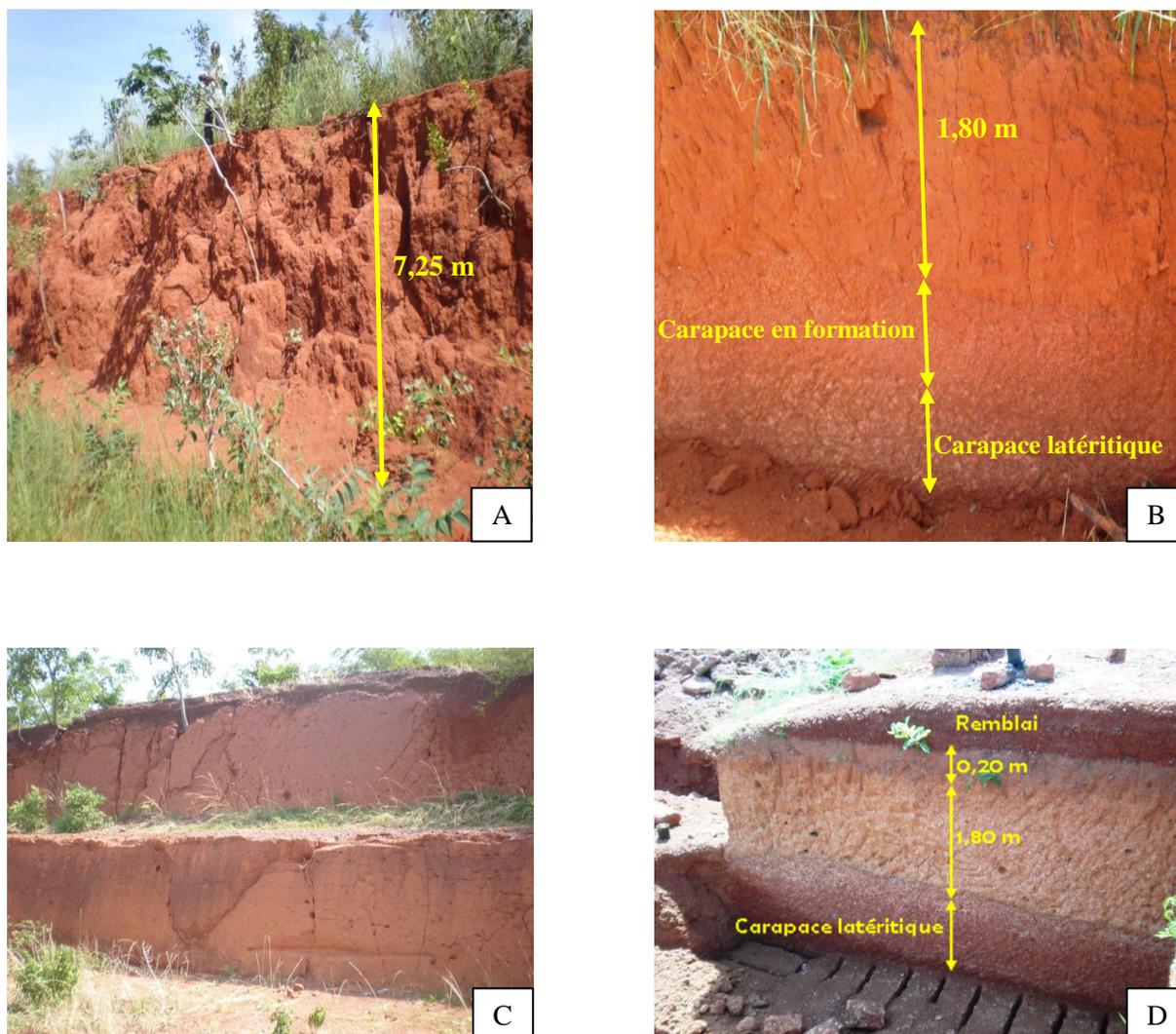
Tableau XXIII : Caractéristiques des sols bruns (Cambisols) sur pentes fortes

	Profondeur	Argile	Limons	Sables	C total	K total	K disponible
	cm	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
Haut de versant	0 – 20	433,3±59,6	294,1±36,4	272,5±67,1	16,16±1,7	551,6±283,7	145,08±108,3
	20 – 40	462,7±51,4	284,3±33,7	252,9±62,3	14,59±2,1	890±260,4	107,92±62,4
Mi-versant	0 – 20	396,3±35,0	331,2±21,7	276,2±39,1	16,74±1,1	745,4±97,9	176,13±93,2
	20 – 40	425,5±50,7	322,6±28,2	250,9±38,9	14,53±2,0	710,97±167,6	110,25±46,1
Bas de versant	0 – 20	391,8±58,8	332,3±36,7	284,3±68,1	16,16±1,5	885,56±2,0	126,41±117,3
	20 – 40	448,4±55,3	299,6±34,3	251,9±58,4	11,86±1,0	767,87±135,3	69,55±46,2

6.2.4. Latérisation des horizons pédologiques

Ce phénomène de latérisation est observé en zone cotonnière Ouest surtout sur les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques (Fig. 28, 29). Il se traduit par la formation de carapace et de cuirasse. La carapace est la partie du profil d'altération située juste en dessous de la cuirasse. Elle constitue une zone d'amorçage du cuirassement, et est essentiellement utilisée pour la construction des habitats (Fig. 28D), dans les zones où cette roche est abondante, notamment au niveau des carrières latéritiques de Kari et de Toussiana etc. Cependant, les briques issues de carapaces des sols ferrallitiques seraient moins dures, c'est-à-dire plus friables que celles provenant de carapaces des sols ferrugineux.

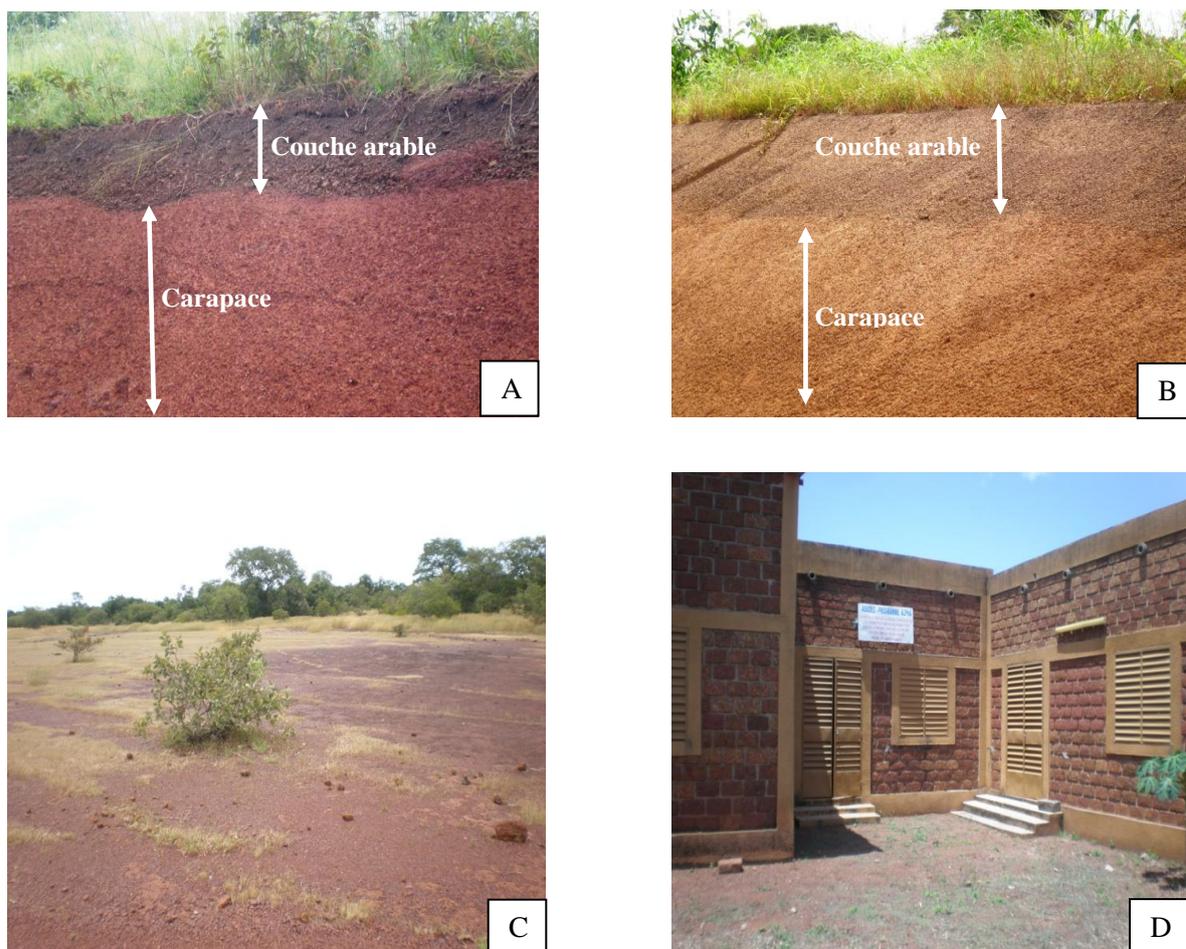
On peut rencontrer en zone Ouest, certaines vastes étendues de cuirasses. C'est le cas de la plaine latéritique de Boni, où l'on observe des affleurements de cuirasses latéritiques (Fig.28C) au milieu de sol ferrugineux superficiels, ayant une profondeur utile inférieure à 20 cm.



A : Induration d'un sol ferrallitique
B : Carapace sur sol ferrallitique

C : Parois indurée sur sol ferrallitique
D : Carapace sur sol ferrugineux

Figure 28 : Coupes de sols ferrallitiques en voie d'induration et de carapaces



A : Carapace à dominance d'hématite
 B : Carapace à dominance de goethite

C : Cuirasse latéritique
 D : Edifice en briques latéritiques

Figure 29 : Formations latéritiques sur sols ferrugineux tropicaux (Lixisols)

6.3. Effet du type de sol sur l'architecture et l'efficacité du système racinaire du cotonnier dans l'absorption des éléments nutritifs

6.3.1. Caractéristiques du système racinaire

Les études portant sur la caractérisation du système racinaire ont eu lieu aussi bien en station qu'en milieu paysan, sur différents types de sol. Une bonne connaissance des principales caractéristiques de l'enracinement du cotonnier dans les conditions naturelles de production nous permettra d'appréhender l'aptitude de la plante dans l'absorption des ions K^+ . Aussi, les principaux résultats obtenus sont-ils présentés ci-après.

6.3.1.1. En station

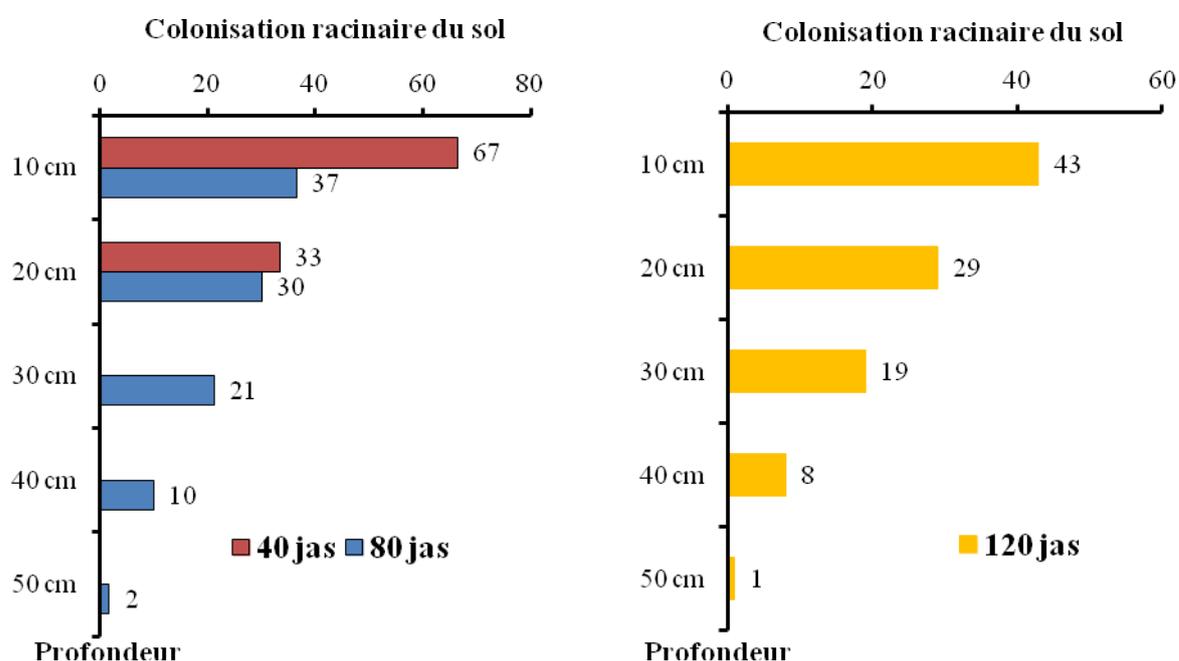


Figure 30a : Profondeur et nombre de racines à 40/80 jas Figure 30b : Profondeur et nombre de racines à 120 jas

Figure 30 : Evolution du nombre de racines selon la profondeur et l'âge du cotonnier

On remarque que 91 p.c. des racines sont concentrés dans les 30 premiers centimètres de sol, dont 43 p.c. dans les 10 premiers centimètres (Fig.30a). Par ailleurs, le nombre total de racines latérales passe de 11,35 à l'initiation florale, à 26 à la première récolte (Fig.30b). De façon linéaire, l'augmentation de ce nombre de racines, selon l'âge de la plante, peut s'écrire selon la formule $[Y=2,45x + 10,57]$ (6) avec un coefficient de détermination de 0,95, celle de l'évolution de la profondeur du pivot selon l'âge du cotonnier s'écrit $[y= 16,88x + 15,78]$ avec $R^2= 0,95$ (7), et celle de l'évolution de la hauteur selon l'âge est de $[Y= 2.73x +14,14]$ et $R^2 =0,96$ (8)

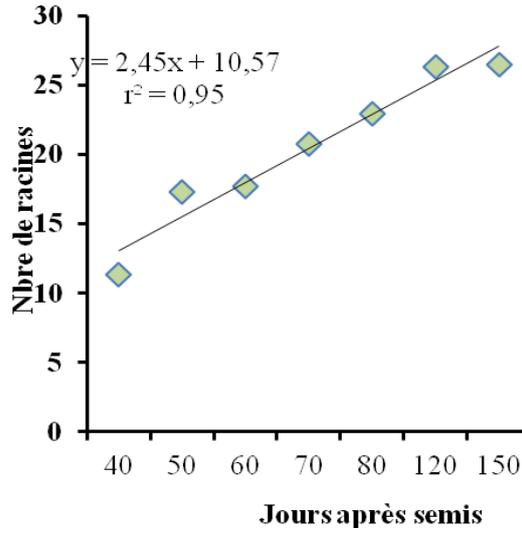


Figure 31 : Evolution du nombre total de racines selon l'âge du cotonnier

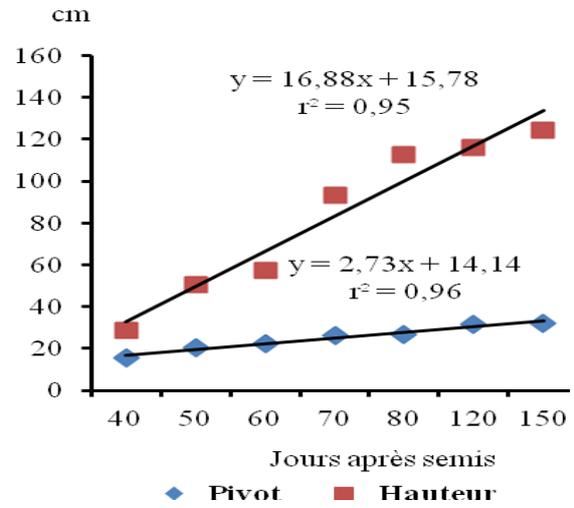


Figure 32 : Evolution de la profondeur du pivot et de la hauteur selon l'âge du cotonnier

De même, bien que le système racinaire soit superficiel, l'on constate que sa profondeur évolue parallèlement à celle de la hauteur, comme l'indique la figure 32. En effet, on note une bonne corrélation entre la hauteur des cotonniers et la profondeur de la racine principale, mettant ainsi en exergue le facteur allométrique des plantes.

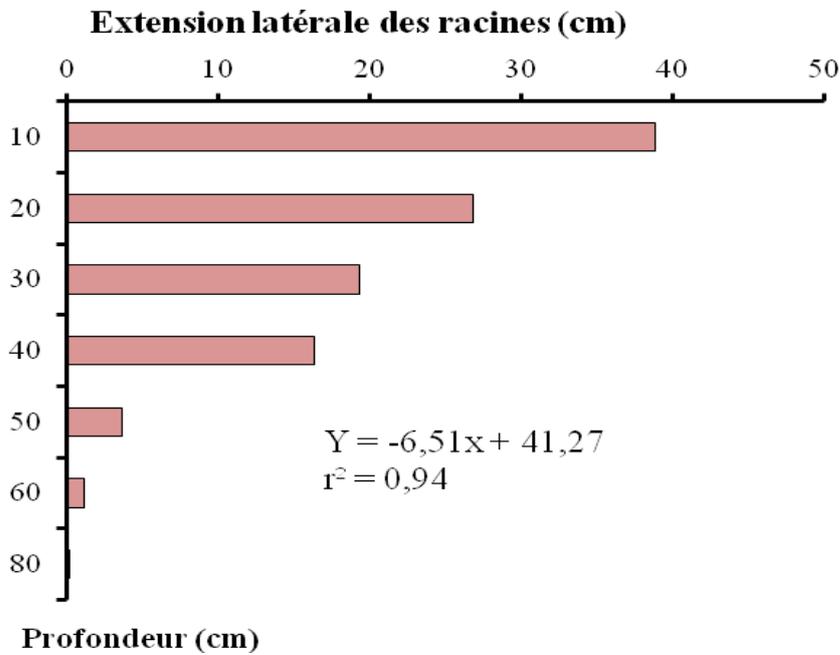


Figure 33 : Corrélation entre profondeur du pivot et extension latérale

La figure 33 montre que la profondeur de la racine pivotante est inversement proportionnelle à l'extension latérale selon la formule $[Y = - 6,51x + 41,27]$ (9) indiquant ainsi que, dans 94 p.c. des cas, la profondeur du pivot est en liaison étroite avec l'élongation des racines latérales.

6.3.1.2. En milieu réel

Les tableaux XXIVa, b et c donnent les caractéristiques de l'enracinement des cotonniers en milieu paysan, sur les trois types de sol.

Tableau XXIVa : Caractéristiques du système racinaire selon le niveau topographique sur sols ferrallitiques (Ferralsols)

	Haut de versant	Mi versant	Bas de versant	Moyennes
Profondeur pivot (cm)	25,75± 1,59	26,09± 1,77	27,82± 2,67	26,55
Nbre de racines secondaires	19,93± 1,24	18,50± 0,90	17,62± 1,09	18,68
Nbre de racines tertiaires	17,90± 1,80	15,52± 1,77	15,52± 1,77	16,59
Extension latérale (cm)	25,67± 1,15	25,75± 2,91	24,83±2,45	25,42

On constate, sur sols ferrallitiques, qu'il n'y a aucune différence significative entre les positions topographiques, pour les quatre paramètres étudiés, même si la profondeur de la racine pivotante semble plus importante en bas de versant.

Tableau XXIVb : Caractéristiques du système racinaire selon la position topographique sur sols ferrugineux tropicaux (Lixisols)

	Haut de versant	Mi versant	Bas de versant	Moyennes
Profondeur pivot (cm)	16,03± 3,34	17,46± 4,75	17,27± 3,86	16,92
Nbre de racines secondaires	13,81± 2,30	13,91± 2,10	13,57± 1,80	13,76
Nbre de racines tertiaires	15,83± 2,97	15,48± 3,11	14,33± 2,60	15,22
Extension latérale (cm)	19,18 ± 2,72	18,96 ± 2,81	19,18 ± 2,69	19,11

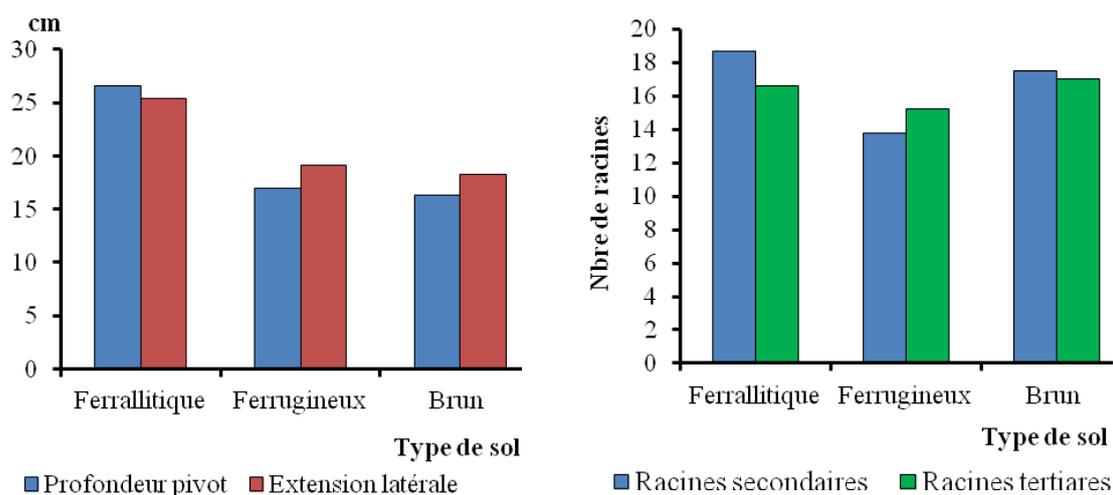
L'enracinement du cotonnier présente les mêmes caractéristiques sur sol ferrugineux tropical et ne diffère pas de façon significative pour des sols ayant des pentes inférieures à 5 p.c.

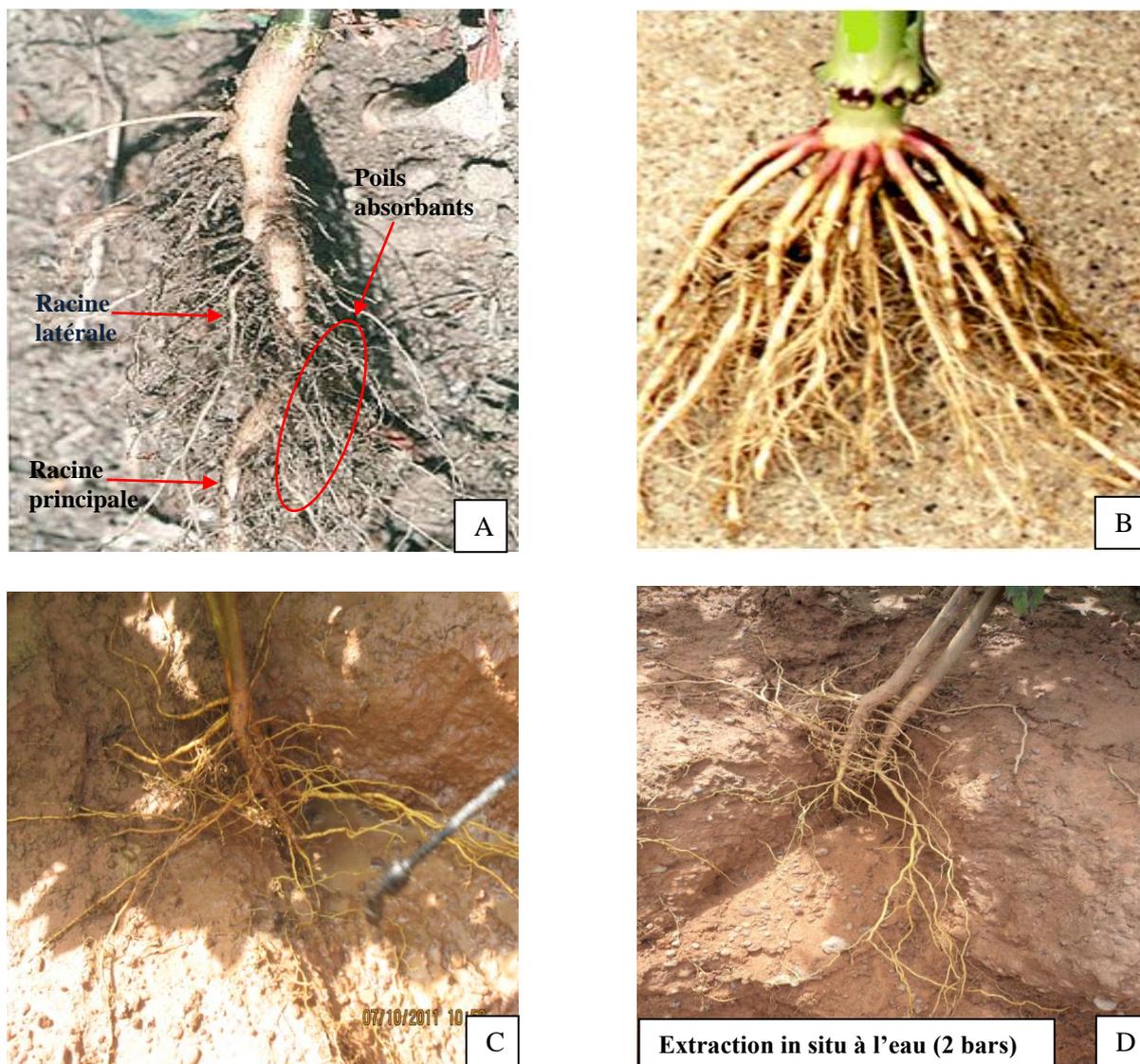
Tableau XXIVc : Caractéristiques du système racinaire selon la position topographique sur sols bruns (Cambisols)

	Haut de versant	Mi versant	Bas de versant	Moyennes
Profondeur pivot (cm)	16,20± 2,13	16,34± 2,56	16,23± 1,61	16,25
Nbre de racines secondaires	17,52± 1,97	19,20± 3,28	15,79± 4,28	17,51
Nbre de racines tertiaires	16,89± 2,40	17,33± 3,01	16,71± 1,85	16,98
Extension latérale (cm)	17,77± 1,94	18,88± 1,69	18,10± 1,85	18,25

Sur sol bruns, en zone Sofitex, les paramètres de l'enracinement du cotonnier ne changent pas, significativement, selon la position topographique des parcelles. D'une façon générale, l'enracinement du cotonnier semble être plus superficiel en milieu réel qu'en station. Les conditions d'étude, les techniques de travail du sol et le niveau de fertilité des parcelles constituent certainement, entre autres, des facteurs explicatifs à ce constat.

La charpente du système racinaire du cotonnier est beaucoup plus importante sur sols ferrallitiques, suivis des sols bruns, et des sols ferrugineux tropicaux (Fig. 33). En effet, on note que c'est sur sols ferrallitiques (Ferralsols) que l'enracinement du cotonnier est meilleur, en ce qui concerne la profondeur du pivot, le nombre de racines latérales, le nombre de racines tertiaires, ainsi que l'extension latérale.

**Figure 34** : Relations entre type de sol, profondeur de pivot, extension latérale et nombre de racines



A : Poils absorbant sur cotonnier
 B : Système racinaire du maïs

C : Extraction à l'eau des racines
 D : système racinaire à 62 500 plants/ha

Figure 35 : Systèmes racinaires des plantes à 100 jas (Cotonnier) et à 70 jas (Maïs)

Sur la figure 35, on constate que le système racinaire du maïs est plus dense que celui du cotonnier. Même avec la technique d'extraction à l'eau, il est difficile d'obtenir l'ensemble des poils absorbants du cotonnier (Fig.35D) sauf si l'on se situe dans le cas où le cotonnier a développé sa charpente racinaire dans un sol sans consistance (Fig. 35A).

Dans les conditions soudano-sahéliennes, on constate que c'est plus la position topographique que le type de sol, qui influence beaucoup les paramètres phytotechniques, car détermine le taux d'humidité qui, à son tour, détermine les mouvements de l'eau et de la solution nutritive du sol. C'est ce qu'indique le tableau XXV.

Tableau XXV : Humidité, profil racinaire, et matière sèche des cotonniers en milieu paysan

Caractéristiques	Niveau topographique	Sols ferrallitiques (Ferralsols)	Sols ferrugineux (Lixisols)		Sols bruns (Cambisols)		Moy. Indice (p.c.)
			Indice (p.c.)	Indice (p.c.)	Indice (p.c.)	Indice (p.c.)	
Profondeur Pivot (cm)	Ht de versant	34,17	100	21,29	100	26,08	100
	Bas de versant	44,29	129	28,58	134	46,13	176
Extension racinaire (cm)	Ht de versant	25,9	100	20,21	100	24,68	100
	Bas de versant	32,35	124	22,71	112	35,72	144
Nbre racines latérales	Ht de versant	17,58	100	11,44	100	18,58	100
	Bas de versant	19,68	111	13,25	115	22,83	122
MS racines (g)	Ht de versant	5,85	100	3,44	100	5,46	100
	Bas de versant	9,61	164	7,83	227	14,12	258
MS tiges (g)	Ht de versant	41,33	100	42,42	100	90,96	100
	Bas de versant	117,9	285	123,4	290	141,23	155
Hauteur (cm)	Ht de versant	85,55	100	84,87	100	125,72	100
	Bas de versant	122,65	143	133,62	157	182,5	145
Humidité (0 - 40 cm)	Ht de versant	9,94	100	3,11	100	22,56	100
	Bas de versant	18,68	187	7,42	238	51,88	230

Le diagnostic racinaire montre une faible profondeur d'enracinement des cotonniers. La profondeur de la racine pivotante est inférieure à 50 cm, quels que soient le type de sol, le niveau de versant et l'état de croissance végétative des cotonniers (Tableau XXV). Cependant, une légère amélioration du nombre de racines latérales et de leur extension est perceptible, lorsque les cotonniers présentent une bonne croissance végétative.

Pour des pluies moyennes de 20-30 mm, l'on note, souvent en bas de versant, une amélioration du taux d'humidité d'environ 118 p.c., avec un impact sur tous les paramètres phytotechniques de la plante, se traduisant par une amélioration :

- de 48 p.c., sur la hauteur des cotonniers ;
- de 46 p.c., pour la profondeur de la racine pivotante ;
- de 16 p.c., pour le nombre de racines latérales ;
- de 27 p.c., pour l'extension latérale des racines ;
- de 116 p.c., pour le poids des racines ;
- de 143 p.c., pour le poids sec de la partie aérienne de la plante.

6.3.2. Composantes du rendement

Afin de pouvoir procéder à une analyse approfondie du phénomène d'absorption du K par le cotonnier, nous avons, après description du système racinaire du cotonnier, déterminé certains paramètres phytotechniques d'une plante normale, saine et à système racinaire complet, en fonction des types de sols et des segments topographiques.

6.3.2.1. Composantes du rendement selon les segments topographiques

Sur sols ferrallitiques, l'influence de la position topographique est très importante, car elle affecte positivement tous les paramètres phytotechniques, hormis le poids moyen capsulaire. Cependant, dans le présent cas, cette influence, bien que positive, n'est pas significative (Tableau XXVIa).

Tableau XXVIa : Composantes de rendement sur sols ferrallitiques (Ferralsols)

	Haut de versant	Mi versant	Bas de versant
Hauteur (cm)	121,98 ± 8,3	113,77 ± 10,3	107,17 ± 14,8
Nbre de BV	04 ± 0,1	0,84 ± 0,2	1,04 ± 0,3
Nbre de BF	13,12 ± 0,5	11,65 ± 0,8	11,71 ± 0,9
Nbre de capsules	10,62 ± 0,8	9,15 ± 1,5	10,62 ± 0,8
PMC (g)	4,37 ± 0,5	4,29 ± 0,5	4,33 ± 0,5
Poids carpelles (g)	1,48 ± 0,2	1,50 ± 0,2	1,49 ± 0,2
Matière sèche (g)	14,11 ± 2,4	14,78 ± 1,8	18,47 ± 2,4

NB : BV= branche végétative ; BF= branche fructifère ; PMC= poids moyen capsulaire.

Sur sols ferrugineux tropical (Lixisols), et en station, les mêmes observations peuvent être faites comme indiqué dans le tableau XXVIb.

Tableau XXVIb : Composantes de rendement sur sols ferrugineux tropicaux (Lixisols)

	Haut de versant	Mi versant	Bas de versant
Hauteur (cm)	112,08 ± 10,6	113,64 ± 9,6	115,28 ± 11,7
Nbre de BV	1,47 ± 0,3	1,47 ± 0,4	1,42 ± 0,3
Nbre de BF	12,3 ± 0,8	12,6 ± 0,7	12,74 ± 0,9
Nbre de capsules	17,05 ± 2,2	17,13 ± 1,6	17,49 ± 2,1
PMC (g)	4,72 ± 0,3	4,59 ± 0,4	4,58 ± 0,5
Poids carpelles (g)	1,68 ± 0,1	1,62 ± 0,1	1,64 ± 0,2

Tableau XXVIc : Composantes de rendement sur sols bruns (Cambisols)

	Haut de versant	Mi versant	Bas de versant
Hauteur (cm)	116,95 ± 10,5	113,11 ± 7,7	124,04 ± 11,5
Nbre de BV	1,45 ± 0,4	1,70 ± 0,5	1,55 ± 0,3
Nbre de BF	13,13 ± 0,8	13,33 ± 0,6	13,42 ± 0,4
PMC (g)	4,19 ± 0,5	4,16 ± 0,4	4,45 ± 0,4
Indice de fructification (IF)	1,44 ± 0,1	1,45 ± 0	1,46 ± 0,1

Sur sols brun eutrophe (Cambisol), l'influence de la pente reste positive mais limitée (Tableau XXVIc).

Tableau XXVII : Composantes du rendement en milieu paysan

Caractéristiques	Niveau topographique	Sols ferrallitiques (Ferralsols)		Sols ferrugineux (Lixisols)		Sols bruns (Cambisols)	
			Indice (p.c.)		Indice (p.c.)		Indice (p.c.)
Hauteur (cm)	Ht de versant	85,55	100	84,87	100	125,72	100
	Bas de versant	122,65	143	133,62	157	182,5	145
Position 1 ^{ère} BF (nœud)	Ht de versant	6,75	100	6,75	100	7	100
	Bas de versant	6,42	95	6,33	93	5,5	78
Hauteur 1 ^{ère} BF (cm)	Ht de versant	20,08	100	27,37	100	14,58	100
	Bas de versant	27,92	139	29,25	106	16,17	110
Nombre de noeuds	Ht de versant	14,65	100	11,32	100	19,9	100
	Bas de versant	17,5	119	15,57	137	23,3	117
Points fruct.	Ht de versant	37	100	19,5	100	43	100
	Bas de versant	73	197	53	271	76	176
Niveau floraison	Ht de versant	7,42	100	7,72	100	8,13	100
	Bas de versant	10,2	137	12,09	156	10,67	131
Nbre de boutons	Ht de versant	4,58	100	3,54	100	3,91	100
	Bas de versant	6,16	134	5,16	145	7,67	196
Nbre capsules	Ht de versant	7,58	100	9,96	100	12,67	100
	Bas de versant	16,75	220	17,25	173	24,5	193
Rétention (p.c.)	Ht de versant	51,35	100	52,97	100	82,6	100
	Bas de versant	80,26	156	54,45	102	82,6	100
Capsules (p.c.)	Ht de versant	40	100	35	100	47	100
	Bas de versant	45	112	37,5	107	52	110

Le nombre de capsules est très variable en fonction de l'état végétatif des cotonniers, lui-même, lié au niveau de fertilité, et à la position topographique. En effet, principalement trois niveaux de fertilité ont été observés en milieu paysan, à savoir : médiocre, avec un nombre de capsules de 5, 7 et 12 ; moyen, avec 12, 15 et 18 capsules, et fertilité élevée, avec 18 capsules en haut de versant, 20 capsules en mi-versant, et 24 capsules en bas de versant.

6.3.2.2. Composantes du rendement selon les doses de fertilisants potassiques

Selon les doses de K₂O apportées, le nombre de capsules présenté dans le tableau XXVIII ne diffère pas de façon significative sur les sols ferrallitiques (Ferralsols), ferrugineux (Lixisols) et bruns (Cambisols).

Tableau XXVIII : Nombre de capsules récoltées en fonction des doses de K₂O

	Sol ferrallitique (Ferralsols)	p.c.	Sol ferrugineux (Lixisols)	p.c.	Sol brun eutrophe (Cambisols)	p.c.
0 K ₂ O	11,70 ± 0,73	100	10,66 ± 1,01	100	12,70 ± 1,30	100
30 K ₂ O	11,83 ± 2,29	101	11,60 ± 0,75	108	13,66 ± 1,11	107
60 K ₂ O	12,73 ± 1,25	108	12,10 ± 0,46	113	13,10 ± 1,67	103
90 K ₂ O	11,60 ± 0,98	99	11,46 ± 1,05	107	12,33 ± 1,74	97
Moyenne	11,44		11,23		12,79	
F	5,20		3,44		3,7	
Probabilité (5 p.c.)	0,044		0,020		0,490	
CV (p.c.)	11,69		8,45		12,42	

6.3.3. Impact de la modification du système racinaire sur le fonctionnement de la plante

Cette partie du travail a permis d'évaluer les corrélations entre la partie souterraine du cotonnier, constituée du système racinaire, et la charpente de la partie aérienne, représentée par l'ensemble des tiges et branches de la plante. De même, nous avons cherché à comprendre l'incidence de la modification de ce système racinaire sur certains paramètres de production. Ce travail a été réalisé, uniquement, en station, sur sol ferrallitique (Ferralsol).

6.3.3.1. Incidence des modifications du système racinaire sur le profil racinaire

En rappel, les coupes des racines ont été effectuées à 30, 40, 50, 80 et 110 jas, dans le cadre d'un essai sur sol ferrallitique (Ferralsols). Les observations faites sur le comportement des plantes après ces coupes sont représentées sur la figure 36.

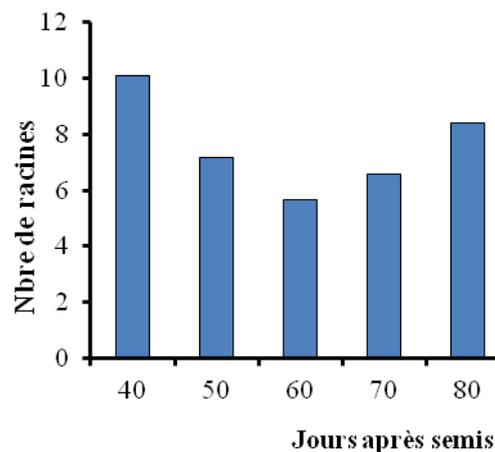
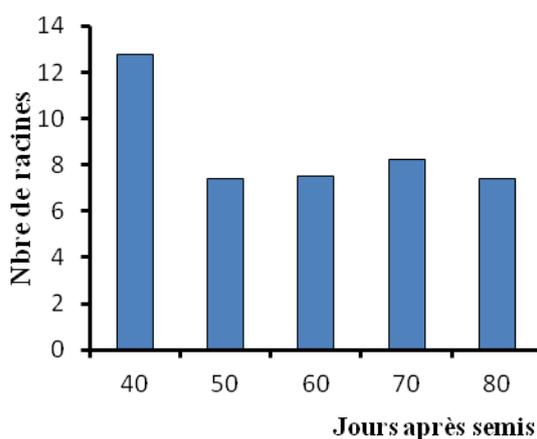


Fig. 36a : Racine pivotante coupée à 5 cm du collet Fig. 36b : Racine pivotante coupée à 10 cm du collet

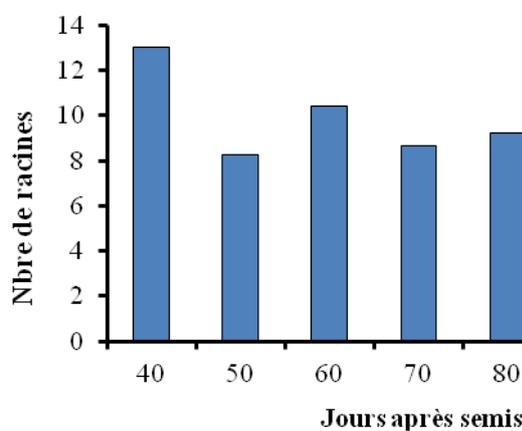
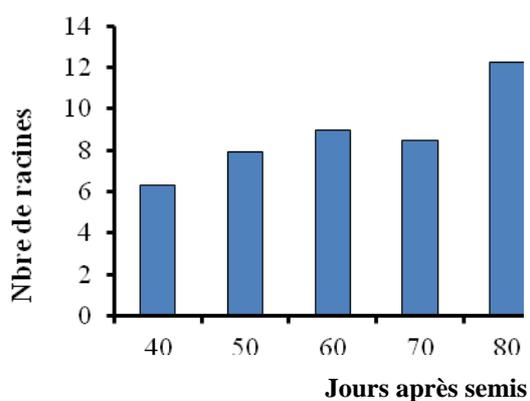


Fig. 36c : Racines latérales coupées à 50 p.c

Fig. 36d : Racines latérales coupées à 100 p.c

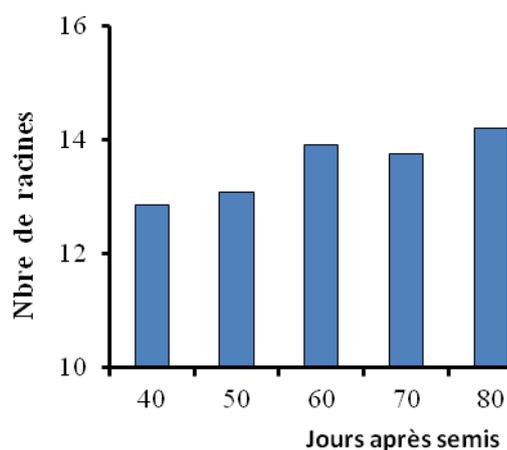


Fig. 36e : Témoin (système racinaire entier)

Figure 36 : Evolution du nombre de racines après les coupes.

On constate que lorsque la racine pivotante est coupée à 5 cm, il y a une forte émission de racines latérales à 60 jas (Fig.35a), et la plante reconstitue son système racinaire à 94 p.c. Si cette coupe a lieu à 10 cm (Fig.35b), la reconstitution du système racinaire n'est que de 77 p.c., par rapport au témoin (Fig.35e).

La suppression de moitié des racines latérales permet au cotonnier de vivre avec seulement 69 p.c. de son volume racinaire (Fig.35c). Ce volume est réduit à 65 p.c. lorsque la suppression est totale (Fig.35d). Est-ce à dire que le cotonnier peut vivre, avec seulement 50 p.c. de ces racines ?

6.3.3.2. Incidence des modifications du système racinaire sur les paramètres de productivité

* Taux de mortalité des cotonniers

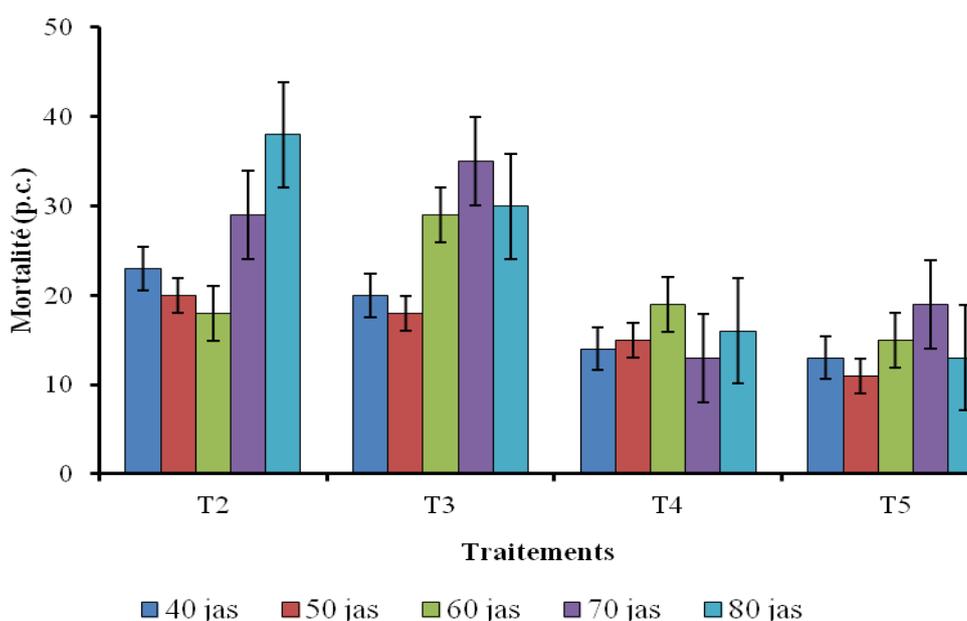


Figure 37 : Evolution du taux de mortalité des plantes selon les dates de coupe

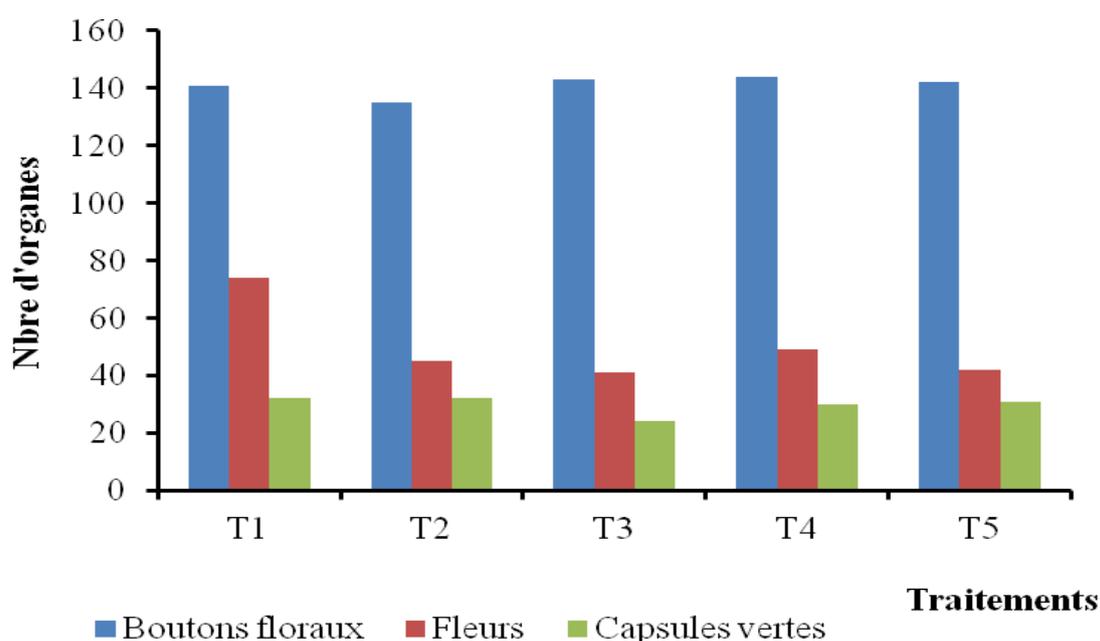
En rappel, la racine principale a été sectionnée à 5 cm (T2) et à 10 cm (T3) du collet alors que les racines latérales ont été détruites soit de moitié (T4), soit en totalité (T5).

La mortalité, sur chaque parcelle élémentaire, a été évaluée par rapport à la mortalité du témoin de chaque répétition. C'est la coupure de la racine pivotante qui provoque le plus de dégâts sur le cotonnier (26 p.c. de mortalité), plus que la suppression des racines latérales, qui entraîne 15 p.c. de mortalité. Les taux de mortalité augmentant avec l'âge des plantes (Fig.37).

* **Fructification****Tableau XXIX** : Etat de fructification des plants à 60 jas sur les coupes du 40^e jas

Objets	Mortalité	Plants sans boutons floraux	Plants avec boutons floraux	Plants avec fleurs
T2 - Racine pivotante coupée à 5 cm du collet	25	22	45	33
T3- Racine pivotante coupée à 10 cm du collet	19	17	49	34
T4- Racines latérales coupées à 50 p.c	11	17	46	37
T5 - Racines latérales coupées à 100 p.c	15	22	48	30

On remarque que le dessèchement des plants a augmenté pour les objets T2 et T3, alors que sur T4 et T5, certains plants ont repris 20 jours après la coupe des racines. C'est sur T2 et T5, que le taux de plants sans boutons floraux est le plus élevé, et que le taux de plants avec fleurs est le plus bas.

**Figure 38** : Impact de la destruction partielle des racines sur la fructification

On note que, même au moment de la floraison maximum (80 jas), tous les objets accusent un sérieux retard, par rapport aux plants avec système racinaire complet (T1), en termes de nombre de bouton floral, de fleurs et de capsules (Fig. 38). C'est donc dire que

toute atteinte au système racinaire se traduit par, non seulement un retard dans la fructification, mais, en plus, par une moindre production d'organes fructifères.

*** Production de coton graine**

Tableau XXX : Impact des coupes de racines sur la production de coton graine (kg ha^{-1})

Objets	Dates de coupe des racines				
	40 jas	50 jas	60 jas	70 jas	80 jas
T1- Témoin (système racinaire entier)	2006 a	2006 a	2006 a	2006 a	2006 a
T2- Racine pivotante coupée à 5 cm du collet	975 bc	1256 b	1156 b	1500 b	825 bc
T3 -Racine pivotante coupée à 10 cm du collet	1256 ab	1675 ab	1563 a	1738 a	1525 a
T4- Racines latérales coupées à 50 p.c	1225 ab	1063 c	1581 a	1394 abc	1419 ab
T5- Racines latérales coupées à 100 p.c	1488 ab	1213 c	1238 b	1394 abc	1044 bc
Fc :	9,14	9,93	8,84	4,24	11,14
Var. :	HS	HS	HS	HS	HS
Cv (p.c.) :	22,7	20,9	17,7	18,1	24,8
Ppds (1p.c.):	513 kg ha^{-1}	493 kg ha^{-1}	448 kg ha^{-1}	353 kg ha^{-1}	553 kg ha^{-1}

Les traitements appliqués ont une influence négative sur la production de coton graine (Tableau XXX). En effet, les rendements obtenus, par rapport aux plants ayant un système racinaire entier (T1), ne représentent plus que 56 p.c. lorsque la racine pivotante est coupée à 5 cm du collet (T2), 77 p.c. pour une section à 10 cm (T3), 66 p.c. lorsque les racines latérales sont sectionnées de moitié (T4) et 63 p.c. quant elles le sont en totalité (T5). On constate qu'il ya une légère inversion de l'incidence, car la suppression des racines latérales entraîne une perte de rendement de 35,50 p.c., et celui du pivot, une chute de 33,50 p.c.

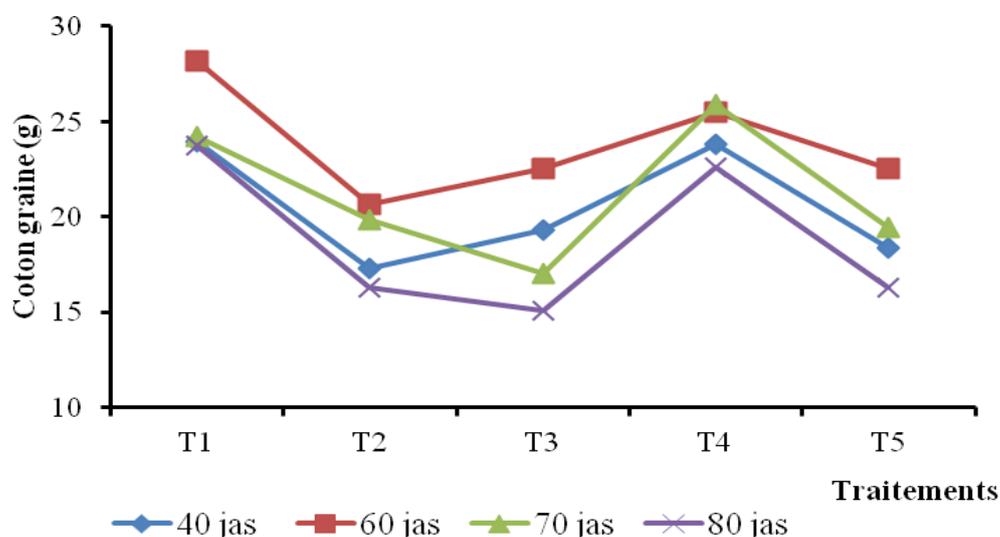


Figure 39 : Impact des coupes sur la production de coton graine par plant

La figure 39 indique que la production de coton graine est très affectée lorsque les coupes concernent la racine pivotante (-38 p.c) et la totalité des racines latérales. Par contre, lorsque le cotonnier dispose de la moitié des ses racines latérales, la production par pied est très peu affectée. L'impact, d'une ablation quelconque du système racinaire sur la production, dépend, toutefois, des conditions pluviométriques de la campagne concernée.

* Composantes du rendement

Après les stress subits par le système racinaire, la production de coton graine de chaque plante diminue de façon considérable, quelle que soit la date de coupe.

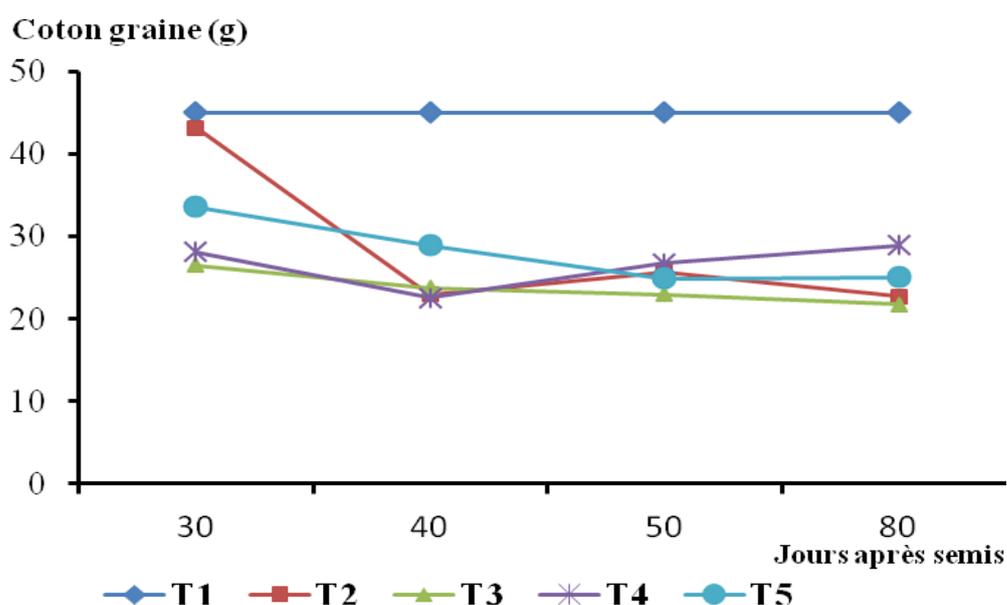


Figure 40 : Effet des coupes sur la production de coton graine par plante

Selon la figure 40, la production de coton graine par pied diminue considérablement, car aucun des objets ne dépasse 35 g, contre environ 45 g pour le témoin à système racinaire entier.

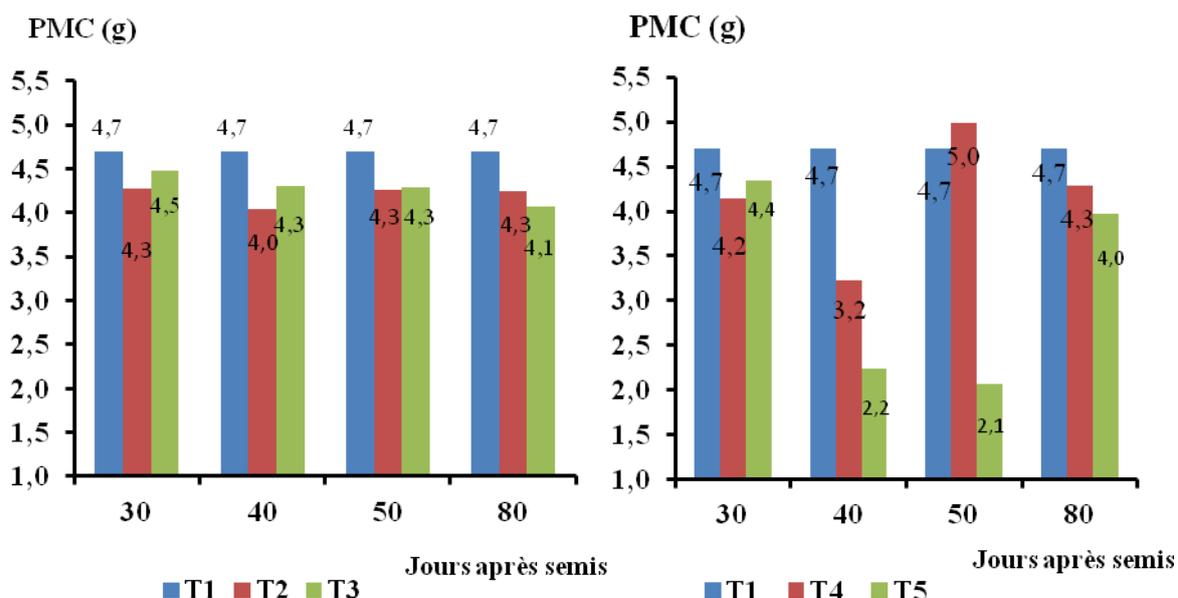


Figure 41 : Impact des dates de coupe sur le poids moyen capsulaire (PMC)

Selon la figure 41, l’ablation d’une partie quelconque du système racinaire a des effets néfastes sur le poids moyen des capsules. Ainsi, si les cotonniers à système racinaire complet ont des capsules de 4,7 grammes, ce poids varie, respectivement, de 4,0 à 4,3 g pour T2, de 4,1 à 4,5 pour T3, de 3,2 à 5 pour T4 et de 2,1 à 4,4 pour T5. On note que c’est la section de l’ensemble des racines latérales qui entraîne les plus importantes pertes de poids aux capsules.

Tableau XXXI : Nombre de capsules récoltées par plante

Objets	Dates de coupe des racines				
	40 jas	50 jas	60 jas	70 jas	80 jas
T1- Témoin (système racinaire entier)	10,62	9,50	14,05	12,64	11,62
T2- Racine pivotante coupée à 5 cm du collet	10,43	9,75	11,00	10,17	10,78
T3 -Racine pivotante coupée à 10 cm du collet	10,40	10,40	10,40	10,40	10,40
T4- Racines latérales coupées à 50 p.c	10,84	10,59	11,63	12,67	8,35
T5- Racines latérales coupées à 100 p.c	10,77	12,13	10,59	12,32	13,24
Impact	99	112	77	90	91
Fc :	11,11	10,33	7,53	6,73	14,19
Var. :	NS	S	HS	S	HS
Cv (p.c) :	17,8	17,4	17,2	14,5	21,4
Ppds 1 p.c.	-	1,5	3,5	1,6	4,3

Pour le nombre de capsules récoltées par plante, la destruction partielle du système racinaire est vite compensée aux jeunes stades de la plante, c’est-à-dire jusqu’à 40 jas. Après

l'initiation florale, l'impact global est négatif, surtout lorsque c'est la racine pivotante qui est sectionnée à 5 cm en dessous du collet (Tableau XXXI).

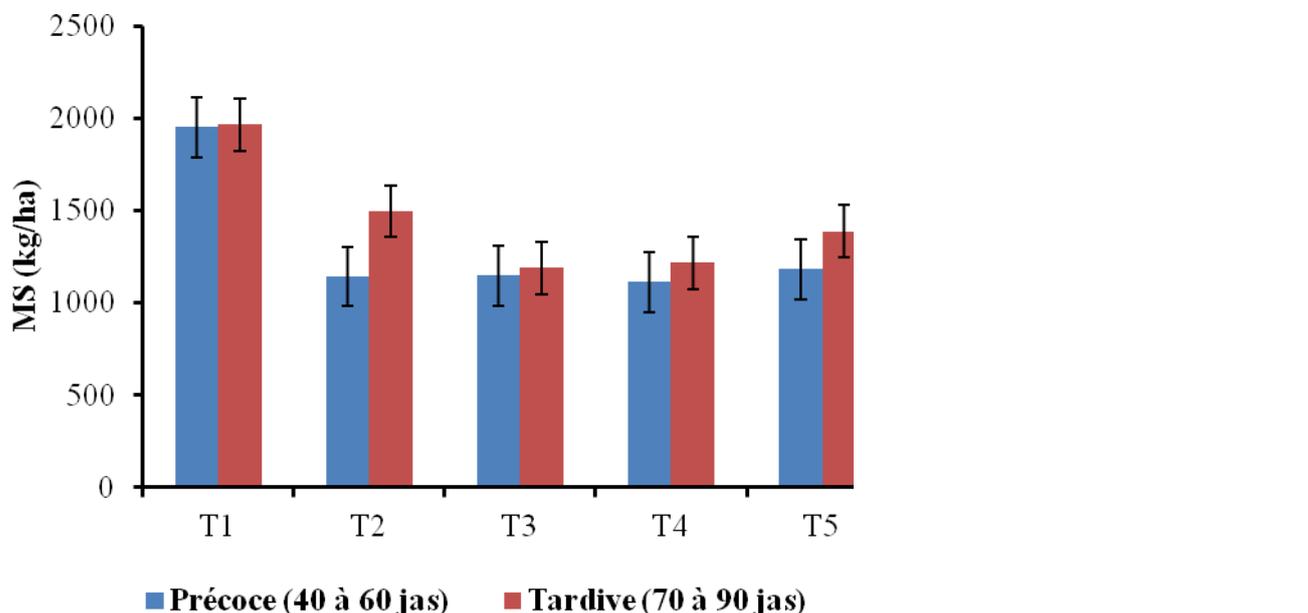


Figure 42: Impact des coupes sur le poids sec des tiges de cotonnier

On note, également, une importante réduction de la matière sèche produite (Fig.42). Cette réduction paraît la plus importante sur l'objet T3, où l'on a coupé la racine principale 10 cm en dessous du collet, et lorsque l'on sectionne 50 p.c. des racines latérales (T4).

6.3.4. Fonctionnement des racines et absorption des éléments minéraux dans les agro-systèmes

L'efficacité du système racinaire d'une plante, en l'occurrence le cotonnier, dans le prélèvement des éléments nutritifs du sol, dépend à la fois des racines latérales et du pivot, car l'essentiel de la nutrition minérale est assuré par les fines ramifications ou poils absorbants du système racinaire. La question étant de savoir si la destruction d'une partie quelconque du système racinaire du cotonnier peut entraîner l'apparition d'éventuelles déficiences dans la nutrition minérale des plantes, par une insuffisante absorption des éléments nutritifs et, dans ce cas, quel élément minéral est le plus sensible aux troubles physiologiques induits, et à quel moment du cycle de la plante ?

Tableau XXXII : Composition minérale d'un cotonnier à la récolte (g kg⁻¹ de MS)

Organes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₃	B ₂ O ₃	CaO	MgO	Hydrates de carbone
Racines	4,3	2,5	8,0	1,4	0,7	3,5	4,2	493,5
Tiges	6,2	2,1	7,5	1,4	0,9	6,8	2,8	460,8
Feuilles	20,8	4,3	10,3	9,5	1,0	45,6	7,4	541,9
Capsules	16,5	5,7	10,6	4,2	0,8	5,1	4,5	283,0
Graines	33,5	12,0	10,2	1,1	1,0	3,2	3,0	385,6
Fibre	1,6	0,9	4,3	0,9	0,9	0,7	1,3	100,0
Total	82,9	27,5	50,9	18,5	5,3	64,9	23,2	1879,2

Pour l'ensemble de la zone de production de SOFITEX, la synthèse des diverses analyses portant sur les organes du cotonnier la concentration des éléments minéraux en fonction des organes (Tableau XXXII). Ainsi :

- l'azote et le phosphore sont essentiellement concentrés dans les graines ;
- le potassium dans les feuilles, les capsules et les gaines ;
- le soufre dans les feuilles et les capsules ;
- le calcium et le magnésium dans les feuilles.

Tableau XXXIII : Indices de nutrition minérale des cotonniers à 70 jas

Objets	F (N)	F(P)	F (K)	g kg ⁻¹		
				Ca	Mg	Cl
T1- Témoin (système racinaire entier)	87,91	104,1	74,95	16,8	14,2	10,0
T2- Racine pivotante coupée à 5 cm du collet	82,52	102,2	72,45	22,7	12,2	9,6
T3 -Racine pivotante coupée à 10 cm du collet	81,25	91,3	74,44	20,9	16,3	8,1
T4- Racines latérales coupées à 50 p.c	81,81	96,9	78,10	17,4	15,0	8,1
T5- Racines latérales coupées à 100 p.c	76,35	98,4	83,43	18,1	14,6	10,4

Les données du tableau XXXIII permettent de dire que la destruction du système racinaire a une influence négative sur le poids sec des feuilles et le niveau de floraison. Par rapport aux six éléments analysés, les observations suivantes peuvent être faites :

- la nutrition azotée est déficiente sur les cotonniers dont la totalité des racines latérales a été détruite, F(N) ne représentant que 86 p.c. du témoin à système racinaire entier ;
- pour le phosphore, la nutrition minérale est correcte sur tous les objets. Cependant, sur l'objet T3, elle ne représente que 87 p.c. de celle du témoin ;
- les cotonniers présentent quelques difficultés pour l'absorption du potassium sur T2, où le pivot des plantes a été sectionné à 5 cm en dessous du collet. C'est sur ce même objet que les teneurs en Mg sont également les plus faibles.

Dans l'ensemble, on peut dire que, malgré le choc provoqué sur leur système racinaire des différents objets, les cotonniers arrivent à prélever, dans le sol, l'essentiel des éléments leur permettant d'avoir une nutrition minérale acceptable, à 70 jas.

6.4. Effets des apports de KCl sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agro-systèmes soudano-sahéliens

Afin d'évaluer les niveaux de prélèvement de K par le cotonnier, des études de formules de fertilisation, comportant des doses croissantes de K_2O sous forme de chlorure de potassium, ont été mises en place sur les principaux types de sol de la zone cotonnière. Au préalable, sur sol ferrallitique léger (Ferralsol), ne présentant donc aucun obstacle majeur à l'absorption du potassium par les plantes, un essai a été mis en place en vue de déterminer l'efficacité des systèmes racinaires des cultures en rotation, vis-à-vis de l'absorption des ions K^+ , et d'évaluer la disponibilité du potassium apporté par les engrais, pour l'alimentation minérale des plantes.

Nous savons qu'en fertilisation, quelle que soit la forme (Fumier, compost, KCl...) sous laquelle K est apporté aux plantes, il est absorbé sous forme de cations K^+ , après dissolution et ionisation, en général, selon la réaction $[KCl + H_2O \rightarrow (H^+) + (Cl^-) + (K^+) + (OH^-)]$ (10).

6.4.1. Evaluation de l'efficacité du système racinaire du coton, du maïs et du sorgho vis-à-vis de l'absorption du potassium

Dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso, le coton est cultivé en rotation avec les céréales, essentiellement, le maïs et le sorgho. De plus, dans ces systèmes de culture, c'est d'abord et surtout sur cotonnier que l'on rencontre des problèmes de nutrition potassique Dakouo (1994). C'est pourquoi ce premier essai a été implanté dans une rotation coton-maïs-sorgho, afin, non seulement d'évaluer l'efficacité des systèmes racinaires respectifs, mais, aussi, d'évaluer l'impact de la rotation sur la nutrition potassique.

6.4.1.1. Analyses de sol

Une analyse de sol a été effectuée au départ, afin de situer les niveaux potassium du sol (Tableau XXXIV).

Tableau XXXIV : Caractéristiques chimiques du sol en début de rotation (B2)

Couches	Argile C		K tot. Mg ²⁺		CEC	Ca ²⁺ Mg ²⁺ K ⁺ Al ³⁺				pH eau
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹			cmol ⁺ kg ⁻¹				
0-20 cm	147,5	4,8	395	0,31	5,85	0,01	0,03	0,1	0,120	5,44
20-40 cm	267,5	5,0	591,4	0,59	11,72	0,03	0,06	0,06	0,040	5,55
40-60 cm	392,5	4,5	834,1	0,71	11,81	0,04	0,08	0,05	0,040	5,25

Tableau XXXV : Potassium du sol (0-20 cm) après la récolte

Objets	Coton	Maïs	Sorgho	Coton	Maïs	Sorgho
	K tot. (mg kg ⁻¹)			K éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)		
0 K ₂ O	1,5	1,83	2,3	0,12	0,10	0,09
30 K ₂ O	2,17	2,73	1,92	0,12	0,11	0,11
60 K ₂ O	2,47	2,35	1,63	0,09	0,09	0,10

Le sorgho semble être la culture qui consomme le plus le potassium, si l'on tient compte des résultats des analyses de sol après 3 années de culture. Quant aux rendements obtenus, ils sont présentés dans la figure 43.

6.4.1.2. Rendements

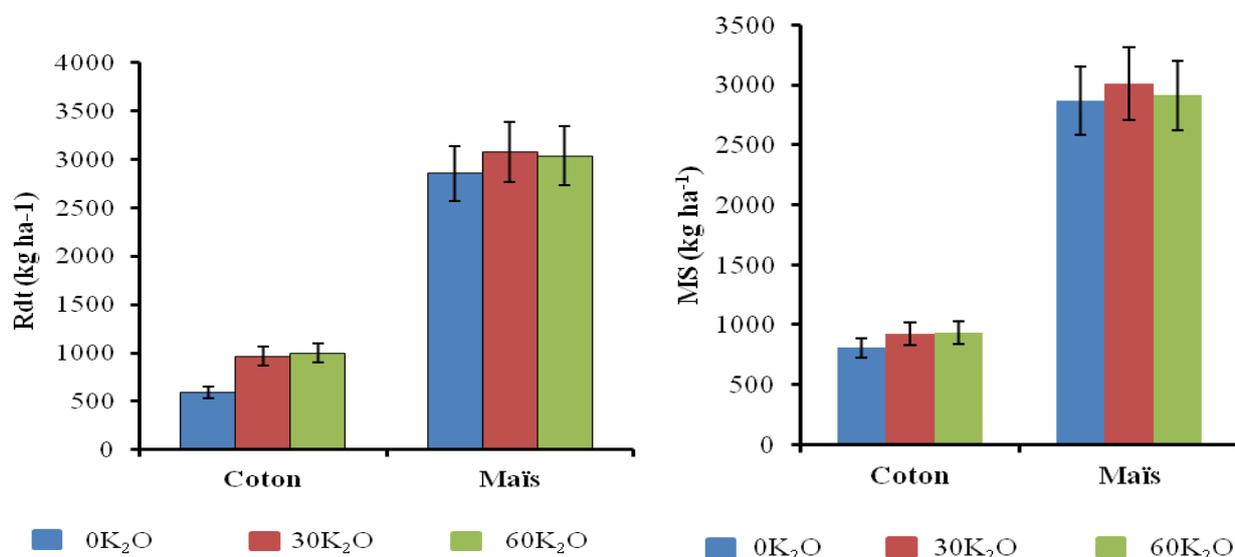


Figure 43 : Rendements des cultures et production de matière sèche selon les doses de K₂O

Sur coton, comme sur maïs, les rendements obtenus en coton graine ou en maïs grain, ainsi que les poids secs de tiges récoltées, sont proportionnels aux doses de K₂O. Dans le cas

du coton, l'apport de 30 kg de K_2O entraîne une augmentation de + 63 pc. en coton graine, par rapport au témoin, tandis qu'avec l'application de 60 kg de K_2O/ha , le gain n'est que de + 69 p.c.

6.4.1.3. Nutrition minérale

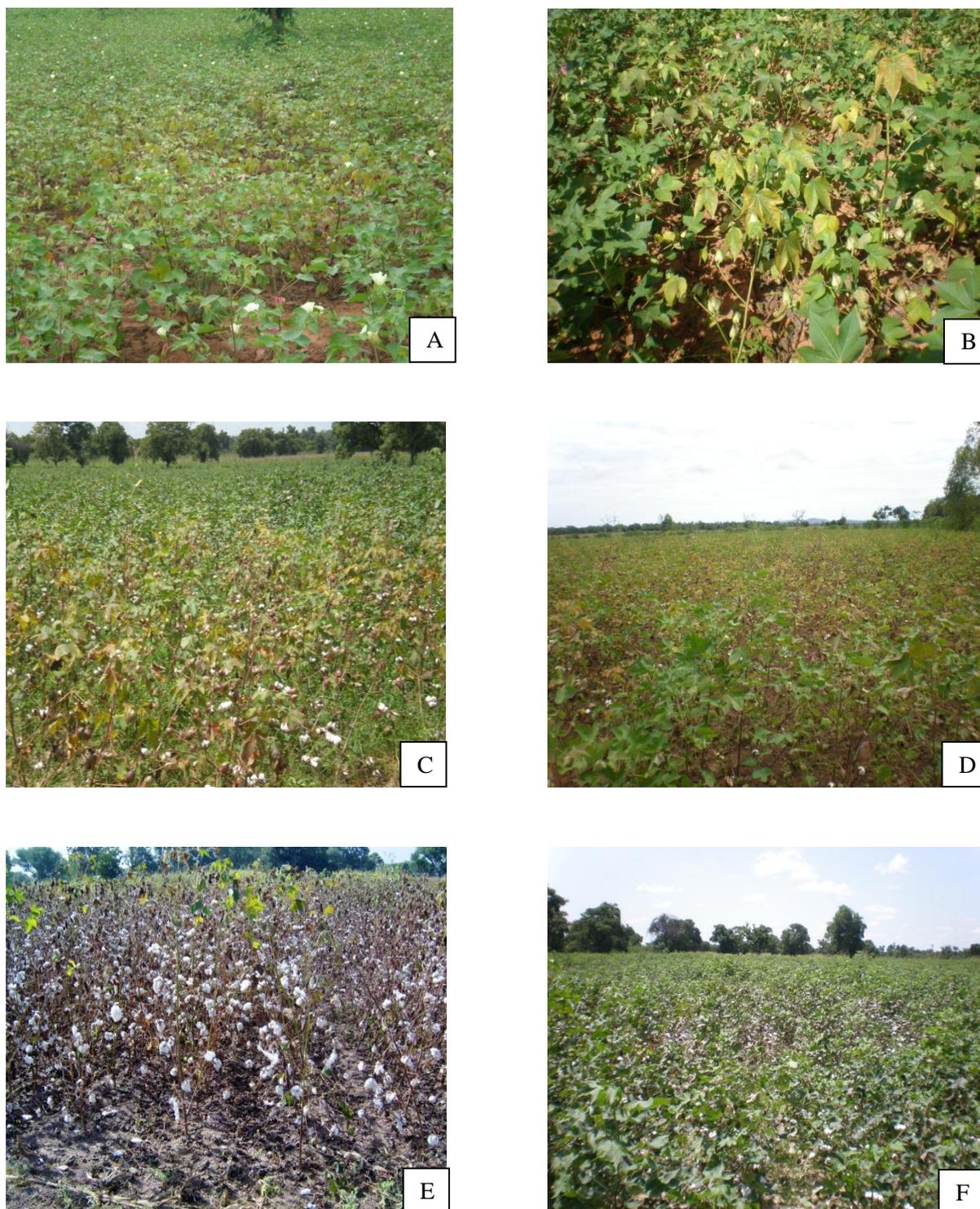
Les résultats du diagnostic foliaire sont consignés dans le tableau XXXVI

Tableau XXXVI : Indices de nutrition sur cotonnier à 70 jas

Objets	F (N)	F (P)	F (K)	F (S)	K ($mg\ kg^{-1}$)	P. S.	N.F.
0 K_2O	95,84	97,79	64,03	118,70	2,0	9,34	1,55
30 K_2O	101,46	102,50	73,64	116,99	2,6	11,12	1,96
60 K_2O	108,01	101,89	76,90	116,33	2,8	11,13	2,28

Les résultats de ce diagnostic foliaire indiquent une déficience en potassium sur le cotonnier, avec des indices de nutrition partout inférieurs à 80 (Tableau XXXVI). Cependant, on note une amélioration de cet indice K, selon les doses de K_2O apportées. Les teneurs en K des feuilles de cotonniers restent néanmoins inférieures à 3 p.c., seuil à partir duquel les manifestations foliaires de déficience K commencent, comme l'indique la figure 44. Le poids sec des feuilles de cotonniers est amélioré de 19 p.c., en cas d'apport de potassium. Pour le niveau de floraison, les améliorations vont de 26 à 47 p.c.

Sur la figure 44, on distingue les différentes phases d'apparition des déficiences potassiques sur cotonnier, depuis la floraison maximale où elle débute en plage, avec des feuilles dorées sur cotonnier, au stade final avec l'aspect chauffe-souris (Fig.44E) où les cotonniers apparaissent avec des feuilles sèches accrochées aux plants, à la récolte.



A : Déficience K au 90è jours
B : Déficience K au 100è jours
C : Déficience K au 110è jour

D : Déficience généralisée en K
E : Déficience en K à la récolte
F : Cotonniers sans déficience K

Figure 44 : Teneurs en K des feuilles et manifestation foliaire sur cotonnier

Tableau XXXVII : Teneurs en éléments minéraux des feuilles de cotonnier et de maïs

Objets	Coton	Maïs	Coton	Maïs	Coton	Maïs	Coton	Maïs
	N		K		Ca		Mg	
	mg kg ⁻¹							
0 K ₂ O	5,2	2,8	2,0	1,1	2,9	0,7	1,6	0,7
30 K ₂ O	5,5	2,9	2,6	1,1	2,6	0,6	1,1	0,5
60 K ₂ O	5,9	2,9	2,8	2,5	3,1	1,0	1,2	0,4

Du tableau XXXVII, on constate que les feuilles de cotonnier ont des teneurs plus élevées en potassium que celles du maïs, pour le témoin sans K₂O, et la dose de 30 K₂O/ha. Par contre, au-delà, ces teneurs sont équivalentes. Pour l'azote, les teneurs des feuilles de cotonnier vont de 5.2 p.c. à 5,9 p.c alors que sur maïs, ces teneurs sont quasi constantes à environ 3 p.c. Pour Ca comme pour Mg, le cotonnier présente de plus fortes teneurs que le maïs.

Tableau XXXVIII : Teneurs en potassium des racines des plantes à la récolte

Objets	Coton		Maïs		Sorgho	
	mg kg ⁻¹	p.c.	mg kg ⁻¹	p.c.	mg kg ⁻¹	p.c.
0 K ₂ O	1667	100	3683	100	6013	100
30 K ₂ O	2470	148	3196	86	5353	89
60 K ₂ O	2535	152	5250	142	4120	68

A la récolte, les prélèvements de racines effectués sur chaque plante, pour la détermination des concentrations en potassium, permettent de dire que l'apport du KCl se traduit par une amélioration globale des teneurs en K des racines du cotonnier de +32 p.c., par rapport au témoin (Tableau XXXVIII). Dans les racines du cotonnier, on retrouve les mêmes tendances que dans les feuilles. Sur maïs, ce gain ne se manifeste que pour la dose de 60 kg de K₂O/ha avec +42 p.c., tandis que sur le sorgho, c'est une réduction de -22 p.c. qu'on observe. Dans les rotations coton-maïs-sorgho, on constate que les racines de sorgho contiennent de plus fortes teneurs en K que les autres cultures.

Tableau XXXIX : Potassium des tiges et des feuilles du maïs à la récolte (mg kg⁻¹)

Objets	Tiges	Feuilles	Total
0 K ₂ O	8443	13217	21660
30 K ₂ O	5543	9033	14576
60 K ₂ O	2466	9340	11806

Le maïs répond bien à la fertilisation potassique. L'efficacité d'utilisation de K par cette plante est perceptible, à travers les rapports K (MS)/K total du sol de 43,91, 29,55 et 23,93, et K (parties aériennes)/K des racines, de 5,88, 4,56, et 2,24 (Tableau XXXIX). Il reste bien entendu que parmi les organes, ce sont les feuilles de maïs qui présentent les plus fortes teneurs en potassium.

6.4.2. Effets des apports de fertilisants sur l'absorption des ions K⁺

Afin d'évaluer les niveaux de prélèvement de K par le cotonnier, des essais et tests de formules de fertilisation, comportant des doses croissantes de K₂O, sous forme de chlorure de potassium et de fumier ou compost, ont été mis en place. Les résultats obtenus, en ce qui concerne certaines caractéristiques physico-chimiques des sols, ainsi que les teneurs en éléments nutritifs des feuilles de cotonniers, figurent dans les tableaux XL, XLI et XLII.

6.4.2.1. Cas des sols ferrallitiques

◆ Analyses de sol

Tableau XL: Caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique selon la position topographique

Caractéristiques	Haut de versant			Mi-versant			Bas de versant		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Argiles (g kg ⁻¹)	97,7	167,4	362,8	72,1	137,2	376,7	102,3	134,9	388,0
C total (g kg ⁻¹)	2,80	2,22	2,22	5,40	2,80	2,22	2,63	2,66	2,16
K total (mg kg ⁻¹)	117,5	110,2	124,8	66,1	73,4	146,9	117,5	102,8	176,3
K disp. (mg kg ⁻¹)	15,5	7,8	6,8	11,6	12,6	10,7	21,3	17,5	26,2
K éch. (mg kg ⁻¹)	0,07	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,07	0,04	0,09
Ca ²⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	1,59	1,58	1,35	1,60	1,84	2,42	1,42	1,35	1,62
Mg ²⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,18	0,24	0,64	0,23	0,40	0,66	0,24	0,24	0,66
H ⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,65	1,10	0,80	0,25	0,55	0,50	0,55	0,70	0,75
Al ³⁺ (cmol ⁺ kg ⁻¹)	< 0,01	< ,01	< 0,01	<0,01	< ,01	< ,01	< ,01	< ,01	< 0,01

C1= couche supérieur du profil C2= couche intermédiaire du profil, C3= couche inférieure du profil

Ce sol ferrallitique moyennement désaturé, développé sur grès, a une teneur en K total de 100,37 mg kg⁻¹, sur 0-20 cm de profondeur. Sur la même profondeur, on observe des teneurs de 1,54 mg kg⁻¹, pour Ca²⁺, et de 0,22 mg kg⁻¹, pour Mg²⁺. Ce sol est composé de quartz, plagioclases, biotite, microcline, etc. Il est constitué de 9,07 p.c. d'argile, dont 90 p.c. de kaolinite, 0,28 p.c. d'illite, et 7,2 p.c. de montmorillonite. K échangeable est uniformément

réparti dans les différentes couches de sol indépendamment du segment topographique. Les teneurs en Mg sont par contre plus élevées dans les couches inférieures (C3) dans tous les trois segments topographiques considérés.

◆ Production de coton graine

Tableau XLI : Rendements obtenus sur sols ferrallitiques de Farako-bâ (B3)

Objets	Coton (1 ^{ère} année)		Maïs (2 ^e année)		Coton (3 ^e année)	
	Kg ha ⁻¹	p.c.	Kg ha ⁻¹	p.c.	Kg ha ⁻¹	p.c.
0 K ₂ O	1285c	100	817	100	328	100
30 K ₂ O	1564bc	122	1036	127	510	156
60 K ₂ O	2213a	172	1024	126	479	146
90 K ₂ O	1781b	139	929	114	513	156
Fc	8,2		0,30		1,51	
Analyse	H.S		N.S.		N.S	
CV (p.c.)	19,3		14,76 p.c.		12 p.c.	

L'apport de K₂O a entraîné une amélioration des rendements proportionnelle aux doses et formes, surtout à la première année d'application. Cette amélioration a persisté 3 années de suite, en arrière-effet, sur coton, comme sur maïs, même si son effet a diminué. En effet, en troisième année, les rendements obtenus sur le cotonnier le représentent plus que 26 p.c. de ceux de la première année.

◆ Diagnostic foliaire

Tableau XLII : Indices de nutrition minérale sur cotonnier à 70 jas

Objets	F(N)	F(P)	F(K)	F(S)	B (mg kg ⁻¹)	N.F.	P.S.
0 K ₂ O	88,7	83,1	45,5	99,2	21	2,0	12,0
30 K ₂ O	86,4	83,2	63,9	96,2	25	1,8	11,4
60 K ₂ O	87,5	84,3	81,0	95,0	20	2,2	10,2
90 K ₂ O	89,6	83,3	73,0	95,0	25	2,0	10,8

D'une façon globale, les teneurs en bore, le poids sec des feuilles et les indices de nutrition en soufre peuvent être considérés comme corrects, par contre pour l'azote, le phosphore et le potassium, ces teneurs frôlent le seuil de déficience (Tableau XLII). Le niveau de floraison (N.F.) qui est le reflet de l'âge physiologique des plantes est très faible (2,0). Néanmoins, quelle

que soit la forme et la dose d'apport, l'absorption du potassium a beaucoup été améliorée, et cette amélioration est proportionnelle aux doses de K₂O apportées. Elle s'est traduite par + 40 p.c. pour la dose de 30 kg de K₂O, + 78 p.c. pour la dose de 60 kg de K₂O, notamment avec l'apport sous forme de fumier, et + 60 p.c. pour la dose de 90 Kg, et de K₂O apporté par le chlorure de potassium.

Tableau XLIII : Evolution des teneurs en éléments nutritifs des feuilles de cotonniers sur sol ferrallitique (Ferralsol) de Farako-bâ selon les doses de K₂O (P15)

Objets	N (p.c.)	P tot.(p.c.)	K tot. (p.c.)	S (p.c.)	B (mg kg ⁻¹)	Cl (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
0 K ₂ O	2,6 ± 0,6	0,51 ± 0	3,33 ± 0,71	0,18 ± 0	9,79 ± 2	8,12 ± 3	12,31 ± 1	4,7 ± 2
30 K ₂ O	2,31 ± 0,3	0,48 ± 0	3,45 ± 0,69	0,16 ± 0	9,97 ± 4	7,92 ± 2	12,36 ± 3	3,7 ± 1
60 K ₂ O	2,54 ± 0,2	0,49 ± 0	3,47 ± 0,63	0,13 ± 0	8,62 ± 3	8,36 ± 1	13,47 ± 4	4,8 ± 1
90 K ₂ O	2,37 ± 0,4	0,57 ± 0	3,95 ± 1,28	0,23 ± 0	9,25 ± 2	7,17 ± 1	13,46 ± 3	3,7 ± 1
Moyenne	2,30	0,50	3,77	0,18	9,16	7,55	12,77	4,26
F	2,67	3,97	0,34	1,92	0,28	0,95	0,19	0,74
Probabilité	0,07	0,02	0,84	0,15	0,88	0,46	0,93	0,57
CV (Sp.c.)	18,49	7,15	23,16	31,85	31,57	23,97	22,59	4,22

Même s'il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les objets, on constate que l'apport du KCl améliore les teneurs en K des feuilles de cotonnier. Cette augmentation est d'autant plus importante que K est apporté sous forme de fumier (T5), où on observe une grande teneur en K, avec 3,95 p.c. de feuilles. Les concentrations observées pour tous les autres éléments sont normales au regard de celles en potassium (Tableau XLIII).

Tableau XLIV : Teneurs en éléments minéraux des feuilles de cotonniers sur sols ferrallitiques selon la position topographique

	N (g kg ⁻¹)	P tot (g kg ⁻¹)	K tot (p.c.)	S (g kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Cl (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
H1	23,8 ± 2	4,9 ± 0	3,58 ± 0,30	2,2 ± 0	9,43 ± 3	4,66 ± 2	8,93 ± 1	4,40 ± 1
H2	23,1 ± 3	5,5 ± 1	3,45 ± 0,30	2,2 ± 0	9,61 ± 1	5,46 ± 2	9,98 ± 2	4,58 ± 1
H3	23,8 ± 4	5,1 ± 0	3,48 ± 0,41	2,2 ± 0	9,51 ± 3	6,68 ± 3	9,85 ± 1	4,60 ± 1
Moy.	23,6	5,2	3,51	2,2	9,52	5,60	9,59	4,53
F	0,08	1,26	0,22	0,02	0,00	1,03	0,71	0,05
Probabilité	0,92	0,31	0,80	0,97	0,99	0,38	0,50	0,94
CV (p.c.)	18,20	16,62	11,98	22,15	34,42	50,65	20,02	30,36

Selon la position topographique de la parcelle, il n'ya pas de différence réelle entre les teneurs en potassium des feuilles, même si c'est en haut de versant que l'on a la valeur la plus élevée, avec 3,58. Pour tous les autres éléments minéraux analysés, la position topographique ne révèle

aucune différence entre les trois segments, car leurs teneurs sont quasi uniformes sur l'ensemble de la parcelle (Tableau XLIV).

6.4.2.2. Cas des sols ferrugineux tropicaux

◆ Analyses de sol

Tableau XLV : Caractéristiques chimiques d'un sol ferrugineux (Lixisols) de la ferme de Boni selon le niveau topographique

	Haut de versant				Mi-versant			Bas de versant		
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Argiles (g kg ⁻¹)	132,5	202,5	415,0	492,5	107,5	170,0	307,5	147,5	237,5	305,0
Carbone (g kg ⁻¹)	16,91	10,63	2,90	6,33	7,73	11,45	3,43	10,00	7,90	8,54
K total (mg kg ⁻¹)	719,7	925,3	1285,1	1130,9	514,1	719,7	1028,1	514,1	925,3	514,1
K disp (mg kg ⁻¹)	30,1	28,1	23,3	29,1	26,2	26,2	12,8	36,4	11,8	12,8
K éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,16	0,13	0,16	0,16	0,11	0,12	0,09	0,30	0,04	0,11
Ca ²⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	1,45	1,01	1,27	1,46	1,45	1,50	1,75	1,68	1,58	1,59
Mg ²⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	1,18	0,32	0,28	0,44	0,32	0,39	0,71	0,26	0,18	0,14
H ⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,85	0,55	1,45	1,60	0,30	0,95	1,10	1,55	2,25	2,45
Al ³⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	<0,01	<0,01	0,10	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,45	0,60

C1= couche supérieur du profil C2= couche intermédiaire du profil, C3 et C4= couches inférieures du profil

Ce sol ferrugineux tropical, dérivé de granite, est composé de quartz, plagioclase, chlorite, biotite, orthose, épidote, séricite, albite et oxydes, 12,92 p.c. d'argile dans l'horizon de surface, dont 60 p.c. de kaolinite, 2 p.c. d'illite et 38 p.c. de montmorillonite. La teneur en K total est de 582,64 mg kg⁻¹, tandis-que, pour Ca²⁺, il affiche 1,53 mg kg⁻¹ et 0,59 mg kg⁻¹, pour Mg²⁺. En rappel, C1, C2, C3 et C4 représentent les différentes couches de sol (Tableau XLV).

◆ Rendements

Tableau XLVI : Rendements obtenus sur sol ferrugineux tropical (Lixisols) (Boni)

Objets	Coton (1 ^{ère} année)		Maïs (2 ^{ème} année)		Coton (3 ^{ème} année)	
	Kg ha ⁻¹	p.c.	Kg ha ⁻¹	p.c.	Kg ha ⁻¹	p.c.
0 K ₂ O	1355c	100	2602d	100	1328b	100
30 K ₂ O	1550bc	114	3100c	119	1610a	121
60 K ₂ O	1878a	138	4319a	165	1749a	131
90 K ₂ O	1830ab	135	3849b	147	1713a	128
Fc	7,6		8,4		5,1	
Var.	H.S		H.S.		S	
CV (p.c.)	13,3		14,76.		13,2	

L'apport de K_2O a entraîné une amélioration des rendements, proportionnelle aux doses indiquant partout des analyses de variance significative. Cette amélioration a persisté 3 années de suite en arrière-effet, sur coton comme sur maïs. Cependant, l'efficacité de la fumure potassique sur coton baisse légèrement passant de 29 p.c. en première année, à 26,6 p.c. en année 3. On observe une réponse du maïs plus importante avec 43,6 p.c. de gain en maïs grain (Tableau XLVI).

◆ Diagnostic foliaire

Tableau XLVII : Indices de nutrition minérale sur cotonnier à 70 jas

Objets	F(N)	F(P)	F(S)	F(K)		B (mg kg ⁻¹)	N.F.	P.S.
0 K ₂ O	88,7	83,1	99,2	65,3	100	21	2,0	12,0
30 K ₂ O	86,4	83,2	96,2	79,0	121	25	2,8	13,4
60 K ₂ O	87,5	84,3	95,0	94,7	145	20	3,2	12,2
90 K ₂ O	89,6	83,3	95,0	92,1	141	25	3,0	12,8

Quelles que soient la forme et la dose d'apport, l'absorption du potassium a été beaucoup améliorée, et cette amélioration, si elle reste proportionnelle aux doses de K_2O apportées, est d'autant plus accentuée que K a été apporté sous forme de fumier ou de compost. En effet, le tableau XLVII montre que l'efficacité moyenne du K minéral est de + 31 p.c. contre +45 p.c. pour la forme organique. Le soufre et le bore sont dans la plage de nutrition correcte, l'azote, et surtout le phosphore, affichent partout des indices inférieurs à 90.

Tableau XLVIII : Evolution des teneurs des feuilles de cotonnier sur sol ferrugineux tropical (Lixisols) de Boni selon les doses de K_2O

	N (p.c.)	P tot.(p.c.)	K tot.(p.c.)	S (p.c.)	B.(ppm)	Cl (g kg ⁻¹)	Ca. (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
T1	2,10 ± 0	0,63 ± 0	2,81 ± 0,23	0,31 ± 0	7,56 ± 2	8,85 ± 2	8,35 ± 0	3,57 ± 0
T2	2,45 ± 0	0,62 ± 0	3,22 ± 0,30	0,22 ± 0	7,77 ± 2	10,0 ± 2	9,02 ± 2	3,4 2± 0
T3	2,27 ± 0	0,56 ± 0	3,16 ± 0,31	0,29 ± 0	7,20 ± 2	8,74 ± 2	9,58 ± 2	3,3 2± 1
T4	2,31 ± 0	0,61 ± 0	3,04 ± 0,22	0,21 ± 0	7,00 ± 2	7,81 ± 2	9,24 ± 1	3,78 ± 1
Moy.	2,66	0,60	3,05	0,27	7,79	8,26	9,19	3,64
F	1,27	0,76	1,41	0,97	1,29	2,78	0,63	0,88
P 5 p.c	0,30	0,56	0,25	0,43	0,29	0,04	0,64	0,49
CV (p.c.)	12,65	14,55	10,84	41,30	26,43	27,30	18,41	22,39

Bien que les teneurs en potassium soient satisfaisantes, l'analyse de variance ne révèle pas de différence significative pour les doses de K apportées (Tableau XLVIII). Autrement dit, les doses de K ne semblent pas avoir affecté significativement les teneurs en potassium des feuilles

de cotonnier, sur les sols ferrugineux de la ferme de Boni. Les concentrations des autres éléments minéraux dans les feuilles de cotonnier sont acceptables au regard de celles en potassium.

Les mêmes observations sont valables pour ce qui concerne les segments topographiques (Tableau XLIXa).

Tableau XLIXa : Teneurs en éléments nutritifs des feuilles de cotonnier sur sols ferrugineux (Lixisols) selon la position topographique

	N	P	K	S	Ca	Mg	Cl	B
	(p.c.)							(mg kg ⁻¹)
Haut de versant	2,09 ± 0,2	0,61 ± 0,1	4,27 ± 3,2	0,35 ± 0,2	1,00 ± 0,1	3,89 ± 0,7	0,48 ± 0,2	8,7 ± 2
Mi versant	1,96 ± 0,2	0,63 ± 0,1	4,14 ± 2,6	0,34 ± 0,1	0,98 ± 0,1	3,86 ± 0,6	0,39 ± 0,1	8,3 ± 2
Bas de versant	1,91 ± 0,3	0,57 ± 0,1	4,18 ± 3,5	0,33 ± 0,1	1,04 ± 0,1	4,20 ± 0,8	0,45 ± 0,2	9,0 ± 2
Moy.	1,99	0,60	4,20	0,34	1,01	3,98	0,44	0,3
F	3,08	0,9	0,8	0,2	1,1	1,2	1,2	0,4
P (5 p.c.)	0,05	0,4	0,4	0,8	0,3	0,3	0,3	0,7
CV (p.c.)	13,59	27,5	9,1	28,7	13,1	22,0	45,9	31,9

Dans le cas du maïs, on observe des teneurs en potassium faibles avec une moyenne de 1,87 p.c. (Tableau XLIXb). Là également, l'analyse de variance se révèle non significative. On n'observe aucun effet des doses de K₂O apportées sur les teneurs en K des feuilles de maïs sur les sols ferrugineux tropicaux de la ferme de Boni.

Tableau XLIXb : Teneurs en éléments nutritifs des feuilles de maïs selon les doses de K₂O sur sols ferrugineux (Lixisols)

Objets	N	K	P
	p.c.		
T1 : Témoin sans engrais	2,24 ± 0,1	1,82 ± 0,1	0,73 ± 0,0
T2 : 0 K ₂ O	2,22 ± 0,2	1,95 ± 0,3	0,76 ± 0,1
T3 : 30 K ₂ O	2,19 ± 0,1	1,93 ± 0,2	0,68 ± 0,1
T4 : 60 K ₂ O	2,21 ± 0,1	1,84 ± 0,3	0,69 ± 0,1
T5 : 90 K ₂ O	2,29 ± 0,2	1,83 ± 0,1	0,77 ± 0,1
Moy.	2,23	1,87	0,73
Fc	0,21	0,47	1,47
Probabilité (5 p.c.)	0,92	0,75	0,23
CV (p.c.)	8,67	12,1	12,19.

L'apport de doses croissantes de K₂O n'a pas entraîné une augmentation des concentrations de K dans les feuilles de maïs sur les sols ferrugineux de la ferme de Boni. Le

témoin 0Kg de K₂O/ha présente la même concentration (1,95) que la dose de 90 Kg de K₂O/ha (1,83). L'analyse de variance ne révèle donc aucune différence significative. Au contraire, on observe de légères baisses des concentrations en K avec les apports de K₂O. Le passé cultural de ces parcelles est probablement la cause de cette quasi absence de réponse au regard des teneurs en p affichées.

6.4.2.3. Cas des sols bruns tropicaux (Cambisols)

◆ Analyses de sol

Tableau L : Caractéristiques chimiques d'un sol brun eutrophe (Cambisol) selon le niveau topographique

	Haut de versant				Mi-versant			Bas de versant				
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C4	C5
Argiles (g kg ⁻¹)	375,0	527,5	455,0	350,0	340,0	500,0	505,0	370,0	390,0	390,0	467,5	490,0
Carbone (g kg ⁻¹)	17,26	5,40	2,79	1,62	17,26	7,09	4,82	16,74	5,00	12,61	12,84	6,74
K total (mg kg ⁻¹)	293,7	257,0	822,5	411,2	411,2	359,8	411,2	462,7	514,1	411,2	462,7	411,2
K disp (mg kg ⁻¹)	79,7	5,25	46,3	33,5	62,0	44,3	51,2	60,0	39,4	42,3	39,4	40,3
K éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,53	0,39	0,23	0,20	0,41	0,32	0,34	0,53	0,24	0,21	0,25	0,23
Ca ²⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	13,58	15,37	15,38	12,12	11,19	10,77	11,41	12,68	12,87	12,87	12,78	10,24
Mg ²⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	8,20	8,44	7,16	7,98	9,94	10,90	10,58	7,15	9,24	9,79	11,46	14,95
H ⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,55	0,40	0,35	0,30	0,75	0,75	0,45	0,55	0,95	0,80	1,00	0,45
Al ³⁺ éch. (cmol ⁺ kg ⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Il s'agit de sol brun (Cambisol), développé sur basalte, composé de plagioclase, quartz, amphibole, pyroxène, feldspaths, minéraux ferromagnésiens et d'oxydes, avec 36,17 p.c. d'argile dans l'horizon de surface, dont 18 p.c. de kaolinite, 2 p.c. d'illite et 80 p.c. de montmorillonite et une teneur en K total un peu faible, de 389, 20 mg kg⁻¹. La teneur de Ca²⁺ est de 12,55 mg kg⁻¹ et pour celle de Mg²⁺, de 8,43 mg kg⁻¹.

On observe des teneurs assez élevées en Ca et Mg sur ce type de sol et aucune tendance claire ne se dessine quant à la répartition de K dans les différentes couches de sol identifiées au moment de l'étude des fosses pédologiques (Tableau L).

◆ Rendements

Tableau LI : Rendements obtenus sur sols bruns eutrophes (Cambisols) de la ferme de Mwauvoun (B 22)

Objets	Coton (1 ^{ère} année)		Maïs (2 ^e année)		Coton (3 ^e année)	
	Kg ha ⁻¹	p.c.	Kg ha ⁻¹	p.c.	Kg ha ⁻¹	p.c.
0 K ₂ O	1385c	100	2817d	100	1528d	100
30 K ₂ O	1565bc	112	3599c	127	1695b	156
60 K ₂ O	1950a	140	4290b	152	2047a	146
90 K ₂ O	2030a	146	4669a	165	2150a	156
Fc	7,2		8,3		7,5	
Var	H.S		H.S.		S	
CV (p.c.)	12,8		14,7		13,2	

Sur sols bruns, on obtient une réponse à la fertilisation potassique de +32,7 p.c., en première année, qui passe à +52,7 p.c. en troisième année. Sur ce type de sol, les rendements sont toujours croissant tant sur cotonnier que sur maïs de la dose de 0 kg de K₂O à 90 kg ha⁻¹ de K₂O. (Tableau LI). C'est dire que l'amélioration des rendements a persisté 3 années de suite, en arrière-effet, sur toutes les cultures. En première année, l'efficacité de la fumure potassique représente un gain de 32,7.p.c. sur cotonnier, en 2^e année 48 p.c. sur maïs et en 3^e année 52,7 p.c. sur coton.

◆ Diagnostic foliaire

Tableau LII : Indices de nutrition minérale sur cotonnier à 70 jas

Objets	F(N)	F(P)	F(S)	F(K)	B (mg kg ⁻¹)	N.F	P.S.
0 K ₂ O	88,7	83,1	99,2	75,6	100	21	2,0
30 K ₂ O	86,4	83,2	96,2	94,5	125	25	2,5
60 K ₂ O	87,5	84,3	95,0	99,8	132	20	3,4
90 K ₂ O	89,6	83,3	95,0	98,3	130	25	3,1

Quelles que soient la forme et la dose d'apport, l'absorption du potassium a été beaucoup améliorée, et cette amélioration est proportionnelle aux doses de K₂O apportées. Il faut toutefois noter que la dose de 60 K₂O a été apportée sous forme de fumier ou de compost (Tableau LII). Ces apports se traduisent par une amélioration de l'indice de nutrition d K de + 29 p.c. Avec des indices de nutrition moyens respectifs de 88,85 et 83,47, l'azote, et surtout le phosphore se rapprochent de la plage de déficience pour ces éléments.

Tableau LIIIa : Evolution des teneurs en éléments des feuilles de cotonniers sur sol brun eutrophe (Cambisol) de Mwauvoun selon les doses de K₂O

	N	P	K	S	Ca	Mg	Cl	B
	p.c.							mg kg ⁻¹
T1 : Témoin absolu	1,73 ± 0	0,93 ± 0	4,80 ± 0,7	0,34 ± 0	1,27 ± 0	0,45 ± 0	0,58 ± 0	6,4 ± 3
T2 : 0 K ₂ O	1,76 ± 0	0,82 ± 0	4,33 ± 0,4	0,29 ± 0	1,26 ± 0	0,46 ± 0	0,72 ± 0	8,0 ± 4
T3 : 30 K ₂ O	1,89 ± 0	0,91 ± 0	4,42 ± 0,6	0,27 ± 0	1,35 ± 0	0,48 ± 0	0,73 ± 0	6,9 ± 3
T4 : 60 K ₂ O	1,66 ± 0	0,84 ± 0	4,20 ± 0,7	0,28 ± 0	1,43 ± 0	0,46 ± 0	0,64 ± 0	7,2 ± 3
T5 : 90 K ₂ O	1,88 ± 0	0,99 ± 0	4,06 ± 0,9	0,28 ± 0	1,23 ± 0	0,53 ± 0	0,75 ± 0	6,6 ± 3
Moy.	1,78	0,9	4,36	0,29	1,31	0,48	0,68	7,0
F	1,31	0,45	0,99	0,28	0,87	0,48	0,35	0,2
P 5 p.c.	0,29	0,76	0,42	0,88	0,49	0,75	0,83	0,93
CV (p.c.)	11,6	23,2	15,7	42,7	16,4	22,8	39,0	45,2

Sur ce type de sol, l'apport de potassium dans la formule de fertilisation n'a pas automatiquement induit des teneurs croissantes en cet élément, dans les feuilles de cotonnier (Tableau LIIIa). On observe cependant de bonnes teneurs en K avec une moyenne de 4,36 p.c. pendant que la teneur moyenne en magnésium est de 0,48 p.c. Sans être proportionnelles, on constate que les teneurs de ces deux éléments évoluent dans un sens contraire. Les concentrations en N sont très faibles.

Tableau LIIIb : Evolution des teneurs des feuilles de cotonniers sur sols bruns (Cambisols) selon la position topographique

	N	P	K	S	Ca	Mg	Cl	B
	p.c.							mg kg ⁻¹
Haut de versant	2,16 ± 0	0,60 ± 0	3,80 ± 0,63	0,16 ± 1	1,06 ± 0	0,56 ± 0	0,67 ± 0	7,10 ± 2
Mi- versant	2,11 ± 0	0,60 ± 0	3,89 ± 0,56	0,22 ± 1	1,07 ± 0	0,62 ± 0	0,71 ± 0	8,09 ± 1
Bas de versant	2,10 ± 0	0,68 ± 0	3,74 ± 0,50	0,20 ± 1	1,09 ± 0	0,55 ± 0	0,66 ± 0	8,40 ± 2
Moy.	2,13	0,63	3,81	0,19	1,07	0,58	0,68	7,86
F	0,5	0,9	0,21	2,19	0,31	2,62	0,09	1,71
P 5 p.c.	0,61	0,41	0,8	0,12	0,73	0,08	0,9	0,19
CV (p.c.)	9,69	32,51	18,21	47,2	9,03	17,29	55,03	28,01

Avec une moyenne de 3,81 p.c., les teneurs en K des feuilles de cotonnier sont satisfaisantes et restent quasi identiques quelle que soit le segment topographique (Tableau LIIIb). Les autres éléments minéraux n'appellent aucune remarque particulière hormis le niveau relativement élevé du bore.

Tableau LIIIc : Evolution des teneurs des feuilles de maïs sur sols bruns (Cambisols) selon la position topographique

	N	P	K
			p.c.
Haut de versant	2,12 ± 0,2	0,62 ± 0,2	2,28 ± 0,6
Mi- versant	2,11 ± 0,1	0,62 ± 0,2	2,86 ± 0,6
Bas de versant	2,00 ± 0,1	0,65 ± 0,2	2,84 ± 0,4
Moy.	2,11	0,64	2,66
F	0,5	0,9	0,21
P 5 p.c.	0,61	0,4	0,8
CV (p.c.)	9,69	32,5	18,2

Sur maïs, le niveau topographique semble avoir peu d'effets sur les teneurs en potassium des feuilles en ce qui concerne les sols bruns (Cambisols) (Tableau LIIIc). Ces teneurs restent en générale faibles.

CHAPITRE VII : DISCUSSION

7.1. Contribution des roches mères et des produits d'altération aux variations de teneurs en potassium des sols en zone soudano-sahélienne

Les résultats des analyses chimiques des échantillons de roches collectées indiquent partout des teneurs très faibles en silice, qui vont de 0,72 p.c., dans le cas du granite rose, à 4,95 p.c. dans le gneiss, contrairement à ce qui est observé en Europe. En effet, selon Anonyme (2010b), la teneur moyenne du granite, en silice par exemple en France, est située entre 70 et 77 p.c. Par contre, les teneurs en aluminium sont du même ordre de grandeur. Si l'on observe des teneurs en Si extrêmement faibles, celles en Fe sont, au contraire, dix fois plus élevées qu'en France. Il en est de même pour les teneurs en potassium (12,64 p.c. dans le granite contre 3 à 5 p.c. en zone tempérée). Seules les formations latéritiques présentent de faibles teneurs en K, qui vont de 1,40 p.c. pour la carapace à 0,44 p.c. pour la cuirasse. L'une des principales raisons serait la température de formation des roches c'est-à-dire le mode de refroidissement ou de cristallisation et, la richesse en olivine et en feldspathoïdes (Thebault, 2011).

L'altération des roches silicatées (granite, grès, gneiss, dolérite, basalte, schiste), quasiment identique dans le premier stade du processus d'altération, commence en général par des fissures, appelées diaclases, qui facilitent le processus, en permettant à l'eau et aux racines des plantes de pénétrer plus facilement à l'intérieur des roches. L'altération a donc lieu, préférentiellement, dans les horizons superficiels, zone de prédilection du système racinaire des plantes, ainsi que le long des zones où l'eau circule, car les végétaux, de par leurs racines, permettent à l'eau de rester en contact permanent avec la roche. Les minéraux argileux résultant de la destruction des roches peuvent, soit rester sur place, comme argiles résiduelles, soit être transportés sur de longues distances.

Au plan minéralogique, dans l'altération d'une roche, on note, généralement, les différentes étapes ci-après :

- une fracturation de la roche ;
- une pénétration de la matière organique dans la roche altérée;
- une hydratation et dissolution des minéraux primaires;
- une forte libération et exportation de la silice et des bases hors de la roche;
- une libération et une accumulation relative de l'aluminium;

- une exportation ou une accumulation du fer;
- une individualisation de minéraux argileux de types 2/1 (illite; montmorillonite; vermiculite) par bisillitisation et 1/1 (kaolinite) par monisillitisation au sein du gel silico-alumineux, ferrifère, dont les éléments proviennent de la dissolution de minéraux primaires, sous l'action des solutions organiques, qui diffusent dans la roche (Anonyme, 2010b). Les argiles 1/1, par allitisation, produiront de la gibbsite. Le sol, lui-même, se composant des matériaux secondaires, provenant de l'altération des minéraux primaires de la roche-mère, qui lui donne naissance (Grody – Dhechuvi *et al.*, 2004). En outre, La composition chimique de chacune des roches induit des différences au niveau des produits de l'altération. En effet, selon Van der Lee (1998), l'altération d'une roche mère est fonction de sa composition, de l'abondance des précipitations, de la durée de la saison des pluies, et, de la température.

Par diffractométrie aux rayons X, Yao-Kouamé (2007) a montré, en Côte d'Ivoire, que les roches, la cuirasse et les sols, contenaient cinq grands types de minéraux, à savoir:

- des associations quartz - kaolinite - goethite;
- des groupes de minéraux associés de type: quartz - kaolinite;
- des groupements goethite - muscovite - illite;
- des groupements quartz - feldspaths - chlorite - muscovite- illite ;
- du quartz.

Dans le cas du Burkina Faso, sous climat soudano-sahélien, nous pouvons affirmer que les mêmes associations de minéraux sont présentes, à la seule différence que l'on observe, plus souvent, des associations quartz-kaolinite-hématite en zone nord soudanienne, et quartz - kaolinite - goethite, en zone sud-soudanienne. En plus de l'altération géochimique, on observe, dans les zones soudano-sahéliennes, trois types d'altération biologique, qui provoquent la destruction des roches, à savoir :

- la fragmentation, qui est un processus qui a lieu, suite à la pénétration des racines des plantes dans les fissures des roches ;
- la respiration des plantes au niveau des racines qui, par production de gaz carbonique, acidifie les eaux environnantes, favorisant ainsi certains processus d'altération chimique, telles l'hydrolyse et la dissolution (Elsass, 2005);
- l'acidification, par incorporation du gaz carbonique de l'eau qui s'infiltré dans le sol, ce qui favorise les processus d'altération chimique, selon une réaction de type $[\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{H}^+]$ (11).

Dans le cas du développement de la latérite, le mécanisme chimique mis en jeu dans l'altération des roches saines est l'hydrolyse totale, une réaction qui engendre la destruction de tous les minéraux primaires et la libération de leurs constituants, l'élimination des cations essentiels et d'une partie de la silice, ainsi qu'une insolubilisation et une accumulation relative des oxy-hydroxydes d'aluminium et de fer (Leprun, 1977 ; Anonyme, 2010b). Le profil d'altération typique présente le faciès ci-après, du haut vers le bas du profil d'altération :

- une cuirasse, formation massive à oxydes de fer et d'aluminium, contenant du quartz et de la kaolinite ;

- une carapace, qui est une formation tachetée, nodulaire, à oxydes de fer et d'aluminium, avec également du quartz et de la kaolinite. L'épaisseur des couches durcies (cuirasse ou carapace) est variable, de quelques mètres, à plus de 100 mètres. ;

- une saprolithe fine ou lithomarge, c'est-à-dire une zone à quartz, marquée par la dominance des minéraux secondaires d'altération et l'apparition d'une couche de sable de teinte violacée ;

- une saprolithe grossière ou arène, formation dominée par la nature de la roche mère, caractérisée par la présence de minéraux primaires en grains séparés. C'est à ce niveau que l'on observe des éboulements dans la plupart des puits, on dit alors que le puits est tombé dans du sable. Cette profondeur semble également être la zone de prédilection des termites *Macrotermes bellicosus*, souterrains. Au Burkina Faso, la profondeur de cette zone varie, selon la nature de la roche. Sur grès, elle est généralement située entre 5 et 10 m, alors que sur granite, on la rencontre autour de 20 m de profondeur ;

- une roche mère silico-alumineuse ou silico-ferrique.

Dans le cas des minéraux primaires, issus eux-mêmes de l'altération des roches, plusieurs processus sont à l'origine de leur apparition. Les principaux sont :

- l'hydrolyse, c'est-à-dire la destruction des minéraux par l'eau, est l'une des plus importantes réactions d'altération. Elle peut être totale ou partielle. L'hydrolyse est totale lorsque le minéral est détruit en de plus petits composés possibles, tels les hydroxydes ou les ions. Les corps résultants peuvent ensuite réagir entre eux, et donner des minéraux argileux de néoformation (Legros, 2007). C'est notamment le cas des feldspaths sodiques, tel l'albite, qui est un minéral relativement aisé à altérer dans les sols, lorsque les précipitations sont abondantes. L'hydrolyse est partielle lorsque la dégradation est incomplète, et donne directement des composés silicatés, c'est-à-dire des argiles. Mais, les types d'argile diffèrent selon les conditions de milieu qui prédominent. Parmi les facteurs externes qui contrôlent l'hydrolyse, on peut citer :

- la concentration en SiO_2 , exprimée en concentration d'acide silicique H_4SiO_4 ;
- la concentration en cations basiques (Na^+ , Ca^{++} , K^+) ;
- le pH, déterminé en particulier par les acides organiques ;
- la température, dont l'augmentation régit la vitesse des réactions et la possibilité de dissolution des ions dans l'eau ;
- la vitesse de circulation de l'eau dans le milieu, c'est-à-dire le drainage, qui exprime les conditions de confinement ou de lessivage.

En résumé, on peut conclure que l'hydrolyse équivaut à un échange de cations entre un cristal et l'eau. Les résultats de l'hydrolyse aboutissent, soit à la destruction des espèces minérales les plus instables c'est-à-dire les plus fragiles, soit au départ des éléments chimiques les plus solubles (K^+ , Na^+ , Ca^{++}), surtout en milieu lessivé, soit à la destruction ou la fracturation des minéraux primaires, ou encore à l'apparition de minéraux secondaires stables, comme les argiles ;

- l'hydratation est une altération chimique, qui affecte les minéraux capables de fixer une molécule d'eau ;

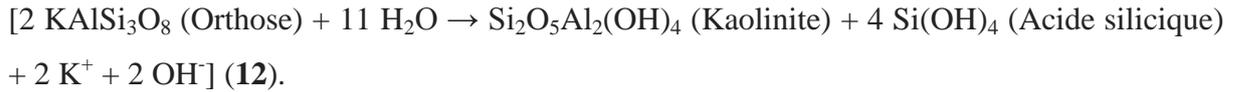
- l'altération par les plantes, qui, de part leurs activités physiologiques, peuvent être responsables de l'altération de certains minéraux. Par exemple, dans le cas des micas, on peut assister à la transformation de l'illite en vermiculite, par libération ou prélèvement de l'ion K^+ interfoliaire des argiles, par les racines de certaines plantes. En effet, selon Hinsinger (1990 ; 2001) et Elsass (2005), dans les rhizosphères, les plantes peuvent être responsables de chemins spécifiques d'altération, différents de la règle imposée par les conditions globales du sol.

*** Groupe des feldspaths**

Ce sont des tectosilicates, avec une altération comparable à celle de la muscovite (Lacarre, 2006). C'est une riche famille de silicates d'Al, de K, de Na, regroupés en feldspaths alcalins (K, Na), qui vont donner de l'orthose et du microcline, et en feldspaths plagioclases (Ca, Na), donnant de l'albite et de l'anorthite. De plus, tous les feldspaths ne sont pas sensibles à l'hydrolyse de la même façon. En effet, selon Gillot *et al.* (2007), les feldspaths potassiques sont les plus résistants, puis viennent les feldspaths sodiques, et enfin, les feldspaths calciques.

Les feldspaths potassiques (Si, Al, K), sous forme d'orthose, par hydrolyse, vont se transformer en argiles (illite, kaolinite, gibbsite, smectites...) selon les conditions du milieu.

- l'hydrolyse de l'orthose se fait selon la formule :



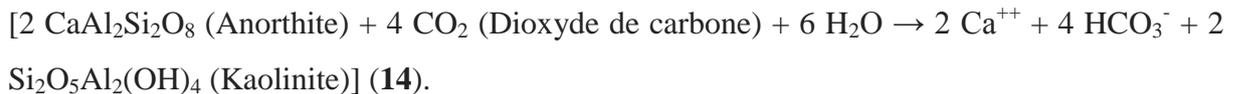
Le microcline est un feldspath riche en K comme l'orthose. L'altération des feldspaths donne un mica blanc particulier, la séricite ou des minéraux argileux comme le chlorite. Les pyroxènes par hydrolyse produisent de la kaolinite.

- l'hydrolyse totale de l'albite (feldspath sodique) se fait selon la réaction



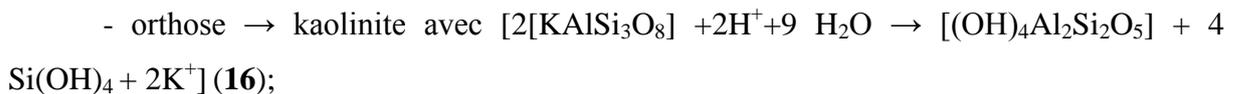
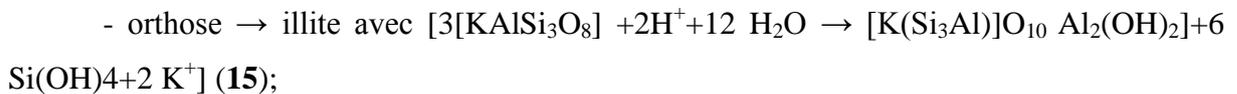
* Groupe des plagioclases

Ce groupe de minéraux primaires à base de (Si, Al, Ca, Na) produit également de l'illite, accompagné de Ca^{++} , Na^+ . Par exemple, l'hydrolyse de l'anorthite, qui est un plagioclase calcique, a lieu selon la réaction :

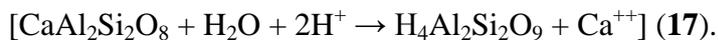


Les exemples ci-après permettent d'illustrer les différents types d'altération.

Par hydrolyse, un feldspath orthose peut donner de l'illite, de la kaolinite ou de la gibbsite, avec de la silice en solution, selon les réactions ci-après :



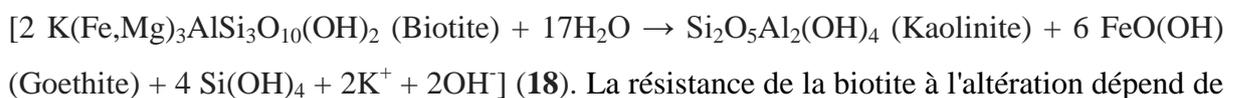
La transformation de l'anorthite en kaolinite se fait selon l'équation :



*Groupe des micas

Les micas (Si, Al, K, Fe, Mg) produisent généralement du chlorite, des cations K^+ , Mg^{++} et des oxydes de fer. Le chlorite est une famille complexe de silicates hydratés, ferromagnésiens, cristallisés dans le système monoclinique, résultant de l'altération de minéraux ferromagnésiens comme la biotite.

L'hydrolyse de la biotite, un mica noir, donne assez rapidement de l'hydroxyde de fer et de l'argile selon la réaction :



la teneur de Fe^{++} dans le cristal. La biotite peu oxydée (surtout à Fe^{++}) est très altérable, et donne, en particulier, des vermiculites, des smectites et de l'oxyde ferrique, qui précipite. La biotite plus oxydée (Fe^{+++}) est plus stable et son altération, proche de celui de la muscovite, produit de l'illite qui, par dégradation, va donner le chlorite, puis la vermiculite, et, enfin, la montmorillonite. De même, le chlorite, par dégradation, produit de la vermiculite qui, à son tour, donne la montmorillonite (Legros, 2007). L'altération des autres minéraux ferromagnésiens est semblable à celle de la biotite peu oxydée. Ils donnent des vermiculites, des chlorites ou des argiles magnésiennes, des smectites, lorsque le milieu est très confiné.

La muscovite (mica blanc) se fragmente d'abord en de petites paillettes, de même composition chimique, appelées séricites. Puis, l'altération chimique se fait, par perte progressive d'ion K^+ et donne de l'illite, puis de la kaolinite en milieu lessivé, et de la montmorillonite, en milieu confiné, en fonction des conditions de drainage et de topographie. En effet, selon Yao-Kouamé (2007), une hydrolyse des constituants phylliteux en milieu lessivé entraîne l'apparition de minéraux kaoliniques, à côté desquels l'on trouve énormément de goethite. De même, il y a plutôt tendance à l'individualisation de minéraux smectitiques, conduisant au développement de sols vertiques en bas de versant, ou encore des transformations en smectites alumineuses, appelées beidellites, provenant de la transformation de chlorite et de mica en milieu confiné.

Concomittamment, la distance inter-réticulaire, qui sépare les feuillets d'argiles, change et passe de 10 \AA , dans le cas de la muscovite ou de l'illite, à 14 \AA pour les smectites, dont la montmorillonite, ou à 7 \AA , pour la kaolinite, les ions K^+ assurant la cohésion des feuillets argileux. Selon Beauchamp (2006), l'altération se manifeste par l'exfoliation des feuillets, bien visibles au microscope électronique, qui produit des particules de plus petites tailles, quelques $0,1 \text{ microns}$, et augmente la surface de contact du minéral et la capacité d'échange des cations avec les solutions du milieu. Pour Gillot *et al.* (2007), les minéraux silicatés riches en fer tels les pyroxènes et les amphiboles donnent ainsi naissance à des sols brun-rouge.

La nature pétrographique et la composition minéralogique du matériau parental rocheux semblent avoir une influence considérable sur les teneurs en composés géochimiques des sols, si l'on se réfère aux indications données par Coulais (2007), selon lesquelles le calcium, que l'on retrouve dans les sols, proviendrait principalement de l'altération des feldspaths ; le fer, de l'altération de la biotite et le magnésium, des divers micas.

Les facteurs qui influent sur cette réaction sont la nature de la roche-mère, le climat, le pH, le drainage, et le temps d'exposition. En effet, les minéraux argileux résultant de l'hydrolyse diffèrent selon :

- la nature de la roche mère, car l'altération d'une roche acide, comme le granite, produit de la kaolinite, alors que, dans le cas d'une roche basique, tel le basalte, on obtient plutôt des smectites ;

- le climat, par exemple, en climat chaud et humide, l'hydrolyse est poussée ;

- le drainage, car, pendant que la kaolinite se forme en milieu drainé, en milieu confiné, et par néoformation, on aura de la montmorillonite dans les zones climatiques, avec une saison sèche marquée, comme c'est le cas en zone Ouest du Burkina Faso.

Nous pouvons également faire notre, les observations faites par Yao-Kouamé (2008), qui, après examen de différents diagrammes de RX, a montré que :

- le quartz (SiO_2) s'observait partout dans la roche, dans la cuirasse, et au niveau du sol ;

- la kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$) s'observait dans la roche altérée, dans la cuirasse, et était très abondante dans le sol ;

- la muscovite-illite ($\text{KAl}_2 (\text{SiAl}_3) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$) existe déjà dans la roche saine, aux côtés du feldspath, avant de se retrouver dans le sol ;

- la smectite se retrouvait dans le sol, mais, également, dans la cuirasse ;

- l'albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) était déjà présente dans la roche ;

- la goethite ($\text{FeO}(\text{OH})$) reste abondante dans la cuirasse, même si elle se retrouve aussi bien dans la roche que dans le sol.

Dans les conditions de notre étude, ces mêmes observations sont également valables sauf qu'en plus de la cuirasse, il ya aussi la carapace latéritique. De même, dans la carapace, comme dans la cuirasse, en plus de la goethite, il faut inclure l'hématite, surtout dans les sols ferrugineux tropicaux (Lixisols).

Les facteurs contrôlant la nature des argiles formées sont l'intensité du lessivage, le confinement du milieu, le climat et la topographie. Par exemple, au sommet, se forment des kaolinites, de la gibbsite, car le lessivage y est très fort, et donc les hydrolyses sont efficaces. Au contraire, à la base, le lessivage est faible, et des illites et chlorites se forment. Selon Legros (2007) et Anonyme (2010b), du milieu lessivé en amont au milieu confiné vers l'aval, on distingue la kaolinite, les hydroxydes concrétionnés de fer, les hydroxydes concrétionnés de manganèse, la montmorillonite et les carbonates de calcium.

Selon l'intensité du lessivage, donc des pertes de cations, la nature des argiles peut évoluer : par exemple dans le cas du feldspath ($3\text{Si}/1\text{Al}$) par perte d'un atome de silice, on obtient, d'abord une argile de type 2/1, puis une argile de type 1/1, puis une allite dominée par l'aluminium.

Pour Yao-Kouamé (2007), la reconnaissance des différents types d'argiles nécessite quatre étapes, à savoir :

- l'architecture du réseau cristallin silicaté des argiles, de type 1/1 ou 2/1 ;
- la richesse ou la pauvreté en éléments chimiques. Par exemple la kaolinite est moins riche en silice que tous les autres types d'argiles et est généralement alumineuse ; la vermiculite, bien fourni en aluminium et en magnésium ; l'illite ne peut être enrichi qu'en aluminium et seule la montmorillonite peut être magnésienne (saponite), ferrique (nontronite), alumineuse (beidellite) et calcique (Anonyme, 2010b) ;
- la stabilité et la capacité d'absorption des éléments minéraux. En effet, bien que l'illite soit une argile de type 2/1, elle ne constitue pas une argile gonflante, du fait de son réseau fixe, alors que la vermiculite montre, comme la montmorillonite, un pouvoir de gonflement remarquable ;
- les conditions de formation ou de transformation. En effet, les conditions de drainage, la topographie et le type d'hydrolyse, déterminent la nature des minéraux argileux obtenus. Ainsi en zone soudano-sahélienne, avec un climat chaud et suffisamment humide, en saison des pluies, en cas de drainage intense, se forme la kaolinite, et en cas de drainage moyen ou en milieu confiné, se forment à la fois la kaolinite et la montmorillonite. En conditions d'acidité croissante, on assiste à une transformation de la kaolinite ou de l'illite pour donner la vermiculite, puis le chlorite qui se transforme, à son tour, en montmorillonite (Yao-Kouamé, 1982).

On peut donc dire, au regard de la nature des différentes roches mères, de leurs processus d'altération, de ceux des produits intermédiaires observés ainsi que des conditions climatiques de la zone soudano-sahélienne, que les sols issus de tels substrats présenteront des caractéristiques chimiques différentes ;

- trois types d'argiles sont dominants, à savoir : la kaolinite, l'illite et la montmorillonite;
- les taux d'argile des divers sols sont différents, non seulement en fonction de la composition chimique des roches mères, mais aussi de l'altération des minéraux primaires. En effet, les micas vont libérer les ions K et Fe, pendant que les biotites et muscovites donnent

naissance à des glauconites, se transformant en illites, puis en montmorillonites de dégradation ;

- les types d'argile 1/1 ou 2/1 obtenus résultent de l'hydrolyse, processus d'altération chimique dominant dans notre milieu, en combinaison avec les conditions de drainage et de topographie, surtout dans le cas des sols bruns (Cambisols) ;

- les teneurs en potassium des différents types de sol étant fonction des éléments ci-dessus car, la décomposition des roches libère, chaque année, une faible quantité de cet élément. Par ailleurs, plus les feldspaths et micas sont présents dans le sol, plus la teneur naturelle en potassium est élevée. En effet, les feldspaths potassiques contiennent environ 14 p.c. de potassium, et les micas, dont la muscovite, en contiennent 9,8 p.c. et la biotite, 8,7 p.c. L'altération de ces minéraux primaires, peut entraîner la libération, quoique très lente, du K de ces minéraux. Dans ce cas, le potassium disponible peut devenir du K assimilable (Beauchamp, 2006).

7.2. Effet des types de sol et des segments topographiques sur la dynamique du potassium dans les systèmes de culture coton-céréales

Le complexe d'altération type d'un sol ferrallitique implique un milieu bien drainé, acide avec un processus de monosiallisation long, aboutissant à des argiles kaolinitiques. Les sols ferrallitiques sont en général, des sols rouges très riches en oxydes de fer (Goethite ou hématite) et d'alumine (Gibbsite), caractérisés par une altération poussée des minéraux primaires, à l'exception du quartz, comportant exclusivement des argiles 1/1, type la kaolinite. Ils ont une capacité d'échange cationique faible, inférieure à $16 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ d'argile, selon Kissou *et al.*, (2000), mais, en zone soudano-sahélienne, leur CEC moyen est inférieure à $10 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$. Quelquefois, le fer libre peut précipiter en milieu engorgé, sous forme d'oxydes et participer à la formation, soit de nodules ferrugineuses, soit de carapaces ou de cuirasses.

Les très faibles valeurs de la CEC ($3,18$ à $5,44 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$) varient, aussi bien du haut en bas de versant, mais, aussi, en fonction des couches de sol, ce que confirme le BUNASOLS (2005). En effet, ni verticalement, ni latéralement, selon la position topographique, aucune tendance claire n'apparaît. Ces valeurs permettent néanmoins de dire que les argiles dominantes dans les sols ferrallitiques de Farako-bâ, sont des argiles du type 1/1, notamment de la kaolinite.

Les sols ferrallitiques (Ferralsols) de la station de Farako-bâ sont acides (pH eau variant de 5,15 à 5,61), et ce, quel que soit l'horizon pédologique considéré sur le segment topographique. Avec les valeurs calculées de ΔpH , on peut conclure que dans ce type de sol, il ya une prédominance d'argiles silicatées sur les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium. Si l'apport de fertilisants potassiques améliore la disponibilité du potassium, on constate que c'est toujours au niveau de l'horizon 0-20 cm qu'elle est plus importante, et d'autant plus élevée que K a été apporté par la fumure organique. Les teneurs observées sont à mettre en parallèle avec celle du carbone et, dans une moindre mesure, la granulométrie.

Quant à la teneur en K, elle est en moyenne de $85,3 \text{ mg kg}^{-1}$ dans l'horizon 0-20 cm, et de 80 mg kg^{-1} , entre 20 et 40 cm de profondeur. Avec une différence de 0,53 p.c., on peut affirmer que la disponibilité de K est homogène sur 0-40 cm de profondeur, sur les sols ferrallitiques. Le taux de disponibilité de K, qui est calculé par $(\text{K. disponible}/\text{K. total}) \times 100$, indique que, seulement 8 p.c. du potassium total du sol seraient disponibles pour les plantes, sur les 40 premiers centimètres de surface.

Le régime thermique (c'est-à-dire la température moyenne mensuelle de la période de croissance) ces types de sols est de 299,5 K, et ils sont soumis à une pluviométrie annuelle d'environ 1023 mm, pour une période de croissance de 160 jours. Leur réserve en eau utile va, de 23 à 54,9 mm/100 cm de sol, et la disponibilité en oxygène est normale ($W : 4$). Cependant, la disponibilité en éléments nutritifs est faible. Pour les conditions d'enracinement des plantes, la profondeur de sol utile est supérieure à 100 cm, la charge graveleuse est rare, la texture, variant de sablo-limoneuse à argileuse. Les risques d'érosion sont élevés, les risques d'inondations, très rares, et très courtes.

On peut conclure que les sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux, sont moyennement aptes à la culture du coton, du fait de leur faible disponibilité en éléments nutritifs, en l'occurrence le potassium, et des risques d'érosion.

Quant aux sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques remaniés modaux, ils ont une température moyenne mensuelle, pendant la période de croissance, de 299,5 K, avec une pluviométrie annuelle d'environ 1023 mm, pour une période de croissance de 160 jours. La réserve en eau est située entre 46,7 à 48,2 mm/100 cm de sol, la disponibilité en oxygène est normale ($W : 4$), mais la disponibilité en éléments nutritifs est faible.

Pour les conditions d'enracinement des plantes, la profondeur de sol utile est supérieure à 100 cm, avec une charge graveleuse située autour de 5-25 p.c., la texture variant de limono-sableuse à argilo-sableuse. En surface, la texture est limono-sableuse, avec une charge graveleuse de 5 p.c.

Au regard de ces éléments de diagnostic, on peut conclure que les sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques remaniés modaux, sont moyennement aptes à la culture du coton, du fait de leur faible disponibilité en éléments nutritifs, en l'occurrence le potassium, et des risques d'érosion.

Par rapport aux objets mis en comparaison, soit dans les essais, soit dans les tests, aucune différence significative n'apparaît. Les résultats obtenus révèlent un lien entre teneurs en matières organiques et niveau de K disponible, c'est-à-dire que ces deux paramètres évoluent dans le même sens, sur les sols ferrallitiques.

On sait par ailleurs (Rosolem *et al.*, 2003) que les apports de K par la fertilisation, c'est-à-dire par les engrais, améliorent la biodisponibilité du potassium pour les plantes, car ces apports permettent d'améliorer la fraction du potassium présent dans la solution en fonction du type de sol. On a également noté que cet enrichissement de la solution du sol dépend de l'horizon considéré. Ainsi, entre 0 et 20 centimètres de profondeur, le K disponible passe de 85,3 mg kg⁻¹ à 282 mg kg⁻¹, quelle que soit la dose K₂O, alors que sur 20-40 cm de profondeur, l'accroissement de la teneur en K disponible va de 8 p.c. à 15,20 p.c. En fonction des doses de KCl apportées, on s'aperçoit que :

- la forte teneur du témoin par apport à la dose de 27 kg de K₂O /ha s'explique, par une demande réduite en potassium des cotonniers de cet objet. En effet, selon Boguslawski et Lieres (1984) et Dakouo (1994), l'apparition de déficience en potassium sur cotonniers sur un sol cultivé est fonction du potentiel de production, c'est-à-dire des rendements obtenus. Cette dose de 27 kg ha⁻¹ de K₂O est insuffisante, car elle entraîne une réduction de -3 p.c. de la quantité de potassium échangeable. Les traitements T3 (57 K₂O) et T4 (87 K₂O) et T5 (72 K₂O) entraînent des améliorations, respectivement, de + 2, + 7 et + 5 p.c. sur 0-20 cm de profondeur. Par contre, sur 20-40 cm de profondeur, 27 kg de K₂O occasionnent une perte de -2 p.c., 72 K₂O, une perte de - 1 p.c., 57 K₂O, seulement une amélioration de + 3 p.c. et 87 K₂O une amélioration de + 1 p.c.

La dynamique du potassium indique :

- une disponibilité du potassium toujours plus importante, en haut de versant qu'en bas de versant ;
- une plus grande disponibilité dans l'horizon 0-20 cm, par rapport à 20-40 cm ;
- une amélioration de la disponibilité du potassium, fonction des doses d'apport de K₂O au sol.

Les sols ferrugineux tropicaux, occupent la majeure partie du paysage de la zone cotonnière. Ils semblent issus de sols ferrallitiques formés à une époque où la pluviométrie était bien plus abondante qu'aujourd'hui. Sous un climat chaud et très humide, une intense pédogenèse a donné naissance à des sols profonds et lessivés. Depuis, sous un climat plus contrasté, l'eau des nappes phréatiques remonte par capillarité, entraînant les oxydes de fer et d'alumine, qui cristallisent au contact de l'air, formant une cuirasse ferrugineuse. La profondeur de cette croûte est variable, mais elle affleure, généralement, sur les parties les plus hautes du relief (escarpements, buttes ou sommet des interfluves), où se sont formés des lithosols de très faible épaisseur. Ils ont une CEC plus élevées que celles des sols ferrallitiques, mais ils sont moins profonds (2 m) et les argiles de néoformation de type 1/1 (kaolinite) l'emportent sur les argiles 2/1 (Illite, Montmorillonite).

Leur couleur varie selon la nature de la roche mère, du gris (7,5 YR) sur granite, au brun jaunâtre (10 YR) sur grès. Ces sols se forment, essentiellement, dans les régions où règnent une très longue saison sèche, et sous un pédoclimax de savane à graminées. Ils sont riches en fer, en manganèse et en argile kaolinitique, mais pratiquement, dépourvus d'alumine libre. L'horizon A₁ est peu épais, riche en matières organiques et en minéraux. Il surmonte un horizon éluvial A₂, et un horizon Bt, enrichi en colloïdes argileux.

L'horizon éluvial, appauvri en argiles, en matières organiques et en sesquioxides, est jaunâtre à beige, avec passage progressif à un horizon Bt, illuvial, enrichi en ces mêmes éléments, de couleur ocre ou brun rougeâtre, à accumulation diffuse d'argiles (Sédogo, 1993 ; Ouattara, 2009). A la base de cet horizon, on peut trouver une zone à plinthite, horizon très enrichi en argile et en fer, susceptible de durcir au contact de l'air, comme sur la ferme SOFITEX de Boni.

Pour les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, à partir des divers éléments de diagnostic ci-avant cités, et en fonction de la profondeur de sol, on peut conclure à une faible aptitude des sols indurés superficiels (Fs) pour la culture du coton, du fait de leur profondeur n'excédant pas les 20 cm, ce qui risque de poser un problème pour le système racinaire du cotonnier qui est du type pivotant (Koulibaly *et al.*, 2007). Cette conclusion est également valable pour les sols indurés peu profonds (Fpp), qui ont une épaisseur comprise entre 20 et 40 cm. Toutefois, avec les apports réguliers de fumures organiques, on arrive à produire du coton et du maïs sur ces types de sol.

Pour les sols indurés moyennement profonds (40 à 60 cm), l'aptitude peut être qualifiée d'acceptable, dans la mesure où, dans nos conditions de culture, la majorité du système racinaire du cotonnier est concentrée dans les 50 premiers centimètres de sol. Il faut

cependant veiller à améliorer leur disponibilité en éléments nutritifs par une fertilisation organo-minérale adéquate.

Sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés, la ferrugination est accompagnée par un lessivage intense, qui débarrasse les profils supérieurs des argiles sensibles au lessivage telle que la montmorillonite, et ne laisse que celles qui y sont peu sensibles, comme la kaolinite, une argile peu chargée. En effet, les argiles sont d'autant plus sensibles au lessivage qu'elles sont plus aptes à se disperser, c'est-à-dire quelles sont plus chargées électriquement (Beauchamp, 2006 ; Legros, 2007). Le complexe d'altération d'un sol ferrugineux tropical nécessite un milieu assez bien drainé, avec un pH moyennement acide. Le processus, plus court que celui des sols ferrallitiques est la monosiallisation, qui produit des argiles de type kaolinitique avec un peu d'illite (2/1) de substitution tétraédriques, dioctaédriques, selon (Beauchamp, 2006 ; Legros, 2007).

Par ailleurs, ces sols se caractérisent par une dominance des oxydes de fer et de manganèse cristallisés, (goethite ou hématite), une altération encore incomplète des minéraux primaires. Les argiles de type 1/1 de néoformation sont dominantes, avec cependant la persistance de minéraux primaires et d'argile 2/1, de type illite ou montmorillonite. Leur capacité d'échange cationique, normalement, comprise entre 16 et 25 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ (Beauchamp, 2006 ; Lacarce, 2006) dépasse rarement 10 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ en zone soudano-sahélienne.

On peut, à partir des résultats d'interprétation des lames minces de roches et de leurs produits d'altération, dire que les argiles des sols ferrugineux tropicaux indurés sur granite de la ferme de Boni sont composées de 67 p.c. de kaolinite, 12 p.c. d'illite et 21p.c. de montmorillonite. Selon Zombré (2003), l'ensemble des types de sols rencontrés au Burkina Faso contiennent ces trois minéraux argileux. En moyenne, ces sols sont constitués de kaolinite (environ 84 p.c.), d'illite (5 p.c.) et de montmorillonite, à un taux moyen de 11 p.c. Par ailleurs, il a fait remarquer que la nature de ces argiles ne changeait pas, ni en fonction de la topographie, ni de l'occupation des sols.

Ces sols ferrugineux ont un régime thermique de 301,3 K, et sont soumis à une pluviométrie annuelle de 834 à 904 mm, pour une période de croissance de 133 à 147 jours. La réserve en eau utile est très faible, la disponibilité en oxygène est bonne ($W : 4$), la disponibilité en éléments nutritifs, assez médiocre.

Pour les conditions d'enracinement des plantes, la profondeur de sol utile est seulement de 20 cm, avec une charge graveleuse de 40 p.c., la texture étant limono-sableuse ; si les risques d'érosion sont élevés, les risques d'inondations sont par contre, rares et courtes.

Sur les sols ferrugineux peu profonds, les facteurs diagnostics indiquent une température moyenne mensuelle durant la période de croissance, de 301,3 K ; avec à une pluviométrie annuelle de 834 à 904 mm, pour une période de croissance de 133 à 147 jours. La réserve en eau utile est faible, la disponibilité en oxygène est normale ($W : 4$) et celle en éléments nutritifs moyenne. Pour les conditions d'enracinement des plantes, la profondeur de sol utile se situe entre 20 et 40 cm, avec une charge graveleuse de 20 -35 p.c., et une texture limono-sableuse à limoneuse. Les risques d'érosion sont élevés, les risques d'inondations, rares et courtes.

Dans le cas des sols moyennement profonds (Fлимп), les facteurs diagnostiques indiquent un régime thermique de 301,50 K, une pluviométrie annuelle de 834 à 904 mm, pour une période de croissance de 133 à 147 jours. La réserve en eau utile est normale (située entre 30 et 46 mm/100 cm de sol), la disponibilité en oxygène est moyenne ($W : 4$), la disponibilité en éléments nutritifs faible. Pour l'enracinement des plantes, la profondeur de sol utile se situe entre 40 et 60 cm, la charge graveleuse, située entre 5-50 p.c., la texture passe de limoneuse à limono-argileuse. Les risques d'érosion sont moyens, les risques d'inondations rares et courtes. En surface, ce sol présente une texture limono-sableuse, avec une charge graveleuse de 25 p.c.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés profonds (Flip) ont un régime thermique de 301,30 K, avec une pluviométrie annuelle de 834 à 904 mm, pour une période de croissance de 133 à 147 jours. La réserve en eau utile est normale (située entre 30 et 46 mm/100 cm de sol), la disponibilité en oxygène est moyenne ($W : 4$), la disponibilité en éléments nutritifs également faible. L'enracinement des plantes est meilleure car la profondeur de sol utile est supérieure à 60 cm, mais, la charge graveleuse, située entre 20 et 50 p.c., la texture passe de limono-sableux à limono-argileuse. Les risques d'érosion sont moyens, les risques d'inondations, rares et courtes. En surface, ce sol présente une texture limono-sableuse avec une charge graveleuse de 25 p.c.

Par rapport aux objets mis en comparaison, dans nos expérimentations, aucune différence significative n'apparaît. Les résultats obtenus révèlent un lien entre teneurs en matières organique et niveau de K disponible, c'est-à-dire que ces deux paramètres évoluent dans le même sens, sur les sols ferrugineux.

On a noté, dans les essais et tests, que l'enrichissement de la solution du sol en K dépend de l'horizon considéré. Ainsi, entre 0 et 20 centimètres de profondeur, on a remarqué que le K disponible est de 52 mg kg⁻¹, toutes doses de K₂O confondues, alors que sur 20-40

cm de profondeur, elle est de 30 mg kg^{-1} , soit un différentiel de seulement 22 mg kg^{-1} . En fonction des doses de KCl apportées, on ne note aucune différence entre les doses de K_2O sur 40 cm de profondeur, hormis un gain d'un point avec l'apport du potassium par la fumure organique sur 0-20 cm. Est-ce à dire qu'il n'existe pas de réponse au potassium sur les sols ferrugineux tropicaux ? Dakouo (1994) a en effet noté que l'apparition de déficiences en potassium en zone cotonnière au Burkina Faso a lieu sur sol ferrallique en 4 ans alors que sur sols ferrugineux tropicaux il faut 7 années.

Les sols ferrugineux tropicaux de la ferme de Boni sont moyennement à faiblement acides (pH eau variant de 4,55 à 6,10), et ce, quel que soit l'horizon pédologique considéré sur le segment topographique. Des valeurs calculées de ΔpH , on peut conclure que, dans ce type de sol, il ya une prédominance des argiles silicatées sur les oxy-hydroxydes de fer et de manganèse.

Avec une différence de 3,66 p.c., on peut affirmer que K est plus présent sur 0-20 cm de profondeur que sur 20 - 40 cm sur les sols ferrugineux. Ainsi, 8,83 p.c. du potassium total du sol seraient disponibles pour les plantes sur les 40 premiers centimètres de profondeur.

Les valeurs de la CEC varient, aussi bien du haut en bas de versant, mais aussi en fonction des couches de sol. En effet, ni verticalement, ni latéralement, selon la position topographique, aucune évolution sensible n'est perceptible. Ces valeurs permettent de dire que les argiles dominantes dans les sols ferrugineux tropicaux gravillonnaire de Boni sont des argiles du type 1/1, notamment la kaolinite. Cependant, sur d'autres types de sols ferrugineux, les valeurs de la CEC autorisent à penser à l'existence d'une fraction d'argiles de type 2/1, comme l'ont indiqué Karpoff *et al.* (1973) et Zombré (2003).

La dynamique du potassium indique et la même sur sols ferrugineux tropicaux que sur sols ferrallitiques car on observe des teneurs en K plus élevées en haut de versant qu'en bas de versant, une meilleure disponibilité dans l'horizon 0-20 cm, par rapport à 20-40 cm. Là, également, l'amélioration de la disponibilité du potassium est fonction des doses de K_2O apportées au sol quoique étant très faible.

Les sols bruns sont caractéristiques des climats subtropicaux et tropicaux à saison sèche marquée. Le processus de formation de ces sols est lié aux conditions physico-chimiques de la station, notamment d'hydromorphie (baisse du pH dans un milieu saturé d'eau réductrice), liée à la topographie et à la vertisolisation, due aux conditions de climat

(tropical humide à saison sèche) ainsi qu'aux conditions stationnelles (roche éruptive libérant beaucoup d'ions Ca et Mg), qui favorisent la néoformation massive de montmorillonite.

Leur texture est donc dominée par des argiles 2/1 d'héritage et de néoformation, dues au processus de bisiallisation, entraînant la formation de montmorillonite à substitution octaédriques dioctaédriques. Cependant, on y rencontre des argiles héritées, comme l'illite, ainsi que la kaolinite.

Le profil est du type ABwC, avec un horizon A constitué d'un mull moyennement acide, peu épais, avec une structure grumeleuse. L'horizon supérieur A1 est organique et minéral, plus ou moins lessivé. L'horizon B est surtout coloré en brun par des oxydes de fer individualisés, et on note la présence d'un horizon Bt. L'horizon Bw est coloré en brun par les oxydes de fer, avec une structure polyédrique, bien développée sur toute la face du profil. La présence d'un horizon Cca, à petites concrétions, est fréquente, et la matière organique est constamment présente sur tout le profil (2 à 3 p.c.), avec une CEC, relativement, élevée, saturée en Ca et en Mg.

Le complexe est saturé en bases, ($V > 80$ p.c.), et le pH voisin de 7. Le taux d'argiles atteint 350 à 550 g kg⁻¹ de sol. Ces sols présentent, généralement, des pentes allant de 2 à 7, 40 p.c., avec une moyenne de 3,95 p.c. dans les zones cotonnières.

La couleur brune des sols observés peut être attribuée à la dynamique de l'activité biologique (Kissou *et al.*, 2000 ; Yao, 2006) en raison du fer issu des minéraux silicatés, altérés par hydrolyse acide (acidolyse), qui se retrouve sous forme d'hydroxyde de fer, dont une des propriétés est de se fixer aux colloïdes électro-négatifs des sols, c'est-à-dire l'humus et les argiles. Globalement, c'est du jeu de l'alternance d'une saison humide et d'une saison sèche marquée que dépend le résultat :

- la saison humide garantit les phénomènes d'hydrolyse et la libération du fer ;
- la saison sèche minéralise les matières organiques et fixe le fer.

De la longueur et de la température de la saison, de la végétation, des hydrolyses, de la libération du fer, de la vigueur de la saison sèche, dépendront la destruction de la matière organique et la coloration brun rouge des sols. Yao-Kouamé (2007), comparant les sols bruns de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso, indique :

- le complexe adsorbant des sols bruns de Côte d'Ivoire est un peu plus actif que celui des mêmes types de sols au Burkina Faso, même si ces derniers sont plus pourvus en calcium ;

- la couleur des sols bruns du Burkina Faso est uniquement dans les tons 10YR; en Côte d'Ivoire, notamment à Toumodi, la couleur du sol varie de 10 YR, à 2,5 YR;

- la teneur en carbone organique, est plus forte à Toumodi que dans les sols bruns du Burkina Faso;

- le rapport C/N est relativement plus élevé dans les sols du Burkina, que dans le sol de Toumodi;

- les teneurs en éléments chimiques des sols bruns du Burkina Faso sont plus faibles que celles de Côte d'Ivoire, notamment ceux de Kanhankro.

Ces éléments de diagnostic permettent de conclure que les sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques, hormis les risques d'inondation ou d'engorgement, sont aptes pour la culture du cotonnier.

Les enquêtes sur les exploitations cotonnières révèlent que le taux de disponibilité du potassium dans les sols bruns est, en moyenne, de 100 mg kg^{-1} , sur 0-20 cm de profondeur, et de seulement $66,6 \text{ mg kg}^{-1}$, entre 20 et 40 cm de profondeur, soit une différence de $33,4 \text{ mg kg}^{-1}$. En surface, cette disponibilité est très variable, passant de 130 mg kg^{-1} en haut de versant, à 70 mg kg^{-1} en mi versant, pour remonter à 100 mg kg^{-1} en bas de versant. Sur 20-40 cm de profondeur, on passe de 100 mg kg^{-1} en haut de pente à 50 mg kg^{-1} après. Les niveaux de potassium sont proportionnels aux taux de matière organique, y compris sur sols bruns (Cambisols). Ces sols contiennent, en outre, d'importantes quantités de magnésium, dues probablement à la nature des minéraux chloriteux présents (Blota et Liguori Lmbernon, 2000).

Tous traitements confondus, on passe de 44 mg kg^{-1} en surface à 34 mg kg^{-1} , entre 20 et 40 cm, soit une différence de 10 mg kg^{-1} . Cependant, selon les doses de K_2O appliquées, nous avons :

- une différence nulle, pour un apport inférieur ou égal à $27 \text{ K}_2\text{O} / \text{ha}$;
- une différence négative (-1), pour toutes les autres doses, sur 0-20 cm de profondeur.

Une partie du potassium serait peut-être fixée du fait, d'une part, de la teneur élevée en argiles des sols bruns (Cambisols), et, d'autre part, de la prépondérance des argiles de type montmorillonite.

Sur 20-40 cm de profondeur, les doses de 27 et 57 kg ha^{-1} de K_2O enrichissent la solution du sol en K, compte tenu de la demande (+1 à +2), la dose de $87 \text{ K}_2\text{O}$ est en équilibre, et à 72 kg ha^{-1} de K_2O , elle est à -1.

L'on note que les sols bruns eutrophes tropicaux de la ferme de Mwauvoun sont très faiblement acides à basiques (pH eau variant de 6,62 à 8,18), et ce, quel que soit l'horizon pédologique considéré sur la toposéquence. Avec les valeurs calculées de ΔpH , on peut

conclure que dans ce type de sol, il ya une prédominance des argiles silicatées sur les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium.

Les valeurs de la CEC varient, aussi bien du haut en bas de versant, mais, aussi, en fonction des couches de sol. En effet, ni verticalement, ni latéralement, selon la position topographique, aucune évolution sensible n'est perceptible. Ces valeurs (21,42 à 24,75) permettent cependant de dire que les argiles dominantes dans les sols bruns eutrophes tropicaux de Mwauvoun sont des argiles du type 2/1, notamment la montmorillonite-Ca, dont les importantes fentes de retrait ne sont qu'une illustration (BUNASOLS, 2006).

En ce qui concerne les facteurs diagnostics, ces types de sols ont une température moyenne mensuelle durant la période de croissance de 301,3 K, et sont soumis à une pluviométrie annuelle comprise entre 834 et 904 mm, pour une période de croissance de 133 à 150 jours. La réserve en eau utile est de 92,8 mm/100 cm de sol, la disponibilité en oxygène est imparfaite (W: 2), mais la disponibilité en éléments nutritifs (fertilité) est moyenne à grande. Pour les conditions d'enracinement des plantes, la profondeur de sol utile est supérieure à 100 cm, avec une charge graveleuse située entre 2-5 p.c., la texture étant argileuse. Les risques d'érosion sont faibles, les risques d'inondations, assez régulières, mais courtes.

La dynamique du potassium est comparable à celle des sols ferrugineux. Cependant, les apports de potassium ne se traduisent pas systématiquement par des améliorations des teneurs de K dans les sols bruns. Leur texture, beaucoup plus argileuse, semble être la première cause due probablement du phénomène de fixation.

Sur les trois types de sol, on a noté la présence d'horizon latéritique sur tous les sols ferrugineux tropicaux développés sur granite, quelque fois sur grès. Ces mêmes horizons latéritiques existent sur sols ferrallitiques, mais avec une fréquence plus faible que sur sols ferrugineux. Par contre, sur sols bruns, aucun horizon de latérite n'a été rencontré. Dans certains cas, ces formations latéritiques sont confondues aux sols latéritiques, dont le développement peut être expliqué par diverses théories telles :

- la théorie des résidus, selon laquelle les latérites se développeraient sur une roche-mère saine, après une très longue période d'altération et d'exposition à un climat aride. Un tel développement nécessiterait une très grande quantité de roches, pour produire assez de fer résiduel, sous forme d'oxydes, comme l'hématite ou la goethite. Cette théorie est la plus couramment reconnue ;

- la théorie des horizons de sol, qui indique que c'est la précipitation directe au-dessus de la zone de fluctuation de la nappe d'eau, qui occasionne la formation de concrétions ferrugineuses. Cependant, cette théorie ne tient pas dans le cas des latérites très épaisses ;

- la théorie du dépôt de fer et d'aluminium, à partir d'ions en solution. Ceci serait valable pour les latérites bréchiques, ou constituées d'agrégats pisolithiques, mais n'expliquerait pas le cas des latérites massives ;

- la théorie des nappes influencées par les conditions de surface, où les latérites se formeraient par altération de la roche-mère, du fait d'eaux acides issues de marécages, ou enrichies en acides organiques, par l'action des végétaux.

Le résultat final serait peut être une conjonction de toute ces théories, chacune intervenant de façon plus ou moins importante.

Mais, selon Yao-Kouamé (2007), les observations réalisées au microscope optique, en Côte d'Ivoire, indiquent la présence des mêmes minéraux primaires aussi bien dans les roches que dans la cuirasse à savoir : la calcite, le chlorite, des plagioclases, de la séricite, du quartz, de la biotite, des feldspaths, des amphiboles et d'anciens pyroxènes, avec des oxydes sous forme de minéraux opaques. Il est également probable que l'on trouve les minéraux secondaires néoformés tels que : goethite ou hématite, gibbsite, anatase, manganite, allophane ou kaolinite dans notre échantillon de latérite.

Il existe deux types d'horizons latéritiques : les carapaces et les cuirasses. Il s'agit, en réalité des indurations de sesquioxides de fer, qui cristallisent sous l'effet des températures élevées. On parle de carapaces quand ces indurations peuvent être brisées à la pioche, et de cuirasses quand les dalles ne peuvent plus être brisées par des outils maniés à la seule force humaine. Parmi les sesquioxides de fer (Fe_2O_3), la goëthite, de couleur ocre, se forme dans les régions plutôt régulièrement humides, alors que l'hématite, de couleur rouge, se forme plutôt dans les régions soumises à une longue saison sèche. En effet, selon Barnerias *et al.* (2004), en zone tropicale, la coloration des sols est liée à la présence d'hématite rouge (oxyde de fer), de goëthite brun jaune (hydroxyde de fer), et de matière organique.

Dans le cas des cuirasses, le sommet du profil est très enrichi en fer (89,76 p.c. de Fe_2O_3), et très induré, alors que dans la carapace, ce taux est de 76,30 p.c. Leurs taux d'humidité respectifs sont de 2,15 et 2,46 p.c. La transition entre carapace et cuirasse se fait par augmentation du nombre et de la taille des nodules, de l'incrustation du fer sur les parois, ainsi que la diminution des volumes vides, et des plages argileuses à hématite/goëthite

(Yoboué, 2006.). La couleur du fond matriciel vire au rouge de la concentration en fer. La dégradation des nodules donne :

- des granules, par dissolution sélective de l'hématite ;
- des pisolithes, c'est-à-dire dégradation par hydratation ;
- des gravillons résultant de la séparation du fond matriciel.

On distingue deux types de cuirasses au Burkina Faso :

- les cuirasses de nappe, dans les dépressions ou plinthites. Elles sont fréquentes sur certains types de sols hydromorphes;
- les cuirasses d'érosion, dues aux activités anthropiques.

La carapace est la partie du profil d'altération située juste en dessous de la cuirasse, qui constitue, de fait, une zone de prélude au cuirassement. C'est une formation tachetée. Les zones claires sont plus riches en quartz, et les taches de rubéfaction sont dues à la kaolinite. Le fond matriciel peut être jaune, rose, gris ou rouge. Au fur et à mesure que l'on monte dans le profil d'altération, les taches se nodulisent et forment des concrétions ferrugineuses. Ce sont, essentiellement, les carapaces qui sont utilisés pour la construction des habitats, dans les zones où cette roche existe : carrières de Kari, de Toussiana etc. Cependant, les briques issues de carapaces des sols ferrallitiques seraient moins dures, c'est-à-dire plus friables que celles provenant de carapaces des sols ferrugineux.

On peut cependant rencontrer au Burkina Faso, certaines étendues vastes de cuirasses. C'est le cas de la plaine latéritique de Boni, où l'on observe des affleurements de cuirasses latéritiques au milieu de sols ferrugineux superficiels, ayant une profondeur utile inférieure à 20 cm

On peut donc noter, que la topographie a un impact très important sur le type de sol, ses caractéristiques physico-chimiques, sur les mouvements de l'eau, vectrice des éléments nutritifs. En effet, pour les trois types de sol étudiés, on a noté que :

- sur sols ferrallitiques en zone soudano-sahélienne, l'on passe des sols ferrallitiques faiblement désaturés modaux en haut de versant, aux sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques remaniés modaux, en bas de versant, par l'apparition de concrétions ferrugineuses dans le profil, et accumulation de sable en surface ;
- sur sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, l'effet de la topographie se traduit par un développement en profondeur de l'horizon latéritique (cuirasse et carapace), parallèle à la ligne de plus grande pente, c'est-à-dire que vers l'amont, on observe l'affleurement d'une

cuirasse, alors qu'en aval, la carapace se situe à une profondeur d'autant plus grande que l'on s'éloigne du sommet ;

- sur sols bruns, selon la topographie des dépressions, l'évolution se traduit par le passage des sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes, aux pieds des collines rocheuses, aux sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes, vertiques vers la ligne de collecte des eaux. Tous ces changements dans le comportement hydrique des sols auront une conséquence sur la biodisponibilité des éléments nutritifs. En outre, par rapport au potassium, les sols ferrugineux tropicaux s'avèrent être les plus riches en cet élément.

C'est le lieu d'observer que, si les sols ferrallitiques se développent uniquement sur du grès, les sols ferrugineux tropicaux, par contre, peuvent se développer sur tous les types de roches-mères, avec, cependant, des caractéristiques du matériau d'origine. Par exemple, lorsqu'un sol ferrugineux se développe sur du grès, sa texture est dominée par du sable fin, alors que lorsque la roche-mère est du granite, la texture est dominée par du sable grossier. Les sols bruns, quant à eux, se développent soit sur roches basiques, soit sur des produits d'altération de collines birimiennes, ou sur des alluvions des deux.

Le pH moyennement acide des sols étudiés favorise, en général, la minéralisation rapide de la matière organique, par stimulation de l'activité biologique (Elberling *et al.*, 2003 ; Duguet, 2005). La culture continue va entraîner, rapidement, une acidification des sols ; la décomposition de la matière organique du sol, par l'effet de l'activité microbienne, et la respiration des racines étant les principales causes contribuant à l'acidité du sol.

Or, lorsque le pH est trop bas (milieu acide), le rendement de la plupart des cultures diminue, l'activité biologique faiblit, et l'assimilation des éléments nutritifs baisse, pouvant entraîner des désordres physiologiques chez la plupart des plantes.

Les faibles teneurs en matière organique pourront, à terme, avoir des conséquences néfastes sur les propriétés physiques du sol. En effet, ceux-ci vont se dégrader considérablement, à cause de l'existence de fortes corrélations positives entre la teneur en matière organique du sol et le taux d'agrégats stables (Levillio *et al.*, 2001; Anonyme, 2003; Wesemael, 2006 ; Ouattara, 2009). Or, il est établi que de la stabilité structurale dépendent la porosité, le ruissellement et l'érodibilité du sol (Duchaufour, 1997; Ouattara, 2009).

Pour Dakouo (1990, 1994), si le rythme de libération du potassium est le même, sur sols ferrallitiques que sur sols ferrugineux, c'est la plus grande richesse de ces derniers en K qui fait que l'on ne note pas de carence en potassium sur sol ferrugineux, avant 7 années, là où il faut 4 ans sur sols ferrallitiques. Si les apports de K₂O ont amélioré la disponibilité du K

sur sols ferrallitiques, il n'en a rien été sur sols ferrugineux, ni sur sols bruns. Sur sols ferrugineux, l'explication pourrait être une contribution des minéraux argileux, de type illite, par libération lente, à la nutrition des plantes. Dans le cas des sols bruns, on pourrait aussi penser que la montmorillonite, par rétrogradation, contribue à l'alimentation en K de la solution du sol (Yao, 2006).

Pour la disponibilité de K, en fonction des positions topographiques, l'explication pourrait se situer à deux niveaux :

- la plus grande présence de la kaolinite en haut de versant, pour tous les types de sol ;
- le lessivage-lixiviation du potassium, en bas de versant, car, comme on l'a noté, et selon l'importance des pentes, le taux d'humidité, en cas de précipitation, peut être multiplié par deux, en bas de versant, par rapport aux sommets.

L'altération de certains minéraux primaires, comme les feldspaths ou les micas, peut entraîner la libération, quoique très lente, du K de ces minéraux. Dans ce cas, le potassium disponible peut devenir du K assimilable (Beauchamp, 2006). En effet, les micas libèrent des ions K et Fe, pendant que les biotites et muscovites donnent naissance à des glauconites, se transformant en illites, puis en montmorillonites de dégradation. On en déduit que les propriétés physico-chimiques des sols sont à attribuer à la richesse même de la roche parentale, dont l'altération leur a donné naissance (Yao, 2006).

7.3. Effet du type de sol sur l'architecture et l'efficience du système racinaire du cotonnier vis-à-vis de l'absorption des éléments nutritifs

Une bonne connaissance des principales caractéristiques de l'enracinement des plantes cultivées dans leurs conditions naturelles est indispensable dans la compréhension de l'absorption des éléments minéraux.

Les racines latérales constituent, avec la racine pivotante, la charpente du système racinaire du cotonnier. Elles désignent celles issues directement de la racine pivotante. De toutes nos observations, il ressort que la profondeur d'enracinement du cotonnier est assez faible, les racines se limitant, essentiellement, aux 30 premiers cm du sol. Après 80 jas, on note une faible augmentation de la profondeur des pivots, ce qui semble confirmer que l'enracinement atteint déjà un développement, quasi optimal, à la phase de floraison maximale. Ce faible enracinement du cotonnier s'explique d'une part, par le fait que l'horizon de surface, généralement, plus humide, en saison des pluies, constitue une zone, relativement, riche en nutriments, et, d'autre part, parce que la plante n'éprouve pas le besoin de développer un

système racinaire plus puissant au-delà de l'horizon des éléments nutritifs, (Rosolem *et al.*, 2003 ; Koulibaly *et al.*, 2007)

En effet, l'examen des résultats sur la répartition des racines montre que les trois horizons les plus colonisés par les racines sont : 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm, avec, en moyenne, 45 p.c., 32 p.c., et 23 p.c. des racines. Autrement dit, plus l'on s'éloigne de la surface du sol, plus le nombre de racines diminue. En outre, sur l'horizon 20-30 cm, les racines sont rares en début de végétation (à 40 jas), ce qui indique que la colonisation de cet horizon ne s'est faite que plus tard (Ilboudo, 1997 ; Son *et al.*, 2004 ; Koulibaly *et al.*, 2007). Au fur et à mesure que le cotonnier avance en âge, la charpente racinaire se met en place et gagne en volume, avec augmentation du nombre de racines, de la profondeur de sol et de l'extension latérale. En effet, on a noté que l'augmentation du nombre de racines, selon l'âge de la plante, peut s'écrire selon l'équation $Y=2,45x + 10,57$ (6), avec un coefficient de détermination de 0,95, et celui de l'augmentation de la profondeur du pivot, avec l'âge de la plante selon la formule $Y = 2,73x + 14,14$ (7) avec un r^2 de 0,96.

L'extension latérale, bien que variable est également assez faible mais reste intimement et inversement liée à la profondeur de la racine principale, selon la formule $Y = -6,51x + 41,27$ (9) avec $r^2 = 0,94$.

Dans tous les cas, ceci n'est que le reflet d'une faible croissance racinaire, induisant une colonisation superficielle du sol. Sur les sols ferrallitiques de Farako-bâ, avec des parcelles en culture depuis plus d'une vingtaine d'années, l'âge des parcelles serait-elle la cause de cette contre performance, comme l'a souligné Berger (1969) à Madagascar ? En effet, dans une étude portant sur l'importance du système racinaire du cotonnier, en fonction de l'ancienneté de mise en culture des sols, celui-ci a indiqué que la profondeur d'enracinement, la quantité des racines et le poids des racines, diminuaient avec l'âge des parcelles. Ainsi, la profondeur d'enracinement du cotonnier sur terre de barre, passerait de 1,20 m, pendant les trois premières années de mise en culture, à 30cm, à la 15^e année de culture. Des observations similaires ont été faites par Koulibaly (1991), sur des parcelles ayant au moins vingt ans de culture, sur sol ferrallitique (Ferralsols), à Farako-bâ, et Ruiz (1990). Par ailleurs, une déficience en K peut être à l'origine d'un système racinaire très peu développé (Zia-Ul-Hassan et Arshad, 2008).

D'une façon globale, le diagnostic racinaire montre une faible profondeur d'enracinement des cotonniers, avec un pivot dont la profondeur est partout inférieure à 50 cm, quels que soient le type de sol, le niveau topographique et le stade phénologique des cotonniers. Cependant, la position topographique est très importante, car elle influence beaucoup les taux d'humidité des sols. Les sols ferrallitiques semblent ceux sur lesquels le

système racinaire est le plus développé, que ce soit pour la profondeur de la racine pivotante, le nombre de racines latérales ou la longueur des racines. La principale raison semble liée aux caractéristiques physiques de ce type de sol, avec une texture plus légère, une densité apparente plus faible, et, probablement, un horizon nutritif situé plus en profondeur (Safya, 1991 ; Ouattara, 2009).

Une légère amélioration du nombre de racines latérales et de leur extension est perceptible lorsque les cotonniers présentent une bonne croissance végétative. En effet, l'examen du poids sec des racines montre que les racines sont d'autant plus développées que la croissance végétative des cotonniers est meilleure, mettant ainsi en évidence le principe allométrique, bien connu en biologie (Jaillard, 1990 ; Gérardaux, 2009). C'est cela qui permet, sur sols ferrallitiques au Burkina Faso, d'écrire le lien entre la profondeur de la racine pivotante et la hauteur des cotonniers selon la formule $Y = 16,88x + 15,78$ (8) avec un r^2 de 0,95.

A la récolte, le poids sec des racines de cotonniers représente environ 10 p.c. de la matière sèche totale par plant. Le poids racinaire du cotonnier, qui représente environ 50-45 p.c. de matière sèche à la levée, n'est plus que de 10 p.c. à la récolte (Gérardaux, 2009). Reddy *et al.* (2000), avaient déjà abouti à la même conclusion, quand ils affirment qu'aux Etats-Unis, le rapport poids sec des racines/poids sec de la partie aérienne est d'environ 45 p.c. à la levée (10 jours), 40 p.c. à l'apparition du 1^{er} bouton floral (25 jours), 30 p.c. à l'ouverture de la 1^{ère} fleur (97 jours), et 5 p.c. à 110 jours.

On peut donc dire que l'enracinement du cotonnier semble être acceptable sur sol léger, comme les sols ferrallitiques (Ferralsols), car leur densité apparente est faible (1,4 à 1,5), les racines des plantes ne rencontrent aucun obstacle d'ordre physique. Leur faible niveau de fertilité oblige les racines à un développement accru, pour la recherche d'éléments nutritifs. Par contre, sur sol ferrugineux tropical, on peut qualifier l'enracinement du cotonnier de médiocre, pour les raisons suivantes : densité apparente élevée (1,7 à 1,8), présence d'un taux élevé de gravillons, voire même présence d'une carapace. Mais ces sols ont une fertilité assez bonne. Or, selon Koulibaly *et al.* (2007), la présence d'un stock d'éléments nutritifs à une faible profondeur, induit un enracinement superficiel chez le cotonnier. Sur sols bruns, l'enracinement observé est intermédiaire entre celui des sols ferrallitiques, et celui des sols ferrugineux surtout à cause d'une bonne fertilité.

On peut en déduire que la charpente racinaire du cotonnier, au Burkina Faso, est assimilable à un cône inversé de 40 cm de rayon (r) et de 60 cm de profondeur (h), dont le volume est déterminé selon la formule $V = 1/3\pi r^2 \times h$. (19) Dans les conditions actuelles de

production, le système racinaire d'un cotonnier normal explore, dans le meilleur des cas, un volume de sol de $100\,480\text{ cm}^3$ de sol, même si dans quelques cas extrêmement rares on a pu évaluer ce volume à $1\,017\,360\text{ cm}^3$ avec $r = 90\text{ cm}$ et $h = 120\text{ cm}$. Avec des densités apparentes respectives, de 1,45 pour les sols ferrallitiques, 1,78 pour les sols ferrugineux, et 1,56 pour les sols bruns, cela équivaldrait à 145,50 ; 178,70 et 156,60 kg de terre, pour chacun des types de sol. Le meilleur enracinement du cotonnier sur les sols ferrallitiques, par rapport aux deux autres types de sol peut être attribué en grande partie à leurs propriétés physico-chimiques respectives. En effet, les sols ferrallitiques ont une texture sableuse, sont bien aérés, faciles à travailler, pauvres en eau et en éléments nutritifs, avec une faible capacité d'échange cationique, toutes choses qui amènent le cotonnier à développer un système racinaire conséquent, pour assurer une alimentation hydrominérale adéquate.

Cependant, il conviendrait de nuancer cela, car nous pensons que la profondeur d'enracinement du cotonnier, ainsi que l'extension latérale, sont fonction de l'horizon pédologique, où se concentre le maximum de nutriments (Safya, 1991). Autrement dit, un cotonnier, avec un système racinaire de 30 cm, peut avoir la même production qu'un autre dont les racines vont jusqu'à 60 cm de profondeur. En effet, le développement du système racinaire du cotonnier est intimement lié à la nature du sol, car, selon Ouattara (2009), le volume de sol exploré dépend de certaines caractéristiques physico-chimiques, telles que la densité, l'aération du sol, donc la porosité et les teneurs en éléments nutritifs. Par ailleurs, Gérardeaux (2009), a fait remarquer qu'une carence en potassium sur cotonnier se traduisait par une réduction de la biomasse racinaire, et par une inhibition de la croissance des racines latérales en nombre et en taille.

Les sols ferrugineux tropicaux ont une texture à peu près équilibrée, proche de l'optimum, dans la mesure où ils présentent la plupart des qualités du type précédent, sans en avoir les défauts. Un exemple de granulométrie favorable à la culture pourrait être 20 à 25 p.c. d'argile, 30 à 35 p.c. de limons et 40 à 50 p.c. de sables. Toutefois, la présence d'un taux élevé de gravillons en surface (15-40 p.c.) limite le développement des racines (Koulibaly *et al.*, 2007).

Les sols bruns eutrophes tropicaux ont une texture argileuse. Ils sont chimiquement riches, mais ont de piètres propriétés physiques, car imperméables et mal aérés ce qui devient un obstacle à la pénétration des racines. Le travail du sol est aussi rendu difficile, en raison de la forte plasticité à l'état humide, ou de la compacité, à l'état sec.

Comme on le constate, les résultats obtenus sur les différents paramètres varient, non seulement en fonction du type de sol, mais, également, selon la position topographique, sur

les exploitations. En général, pour les pentes inférieures ou égales à 3 p.c., les différences restent faibles. Mais, au-delà de 3, voire 5 p.c., ces différences deviennent très nettes, sur sols ferrallitiques, comme sur sols ferrugineux tropicaux. Sur sols bruns eutrophes, les cotonniers situés en bas de versant produisent souvent moins que ceux du haut de versant surtout à cause de l'accumulation de l'eau en bas de versant, et en cas de pluviométrie abondante (Gigou, 1984 ; Dakouo, 1994 ; Barnerias *et al.*, 2004 ; BUNASOLS, 2006), causes probables de phénomène d'engorgement, observé en août et septembre de chaque campagne.

En ce qui concerne les composantes du rendement, les études effectuées en milieu contrôlé, c'est-à-dire dans les conditions optimales de culture, permettent de dire qu'un cotonnier normal présente les mêmes paramètres phytotechniques, sur tous les types de sol. En effet, si les itinéraires techniques de production sont bien appliqués, l'influence des sols peut être réduite. C'est peut être ce qui explique le faible impact des types de sol sur les paramètres que nous avons observés. Il en est de même pour la position topographique des parcelles, car, en milieu contrôlé (station ou ferme), les techniques d'aménagement et de conservation des eaux et du sol, amenuisent l'hétérogénéité naturelle des parcelles, ce qui tend à les rendre homogènes.

Dans les conditions de production des trois dernières campagnes au Burkina Faso, on peut schématiquement, dire que le cotonnier est un arbuste de 1,20 m de hauteur, caractérisé par :

- une tige principale, 2 branches végétatives,
- 10 branches fructifères productives, avec 3 à 4 organes fructifères chacune. En fonction des doses de K_2O , seuls les sols ferrallitiques offrent des réponses significatives. Or, nous savons que la réponse du cotonnier à K dépend des types de sol et de l'ancienneté de mise en culture (Berger *et al.*, 1987 ; Dakouo, 1994) ;
- 16 capsules de 3,5 g, soit 56 g de coton graine par plant ;
- 4 à 5 loges par capsule, et chaque loge contient 6 à 8 graines ;
- une racine pivotante, complétée par des racines secondaires, tertiaires et des poils absorbants ;
- un potentiel de production de 2 à 3 tonnes en culture pluviale, et de 3 à 5 tonnes en culture irriguée. Du fait de la faiblesse des rendements, la moyenne nationale est estimée à 1 t ha^{-1} . Il faut noter que ce rendement est fonction du nombre de pieds/ha, du nombre de capsules/pied et du poids moyen capsulaire. Ainsi, pour un poids capsulaire moyen de 3,5 g, avec une densité de 46875 plants et 10 capsules par pied, on devrait obtenir 1,65 t ha^{-1} (Sanou,

2011). Evidemment, chacun de ces facteurs variera énormément selon les soins apportés aux parcelles de production.

Compte tenu de l'hétérogénéité du milieu paysan, des incidences positives ont été notées sur tous les paramètres de production, surtout si l'on considère le facteur position topographique, avec, comme explication le niveau de fertilité et le taux d'humidité des parcelles situées en bas de versant. Une fois encore, la position topographique joue un rôle déterminant, car, exerçant une grande influence sur les réserves hydriques des sols. C'est pourquoi le nombre de capsules est fortement lié à la position topographique, elle-même, importante pour la fertilité. Ainsi, en milieu paysan, les résultats obtenus ont permis de retenir trois niveaux de fertilité, corrélés à la charge en capsules des cotonniers, avec des pentes comprises entre 5 et 10 p.c. :

- pour une parcelle de fertilité médiocre, le nombre de capsules est évalué à 5 en haut de versant, 7 à mi versant, et 12 en bas de versant ;

- pour une parcelle de fertilité moyenne, on aura 12 capsules en haut de versant, 15 à mi versant et 18 capsules en bas de versant ;

- pour une parcelle de bonne fertilité, on aura 18 capsules en haut de versant, 20 capsules en mi-versant et 24 capsules en bas de versant.

Toutefois, ce nombre de capsules dépend des types de sol, car, souvent en année de bonne pluviométrie, des phénomènes d'engorgement sur les sols bruns eutrophes peuvent provoquer l'effet contraire.

Dans l'évaluation de l'impact de la modification du système racinaire sur le fonctionnement de la plante, après les coupes des racines, on a noté que, d'une façon générale, les feuilles subissaient un flétrissement, plus ou moins marqué, selon les traitements et les conditions climatiques (humidité, température) du moment. La réaction de la plante à l'excision des racines dépend à la fois des facteurs physiologiques et climatiques.

Lorsque la coupe concerne la racine principale, les plantes ont des difficultés à se maintenir debout ce qui paraît normal, puisque la racine pivotante sert à fixer, non seulement, le végétal au sol, mais, aussi, permet à la plante de maintenir une position verticale par rapport au sol (Chopart, 1980, 2004). A 50 et 80 jas, ce flétrissement des feuilles est très prononcé par temps chaud. Il s'en suit une nécrose, ainsi qu'une chute des feuilles et des boutons floraux. Quoique la mortalité des plants soit variable selon les objets, c'est la suppression du pivot qui provoque le plus grand nombre de plants morts, allant de 18 à 38 p.c. Cependant, l'extrémité

des racines pivotantes coupées se cicatrise assez rapidement, laissant apparaître des ébauches de radicelles, à peine plus grosses que les poils absorbants.

Si on coupe les racines pivotantes pendant les 60 premiers jours du cycle, il y a une forte émission de nouvelles racines compensatrices. En plus de sa cicatrisation, l'extrémité des pivots se recouvre d'une ébauche de radicelles blanches, assez fines. L'émission de nouvelles radicelles diminue considérablement, au fur et à mesure, que l'on s'achemine vers la fin du cycle. Déjà, à partir du 70^e jour, les pivots se cicatrisent tout simplement. A la floraison maximale, à 80 jas, outre l'intensité des activités physiologiques, la rareté des pluies crée des conditions impropres à l'émission des racines. Dans des conditions de bonnes pluviométries, la suppression partielle de la racine pivotante affecte peu la production, si elle est réalisée au stade plantule. Cela semble confirmer son rôle dans l'alimentation hydrique, qui lui est reconnu, surtout en zone sèche.

Dans le cas des racines latérales, les désordres physiologiques sont peu accentués, mais des nécroses partielles de feuilles, et une chute, relativement, importante de boutons floraux sont perceptibles. La coupe des racines latérales provoque moins de dégâts, mais le risque de mortalité des plants augmente, avec l'âge, tout en restant étroitement liée aux conditions climatiques du moment. La suppression totale ou partielle des racines latérales (T4 et T5) semble moins préjudiciable aux rendements, par rapport aux coupes sur le pivot à 5 cm (T2) et 10 cm (T3). On pense que le long du pivot, l'émergence de nouvelles radicelles compensatrices jouent le rôle initial des racines latérales supprimées. Avec la suppression des racines latérales au niveau de T4 et T5, les rendements sont plus faibles que ceux résultant de la coupe de la racine pivotante, pour T2 et T3. Aussi les rendements sont-ils affectés en fonction du stade physiologique pendant lequel la coupe des racines a été effectuée. Les plus bas rendements sont observés avec les coupes de racines, réalisées à 50 et 80 jas, représentant des stades importants dans le cycle de la plante. C'est l'une des raisons qui militent en faveur de non réalisation systématique du buttage. Des attaques de champignons ont pu être notées sur certaines de ces racines mais n'ont pas occasionné de pourritures. Par comparaison aux plants à systèmes racinaires entiers, on a noté une quantité plus faible de racines après les coupes, mais la suppression d'une moitié des racines latérales ne semble pas avoir beaucoup influencé les plantes, qui reprennent très vite un bon aspect au champ.

Par rapport à la floraison, un léger retard a été noté pour les plantes dont les racines ont été coupées avant le 50^e jour. Par contre, la hauteur des cotonniers, en fin de cycle, est peu affectée. Le poids moyen capsulaire ne semble pas avoir été influencé par les traitements.

Les rendements en coton graine obtenus sont, dans l'ensemble, assez satisfaisants; leur variation dénote de l'influence des traitements, car, ils sont fonction du stade de la coupe des racines. Sur le témoin, à système racinaire complet, les rendements sont partout les meilleurs. Les plus bas rendements sont observés avec les coupes de racines réalisées à 50 et 80 jas, représentant des stades importants dans le cycle de la plante. La suppression des racines latérales entraîne une production de coton graine plus faible que celle résultant de la coupe de la racine pivotante.

Enfin, au niveau de l'absorption des éléments minéraux, quelles que soient les modifications provoquées au système racinaire, les plantes parviennent à tirer du sol les principaux éléments minéraux dont elles ont besoin. En effet, le système racinaire, interface entre la solution du sol et la partie aérienne de la plante, intervient de plusieurs façons, dans la nutrition des plantes. L'influence de la quantité de racines a été mise en évidence par Jungk *et al.* (1982), Clement-bailey et Gwathmey (2007); Epstein et Bloom (2005) qui ont indiqué que c'est la faible disponibilité des ions minéraux du sol qui induit la nécessité d'une fonction d'absorption, répartie sur une masse importante de racines. Autrement dit, sur un sol fertile, le cotonnier n'a pas forcément besoin d'un important système racinaire pour satisfaire ses besoins. Mais, il se peut, également que la faible émission compensatrice de nouvelles racines contribue, quelque peu au maintien de l'efficacité du système racinaire, surtout lorsque la coupe a lieu à un stade précoce du cycle végétatif des plantes.

Par ailleurs, nous avons noté que la racine pivotante joue un grand rôle dans l'absorption des éléments minéraux. Cela paraît avoir un lien direct avec la densité élevée des poils absorbants, dans les 10 premiers cm en dessous de la surface du sol, portion où cette racine présente, généralement, le plus grand diamètre de la tige du cotonnier.

7.4. Effets des apports de KCl sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agro-systèmes soudano-sahéliens

L'absorption des éléments se fait, au niveau des points d'échanges ioniques, à la surface des racines. Les éléments fertilisants disponibles ne sont jamais tous absorbés par la plante, le potentiel d'assimilation spécifique d'une espèce végétale et la disponibilité des éléments fertilisants dans le sol sont perturbés par les interactions ioniques (Bertschinger *et al.*, 2003). En effet, la présence d'un élément dans le milieu peut influencer l'absorption d'un autre élément par la plante, ces interactions ioniques varient, et peuvent être soit des antagonismes, généralement les plus répandues, soit des synergismes.

Le potassium se trouve dans le sol sous des formes progressivement accessibles à la plante. Sur la majorité des sols tropicaux, la plupart des plantes cultivées répondent au potassium, entre 0,15 et 0,35 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$, mais ce seuil dépend du taux d'argile des horizons concernés. Par ailleurs, il convient de souligner que la différence d'efficacité de la fertilisation K dépend de l'ion accompagnateur, c'est -à-dire de la source du potassium : sulfate, nitrate, chlorure.

Selon Zia-Ul-Hassan et Arshad, (2008), les plantes de cotonnier, qui ont un bon rapport MS (aérien)/MS (racines) sont les plus efficaces dans l'utilisation du K et, pour Dong *et al.* (2004) ainsi que Gérardeaux (2009), la sensibilité à une déficience K varie selon les variétés et, même, selon les cultivars. Gérardeaux (2009), a aussi noté qu'une carence en potassium sur cotonnier se traduisait, entre autres, par une réduction de la photosynthèse, consécutive à une réduction du nombre de feuilles. Hassan et Arshad (2008), ainsi que Oosterhuis (2001) ont montré qu'en situation de déficience K, la production de matière sèche de divers génotypes de cotonnier est conditionnée par une amélioration de la photosynthèse, et un système racinaire plus efficace. En effet, Cassman *et al.* (1989), ainsi que Dong *et al.* (2004) puis Camberato *et al.* (2005) et enfin Akhtar *et al.* (2009) ont montré qu'il existait des différences significatives entre les variétés de cotonnier.

Dans nos conditions de culture, l'architecture racinaire du cotonnier apparaît souvent squelettique. Ce faible développement du système racinaire peut être, entre autres, due aux méthodes utilisées pour l'étude des racines. En effet, dans les méthodes d'extraction des racines, in situ, les méthodes utilisées (profil cultural, extraction à l'eau à 1,5-3 bars), la totalité des poils absorbants et une bonne partie des racines tertiaires voire secondaires sont détruites. De plus, la durée de vie des racines tertiaires n'excédant pas trois semaines (Jourdan, 2003), il sera difficile de retrouver la totalité de ces racines d'une plante au même moment dans le sol.

Les analyses de sol montrent que l'on est en présence d'un sol ferrallitique sableux, très pauvre en argiles, avec des teneurs en potassium proches du seuil de déficience. En effet, selon Dakouo (1994), des teneurs en K échangeable inférieures à 0,10 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ dans les sols, en zone soudano-sahélienne, engendrent, dans la plupart des cas, des déficits importants, voire des carences sur cotonnier. Les rendements obtenus pour chacune des cultures conservent le rapport 1c-2,5m-1s, généralement, observé dans les systèmes de culture coton-céréales (Dakouo, 1991 ; Mugishawimana, 2000). Sur coton, comme sur maïs, les rendements obtenus en coton graine ou en maïs grain, ainsi que les poids secs de tiges récoltées, sont proportionnels aux doses de K_2O . Sur coton, les apports de 30, et de 60 kg de K_2O , entraînent

des augmentations, respectives, de 63 et 69 p.c. en coton graine, par rapport au témoin, laissant paraître que l'on a atteint la zone des rendements moins que proportionnels (Nambiar et Ghosh, 1981 ; Braud, 1987 ; Bado, 2002 ; Ashley *et al.*, 2006). Autrement dit, il ne servirait à rien d'apporter plus de 30 Kg de K₂O/ha sur ce type de sol. Par ailleurs, les indices de nutrition K sur cotonnier indiquent de très fortes carences en potassium et en azote. En outre, il faut tenir compte du fait que l'apparition des signes de déficience dépend de la charge en capsules des cotonniers, donc de leur potentiel de production (Weir *et al.*, 1986 ; Dakouo, 1994).

Si l'apport de doses croissantes de K₂O améliore les teneurs en K des feuilles et des racines du cotonnier à 70 jas, sur racines de céréales, ces teneurs sont beaucoup plus faibles. Peut être qu'à ce stade, les besoins en K des céréales ne se sont pas encore exprimés, car, selon Darst (1981) et Dale (1984), les besoins du maïs en K se font sentir plus tôt, mais s'étendent sur une courte période, avec un maximum à la formation des épis, pendant laquelle le prélèvement du K se fait à grande vitesse. On a également noté que les feuilles de maïs ont des teneurs plus faibles en K que les feuilles de cotonnier, ce qui veut dire que la concentration de potassium est plus basse dans les tissus de maïs, étant donné que la concentration de protéines est plus basse (Hance, 2005 ; Clement-bailey et Gwathmey, 2007).

Malgré les teneurs plus faibles des feuilles de maïs en K, cette plante ne manifeste pas de déficience. Par ailleurs, selon les travaux de Carmi et Heuer (1981); de Carmi et Shalhevet, (1982), de Callot *et al.* (1982), de Hinsinger (2001), le système racinaire des plantes occupe une place de choix dans l'absorption du potassium. Ils ont en effet montré, que du fait de leur système racinaire plus dense (près de 2.500 poils absorbants/cm²) et plus performant, les céréales ne manifestaient des signes de déficience dans la nutrition potassique que pour des teneurs beaucoup plus basses que les plantes à système racinaire grossier, comme le cotonnier. C'est l'une des raisons qui font que les parcelles en sorgho ont les teneurs les plus basses, après 3 années de culture (Jordan-Meille et Pellerin, 2004).

En effet, selon Jungk *et al.*, (1982) et Chopart (2004), les plantes à système racinaire fasciculé sont plus efficaces dans l'absorption des éléments minéraux que celles ayant un système racinaire du type pivotant, comme le cotonnier. C'est pourquoi, les teneurs en K des racines des céréales (maïs et sorgho) sont plus élevées que celles des racines de cotonnier. Mais, cette efficacité s'étend aussi à l'emploi du potassium (Gormus et Yucel, 2002). Une légère amélioration des teneurs en potassium pour le cotonnier est notée sur les objets recevant 30 et 60 unités de K₂O. Ces résultats montrent que les cultures de la rotation ont une influence certaine sur l'absorption des éléments (Pettigrew, 2008). C'est pourquoi, Kemmeler (1987), et Dakouo, (1994) ont affirmé que plus il ya de céréales dans une rotation, plus l'appauvrissement

du sol en potassium est important. Mais, la décomposition des racines des céréales dans le sol entraînerait une augmentation de la teneur en K échangeable du sol, améliorant ainsi la nutrition des plantes comme le cotonnier, ou l'arachide (Dakouo, 1994 ; Koulibaly *et al.*, 2010). De plus, selon Boguslawski et Lieres (1984), en culture intensive les prélèvements de potassium d'une année pour une culture exigeante comme le maïs, équivalent à 2-3 ans d'une culture extensive.

Selon Loué (1980) et Pettigrew (2008), sur maïs, il existe une forte liaison entre les teneurs foliaires en K, les doses de K₂O appliquées et, dans une moindre mesure, avec la richesse du sol en potassium. Il ya aussi une assez bonne liaison entre la teneur en K de la plante et le rendement. Des liaisons équivalentes existent, également, sur cotonniers, car, nous avons constaté que les apports de K₂O ont entraîné une amélioration des rendements, proportionnelle aux doses et formes surtout à la première année d'application, et cela même pendant trois années consécutives. Quand K est apporté sous forme de fumier ou de compost, les effets sont encore plus significatifs car, selon les travaux effectués par Dakouo (1991) et la SOSUCO (1988 ; 2008), l'apport du potassium sous forme organique (mélasse), entraîne une amélioration nette de l'absorption du potassium. Sur la canne à sucre, l'apport de la mélasse, qui contient 4 p.c. de K₂O, entraîne une amélioration de 16 p.c. des rendements, par rapport aux apports de KCl. D'où la nécessité d'apport du fumier en tant que facteur améliorant la nutrition potassique (Kemler, 1987 ; Koulibaly, 2005 ; Koulibaly *et al.*, 2007 ; Dakouo *et al.*, 2011).

Dans le cadre de la présente étude, l'absorption du potassium a beaucoup été améliorée, quelles que soient la forme et la dose d'apport, et cette amélioration est proportionnelle aux doses de K₂O apportées, le maximum (78 p.c.) étant obtenu avec la dose de 60 kg de K₂O, sous forme de fumier, contre +60 p.c. seulement, avec la dose de 90 Kg de K₂O, apporté par le chlorure de potassium. Nemeth et Rex (1981), ainsi que Koulibaly *et al.* (2007) ont, en effet, noté que l'apport du fumier se traduisait par une amélioration du poids et de l'activité du système racinaire. Même s'il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les objets, on constate que l'apport de fumier (T3) présente la plus grande teneur en K, avec 39,46 g kg⁻¹ de feuilles.

Pour Richard (1981) la disponibilité du potassium dans un sol tropical en zone soudano-sahélienne peut être calculée par la formule [Indice K = 79 - 8,1 MO p.c. + 107,4 K] (20), K représente la teneur en potassium échangeable exprimée en cmol⁺ kg⁻¹ sur 0-40 cm de sol. Partant de cette formule, on peut déjà prévoir des problèmes de déficience K dans un tel type de sol, avec IK = 80,79. Cet indice atteint la valeur 100 quand les apports de potassium n'ont plus d'effet sur le rendement. Pour une valeur de 80, on peut espérer un accroissement de rendement de 20 p.c. par un apport de potassium.

Par rapport à la position topographique de la parcelle, même si les différences sont très faibles, c'est en haut de versant que les teneurs des feuilles du cotonnier en potassium sont les plus élevées, avec 35,85. La même tendance a été observée sur les taux de disponibilité de K, en fonction du niveau topographique des parcelles.

Les résultats obtenus sur les sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de la ferme de Boni sont quasi identiques à ceux obtenus sur sols ferrallitiques (Ferralsols), en ce qui concerne, les rendements, les analyses de sol et de feuilles. En effet, dans un essai d'épuisement du potassium en vases de végétation, Kuchenduch (1985) et Dakouo (1990) ont montré que le rythme de libération du potassium est à peu près le même sur sols ferrallitiques, comme sur sols ferrugineux. Mais, du fait des teneurs en potassium, généralement plus élevées, ces derniers affichent de moins bonnes réponses à la fertilisation K et les symptômes de déficience en potassium y apparaissent beaucoup plus tardivement que sur sols ferrallitiques. Par ailleurs, de par les micas et feldspats alcalins de la roche-mère granitique de ces sols, les problèmes de nutrition potassique devrait apparaître dans un délai plus long. En effet, selon Hinsinger (2001), les racines des plantes peuvent transformer le mica en vermiculite tout en augmentant leur CEC. Sur sols bruns eutrophes, l'obtention de bonnes productions semble davantage due à leur bon niveau de fertilité globale, puisque la réponse au potassium est quasi nulle, hormis pour les rendements (Mhiri, 2002). Or, le rendement est un compromis entre plusieurs facteurs, et il est difficile d'isoler l'effet des apports de potassium.

En comparaison, le maïs réagit par contre, très positivement au potassium. Une augmentation de la dose de 30 à 60 K₂O favorise une amélioration du rendement, de 445 kg ha⁻¹, soit un gain moyen de 15 kg par unité de K₂O apportée. Le niveau de fertilité des sols a également une importance sur l'absorption du potassium (Mengel, 1982 ; Hien, 1990). Par exemple sur sorgho, Lompo (2008) a observé que les teneurs en potassium des organes végétatifs sont, en cours de croissance, deux fois plus fortes sur une parcelle de bonne fertilité, que sur une parcelle de fertilité médiocre. Si la dose de 30 unités de K₂O pourrait convenir sur un sol ferrallitique, des restitutions organiques peuvent néanmoins améliorer l'absorption du potassium par les plantes.

Sur un sol dégradé et acide (pH < 5), l'absorption des éléments minéraux peut être entravée par l'acidité du sol, notamment avec la présence d'ions Al³⁺ (Berger *et al.*, 1987 ; Safya, 1991. Mhiri, 2002 ; Rabeharisoa, 2004; Lompo, 2008).

Sur le maïs, l'effet fumier entraîne une amélioration des rendements de 84 p.c., avec une évolution semblable à celle observée sur coton. En effet, les apports de potassium sous forme de chlorure entraînent une amélioration moyenne des indices de nutrition potassique de +20,8

p.c. En partant du principe qu'un meilleur indice de nutrition suppose un meilleur taux d'absorption du potassium, on peut conclure que les apports de KCl au sol se traduisent par une augmentation des ions K^+ dans la solution du sol, et donc un meilleur taux de diffusion de K^+ comme l'ont indiqué Reddy *et al.* (2000) et Rosolen *et al.* (2003), qui ont montré que les apports de potassium dans la fertilisation augmentaient le taux de diffusion, et aussi le flux de masse de K dans le sol. Cette affirmation est d'autant plus vraie que les effets d'apport de KCl sont également visibles sur l'amélioration des rendements, estimée à + 29 p.c. dans la production de coton graine, ce que confirment Akhtar *et al.* (2009).

Quand le potassium est apporté dans la fertilisation, sous forme de fumier (T3), on constate que l'amélioration de l'absorption de K^+ est de + 40 p.c., et celui de la productivité de + 24 p.c. Connaissant d'une part, la composition du fumier utilisé et, d'autre part, les faibles taux d'argiles des sols ferrallitiques, les apports de fumure organique ont dû, en plus améliorer la teneur en carbone des sols ; ce qui leurs permet de mettre plus de nutriments à la disposition du système racinaire des plantes. Cette amélioration est estimée à + 28 p.c., soit 12,55 points, selon les indices de nutrition calculés. Dans tous les cas, quelle que soit la source de K_2O , les effets sur l'absorption des ions K^+ ainsi que l'amélioration des rendements varient selon la durée des intervalles entre deux apports consécutifs.

Sur une parcelle ayant une grande plus ancienneté de mise en culture, l'apport du potassium dans la fertilisation, sous forme de fumier, entraîne une amélioration de l'absorption de K^+ , de + 78 p.c., et celui de la productivité de + 72 p.c. En effet, selon, I.P.I (2005) et Reddy *et al.* (2000), le potassium n'est jamais lié aux composés organiques. Il est présent dans les fumiers, sous forme de sels toujours solubles (Carbonates, chlorures, nitrates, oxalates) et est, en quasi-totalité libéré dans le sol sous forme de K^+ . Il a donc le même devenir que le K des engrais.

Cette amélioration est estimée à + 14 p.c., soit 9,55 points, selon les indices de nutrition calculés. Dans tous les cas, quelle que soit la source de K_2O , les effets sur l'absorption des ions K^+ , ainsi que l'amélioration des rendements, varient selon la durée des intervalles entre deux apports consécutifs. Ces résultats sont conformes à ceux de Poulain *et al.* (1980) et de Nambiar et Ghosh (1981), qui indiquent que, même dans des situations de sols initialement riches en potassium, on obtient une réponse accrue au cours du temps.

Au total, l'on peut évoquer, comme Hance (2005), que la diversité des sols, associée au facteur climatique, expliquent les différences de potentialités agronomiques, et donc de variations de croissance végétative, de rendements, ou d'absorption des éléments minéraux par les cultures.

CONCLUSION GENERALE

Au Burkina Faso, si le coton est produit sur certaines unités morphopédologiques rencontrées dans le paysage, la très grande majorité des parcelles cotonnières est située sur le glacis, avec des pentes allant de 0,5 à 5 p.c. A l'issue de notre étude, les différents résultats obtenus permettent de dire que la production du coton est pratiquée, généralement, tout le long de la toposéquence, avec, cependant, quelques spécificités selon le type de sol.

En rappel, plusieurs hypothèses ont été formulées, telles :

- la stagnation, voire la baisse, des rendements sur cotonnier, de ces quinze dernières années, est due, en grande partie à un problème de nutrition minérale ;
- l'amélioration de l'absorption des éléments nutritifs par le cotonnier, se traduit par une amélioration de sa productivité ;
- l'absorption des ions K par les plantes, notamment le cotonnier, est en relation directe avec la fertilisation des systèmes de culture coton-céréales, l'efficacité du système racinaire et les teneurs en K disponible des sols ;
- la biodisponibilité de K pour les plantes est fonction du type de sol, de la position topographique des parcelles, et des roches-mères sous-jacentes.

Comme substratum géologique, si tous les types de sol peuvent se rencontrer sur du granite, il convient de souligner que certains sols, notamment les sols bruns, se développent, plus fréquemment, sur roches basiques tels le basalte ou le schiste, et nécessitent une situation topographique particulière. En effet, les différentes roches mères sur lesquelles se développent les sols en zone Sofitex sont le granite, le grès, le gneiss, le basalte, la dolérite, le schiste et la latérite. D'un point de vue chimique, toutes ont des teneurs moyennes en aluminium, élevées en fer, mais très basses en silice. Sur le plan minéralogique, la plupart de ces roches contiennent les principaux minéraux primaires dont les micas, les feldspaths, les plagioclases et le quartz. Dans les conditions soudano-sahélienne, l'altération de ces minéraux permet d'obtenir, en plus des sables, des produits intermédiaires dont les argiles de type 1/1, dominées par la kaolinite, et les argiles de type 2/1, dont l'illite et la montmorillonite.

Sur les sols ferrugineux tropicaux, la culture du coton est impossible sur des sols de moins de 20 cm de profondeur, situés en haut de versant des glacis. Par contre, sur ce type de sol, des champs de coton ont été rencontrés sur des blocs latéritiques de plateaux ferrugineux, avec des pentes supérieures à 15 p.c. notamment, dans les terroirs villageois de Mana. Pour les sols ferrallitiques et les sols bruns, la production est possible quelle que soit la position

topographique. Il convient aussi de souligner que sur les sols bruns, des parcelles cotonnières sur bloc de roches vertes, avec des pentes supérieures à 15 p.c., sont fréquentes dans les régions de Mana et de Guéguéré. Les sols ferrugineux tropicaux se retrouvent sur tous les types de roches mères, mais plus particulièrement sur granite et sur grès. Sur granite, ils présentent, en surface, une texture sableuse avec prédominance de sables grossiers et de gravillons ferrugineux, alors que sur grès, cette texture est dominée par des sables fins. Les sols ferrallitiques se rencontrent presque exclusivement sur grès. Les sols bruns se localisent dans les dépressions situées le long des collines birimiennes, sur schistes, ou de collines rocheuses, dominées par des roches basiques tel le basalte.

Par rapport à la position topographique, tous les types de sol sont aptes à la production cotonnière en mi-versant. Cependant, en bas de versant, certaines pratiques culturales sont indispensables pour pallier les risques d'engorgement observés sur sols ferrugineux indurés profonds, voisins des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes, et, sur sols bruns.

Au niveau des segments topographiques, nous avons identifié sur sols ferrallitiques (Ferralsols rhodiques) de Farako-bâ, avec des versants longs et des faibles pentes, de 2 à 3 p.c., deux sous-groupes, dont les sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques modaux de haut de versant, et les sols ferrallitiques faiblement désaturés typiques remaniés modaux de bas de versant. Les sols ferrugineux tropicaux (Lixisols) de la ferme de Boni, avec une pente faible, de 2 à 3 p.c., ont tous subi le phénomène d'induration, d'où le nom de sols ferrugineux tropicaux indurés (Lixisols plinthiques). Quatre sous-groupes ont été identifiés en fonction de la profondeur de sol utile. Ce sont les sols indurés superficiels (Fs) ou plinthosols épipétrique ferriques, de 0 à 20 cm de profondeur, les sols indurés peu profonds (Fpp) ou plinthosols épipétrique ferriques (20-40 cm), les sols indurés, moyennement profonds (Fmp) ou lixisols endo-petroplinthique ferriques (40-60 cm), et les sols indurés profonds (Fp) ou lixisols endo-petroplinthique ferriques, qui ont plus de 60 cm de profondeur utile. En outre, certaines exploitations paysannes, dans certaines régions, sont situées sur des sols ferrugineux tropicaux, à pente forte (> 15 p.c.), sur blocs latéritiques. Sur les sols bruns (Cambisols) de la ferme de Mwauvoun, avec une pente moyenne de 3 à 5 p.c., deux sous-groupes de sols ont été identifiés, à savoir les sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes, ou cambisols gleyiques, endo-calcaire eutrique, de haut de versant, et les sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques, ou cambisols vertiques gleyiques hyper-eutrique, de mi et bas de versant. En milieu paysan, nous avons également rencontré des sols bruns à pente forte (> 15 p.c.) sur blocs de roches vertes. Nous avons par ailleurs noté que les horizons latéritiques sous

forme de cuirasse et/ou de carapace, se développent, essentiellement, sur les sols ferrugineux tropicaux, moins fréquemment sur les sols ferrallitiques, et presque jamais sur les sols bruns.

La nature des roches-mères, ainsi que les types d'argiles, sont déterminants dans les teneurs en potassium des types de sol qui se forment sur ces substrats. La dynamique du potassium sur ces différents sols dépend de leurs teneurs en matières organiques, des segments topographiques, des parcelles affectant les mouvements de l'eau dans ces sols, et de leurs textures, respectives, notamment les teneurs en argiles, voire les types d'argiles. D'une façon globale, sur chacun des types de sol, la disponibilité du potassium est plus élevée en haut de versant qu'en bas de versant. De même, les teneurs en potassium sont plus importantes sur 0-20 cm que sur 20-40 cm. Si sur les sols ferrallitiques, les apports de fertilisants potassiques augmentent le K de la solution du sol, sur les ferrugineux et les sols bruns, cette amélioration n'apparaît pas de façon nette.

Le système racinaire du cotonnier se caractérise par un enracinement superficiel concentré dans les trente premiers centimètres de sol. Le nombre de racine augmente avec l'âge de la plante jusqu'à 110-120 jas, et il existe une bonne corrélation entre la hauteur des cotonniers et la profondeur de la racine principale. Cependant, plus la profondeur du pivot est grande, plus l'extension des racines latérales est faible. Par rapports aux types de sol, on a noté que c'est sur sols ferrallitiques (Ferralsols) que l'enracinement du cotonnier est le meilleur, en ce qui concerne la profondeur du pivot, le nombre de racines latérales, le nombre de racines tertiaires, ainsi que l'extension latérale. Sur sols ferrugineux ou bruns, l'architecture du système racinaire est semblable. En moyenne, le volume de sol exploré par les racines du cotonnier, dans nos conditions de culture, peut être défini par un cône de 40 cm de rayon, avec une hauteur maximale de 60 cm.

Pour l'ensemble des sols, la profondeur de la racine pivotante semble plus importante en bas de versant, lorsque la pente est inférieure à 5 p.c. Par contre, pour des pentes supérieures à 5 p.c., la position topographique importe plus que le type de sol, car, ayant un impact direct sur les paramètres phytotechniques. En effet, pour une même quantité d'eau tombée, l'humidité en bas de versant augmente, ce qui se traduit par une amélioration de la hauteur des cotonniers, de la profondeur de la racine, du nombre de racines latérales, de l'extension latérale des racines, du poids des racines et du poids sec de la partie aérienne de la plante.

En cas de modification du système racinaire, la réaction des plantes dépend de l'organe concerné. Ainsi, on constate, par exemple, que lorsque la racine pivotante est coupée,

l'émission compensatrice de racines latérales ne permet pas de reconstituer le volume racinaire entier. En cas de suppression des racines latérales, le cotonnier peut survivre avec un peu plus de la moitié de sa masse racinaire. La coupe de la racine pivotante se traduit par une baisse plus importante des rendements que celle des racines latérales. La production de coton graine par pied diminue d'environ un quart et, une réduction du poids moyen capsulaire de près de moitié a été notée avec la suppression totale des racines latérales.

Les cotonniers absorbent moins de potassium et de magnésium lorsque la section du pivot s'effectue à 5 cm en dessous du collet, mais, dans l'ensemble, on peut dire que malgré le choc provoqué sur leur système racinaire des différents objets, les plantes arrivent à prélever, dans le sol, l'essentiel des éléments leur permettant d'avoir une nutrition minérale correcte, à 70 jas.

Avec l'apport de fertilisants potassiques, on a noté que les indices de nutrition en potassium F(K), quoique faibles, s'améliorent, même sur un sol soumis à plus de vingt années de culture continue. Les teneurs en K des feuilles de cotonniers restent également faibles (< 3 p.c.), mais s'accroissent aussi, et ce d'autant plus que K est apporté sous forme organique. L'amélioration de l'absorption du potassium se traduit par une amélioration des rendements. Nous avons en effet noté, dans les mêmes conditions de culture, que l'apport de 30 kg de K₂O a entraîné une augmentation de plus de 60 pc. des rendements en coton graine, et les teneurs en K des racines du cotonnier se sont améliorées de + 32 p.c. avec l'apport du KCl par rapport au témoin sans K₂O. C'est donc dire que les apports de KCl se traduisent par une amélioration des teneurs en potassium des racines, des feuilles, des indices de nutrition du cotonnier et des rendements. On a aussi noté, dans les mêmes conditions, que les feuilles de maïs ont des teneurs en potassium généralement plus faibles que celles du cotonnier, alors que les plantes en C₃, comme le cotonnier, sont moins efficaces dans l'absorption du potassium que les plantes en C₄, notamment les céréales.

La position topographique de la parcelle ne semble pas avoir d'effets notables sur les teneurs en potassium des feuilles du cotonnier, même si c'est en haut de versant que l'on observe les valeurs les plus élevées, et, ce, quel que soit le type de sol. Néanmoins, sur sols ferrugineux, les teneurs des feuilles de cotonniers en K sont souvent plus élevées que sur sols ferrallitiques. Sur sols bruns eutrophes, les doses de K₂O semblent avoir peu d'effets sur les teneurs en K des feuilles de cotonnier, et les plus faibles concentrations sont observées sur les cotonniers situés en bas de versant.

En considérant les types de sols, la nutrition potassique et, partant, l'absorption de K, est meilleure sur sols bruns eutroques. Par contre, en partant des segments topographiques, c'est sur les plants de mi-versant que l'absorption des ions K^+ est la meilleure, quel que soit le type de sol.

Pour les trois types de sols qui ont fait l'objet de la présente étude, on peut donc dire que plusieurs facteurs ou mécanismes peuvent avoir un impact sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agrosystèmes, en zone soudano-sahélienne. Parmi ces mécanismes, on peut citer, entre autres :

- une plus importante demande en K des nouvelles variétés, généralement plus productives. Les variétés de cotonniers génétiquement modifiés devraient accentuer ce phénomène, par suite d'une meilleure protection phytosanitaire, entraînant un meilleur taux de rétention des capsules;

- l'efficacité du système racinaire du cotonnier dans l'absorption du potassium. Dans les systèmes actuels de culture coton-céréales, le cotonnier présente un système racinaire réduit, voire pauvre, ce qui peut être à l'origine d'une relative inefficacité du cotonnier dans l'absorption du potassium, comparé à la plupart des autres grandes cultures, comme le maïs ou le sorgho. Par ailleurs, on note généralement une baisse de l'activité racinaire avec l'âge des plantes, surtout après le 100^e jour, période de pleine capsulaison;

- la richesse en K de certaines roches mères tel le granite ou le gneiss ainsi que leurs minéraux primaire ou secondaire dont l'altération occasionne la libération d'ions K dans les sols peut constituer des sources importantes de potassium;

- les céréales de la rotation. La décomposition de leur importante masse de racines présentes dans les sols après les récoltes s'avère une source non négligeable de K disponible pour le cotonnier.

- la libération des ions K fixés au préalable par certaines argiles de type 2/1, en l'occurrence la montmorillonite, de certains types de sol, tels les sols bruns. Si la vitesse de libération du potassium est équivalente sur les trois types de sol, leur richesse intrinsèque en K devrait faire la différence à terme.

L'ensemble de ces résultats nous autorise à proposer les suggestions et recommandations ci-après à l'attention des principaux acteurs intervenant dans le développement agricole du monde rural.

Pour la Recherche, il serait souhaitable, dans la révision de l'itinéraire technique de production du cotonnier, de prendre en compte, la position topographique des parcelles. En outre, des investigations doivent être entreprises en vue de l'amélioration du volume racinaire

du cotonnier d'une part, et, d'autre part, de l'efficience de ce même système racinaire à vis-à-vis de l'absorption des éléments minéraux. Par ailleurs, il nous paraît judicieux de tenir compte du substratum géologique dans le raisonnement de la fertilisation potassique en relation avec les aménagements des sols sous culture.

Pour le Développement, il faudrait veiller à l'application des doses adéquates de fumure organique d'une part, et, d'autre part, sensibiliser les producteurs à l'utilisation des différentes formes d'engrais potassiques rencontrés dans le commerce. Ces prescriptions devraient être couplées avec les aménagements des exploitations en fonction de la topographie.

En termes de perspectives, l'accent doit être mis sur l'utilisation d'autres techniques d'observation du système racinaire in situ devrait permettre de mieux décrire la charpente racinaire. Parmi celles-ci, on peut citer :

- l'endoscopie qui consiste à insérer dans un milieu difficilement accessible des fibres optiques permettant d'apporter de la lumière et, un moyen d'observation. Par cette technique, on insère dans le sol, un tube en plastique transparent, ce qui permet d'observer les racines qui apparaissent à la surface extérieure de celui-ci ;

- les techniques faisant appel à des traceurs (K^{40} , rubidium etc.) où l'on place dans le sol, un produit qui, s'il vient à être au contact d'une racine, est absorbé par elle et est transporté dans les parties aériennes, d'où, il est peut-être repéré par analyse de l'élément radioactif ou par simple observation de symptômes foliaires.

L'avantage principal de ces deux méthodes, est de ne pas trop perturber le sol, l'inconvénient est qu'elles ne permettent pas de suivre la durée de vie des racines tertiaires et des poils absorbants.

Toute recherche de l'amélioration de la productivité du cotonnier devrait passer par une amélioration du rendement photosynthétique (LFA) et des facteurs permettant le développement d'une importante masse racinaire, particulièrement, dans les sols pauvres en potassium. Les ions minéraux prélevés par les racines, puis transportés par la sève, dans les parties aériennes, assurent la nutrition minérale des plantes. Dès lors, il apparaît opportun de :

- bien étudier le système d'absorption racinaire du potassium (Canal AKT), par voie moléculaire, notamment, dans les tissus périphériques de la racine, qui participent à la première étape de la nutrition potassique qu'est le prélèvement des ions dans la solution du sol;

- identifier les gènes des transporteurs, alimentant les parties aériennes des plantes permettant l'obtention de plantes présentant une meilleure réponse aux engrais ;
- dans les essais de longue durée, en plein champ, mettre en place des dispositifs permettant de déterminer les différentes origines de K intervenant dans la nutrition des plantes à savoir le K provenant de l'altération des roches, le K des argiles, le K adsorbé et le K de la solution du sol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aït Houssa A., Badraoui M. and Jourdan O., 2007. Relation entre le potassium du sol et du sous-sol en parcelles cultivées. Revue HTE N°137 juin 2007, pp. 33-37.

Akhtar M.E., Khan M.Z., Ahmad S. and Sardar A., 2009. Effect of potassium on micromorphological and chemical composition of three cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes. African journal of Biotechnology, Vol.8 (15) : 3511-3518.

Anonyme, 2003. Pour une gestion viable des ressources ligneuses périurbaines. Analyse et modélisation des règles et pratiques coutumières sur divers milieux naturels sahéliens et sahélo-soudaniens du Niger et du Mali. Rapport final. Tome 3, 25 p.

Anonyme, 2010a. Le cotonnier, filière technique agricole.

<http://www.maep.gov.mg/filtecoton.htm>, consulté le 07/06/2010.

Anonyme, 2010b. Les argiles. <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/argiles.htm>

Consulté le 13/11/2010.

Anonyme 2010c. Géologie, <http://pgosse.chez.com/gem/geo.htm>, consulté le 29/11/2010.

Anonyme 2010d. Géologie des argiles. Chap. 5 : Origine des minéraux argileux, pp. 68-87.

AP3A, 2001. Les aptitudes agricoles et pastorales des sols dans les pays du CILSS. ISBN 88-900502-5-X, 165 p. <http://p.case.cafa.fi.cnr.it/ap3a/>.

Ashley M., Grant M. and Grabov A., 2006. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. J. Exp. Bot., 57 : 425-436.

Bado B.V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse présentée pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph. D.) Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, 197 p.

Bado B.V., 2010. La fertilité dans les rizières du littoral à St Louis. In séminaire sur la gestion durable des terres dans le cadre du Partenariat pour la Gestion Durable de Terres (CPP), 239 p.

Barnerias C., Böhm F., Dubois S., Junod G., Le Treis M. et Pousse J-S., 2004. Effets de l'engorgement hydrique sur la couleur des sols et la distribution des espèces. Etude du BAFOG (Bureau Agricole et Forestier de Guyane), Septembre 2004, 34 p. [www.engref.fr/DOC_bref/Rapportdactivite_2003-2005.pdf] consultée le 7 juillet 2010.

Bationo A., Koala S. and Ayuke E., 2010. Role of inorganic and organic plant nutrients for sustainable crop production in the West African Semi-Arid Tropics, 7 p.

Beauchamp J., 2006. L'altération des roches. <http://www.u-picardie.fr/~beauchamp/mst/alter.htm>. Consulté le 12/11/2011.

Berger M., 1969. Etude d'une légumineuse en rotation avec le cotonnier en culture sur les sables roux du delta du Mangoky. Multigr. : 32-41.

Berger M., Belem P.C., Dakouo D. et 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., vol. XLII, fasc. 3., pp. 201-210.

Bertschinger L., Christian G., Ryser J.P., Häseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Schmid A. et Weibel F., 2003. Données de base sur l'arboriculture fruitière, fruits à pépins, fruits noyau, kiwis, baies d'arbustes. Edition: Eidgenössische Forschungsanstalt, Postfach 185, CH-8820 Wädenswil, www.faw.ch, 48 p.

Blein R., Soule B.G., Dupaigne F.B. et Borgui Y., 2008. Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde (FARM), 116 p.

Blota A. et Liguori Lmbernon R.A., 2000. Caractérisation par analyse thermique de la constitution cristallochimique de divers chlorites zincifères. C. R, Acad, SCI. Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences 330 : 469-472.

Boguslawski E. et von Lieres A., 1984. Recherche concernant la dynamique de la fourniture du potassium par le sol et son potentiel utile dans les terres arables. Inst. Int. Pot. n°11, 11 p. in, Kali-Briefe (Büntehof) 17 (4) : 234-249.

Boulet R., 1968. Etude pédologique de la Haute Volta. Région centre nord. ORSTOM Dakar Hann, multigr., 351 p.

Boulet R. et Leprun J.C. 1969. Etude pédologique de la Haute Volta, région Est. ORSTOM Dakar Hann, Multigr., 331 p.

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

BUNASOLS, 1985. Etat de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso. Document technique N°1, 47 p.

BUNASOLS, 1990. Manuel pour l'évaluation des terres. Documentation technique N°6, 181 p.

BUNASOLS, 2002. Etude morphopédologique des provinces du Houet et du Tuy, échelle 1/100 000è. Rapport technique, 75 p.

BUNASOLS, 2003. Carte géologique des sols, Burkina Faso.

BUNASOLS, 2005. Etude morphopédologique de la province du Kéné Dougou, échelle 1/100 000è. Rapport technique, 53 p.

BUNASOLS, 2006. Etude morphopédologique des provinces du Mouhoun et des Balé, échelle 1/100 000è. Rapport technique, 81 p.

Callot G., Chamayou H., Maertens C. et Salsac L., 1982. Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. INRA, Paris, 325 p.

Camberato J.J. and Jones M.A., 2005. Differences in potassium requirement and response by older and modern cotton varieties. *Better crops* 89, pp.18-20.

CAPES, 2003. Exportations, croissance et lutte contre la pauvreté au Burkina Faso, Ouagadougou, Burkina Faso, 52 p.

Carmi A. and Heuer B., 1981. The role of roots in control of shoot growth in bean. *Ann. Bot.*, 48 : 519-527.

Carmi A. and Shalhevet J. 1982. Roots effects on cotton growth and yield. *Crop Science*, vol. 43, 1983 : 875-878.

Cassman K.G., Kerby T.A., Roberts B.A., Bryant D.C. and Brouder S.M., 1989. Differential response of two cotton cultivars to fertilizer and soil potassium. *Agron. J.* 81, 870-876.

Cauquil J., 2000. Maladies et ravageurs du cotonnier en Afrique au Sud du Sahara. *Cot. Fib.Trop.*, IRCT-CIRAD, 62 p.

CEDEAO, 2006. Stratégie Régionale de Promotion des Engrais en Afrique de l'Ouest. Document préparée dans le cadre du sommet africain sur les engrais, Abuja, Nigeria, 9-13 juin 2006, 75 p.

Chamayou H. et Legros J. P., 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Coll. Techniques Vivantes ACCT-CILF-PUF, 593 p.

Chapin F.S., 1980. The mineral nutrition of wild plants. Institute of Arctic Biology, University of Alaska, Fairbanks, AK. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 11: 233-60.

Chopart J.L., 1980. Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, riz pluvial). Thèse de doctorat, spécialité : productions végétales et qualité des produits, Institut National Polytechnique de Toulouse, 160 p.

Chopart, J.L., 2004. Les systèmes racinaires des cultures tropicales : rôle, méthodes d'étude *in situ*, développement, fonctionnement. Document de synthèse. 43 p.

Coker D L., Oosterhuis M. A. and Mozaffari M., 2003. To physiological responses of chamber-grown cotton to potassium deficiency, AAES Research Series 521, pp. 81-86.

Clement-Bailey J. and Gwathmey O.C., 2007. Potassium effects on partitioning, yield and earliness of contrasting cotton cultivars. *Agron. J.* 99, pp. 1130-1136.

Coulais J.M., 2010. Altération des roches et lessivage des ions: in formations locales. www.acpoitiers.fr/Svt/res_loc/hydro/qualite/pg6-htm Consulté le 05/07/2010 à 10 H.

Dakouo D., 1986. Etude d'écophysiologie du cotonnier. In Berger et Dakouo : Rapport de fin de campagne agricole 1986/87 INERA/Programme Coton, Bobo Dioulasso. Multigr, pp. 112-119.

Dakouo D., 1990. Statut potassique de quatre types de sol de la zone cotonnière du Burkina Faso et étude de leur comportement vis-à-vis de la fumure potassique. Mémoire de DEA d'Ecologie Tropicale (Option Végétale). Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, 72 p.

Dakouo D., 1991. Le maintien de la fertilité dans les systèmes de culture conduite en motorisation intermédiaire. Cas de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. I.N.E.R.A/Programme Coton-ESFIMA, 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 Faso. Thèse présentée à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université nationale de Côte d'Ivoire pour obtenir le grade de Docteur-Ingénieur Option: Sciences Agronomiques (Nutrition des plantes) 149 p.

Dakouo D. et Koulibaly B. 1997. La fertilisation du cotonnier dans les systèmes de culture : justification agronomique et économique. I.N.E.R.A/Programme Coton, 16 p.

Dakouo D., Koulibaly B., Tianhoun C. et Lompo F., 2011. Effet de l'inoculum « Compost Plus » sur le compostage des tiges de cotonnier et les rendements en coton au Burkina Faso. *Agronomie Africaine* 23 (1): 69-78.

Dale G.B., 1984. The potassium-protein link: why some crops need more K than others. Crops and Soils Magazine, vol.36, n°4 (1984), USA.

Darst B. 1981. Effects of potassium on crops maturity. Inst. Int. Pot., n°3, 11p. In, potassium for agriculture: A situation analysis. Potash and Phosphate Institute, Atlanta, Ga 30329 U.S.A.

DGPER, 2007. Direction générale de la Promotion de l'Economie Rurale. Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires (DPSAA). Evolution de la production agricole, Burkina Faso.

DGPER, 2009. Direction générale de la Promotion de l'Economie Rurale. Direction de la Prospective et des Statistiques Agricoles et Alimentaires (DPSAA). Evolution de la production agricole, Burkina Faso.

DGPSA, 2006. Résultats définitifs de la campagne agricole 2005 – 2006, Burkina Faso, 75 p + annexes.

Dong H., Tang W., LI Z. and Zhang D., 2004. On potassium deficiency in cotton-disorder, cause and tissue diagnosis, Agriculturae Conspectus Scientificus, Vol. 69 (2004) N° 2-3 (77-85).

Duchaufour P., 1997. Abrégé de pédologie: Sol, Végétation, Environnement. Edition Masson, 291 p.

Duchaufour P., 2001. Introduction à la Science du sol-sol, Végétation, Environnement. Dunod Paris 182 p.

Duguet F., 2005. Minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du Sud-Ouest du Québec. Mémoire présenté pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.), Université de Laval (Québec), Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, 105 p.

DNM, 2005. Direction Nationale de la Météorologie 2005. Bulletins Agrométéorologiques Décadaires, Ouagadougou, Burkina Faso, 12 p.

DNM 2006. Direction Nationale de la Météorologie, Bulletins Agrométéorologiques Décadaires, Ouagadougou, Burkina Faso, 16 p.

DNM, 2007. Direction Nationale de la Météorologie, Bulletins Agrométéorologiques Décadaires, Ouagadougou, Burkina Faso, 15 p.

Elberling B., Touré A. and Rasmussen K., 2003. Changes in soil organic matter following groundnut-millet cropping at three locations in semi-arid Senegal, West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 96, pp. 37-47.

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.

Epstein E. et Bloom A.J., 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives, 2nd Edn. In: inc S a (Ed.), Sunderland MA.

FAO, 1983. Land evaluation for raified agriculture. Soils bulletin N°52, Rome, Italie.

FAO, ISRIC et AISS, 1999. Base de reference mondiale pour les ressources en sols. Rapport sur les ressources en sols du monde, FAO, N°84, ISBN 92-5-304141-9, 96 p.

FAO, 2001. Lecture notes on the major soils of the world. World soil resources Report N°94, Rome, Italy, 334 p.

Fontes J. et Guinko S., 1995. Carte de végétation et d'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative. Institut de la Carte Internationale de la Végétation/(UMR9964. Centre National de Recherche Scientifique/Université de Toulouse III. Institut du Développement Rural/Faculté des Sciences et Techniques/Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 67 p.

Gérardeaux E., 2009. Ajustement de la phénologie, de la croissance et de la production de biomasse du cotonnier (*Gossypium hirsutum L.*) face à des carences en potassium, Thèse de

doctorat unique, Spécialité : Biogéochimie et Ecosystèmes, Université Bordeaux I (France), 122 p.

Gillot F., Räisänen M.L., Righi D. et Elsass F., 2007. Transformations minéralogiques de smectites en milieu acide. Natures.psu.ac.th/Link/Soil_Congress/bdd/Symp24/140-r.pdf consulté le 05/07/2010.

Gigou J., 1984. La mobilisation des éléments minéraux par le sorgho IRAT au cours de deux saisons à pluviométrie très différente. Rev. Sci. Tech., Sér. Sci. Agron. Zootech. (Cameroun), 1 (1): 15-35.

Girma K., Teal R.K., Freeman K.W., Boman R.K. and Raun W.R., 2007. Cotton lint yield and quality as affected by applications of N, P, and K fertilizers. J. Cotton Sci.11, pp.12–19.

Gormus O. and Yucel C., 2002. Different planting date and potassium fertility effects on cotton yield and fiber properties in the çurkova region, Turkey. Field Crops Res 78, pp. 141-149.

Grody-Dhechuvi, Dieudonne P., Ouimet D., Rock., 2004. Estimation du stade d'altération chimique des minéraux silicatés en environnement de forêt boréale: bassin- versant du lac Clair, Duchesnay au Québec Communication présentée au 72^{ème} Congrès de l'Acfas. <http://www;acfas.ca/congres/congresèè/S623;HTM> Consulté le 03/06/2007.

Guillobez S., 1985. Milieux naturels du Burkina Faso. Esquisse physiographique. Carte 1/1.000.000. IRAT/Service de pédologie, cartographie.

Guinko S., 1984. Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat ès sciences naturelles. Université de Bordeaux III, 318 p.

Hance E., 2005. Appréhender l'hétérogénéité du milieu dans une région. Exemple de la Lorraine. Fertilisation et Société-Blois, 14 p.

Heller R., Esnault R. et Lance C., 1989. Physiologie végétale 1. Nutrition, IV^{ème} édition, 273 p.

Hien V., 1990. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso. Thèse de doctorat, INPL, Nancy, 149 p.

Hinsinger P., 1990. Action des racines sur la libération du potassium dans l'altération des minéraux silicates. Thèse de Doctorat (Sciences Agronomiques), ENSA Montpellier, France, 186 p.

Hinsinger P., 2001. Interactions chimiques entre racines et minéraux du sol : conséquences sur l'altération des minéraux et la nutrition des végétaux. Mémoire en vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Montpellier 2, Ecole Doctorale Biologie Intégrative, France, 147 p.

Hodges H.F., Reddy K.R., Mc Kinion J.R. and Reddy V.R., 1993. Temperature effects on cotton. Bulletin 990, February, Mississippi State University, 18 p.

Hottin G. et Ouédraogo O.F., 1992. Carte géologique du Burkina Faso. Echelle 1/1000 000^e. 2^e édition. BUMIGEB, Ouagadougou.

Humphry D., 1807. The collected works of Sir Humphry Davy (1839-40), In memoirs of the Life of Sir Humphry Davy, *In*: J. Davy (ed.), vol 1, 109 p.

IGB, 2002. Projet ATLAS du Burkina Faso

Ilboudo O., 1997. Effets des fumures de fond sur l'acidité du sol et la croissance du cotonnier. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur du Développement Rural option agronomie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 98 p.

INERA, 2009. Fiches techniques des variétés de cotonnier cultivées au Burkina Faso. Rapport annuel de la campagne 2009/2010, Programme Coton, CRREA/Ouest., 35 p.

I.P.I., 2005. International Potash Institute, www.ipi.potash.org, Berne, Suisse.

Jaillard B., 1990. Compte rendu de mission. *In*, Croissance et fonctionnement du système racinaire sur sols dégradés, pp 2-9.

Jordan-Meille L. and Pellerin S., 2004. Leaf area establishment of a maize (*Zea mays* L.) field crop under potassium deficiency. *Plant Soil* 265, pp.75-92.

Jourdan L., Haeners D. and Talbi E.C., 2003. Rules extraction in linkage disequilibrium mapping with an adaptive genetic algorithm, In proceeding of European Conference on computational Biology, ECCB, Paris, pp. 29-38.

Jungk A., Classen N. et Kuchenbuch R., 1982. Appauvrissement potassique de l'interface sol-racine en relation avec les paramètres du sol et les propriétés des racines. *Compte rendu du 9^e colloque international sur la nutrition des végétaux, tenu du 22 au 27 août. Université de Warwick, Angleterre, Plant nutrition, Vol. 1 : 250-255.*

Kaloga B., 1969. Etude pédologique de la Haute Volta. Région ouest-nord. *Mémoires ORSTOM n°85.*

Kaloga B., 1987. Le manteau kaolinitique des plaines du centre sud de la Haute Volta. Dynamique et relation avec le manteau smectique. *Collection Etudes et Thèses ORSTOM, 344 p.*

Karpoff A-M., Bocquier G., Isnard P. et Tardy Y., 1973 : Géochimie d'une toposéquence de sols tropicaux du Tchad, utilisation de méthodes statistiques. *Sci. géol. bull., 26, 4 : 315-338.*

Kemmler G. 1987. Besoins des plantes en potassium dans les systèmes de culture intensive. *Inst. Int de la Pot., n°4 (résumé).*

Kissou R., Thiombiano L., Nebié A.K., Semdé A. et Yago K.J., 2000. Base mondiale de données sur les sols : avantages et faiblesse pour la connaissance et l'utilisation des milieux édaphiques du Burkina Faso. *Quatorzième réunion du sous comité Ouest et Centre africain de corrélation des sols. 9 au 13 Octobre 2000. Abomey, Bénin, pp. 121-149.*

Kouama P.E., Barry H., Ouédraogo D., Bioche F. et Berti F., 2007. Etude sur l'analyse et les stratégies de développement durable de la filière coton, SP/CPSA, Ouagadougou, Burkina Faso, 205 p.

Koulibaly B., 1991. Effet de la fertilisation sur l'enracinement et la nutrition minérale du cotonnier. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur du développement rural, IDR. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 113 p.

Koulibaly B., 2005. Influence du compost, du burkina phosphate et de la dolomie sur l'efficience de la fertilisation minérale du cotonnier. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études s approfondies, option biologie et écologie végétale, 48 p.

Koulibaly B., Zombré N.P., Traoré O. et Dakuo D., 2007. Effets des amendements sur l'enracinement et la production du cotonnier sur un sol ferrugineux tropical de l'Ouest du Burkina Faso. Science et Technique, Sciences naturelles et Agronomie, vol. 29, N° 1-2 : 131-142.

Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré N.P. et Bondé D., 2010. Effets de la valorisation des résidus de récolte sur la nutrition minérale du cotonnier et les rendements d'une rotation coton-maïs-sorgho dans l'Ouest du Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 4(6): 2120-2132. Available online at <http://ajol.info/index.php/ijbcs>, ISSN 1991-8631

Kuchenduch R., 1985. L'importance des processus d'échange d'ions dans le sol, proche des racines, pour que le potassium soit à disposition des plantes. Inst. Int. de la Potasse. Sect. 4, n°1, 1985, 12 p.

Lacarce E., 2006. Evolution structurale, minéralogique et géochimique d'une séquence Vertisol Alfisol. Etude dans la zone de transition climatique du sud de l'Inde sur socle Archéen. Thèse de Doctorat Université Pierre et Marie Curie Paris, 215 p.

Legros J.P., 2007. Les grands sols du monde, 592 p. <http://www.ppur.org/livres/978-2-88074-723-7.html>

Le Villio M., Arrouays D., Deslais W., Daroussin J., Le Bissonnais Y. et Clergeot D., 2001. Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné. *Etude et Gestion des sols*, Vol. 8, 1, pp. 47-63.

Leprun J.C., 1969. Evolution géomorphologique de la vallée du Sourou et de ses bordures voltaïques. Thèses-mémoires. [Site : http://web.supagro.inra.fr/pmb/opac_css/index.php?/VI](http://web.supagro.inra.fr/pmb/opac_css/index.php?/VI)
Consulté le 16/11/2011.

Leprun J.C., 1977. Géochimie de la surface et formes du relief IV. La dégradation des cuirasses ferrugineuses. Etude et importance du phénomène pédologique en Afrique de l'Ouest. *Strasbourg, Sci. Géol., Bull.*, 30, 4, pp. 265-273.

Leprun J.C. et Moreau R., 1968. Etude pédologique de la Haute Volta, région centre-nord. ORSTOM. Dakar Hann, 341 p.

Lévêque A., 1980. Les sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Leur différenciation et les principaux caractères déterminant leur fertilité. *Inst. Int. Pot. Séminaire sur le potassium*, 21-22 octobre, Abidjan, pp. 6-13.

Lompo F., 2009. Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina Faso. Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Naturelles., Université de Cocody, Abidjan, 251 p.

Loue A., 1980. Les teneurs critiques en potassium dans les diagnostics de nutrition de plantes de grande culture. 5^{ème} colloque international sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées (25-30 août), 13 p.

Marcel C., Ferry H., 2006. [http://www.lithotheque.ac.aixmarseille.fr/Affleurements PACA/83 permien angnens/granite](http://www.lithotheque.ac.aixmarseille.fr/Affleurements/PACA/83_permien_angnens/granite). Consulté le 05/07/2009 à 8H45mn.

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

MATD., 2005. Ministère de l'Administration Territoriale et de la Décentralisation. Les échos de la décentralisation : régionalisation du Burkina Faso, 50 p.

Mengel K., 1982. Facteurs et processus influant sur les besoins potassiques des cultures. Inst. Int. de la Pot. n°9 (Section 16), 13 p.

Mhiri A., 2002. Le potassium dans les sols de Tunisie, Atelier sur la gestion de la fertilité potassique, acquis et perspectives de la recherche. Institut National Agronomique de Tunisie, 13 p.

MEF, 2009. Document de stratégie de croissance accélérée et de développement durable (SCADD) 2010-2015. Note conceptuelle, Ministère de l'Economie et des Finances du Burkina Faso, 85 p.

Morschel J. and Fox D., 2004. Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort Lauragais. UMR6012 ESPACE, Equipe Gestion et valorisation de l'environnement, 12 p.

Mugishawimana J., 2000. Impact de la pluviométrie des dix dernières années sur la mise en place des cultures mécanisées en zone cotonnière Ouest du Burkina Faso : cas du coton et du maïs. Mémoire d'Ingénieur en Agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, 85 p.

Munsell C., 1975. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland, USA.

Nambiar K.K.M. et Ghosh A.B., 1981. Réponse des cultures au potassium et bilan potassique du sol dans des essais de fertilisation de longue durée. (Résumé) Inst. Int. de la Pot. n°1.

Nemeth K. et Rex M., 1981. Influence du volume racinaire sur l'efficacité de la fumure K. Int. Int. Pot. n°11/1985. Sect. 16. In. Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 37, RFA : 633-644.

OCDE, 2005. Importance économique et sociale du coton en Afrique de l'Ouest : Rôle du coton dans le développement, le commerce et les moyens d'existence. Secrétariat du Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, Novembre 2005. 72 p.

Oosterhuis D., 2001. Physiology and nutrition of high yielding cotton in the USA. *Informações agrônômicas* N°95 setembro 2001, pp. 18-24.

Oosterhuis D., 2001. Potassium management of cotton. Department of crop, Soil and Environmental Science, University of Arkansas, Fayetteville, AR 72701, USA, pp. 321-346.

Ouattara B., 2009. Analyse-diagnostic du statut organique de l'état structural des sols des agrosystèmes cotonniers de l'Ouest du Burkina Faso (Terroir de Bondoukuy). Thèse de Doctorat d'Etat, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 186 p.

Ouédraogo J.P., Ouedraogo J.B.G. et Baldy C.M., 1991. Premières données sur le rayonnement global et la durée d'insolation en Haute Volta. *La météorologie*, VI^e série, n°25, juin 1991 : 123-134 ;

Ouédraogo M., 2008. Analyse de la performance économique des exploitations agricoles de type familial et de type agro-business : cas de l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur du Développement rural, UPB Bobo, Burkina Faso, 68 p.

Pettigrew W.T., 2003. Relationship between insufficient potassium and crop maturity in cotton. *Agron J* 95, 13293-11329.

Pettigrew W.T., 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol Plant* 133, 670-681.

Poulain J.F., Sedogo M.P. et Morant P., 1980. Fertilisation potassique des cultures vivrières et ses effets sur la fertilité de quelques types de sols caractéristiques de Haute Volta. *Inst., Int., Pot. Séminaire sur le potassium*, 21-22 oct. Abidjan 1980 : 176-207.

Prognon F., 2006. Provenance du matériel a l'origine des formations pédologiques quaternaires des archipels des Bermudes et des Bahamas. Thèse de Docteur de l'Ecole des Mines de Paris .Spécialité "Dynamique et Ressources des Bassins Sédimentaires". 293 p.

Rabeharisoa R.L., 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat es Sciences Naturelles. Université d'Antananarivo, 197 p.

Reddy K.R. Hodges H.F. and Varco J., 2000. Potassium nutrition of cotton. In Hearn RA (Ed.), Bulletin 1094. Office of Agricultural Communications, Mississippi State University Division of Agriculture, Mississippi State, pp. 1-110

Reddy K.R. and Zhao D., 2005. Interactive effects of elevated CO₂ and potassium deficiency on the photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton. *Field Crops Res* 94 : 201-213.

Richard L., 1981. Rôle de la matière organique et du potassium échangeable dans la réponse des cultures à la fertilisation potassique. *Cot.Fib. Trop.* 36 (2) : 197-198.

Rieffel J.M. et Moreau R., 1969. Etude pédologique de la Haute Volta. Région ouest-sud. ORSTOM Dakar (Sénégal) et ORSTOM- Adiopodoumé (Côte d'Ivoire), 221 p.

Rosolem C.A., DA Silva R.H. and De Fátima Esteves J.A., 2003. Potassium supply to cotton roots as affected by potassium fertilization and liming (1). *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 38, N° 5, p. 635-641.

Ruiz L., 1990. Détermination in situ du pH de la rhizosphère par la méthode des indicateurs colorés. In, croissance et fonctionnement du système racinaire en sols dégradés, pp 17-28

Safya M., 1991. Alimentation minérale, hydrique et enracinement des plantes : cas de l'acidification et de la toxicité aluminique des sols tropicaux. 20 p.

Sanon M., Diallo A., Zoungrana M., Thanou O., Garani A. et Yameogo A., 2006. Changements climatiques et sécurité alimentaire. Communication présentée à l'occasion de la journée du CILSS, Ouagadougou, Burkina Faso, 30 p.

Sanou I.R.E., 2011. Etude des composantes de rendement du cotonnier transgénique dans les agrosystèmes de l'Ouest du Burkina Faso : Cas des zones de Daboura, Gombélé Dougou et de Sédougou. Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, IDR/UPB, 56 p.

Sansoulet J., 2007. Transferts d'eau et des ions potassium et nitrate dans un sol à capacité d'échange anionique sous un couvert redistributeur de la pluie : étude expérimentale et modélisation dans une bananeraie fertilisée sur un andosol. Thèse de Doctorat ès Sciences, spécialité Sol-Plante-Atmosphère, INA-PG Paris Grignon, France, 160 p.

SCADD 2006. Diagnostic du développement rural 2000-2009 : Situation et défis du développement rural du Burkina Faso. Stratégie de croissance accélérée et de développement durable (SCADD) 2010-2015, 75 p.

SCADD 2008. Diagnostic du développement rural 2000-2009 : Situation et défis du développement rural du Burkina Faso. Stratégie de croissance accélérée et de développement durable (SCADD) 2010-2015, 128 p.

Schwartz A., 2000. Culture du coton, sécurité alimentaire et développement durable dans les savanes de l'Afrique subsaharienne. L'exemple du Burkina Faso. in Sécurité alimentaire et développement durable édité par Paul Germain et Pierre Bauchet, Edition TEC-DOC, Paris, France, 10 p.

Sebillote M., 1988. Les transferts d'eau sol-système racinaire. In, Etude sur les transferts d'eau dans le système sol-plant- atmosphère. INRA Paris : 171-179.

Sédogo P.M., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de docteur ès-science mention sciences naturelles (Sciences du sol) FAST, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 333 p.

Sparks D.L., 1981. De la chimie du potassium dans les sols sableux. Revue de la Potasse (IPI), N°5, Section 4, 72è suite, 12 p.

SOFITEX, 2007. Rapport annuel d'activités 2006-2007 et perspectives pour la campagne 2007-2008. SOFITEX, Bobo-Dioulasso, Burkina faso, 84 p.

SOFITEX-CNCA, 1995. Eléments de stratégie de relance de la production coton graine au Burkina Faso. Rapport général de la première édition des journées coton sur la politique et stratégie de relance de la production cotonnière au Burkina, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, pp 9-11.

Soltner.D, 1994. Les bases de la production végétales. Le sol. Tome 1 : Sciences et techniques agricoles (éd). Angers, France. 20^e édition. 467p.

Son G., Badraoui M., Kambiré F. et Bourarach E., 2004. Effets du travail du sol sur la levée et le développement racinaire du cotonnier sur sols ferrugineux tropicaux lessivés au Burkina Faso. Revue H.T.E. N° 129 Juin 2004, pp 51-58.

SOSUCO, 1988. Rapport service agronomique campagne 1987/1988, Burkina Faso, 156 p.

SOSUCO, 2008. Rapport service agronomique campagne 2007/2008, Burkina Faso, 215 p.

Stone J.A. and Taylor H.M., 1983. Temperature and the development of the taproots and lateral roots of four indeterminate soybean cultivars. Agron. J., vol. 75 : 613-618.

Thebault L., 2011. Les fiches minéralogiques et géologiques. Aux minéraux du monde. Magmatisme et roches magmatiques. Ludovic.thebault@laposte.net, consulté le 4/12/11.

Triboulot M.B. et Pritchard J., 1997. Effects of potassium deficiency on cell water relations and elongation of tap and lateral roots of maritime pine seedlings. New Phytol, 135 : 269-272.

UNPCB, 2007. Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina : les valeurs et les missions de l'UNPCB (juillet 2007-juin 2012), 13 p.

Vaissayre M. et Cauquil J., 2004. Principaux ravageurs et maladies du cotonnier en Afrique au Sud du Sahara. CIRAD-CTA, 59 p.

Van der Lee, 1998 Thermodynamic and mathematical concepts of CHESS. Technical Report Pr.LNM/RD/98/39, Ecoles de Mines de Paris, Fontainebleau, France.

Vognan D., 2008. Association du compost à la fumure minérale dans une rotation coton-maïs. Mémoire de Brevet de Technicien Supérieur, option agronomie, CAP/Matourkou, 45 p.

Wakley A. and Black T., 1934. An examination of the Degtjarell method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil. Sci. 37, pp. 29-38.

Waongo M., 2007. Caractérisation agroclimatique et exploitation d'informations météorologiques destinées à un programme d'assistance opérationnelle au monde rural : amélioration de la culture du coton à l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en météorologie, 91 p.

Weir B.L., Kerby T.A, Roberts B.A., Mikkelsen D.S. and Garber R.H., 1986. Potassium deficiency syndrome of cotton. nt. Pot. Inst. In California Agriculture, 13-14 September-October (1986).

WRB, 2006. World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. ISBN 92-5-105511-4, 145 p.

Wesemael B.V., 2006. Les teneurs en matières organiques dans les sols en région Wallonne. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon, Suiosse, 15 p.

Yao G.F., 2006. Caractérisation physico-chimique des sols brunifiés de Kanhankro (Toumodi) : étude d'une toposéquence. Mémoire de Maîtrise PVE, Université d'Abobo-Adjamé, RCI, 60 p.

Yao K., 1982. Etude des sols Rouges Montmorillonitiques Acides de la Martinique. Thèse de Doctorat de troisième cycle en Pédologie et Aménagement des sols, Université de Paris 7, 193 p.

Yao-Kouamé A., 2007. Caractéristiques physiques des sols brunifiés dérivés des formations du complexe volcano sédimentaire de Kanhankro (Toumodi) en moyenne Côte d'Ivoire. Rev. CAMES. Série A, Vol. 5 : 76-86.

Yao-Kouamé A., 2008. Etude des sols brunifiés dérivés de matériaux du complexe volcano-sédimentaire de Toumodi en moyenne Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat d'Etat ès-sciences naturelles, Université de Cocody ; Côte d'Ivoire, 207 p.

Yoboué K.E., 2006. Caractérisation des oxydes et des hydroxydes des sols brunifiés de Kanhankro (Toumodi) : Etude de deux toposéquences. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan (CIV), 70 p.

Zia-Ul-Hassan and Arshad M., 2008. Evaluating factors affecting cotton tolerance to potassium deficiency stress using path analysis. Int. Journal of Agriculture & Biology, Vol. 10 (5) : 511-516.

Zia-Ul-Hassan and Arshad M., 2011. Relationship among root characteristics and differential potassium uptake and use efficiency of selected cotton genotypes under potassium deficiency stress. P. J. Bot., 43(4) : 1831-1835.

Zombré N.P., 2003. Les sols très dégradés "zipella" du centre nord du Burkina Faso : dynamique, caractéristiques morpho-bio-pédologiques et impacts des techniques de restauration. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, 324 p.

Zonon A., 2004. Les déterminants de la pauvreté régionale au Burkina Faso. CAPES, Ouagadougou, Burkina Faso, 37 p.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iv
SIGLES & ABRÉVIATIONS.....	vi
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
Résumé	xiii
Abstract	xv

INTRODUCTION GENERALE.....	- 1 -
----------------------------	-------

Première Partie : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE BURKINA FASO.....	- 6 -
1.1. Climat.....	- 6 -
1.1.1. Précipitations	- 8 -
1.1.2. Vents.....	- 9 -
1.1.3. Insolation	- 10 -
1.1.4. Températures	- 10 -
1.1.5. Humidité atmosphérique et évaporation	- 11 -
1.2. Végétation	- 11 -
1.3. Relief.....	- 12 -
1.4. Réseau hydrographique.....	- 13 -
1.5. Substratum géologique	- 14 -
1.5.1. Socle précambrien.....	- 15 -
1.5.2. Couverture sédimentaire.....	- 16 -
1.5.3. L'altération des roches	- 16 -
1.6. Sols	- 19 -
1.7. Milieu humain	- 22 -
1.8. Activités socio-économiques	- 22 -
1.8.1. Caractéristiques des systèmes de production agricoles	- 23 -
1.8.2. Organisations de producteurs de coton.....	- 26 -

CHAPITRE II : CONTEXTE DE LA ZONE DE PRODUCTION SOFITEX.....	- 28 -
2.1. Localisation	- 29 -
2.1.1 Sites d'étude.....	- 29 -
2.2. Climat.....	- 32 -
2.2.1. Pluviosité	- 32 -
2.3. Végétation et réseau hydrographique	- 33 -
2.4. Géomorphologie	- 35 -
2.5. Substratum géologique	- 36 -
2.6. Sols en zone SOFITEX.....	- 37 -
2.7. Agro-systèmes cotonniers.....	- 39 -

CHAPITRE III : LE COTONNIER DANS LES AGRO-SYSTEMES SOUDANO-

3.1. Botanique	- 42 -
3.2. Architecture du cotonnier	- 43 -
3.2.1. Partie aérienne.....	- 43 -
3.2.2. Partie souterraine	- 46 -
3.3. Cycle de développement.....	- 50 -
3.3.1. Protection phytosanitaire du cotonnier dans les agro-systèmes.....	- 51 -
3.3.2. Abscission des organes fructifères et pouvoir compensateur	- 52 -
3.4. Ecophysiologie et nutrition minérale du cotonnier.....	- 53 -
3.4.1. Itinéraires techniques et absorption des éléments nutritifs	- 53 -
3.4.1.1. Itinéraire technique en production cotonnière.....	- 54 -
3.4.1.2. Nutrition minérale.....	- 55 -
3.4.2. Facteurs climatiques affectant l'absorption des éléments minéraux	- 56 -
3.4.3. Facteurs édaphiques au niveau de la rhizosphère	- 59 -
3.4.4. Interactions sol et système racinaire	- 60 -
3.4.5. Fertilisation et nutrition potassique du cotonnier dans les agro-systèmes.....	- 64 -
3.4.6. Absorption des ions K ⁺ dans les zones soudano-sahéliennes	- 71 -

Deuxième Partie : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE IV : MATERIEL.....	- 77 -
4.1. Matériel végétal.....	- 77 -
4.1.1. Variétés de cotonnier	- 77 -
4.1.2. Variétés de maïs.....	- 80 -
4.2. Fumure minérale	- 80 -
4.3. Fumure organique	- 83 -
4.4. Matériels techniques de terrain	- 83 -
4.4.1. Matériel de prospection	- 83 -
4.4.2. Matériel pour la confection des fosses pédologiques	- 85 -
4.4.3. Matériel pour le prélèvement et le conditionnement des échantillons de sol et de tissus végétaux	- 85 -
4.4.4. Matériel pour l'étude du système racinaire.....	- 85 -
4.5. Matériel de laboratoire	- 87 -
4.5.1. Matériel pour les analyses de roches	- 89 -
4.5.2. Matériel pour les analyses de sol	- 89 -
4.5.3. Matériel pour analyse de tissus végétaux	- 90 -
4.6. Produits chimiques.....	- 90 -
4.7. Autre matériel scientifique et technique	- 90 -
CHAPITRE V : METHODES.....	- 91 -

5.1. Etude micromorphologique	- 92 -
5.2. Analyse chimique des roches et des produits d'altération.....	- 92 -
5.3. Analyses de sol.....	- 93 -
5.4. Analyses d'échantillons végétaux.....	- 95 -
5.5. Etudes du système racinaire du cotonnier	- 99 -
5.6. Essais et tests de fertilisation	- 101 -
5.7. Autres paramètres d'absorption des éléments minéraux	- 108 -
5.8. Analyses statistiques	- 109 -

Troisième Partie : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE VI : RESULTATS..... - 110 -

6.1. Contribution des roches mères et des produits d'altération aux variations de teneurs en potassium des sols en zone soudano-sahélienne.....	- 110 -
6.1.1. Examen macroscopique et micromorphologique des roches.....	- 110 -
6.1.2. Produits d'altération des roches.....	- 119 -
6.2. Effet des types de sol et des segments topographiques sur la dynamique du potassium dans les systèmes de culture coton-céréales.....	- 124 -
6.2.1. Ferralsols.....	- 124 -
6.2.2. Sols ferrugineux tropicaux (Lixisols)	- 130 -
6.2.2.1. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels (Flis) ou plinthosols épipétriens ferriques de haut de versant.....	- 136 -
6.2.2.2. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds (Flipp) ou plinthosols épipétriens ferriques de mi versant.....	- 136 -
6.2.2.3. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés moyennement profonds (Fmp) ou lixisols endo-petroplinthique ferriques	- 137 -
6.2.2.4. Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés profonds (Flip) ou lixisols endo-petroplinthique ferriques : > 60 cm.....	- 138 -
6.2.2.5. Sols ferrugineux à pente forte (≥ 15 p.c.) sur blocs de latérite.....	- 140 -
6.2.3. Sols bruns (Cambisols)	- 141 -
6.2.3.1. Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes ou cambisols gleyique endo-calcaire eutrienne en haut de versant	- 146 -
6.2.3.2. Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques ou cambisols vertique gleyique épi-calcaire (C_{H3}) du bas de versant.....	- 147 -
6.2.3.3. Sols bruns à pente forte (≥ 15 p.c.) sur blocs de roches vertes	- 149 -
6.2.4. Latéritisation des horizons pédologiques.....	- 150 -
6.3. Effet du type de sol sur l'architecture et l'efficacité du système racinaire du cotonnier dans l'absorption des éléments nutritifs	- 152 -
6.3.1. Caractéristiques du système racinaire.....	- 152 -
6.3.1.1. En station.....	- 153 -
6.3.1.2. En milieu réel	- 155 -
6.3.2. Composantes du rendement.....	- 159 -
6.3.2.1. Composantes du rendement selon les segments topographiques	- 159 -
6.3.2.2. Composantes du rendement selon les doses de fertilisants potassiques. -	161 -
6.3.3. Impact de la modification du système racinaire sur le fonctionnement de la plante- 161 -	
6.3.3.1. Incidence des modifications du système racinaire sur le profil racinaire- 161 -	

6.3.3.2. Incidence des modifications du système racinaire les paramètres de productivité	- 163 -
6.3.4. Fonctionnement des racines et absorption des éléments minéraux dans les agro-systèmes	- 168 -
6.4. Effets des apports de KCl sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agro-systèmes soudano-sahéliens	- 170 -
6.4.1. Evaluation de l'efficacité du système racinaire du coton, du maïs et du sorgho vis-à-vis de l'absorption du potassium	- 170 -
6.4.1.1. Analyses de sol	- 170 -
6.4.1.2. Rendements	- 171 -
6.4.1.3. Nutrition minérale	- 172 -
6.4.2. Effets des apports de fertilisants sur l'absorption des ions K^+	- 175 -
6.4.2.1. Cas des sols ferrallitiques	- 175 -
6.4.2.2. Cas des sols ferrugineux tropicaux	- 178 -
6.4.2.3. Cas des sols bruns tropicaux (Cambisols)	- 181 -
CHAPITRE VII : DISCUSSION	- 185 -
7.1. Contribution des roches mères et des produits d'altération aux variations de teneurs en potassium des sols en zone soudano-sahélienne	- 185 -
7.2. Effet des types de sol et des segments topographiques sur la dynamique du potassium dans les systèmes de culture coton-céréales	- 193 -
7.3. Effet du type de sol sur l'architecture et l'efficacité du système racinaire du cotonnier vis-à-vis de l'absorption des éléments nutritifs	- 206 -
7.4. Effets des apports de KCl sur l'absorption des ions K^+ par le cotonnier dans les agro-systèmes soudano-sahéliens	- 213 -
CONCLUSION GENERALE	- 219 -
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	- 226 -
TABLE DES MATIERES	- 245 -
ANNEXES	- 249 -

ANNEXES

Annexe 1: Coordonnées géographiques des profils**Annexe 1a : Station de Farako-Ba**

Profil sol A : Station de Farako-Ba						
Profil A (haut)	H1	Horizon A1	C1	0-8 cm		5YR 5/6 à 5YR 4/6
		Horizon A2	C2	8-23 cm		5YR 6/8 à 5YR 5/6
		Horizon A3	C3	23-120 cm		5YR 6/8 à 5YR 5/6
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-60 cm		
		P4		60-80 cm		
		P5		80-100 cm		
		P6		100-120 cm		
Profil B (moyen)	H2	Horizon A1	C1	0-22 cm		5YR 6/4 à 5YR 4/3
		Horizon A2	C2	22-37 cm		5YR 5/6 à 5YR 4/6
		Horizon A3	C3	37-120 cm		5YR 5/6 à 5YR 4/6
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-60 cm		
		P4		60-80 cm		
		P5		80-100 cm		
		P6		100-120 cm		
Profil C (bas)	H3	Horizon A1	C1	0-15 cm		5YR 6/4 à 5YR 4/4
		Horizon A2	C2	15-25 cm		5YR 6/6 à 5YR 4/6
		Horizon A3	C3	25-120 cm		5YR 6/8 à 5YR 5/6
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-60 cm		
		P4		60-80 cm		
		P5		80-100 cm		
		P6		100-120 cm		
		Roche mère				

NB : A₀ disparue pour cause de mise en culture

Annexe 1b : Ferme de Boni

Profil sol B : Ferme de Boni						
Profil A (haut)	H1	Horizon A1	C1	0-12 cm		7,5YR 6/2 à 7,5YR 6/4
		Horizon A2	C2	12-25 cm		7,5YR 6/4 à 7,5YR 5/6
		Carapace	Latérite	25-72 cm		5YR 6/8 à 5YR 5/8
		Horizon A3	C3	72-120 cm		7,5YR 6/8 à 7,5YR 5/8
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-80 cm		
		P3				
		P4				
		P5		80-120 cm		
		P6				
Profil B (moyen)	H2					
		Horizon A1	C1	0-23 cm		7,5YR 7/2 à 7,5YR 6/4
		Horizon A2	C2	23-40 cm		7,5YR 6/4 à 7,5YR 5/6
		Carapace	Latérite 1	40-78 cm		5YR 5/6 à 5YR 4/6
		Carapace	Latérite 2	78-120 cm		5YR 6/6 à 5YR 4/6
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-120 cm		
		P4				
		P5				
		P6				
Profil C (bas)	H3	Horizon A1	C1	0-20 cm		7,5YR 7/2 à 7,5YR 5/2
		Horizon A2	C2	20-50 cm		7,5YR 7/2 à 7,5YR 6/2
		Carapace	Latérite	50-120 cm		7,5YR 6/6 à 7,5YR 6/6
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-120 cm		
		P4				
		P5				
		P6				

NB : horizon A0 disparue pour cause de mise en culture ;

Annexe 1c : Ferme de Mwauvoun

Profil sol C : Ferme de Mwauvoun						
Profil A (haut)	H1	Horizon A1	C1	0-10 cm		10YR 4/2 à 10YR 3/2
		Horizon A2	C2	10-42 cm		10YR 6/6 à 10YR 5/6
		Horizon A3	C3	42-60 cm		10YR 5/6 à 10YR 6/8
		Horizon A4	C4	60-120 cm		10YR 7/6 à 10YR 6/8
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-60 cm		
		P4		60-80 cm		
		P5		80-100 cm		
		P6		100-120 cm		
Profil B (moyen)	H2	Horizon A1	C1	0-12 cm		10YR 3/2 à 10YR 3/2
		Horizon A2	C2	12-64 cm		10YR 6/6 à 10YR 5/6
		Horizon A3	C3	64-120 cm		10YR 5/6 à 10YR 4/6
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-60 cm		
		P4		60-80 cm		
		P5		80-100 cm		
		P6		100-120 cm		
Profil C (bas)	H3	Horizon A1	C1	0-5 cm		10YR 4/3 à 10YR 3/2
		Horizon A2	C2	5-14 cm		10YR 4/4 à 10YR 3/2
		Horizon A3	C3	14-25 cm		10YR 4/6 à 10YR 4/3
		Horizon A4	C4	25-65 cm		10YR 6/4 à 10YR 5/6
		Horizon A5	C5	65-120 cm		10YR 5/6 à 10YR 5/8
	Profondeurs	P1		0-20 cm		
		P2		20-40 cm		
		P3		40-60 cm		
		P4		60-80 cm		
		P5		80-100 cm		
		P6		100-120 cm		

Annexe 2 : Composition chimique de quelques roches**Annexe 2a : Composition chimique de quelques roches acides**

Eléments	Granite noir	Granite rose	Gneiss	Grès
H₂O	0,40 p.c.	0,30 p.c.	0,40 p.c.	0,50 p.c.
	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$
SiO₂	2499696,06	582867,31	3443919,04	668269,92
Al₂O₃	16236243,36	10255951,90	13213956,79	8611096,05
Fe₂O₃	49480760,64	33888242,49	24093809,89	23484159,48
K₂O	15599628,28	10232573,66	12727375,07	5605965,27
MgO	6138707,98	4615366,65	2658297,04	507448,71
CaO	2285889,57	1796283,16	1638068,49	531724,11
Na₂O₃	3079503,40	3079503,40	3736441,64	134485,43
MnO	1889971,85	772603,14	414734,17	118838,01
TiO₂	3022704,39	2261611,16	1052187,72	62504,16
P₂O₅	772692,33	522046,92	354074,73	272854,18

Annexe 2b : Composition chimique de quelques roches basiques

Eléments	Basalte	Schiste	Dolérite
H₂O	0,50 p.c.	0,40 p.c.	0,50 p.c.
	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$
SiO₂	1569678,88	406984,53	1437802,15
Al₂O₃	57893505,65	8624504,59	30284719,57
Fe₂O₃	129004060,28	36141484,20	79047395,23
K₂O	19301963,41	6330165,16	19684532,49
MgO	19028280,34	1388552,19	32468973,28
CaO	24060978,20	526206,79	22735980,70
Na₂O₃	6466953,19	242607,97	4234967,57
MnO	2353097,35	257594,47	1117418,37
TiO₂	7424039,60	48516,08	5692678,50
P₂O₅	2156597,51	348221,92	2165448,29

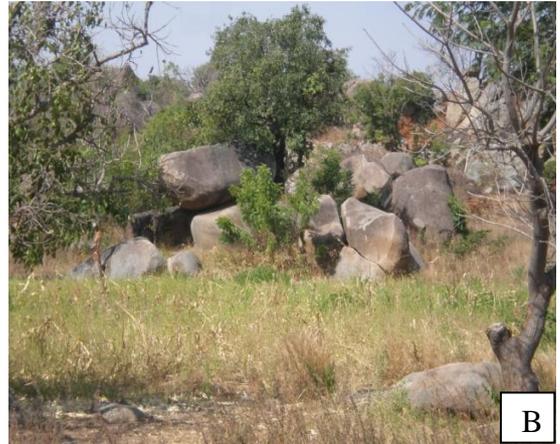
Annexe 2c : Composition chimique de quelques roches latéritiques

Eléments	Carapace	Cuirasse
	2,46 p.c.	2,15 p.c.
H ₂ O	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$
SiO ₂	692094,20	687683,81
Al ₂ O ₃	77588360,82	55887301,35
Fe ₂ O ₃	291011859,41	614889465,91
K ₂ O	5348208,03	3014621,91
MgO	497757,34	804347,02
CaO	366090,58	798320,10
Na ₂ O ₃	201914,31	182887,30
MnO	924403,83	375510,52
TiO ₂	906027,95	1703040,78
P ₂ O ₅	310644,67	620465,29

Annexe 2d : Variation des différents éléments entre le Grès sain et le sable de Grès

Eléments	Grès non altéré	Sable de grès	Variations
	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$	$\mu\text{g kg}^{-1}$
SiO ₂	668269,92	224647,84	-443622,08
Al ₂ O ₃	8611096,05	3219732,85	-5391363,20
Fe ₂ O ₃	23484159,48	743360,48	-22740799,00
K ₂ O	5605965,27	1387905,86	-4218059,41
MgO	507448,71	1348426,20	+840977,49
CaO	531724,11	306590,02	-225134,09
Na ₂ O ₃	134485,43	453829,97	+319344,54
MnO	118838,01	25048,92	-93789,09
TiO ₂	62504,16	42748,99	-19755,17
P ₂ O ₅	272854,18	333136,31	+60282,13

Annexe 3 : Vues de quelques roches en zone cotonnière Ouest



A : Carrière de granite

C : Grès de Dokuy

E : Morceau de kaolin

B : Blocs de granite

D : Grès fracturé (Djibasso)

F : Carrière de briques latéritiques



G : Zone de saprolithe sur grès
H : Sable violet de la zone de saprolithe
I : Carrière de sable de grès

J : Fosse d'orpailleurs sur colline birimienne
K : Couche latéritique sur sol ferrugineux
L : Couche latéritique sur sol ferrallitique

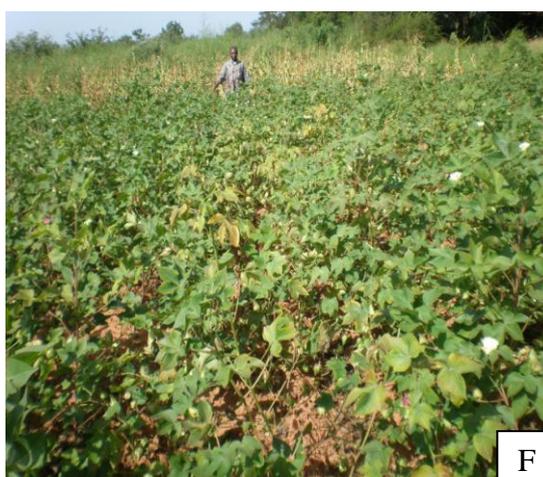
Annexe 4 : Vues de quelques types de sols



A : Fosse pédologique sur sol brun
B : Zone de sol brun
C : Coupe de sol ferralitique

D : Parcelle sur sol ferrugineux gravillonnaire
E : Observation de profil
F : Coupe de sol ferrugineux sur granite

Annexe 5 : Vues de quelques parcelles échantillonnées en milieu paysan



A : Parcelle de coton pur
B : Association maïs intercalé 5 lignes dans le coton
C : Association maïs-coton en culture parallèle

D : Association maïs intercalé 3 lignes dans le coton
E : Déficiency K sur cotonnier
F : Plage de déficiency en K (en début)



G



H



I



J



K



L

G : Plage de déficience en K (en stade avancé)
 H : Plage de déficience en K (aspect chauve-souris)
 K : : Cottonniers déhiscents

I : Cottonniers en fin de 1^{er} cycle
 J : Cottonniers en debut de déficience (30%)
 L : Marché coton

EFFET DE L'INOCULUM «COMPOST PLUS» SUR LE COMPOSTAGE DES TIGES DE COTONNIER ET LES RENDEMENTS EN COTON AU BURKINA FASO

D. DAKUO¹, B. KOULIBALY², C. TIAHOUN¹ et F. LOMPO³

¹Société Burkinabé des fibres textiles (SOFITEX). Direction du développement de la production cotonnière. BP 147, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. E-mail : ddakuo@yahoo.fr.

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Programme coton 01 BP 208 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso.

³Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Département Gestion des Ressources Naturels et Systèmes de Production.

RESUME

Afin de recycler les tiges de cotonnier en compost, l'inoculum «compost plus» comparé au fumier habituellement utilisé comme ferment, a été testé par un groupe de paysans en 2006. La durée de compostage, les consommations d'eau et les caractéristiques chimiques des composts ont été déterminées. Les composts obtenus ont été associés à la fumure minérale vulgarisée, à 5 t ha⁻¹ pour déterminer leur efficacité sur les rendements du cotonnier. La durée moyenne du compostage des tiges de cotonnier a été de 70 et 64 j avec «compost plus» et le fumier, respectivement. Durant le compostage, en saison sèche, les consommations d'eau par tonne de tiges de cotonnier avec «compost plus» (3584 l) ont été plus importantes que celles avec le fumier (2077 l). Ces quantités d'eau ont diminué significativement, en saison pluvieuse, de même que la durée de maturation du compost. Les composts obtenus se sont révélés pauvres en P et riches en N et en K. Ces composts, associés à la fumure minérale vulgarisée, ont amélioré significativement les rendements en coton graine. L'utilisation de «compost plus» pourrait améliorer les rendements à travers un recyclage approprié des tiges de cotonnier.

Mots clés : Tiges de cotonnier, compostage, «compost plus», fumier, rendement.

ABSTRACT

EFFECT OF INOCULUM «COMPOST PLUS» ON COTTON STRAW COMPOSTING AND COTTON YIELD IN BURKINA FASO

The inoculum «compost plus», as compared to manure, usually used as ferment, was used for the composting of cotton straws by farmers in 2006. Composting time, quantities of water used and chemical properties of the compost were determined. The use of the compost, at the rate of 5 t ha⁻¹, associated with conventional mineral fertilizer, was evaluated for cotton seed yield. The results showed that the time for cotton straw composting with «compost plus» and manure was 70 and 64 days, respectively. The quantity of water used, with «compost plus» during the dry season was higher (3584 l t⁻¹) than that of the manure (2077 l t⁻¹). The quantities of water decreased significantly during the rainy season. The same was true for composting time. The composts obtained with «compost plus» and manure, were lower in P and higher in N and K. Seed cotton yield increased significantly with the use of compost associated to mineral fertilizer. Finally the use of the «compost plus» inoculum could be an alternative for the recycling of cotton straws, with an increase in the organic matter content of soil and cotton production.

Key words : Cotton straws, composting, «compost plus», manure, yield.

INTRODUCTION

La faible utilisation de la fumure organique dans les zones cotonnières du Burkina Faso, a entraîné une rapide dégradation de la fertilité des sols, souvent accentuée par l'acidification induite par les engrais minéraux (Ouattara *et al.*, 2006 ; Traoré *et al.*, 2007a). La mise sous culture continue et la forte pression démographique et anthronique sur le processus de dégradation, de même qu'ils sont affectés par de fortes pressions démographiques (Somé *et al.*, 2007). Ceci constitue la principale contrainte de production du coton qui joue pourtant un rôle prépondérant dans l'économie du pays (Vognan 2006). Les restitutions organiques et les amendements recommandés par la recherche sont faiblement, voire rarement pratiqués (Bertrand et Gigou, 2000 ; Bationo *et al.*, 2006). L'insuffisance ou l'absence de restitutions organiques entraînent une baisse de la teneur en matière organique du sol et des rendements des cultures (Powell *et al.*, 2004). Le taux de matière organique, qui est de 1,2 à 1,5 % en première année, a baissé à 0,6 % après 15 années de culture (Traoré *et al.*, 2007b).

Les résidus de récolte, souvent brûlés dans la pâture, sont peu restitués au sol (Soumaré *et al.*, 2000 ; Lompo, 2005). Les résidus transformés en compost ne représentent qu'une faible proportion et ne permettent pas, dans tous les cas, de couvrir les besoins des nutritionnelles des cultures. Cette faible restitution de la matière organique entraîne une perte d'efficacité des engrais minéraux, dont les coûts sont souvent prohibitifs (Vall *et al.*, 2006). Par ailleurs, dans un contexte économique très difficile lié à la chute des cours du coton sur le marché mondial, entraînant, à son tour, la baisse des prix d'achat du coton graine aux producteurs, l'amélioration quantitative des récoltes est un grand défi pour les sociétés cotonnières du pays.

Depuis 2006, la société Burkinabé des fibres textiles (SOFITEX) s'est investie dans un vaste programme de promotion de la production de fumure organique dans la zone cotonnière ouest, qui assure 80 % de la production de coton du pays. Les producteurs ont été sensibilisés sur la nécessité d'assurer la durabilité des systèmes de cultures qui repose sur une gestion rationnelle de la fertilité des sols (Piéri, 1989 ; Djénontin *et al.*, 2002 ; Ouédraogo *et al.*, 2006). Selon Deckers (1993), Traoré *et al.* (2007 b),

une agriculture extensive, à faible consommation d'intrants, sans recyclage de résidus de récolte, entraîne des bilans négatifs en éléments nutritifs.

La valorisation des résidus de récolte, notamment le compostage des tiges de cotonnier, a été initiée auprès des producteurs de coton par le service de recherche et développement de la SOFITEX. Parmi les contraintes à la production de la fumure organique, le délai de compostage, souvent trop long et le manque de fumier comme ferment au compostage, sont préoccupants. De ce fait, un inoculum bactérien «compost plus» a été utilisé pour le compostage des tiges de cotonnier.

La présente étude, conduite en milieu paysan, vise à évaluer les principaux paramètres (besoin en eau, durée de maturation) de compostage des tiges de cotonnier. Les caractéristiques chimiques des composts produits dans diverses conditions ont été déterminées et leur efficacité sur le rendement du cotonnier évaluée au champ.

MATERIEL ET METHODES

SITES D'ETUDE

L'étude a été conduite de 2006 à 2007 à l'ouest du Burkina Faso, dans les régions cotonnières de Houndé (3°26' W et 11°32' N), Dédougou (3°28' W et 12° 28' N), Diébougou (3°15' W et 10° 58' N), Koudougou (2°31' W et 12° 12' N), Bobo (4°5' W et 11°06' N) et Banfora (5°30' W et 9°35' N). Le climat est de type soudanien caractérisé par une saison sèche allant de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre (Guinko, 1984). La pluviométrie, variant entre 800 et 1100 mm, est souvent mal répartie dans le temps et dans l'espace, à l'instar de l'ensemble du pays (Somé et Dembélé, 1996). Les sols sont en majorité ferrugineux tropicaux à texture variée et généralement pauvres en matière organique et en phosphore assimilable (Ouédraogo *et al.*, 2006).

CONDUITE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Deux types d'expérimentations ont été installées en milieu paysan. Il s'agit, d'une part, du compostage des tiges de cotonnier avec le fumier d'étable et l'inoculum «compost plus» et, d'autre part, de l'évaluation de l'efficacité des composts au champ.

Compostage des tiges de cotonnier

Les tests de compostage en andain ont été conduits en saison sèche (février à juin 2006) sur l'ensemble des six sites et en saison pluvieuse (juillet à septembre 2006) sur le site de Banfora. Les producteurs ont implanté 8 tests sur chaque site, soit un total de 48 tests. Les tiges de cotonnier à composter ont été, au préalable, découpées en petits morceaux (15 à 20 cm) ou sommairement broyées par un battage manuel. Les andains ont été construits en tas rectangulaires de 5 m de longueur sur 2 m de largeur et 1,5 m de hauteur.

Le «compost plus» et le fumier, utilisés comme ferments d'amorce pour le compostage, ont été comparés dans les traitements i) T1 : compostage avec le fumier à 200 kg t⁻¹ de tiges de cotonnier et ii) T2 : compostage avec le «compost plus» à 2,5 kg t⁻¹ de tiges de cotonnier.

L'inoculum «compost plus» est une souche thermophile de bactéries (*Bacillus farraginis*) commercialisé sous forme de granules.

Les andains ont été disposés en des couches successives de 30 cm d'épaisseur, et les matériaux à composter ensemencés avec le «compost plus» ou du fumier. Après la mise en andain, le recouvrement a été effectué par le bâchage étanche du tas. Au cours du compostage, un retournement et un arrosage sont réalisés toutes les deux semaines ; ce qui a permis d'assurer un meilleur mélange et une aération adéquate des matériaux en décomposition.

Evaluation de l'efficacité du compost sur le rendement du cotonnier

L'efficacité des composts obtenus à l'issue des tests a été ensuite évaluée sur les rendements du cotonnier. Pour ce faire, 35 tests multiloaux ont été implantés, à partir de juin 2007, selon un dispositif expérimental en blocs simples comportant 4 traitements. La superficie affectée à chaque traitement a été de 2500 m². Les traitements ont été définies comme suit : (i) témoin sans engrais, (ii) fumure minérale seule (Fm), (iii) fumure minérale + 5 t ha⁻¹ de compost et (iv) fumure minérale + 5 t ha⁻¹ de fumier.

La fumure minérale a été assurée par des apports de 150 kg ha⁻¹ d'engrais coton (NPKSB) et de 50 kg ha⁻¹ d'urée, respectivement à 15 et 40 j après semis. Cette fumure minérale devrait

apporter par hectare : 44 N ; 34,5 P₂O₅ ; 21 K₂O ; 9 S et 1,5 B₂O₃. Les composts obtenus par la transformation des résidus de récolte et le fumier de parc ont été appliqués après labour et enfouis par hersage. Le fumier de parc est obtenu par la transformation de tiges de sorgho selon la technique du parc d'hivernage (Berger, 1996). Sa composition moyenne est de 60 % de matière organique, 1,03 % N ; 0,43 % de P₂O₅ et 1,49 % de K₂O.

Les travaux de préparation du sol ont consisté à labourer les parcelles par traction bovine à partir de la troisième décennie de mai jusqu'à fin juin selon les sites. Le compost et le fumier appliqués, de façon localisée, ont été ensuite enfouis par hersage.

La variété de cotonnier FK 37 utilisée, a été semée à différentes dates aux écartements de 40 cm entre les poquets sur les lignes et de 75 cm entre les lignes. Un démarriage des cotonniers, à deux pieds par poquet, a été intervenu 15 j après levée. Un sarclage et un buttage ont eu lieu 45 j après semis. Le programme de protection phytosanitaire vulgarisé en culture cotonnière a été suivi et du Profénofos a été appliqué à 500 g ha⁻¹, 30 et 44 j après levée, les associations «Lamdacyalothrine (12 g ha⁻¹)-Profénofos (200 g ha⁻¹)» aux 58^e et 72^e j et «Cyperméthrine (36 g ha⁻¹)-Acétamipride (8 g ha⁻¹)» aux 86^e et 100^e j (Drabo, 2005) ont été effectués.

Paramètres évalués

La durée de maturation du compost a été déterminée sur les différents sites, de même que les quantités d'eau utilisées au cours du compostage. Une évaluation des consommations d'eau a été faite à la fois en saison sèche et en saison pluvieuse dans une seule région cotonnière. A la maturation des composts, des échantillons composites ont été constitués à partir des prélèvements effectués en 5 points dans chaque tas. Les différents échantillons de composts ont été ensuite broyés et tamisés à 0,5 mm et les principales caractéristiques chimiques (C, N, P et K) analysées au laboratoire du Bureau National des Sols (Bunasols), (Bunasols, 1987). Le dosage du C total et de N total ont été effectués, respectivement à l'aide de méthodes de Walkley-Black et de Kjeldahl. Les teneurs en P ont été déterminées par colorimétrie, tandis que celles en K ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique.

Une évaluation des rendements des cotonniers a été faite à la récolte en implantant 3 carrés de rendement de 100 m² (10 m x 10 m) dans chaque parcelle élémentaire.

TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Les analyses statistiques des données collectées ont été réalisées au moyen du logiciel XLSTAT 2007. Le test de Fisher a été utilisé pour la comparaison des moyennes lorsque l'analyse de la variance a révélé des différences significatives entre les traitements, au seuil de 5 %.

RESULTATS

DUREE DE MATURATION DES COMPOSTS

Le processus de compostage des tiges de cotonnier a nécessité 56 à 69 j et 60 à 90 j avec l'utilisation respective du fumier et de l'inoculum «compost plus» comme ferments d'amorce du compostage (Tableau 1). Dans les tests témoins, où le fumier a été mélangé aux tiges de cotonnier (T1), le compostage a duré en moyenne 64 j, tandis que 70 j ont été nécessaires avec l'inoculum «compost plus» (T2). Les durées de compostage avec «compost plus» ont été vulnérables en fonction des sites d'expérimentation : elles ont été plus courtes (60 à 65 j) sur les sites de Koudougou, Bobo et Banfora, moyennes à Dédougou et Houndé (70 à 75 j) et plus longues à Diébougou, où elles ont atteint 90 j. De façon générale, pour le compostage des tiges de cotonnier, l'utilisation du fumier et de l'inoculum «compost plus» ont peu influencé les durées de compostage qui ont été quasi-équivalentes pour ces deux substrats.

QUANTITES D'EAU UTILISEE AU COURS DU COMPOSTAGE

Les volumes d'eau nécessaires au compostage d'une tonne de tiges de cotonnier en saison sèche sont présentés dans le tableau 2. Les quantités totales d'eau consommées sur les sites ont été en moyenne de 2 077 et 3 584 L avec le fumier et le «compost plus», respectivement, comparativement à la pratique habituelle associant le fumier au compostage des tiges de cotonnier (T1), les quantités d'eau nécessaires avec du «compost plus» ont été deux fois plus importantes. Les consommations d'eau les plus importantes avec «compost plus» ont été observées sur les sites de Banfora et de Houndé, où elles ont atteint 4 403 et 4 500 L, respectivement. Pour tous les deux substrats (fumier et «compost plus»), on a observé une forte hétérogénéité dans les consommations d'eau au cours du compostage.

Par ailleurs, avec l'inoculum «compost plus», les variations des paramètres de compostage ont été importantes entre la saison sèche et la saison hivernale à Banfora (Tableau 3). En saison pluvieuse, la quantité d'eau utilisée pour le compostage a été considérablement plus. Elle a été en moyenne 7 fois plus faible que la quantité d'eau utilisée en saison sèche. Un seul arrosage a parfois suffi lors de la mise en place des matériaux au début du compostage, en saison pluvieuse. La durée et le nombre de retournements pour le compostage en saison pluvieuse ont été plus faibles qu'en saison sèche. La durée du compostage a baissé de 65 j en saison sèche à seulement 45 j en saison pluvieuse à Banfora (Tableau 3). Ce qui a entraîné une réduction du temps de compostage de 20 j et l'économie d'un retournement. Le compostage en saison sèche, nécessitant beaucoup plus de temps et de retournements, s'est révélé plus contraignant qu'en saison pluvieuse.

Tableau 1 : Durée de compostage des tiges de cotonnier en saison sèche.*Cotton straws composting duration in dry season.*

Traitements	Nombre de jours de compostage						
	Banfora	Bobo	Dédougou	Diébougou	Houndé	Koudougou	Moyenne
T1 : Compostage avec le fumier utilisé à 200 kg t ⁻¹ de tiges de cotonnier	56 ± 3,7	69 ± 4,2	-	65 ± 5,5	67 ± 5,4	62 ± 7,2	64 ± 5
T2 : Compostage avec le «compost plus» utilisé à 2,5 kg t ⁻¹ de tiges de cotonnier	65 ± 4,7	62 ± 6,7	70 ± 3,4	90 ± 7,4	75 ± 4,5	60 ± 5,5	70 ± 11

La valeur de chaque site est la moyenne de 8 tests de compostage (n = 8) / Values are averages from 8 experiments (n = 8)

- non déterminé / not determined value

Tableau 2 : Volumes d'eau utilisés pour le compostage d'une tonne de tiges de cotonnier en saison sèche.*Quantity of water used during the composting of one ton of cotton straws in dry season.*

Traitements	Volume d'eau en (L)						
	Banfora	Bobo	Dédougou	Diébougou	Houndé	Koudougou	Moyenne
T1 : Compostage avec le fumier utilisé à 200 kg t ⁻¹ de tiges de cotonnier	2131 ± 352	1946 ± 385	1850 ± 268	2167 ± 563	2720 ± 448	1650 ± 272	2077 ± 368
T2 : Compostage avec le «compost plus» utilisé à 2,5 kg t ⁻¹ de tiges de cotonnier	4403 ± 726	2969 ± 588	3200 ± 470	-	4500 ± 549	2600 ± 640	3584 ± 865

La valeur de chaque site est la moyenne de 8 tests de compostage (n = 8) / Values are averages from 8 experiments (n = 8)

- non déterminé / not determined value

Tableau 3 : Variation des paramètres de compostage avec l'inoculum "compost plus" en saison sèche et en période d'hivernage dans la région de Banfora.*Changes in composting parameters with "compost plus" inoculum during the dry and the rainfall seasons at Banfora.*

Sites	Volume d'eau (litres/tonne de tiges)		Durée du compostage (j)		Nombre de retournement	
	Saison sèche	Saison pluvieuse	Saison sèche	Saison pluvieuse	Saison sèche	Saison pluvieuse
	Kimini	3568	540	61	43	4
Kapalé	4440	620	66	46	4	3
Outourou	5200	740	67	45	4	3
Moyenne	4403 ± 817	633 ± 101	64,7 ± 3,2	44,7 ± 1,5	4	3

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES COMPOSTS

Les composts issus de la transformation des tiges de cotonnier avec le fumier et l'inoculum «compost plus» comme substrats d'amorce, ont eu des teneurs en matière organique de 40,86 et 60,73 %, respectivement (Tableau 4). Les composts obtenus avec «compost plus» ont eu des teneurs plus importantes en matière organique, plus importante mais leur rapport C:N (26,5) a été plus élevé que celui des composts obtenus avec du fumier comme ferment (17,1). Les teneurs moyennes en N, P et K des deux types de compost ont été assez homogènes. Ces composts, avec une teneur moyenne de 1,39 %, ont eu des teneurs en N plus élevées. Avec des teneurs en P et K de 0,94 et 1,48 % respectivement, les composts produits avec l'inoculum «compost plus» se sont révélés plus riches que les composts témoins obtenus avec le fumier. De façon générale, les composts de tiges de cotonnier ont eu des teneurs en N et K plus importants mais ont été relativement pauvres en P.

EFFETS DES FUMURES SUR LES RENDEMENTS EN COTON GRAINE

L'utilisation du compost ou du fumier combinée à la dose vulgarisée de fumure minérale a permis d'accroître, de façon significative, les rendements en coton graine (Tableau 5). Comparativement aux parcelles fertilisées, la culture du cotonnier pratiquée sans aucun apport d'engrais (témoin sans engrais) a entraîné des rendements significativement plus faibles. La fumure minérale vulgarisée a amélioré les rendements de 35 %, soit un supplément de production de 444 kg ha⁻¹ de coton graine par rapport au témoin. En association avec la fumure minérale, le compost et le fumier ont présenté une efficacité statistiquement équivalente sur les rendements en coton qu'ils ont améliorés en moyenne de 19 et 27 %, respectivement. Sur l'ensemble des sites, les associations du compost ou du fumier à la fumure minérale, ont accru les rendements en coton graine de 241 et 336 kg ha⁻¹ par rapport à l'apport au champ de la fumure minérale seule. L'on a observé une forte hétérogénéité des deux rendements sur les sites et des variations importantes de l'effet des fumures, notamment du compost et du fumier sur les rendements.

Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des composts.

Chemical characteristics of different composts.

Composition	T1 : Compostage avec le fumier utilisé à 200 kg t ⁻¹ de tiges de cotonnier			T2 : Compostage avec le «compost plus» utilisé à 2,5 kg t ⁻¹ de tiges de cotonnier				
	Banfora	Bobo	Moyenne	Banfora	Bobo	Diébougou	Koudougou	Moyenne
Matière organique (%)	38,79	42,93	40,86 ± 2,93	51,7	61,89	65,38	63,94	60,73 ± 6,19
Azote (%)	1,31	1,47	1,39 ± 0,11	1,75	1,09	1,46	1,24	1,39 ± 0,29
C/N	17,2	17,0	17,1 ± 0,14	17	33	26	30	26,50 ± 6,95
P ₂ O ₅ (%)	0,30	0,89	0,60 ± 0,42	0,89	0,66	1,09	1,43	0,94 ± 0,21
K ₂ O (%)	1,20	1,32	1,26 ± 0,08	1,5	1,48	1,49	1,46	1,48 ± 0,02

Tableau 5 : Rendements en coton graine sur les sites en fonction des fumures.*Effect of fertilizers on cotton seed yield at the different experiment sites.*

Traitements	Sites				Moyenne	
	Banfora	Diébougou	Houndé	Koudougou		
	kg ha ⁻¹					
Témoin (sans engrais)	902 b	535 d	552 c	1309 c	824 c	
Fumure minérale (150 kg/ha NPKSB + 50 kg/ha d'urée)	1466 a	909 c	1136 b	1563 b	1268 b	
Fumure minérale + 5 t ha ⁻¹ de compost	1491 a	1097 b	1635 a	1814 a	1509 a	
Fumure minérale + 5 t ha ⁻¹ de fumier	1582 a	1335 a	1666 a	1835 a	1605 a	
Moyenne par site	1360	969	1247	1630	1302	
Analyses	F	44,345	85,083	152,525	72,944	18,876
	Prob (5 %)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
	Signification	s	s	s	s	s

Les valeurs suivies de la même lettre dans la colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Fisher au seuil de probabilité 5 % / Values followed by the same letter in column are not significantly different according to Fisher's test à 5 % level. s = significatif / significant.

DISCUSSION

L'utilisation de «compost plus» a permis de composter les tiges de cotonnier au bout de 70 j en moyenne. Ceci confirme l'efficacité de cet inoculum bactérien qui s'est révélé tout aussi adapté que le fumier habituellement utilisé comme ferment. Les variations de la durée de maturation des composts sur les sites d'expérimentation pourraient être attribuées au mauvais broyage des tiges de cotonnier et des soins apportés aux opérations de retournement et d'arrosage durant le compostage (Sawadogo, 2006 ; Traoré, 2007). En effet, le non respect des délais de retournement et d'arrosage ont prolongé à 90 j la durée de maturation à Diébougou. Selon Znaïdi (2002), la vitesse de maturation des composts a été étroitement liée à sa teneur en eau. La consommation d'eau au cours de la décomposition des tiges de cotonnier a été élevée à cause de leur teneur élevée en lignine et la faible teneur en eau au début du compostage (Zangré, 2000). Cette consommation d'eau a été principalement liée à l'accélération du processus de décomposition des substrats organiques par les bactéries décomposeurs de «compost plus» ou du fumier. Ce qui a occasionné une forte consommation d'oxygène et d'eau (Mustin, 1987). De plus, l'évaporation d'eau en phase thermophile doit parfois être compensée par un ou plusieurs arrosages (Znaïdi, 2002). Avec l'inoculum «compost plus», les quantités d'eau exigées pour le compostage en saison sèche, seraient liées aux pertes induites lors des arrosages. En

revanche, l'adjonction du fumier, au compostage des tiges de cotonnier a favorisé une meilleure rétention de l'eau réduisant la consommation. Les disparités des consommations d'eau durant le compostage des tiges de cotonnier ont été surtout liées à la non maîtrise par les paysans des fréquences d'arrosage souvent accentuée par le manque d'eau et de main d'œuvre. Les besoins en eau pour le compostage ont été sensiblement réduits en saison pluvieuse, en raison des économies d'arrosage engendrées par l'eau de pluie.

L'analyse des caractéristiques chimiques a révélé, avec l'utilisation de l'inoculum «compost plus», une plus grande richesse des composts en matière organique. Ce qui suggère que l'adjonction du fumier au compostage a favorisé, par une décomposition plus rapide des matériaux, un dégagement important de CO₂, justifiant ainsi la baisse des teneurs en carbone organique (Mustin, 1987). Comparativement à l'inoculum «compost plus», le rapport C:N, plus faible noté avec le fumier, montre qu'au cours du compostage, les pertes en carbone ont été, dans ce cas, plus importantes que celles de N (Ngaordoum, 2007). La décomposition des tiges de cotonnier riches en lignine est souvent complexe. Selon Jimenez et Garcia (1992), la lignine subit une biotransformation sans être dégradée en petites molécules avec une inclusion de N dans les cycles et une déméthylation des fonctions méthoxyl. Ce qui pourrait expliquer les teneurs élevées en N des composts. En ce qui concerne P, la variabilité de la composition des composts serait liée aux

techniques de compostage et aux substrats utilisés (Sharpley et Moyer, 2000 ; Griffin *et al.*, 2005). Les valeurs des teneurs en K ont varié de 1,26 à 1,48 %, et ont été comparables à celles des substrats organiques habituellement produits à l'aide de résidus de récolte tels que les tiges de sorgho (Berger, 1996 ; Traoré, 2007).

Comparativement au témoin (sans engrais), l'amélioration des rendements, suite à l'apport de fumure minérale, dénote d'une assez bonne réponse des sols aux engrais minéraux. Dans cette zone cotonnière, Traoré *et al.* (2007 b) a rapporté que la réponse des sols aux engrais minéraux a été quasi-nulle lorsque leur taux de matière organique se sont situés en deçà du seuil critique de 0,6 %. L'accroissement des rendements par la fertilisation chimique pratiquée en culture cotonnière combinée au compost ou au fumier, résulterait de l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol avec les amendements organiques (Hamdi *et al.*, 2002 ; Tejada et Gonzalez, 2007). La minéralisation des substrats organiques a permis d'améliorer la disponibilité des nutriments dans le sol et d'accroître la production de coton graine (Rajeswara, 2001 ; Rutunga et Neel, 2006). Selon Sims (1990), lorsque le rapport C:N du compost est supérieur à 20, la minéralisation de N est faible et sa disponibilité presque nulle en première année de culture. Cela pourrait expliquer, en partie, la supériorité du fumier par rapport au compost sur les rendements. Ouattara *et al.* (2006) ont mis en évidence, dans les agrosystèmes cotonniers, une amélioration des rendements par la fumure organo-minérale. La forte variabilité des rendements s'explique surtout par l'état de fertilité des sols. Ces sols, selon Traoré *et al.* (2007a), sont le plus souvent pauvres et désaturés en zone cotonnière ouest du Burkina Faso. De plus, les rendements ont été influencés par les retards de semis imposés par l'installation tardive des pluies. En général, dans cette zone, tout retard de semis après le 15 juin, entraîne une perte de rendement d'environ 250 kg de coton graine par hectare et par décade (Traoré *et al.*, 2007b). Les restitutions organiques par le compost et/ou le fumier, ont améliorés dans tous les cas, l'efficacité de la fumure minérale.

CONCLUSION

L'étude a montré que l'utilisation de l'inoculum «compost plus» permet de recycler les tiges de cotonnier en compost. Cet inoculum pourrait valablement remplacer le fumier habituellement utilisé comme ferment du compostage, mais qui fait souvent défaut à certains producteurs. Le compostage à l'aide de «compost plus» en saison pluvieuse a permis de réduire, de façon significative, les volumes d'eau nécessaires, ainsi que la durée de maturation des composts. Le respect des recommandations par les paysans s'avère indispensable pour assurer l'efficacité de «compost plus» pour le compostage. Les composts issus des teneurs élevées des tiges de cotonnier, ont eu plus en N et en K, mais relativement pauvres en P. Ces composts, associés à la fumure minérale, ont présenté une efficacité équivalente à celle du fumier sur les rendements en coton graine. Le compost en association avec la fumure minérale vulgarisée, améliore les rendements coton graine. Ce qui suggère que le recyclage des tiges de cotonnier en compost par l'utilisation du «compost plus» pourrait contribuer à améliorer, de façon durable, la production de coton graine au Burkina Faso.

REFERENCES

- Bationo A., J. Kihara, B. Vanlauwe, B. Waswa and J. Kimetu. 2006. Soil organic carbon dynamics, functions and management in west African agro-ecosystems. *Agricultural systems*, doi : 10.1016/j.agsy.2005.08.011.
- Berger M. 1996. L'amélioration de la fumure organique en Afrique Soudano-sahélienne. *Agric. Dév. hors série, fiches techniques*. Montpellier : Cirad éditions, 29 p.
- Bertrand R. et J. Gigou. 2000. La fertilité des sols tropicaux acides. ACCT, Ed. Maisonneuve & Larose, Paris, 397 p.
- Bunasols. 1987. Méthodes d'analyse physique et chimique des eaux et du sol. Document technique n°3. Ouagadougou, Burkina Faso, 159 p.

- Deckers J. 1993. La fertilité du sol et problème d'environnement dans différentes zones écologiques des pays en développement de l'Afrique sub-saharienne. *In* : Van Reuler P. et W. H. Prins (Eds.). Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Sub-saharienne, pp 41 - 58.
- Djénontin J. A., M. Amidou et B. Wennink. 2002. Valorisation des résidus de récolte dans l'exploitation agricole au nord du Bénin. Production de fumier dans le parc de stabulation des bœufs. *In* : Jamin J. Y., L. Seiny Boukar, C. Floret (Eds). Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun. Prasad, N'Djamena Tchad, Cirad Montpellier, France.
- Drabo A. 2005. Evaluation de l'efficacité de deux endotoxines de *Bacillus thuringiensis* (cry1ac et cry2ab) synthétisées par le cotonnier transgénique (coton bt) dans la gestion de la résistance de *Helicoverpa armigera* (hubner) à la deltaméthrine. Mémoire de fin d'études de l'Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 70 p.
- Griffin T. S., Z. He and C. W. Honeycutt. 2005. Manure composition affects net transformation of nitrogen from dairy manures. *Plant and Soil* 273 : 29 - 38.
- Guinko S. 1984. Végétation de la Haute Volta. Thèse doctorat ès sciences naturelles. Université de Bordeaux III, 318 p.
- Hamdi H., N. Jedidi, F. Ayari, A. Mhiri, A. Hassen and A. Ghrabi. 2002. The effect of Tunis' urban compost on soil properties, chemical composition of plant and yield. *In* : Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management. Tunis, pp 383 - 384.
- Jimenez E. I. and V. P. Garcia. 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 38 : 331 - 343.
- Lompo D. J. P. 2005. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture de l'ouest du Burkina Faso : évaluation des effets agronomiques et de la rentabilité économique de trois formules de fumure. Mémoire de fin d'études de l'IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 50 p.
- Mustin M. 1987. Le compost, gestion de la matière organique. F. Dubuse, 953 p.
- Ngaordoum D. 2007. Etude des effets de différentes doses de phosphate naturel du Burkina sur les caractéristiques et l'efficacité agronomique des comptes de pailles de maïs. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B), 41 p.
- Ouattara B., K. Ouattara, G. Serpentié, A. Mando, M. P. Sédogo and A. Bationo. 2006. Intensity cultivation induced effects on soil organic carbon dynamic in the western cotton area of Burkina Faso. *Nutr Cycl Agroecosyst* 76 : 331 - 339.
- Ouédraogo E., A. Mando and L. Stroosnijder. 2006. Effects of tillage, organic resources and nitrogen fertiliser on soil carbon dynamics and crop nitrogen uptake in semi-arid West Africa. *Soil Till Res.* 57 - 67.
- Piéri C. 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. CIRAD/Ministère de la Coopération et du Développement, 444 p.
- Powell J. M, R. A. Pearson and P. H. Hiemaux. 2004. Crop-Livestock Interactions in the West African Drylands. *Agron. J.* 96 : 469 - 483.
- Rajeswara R. B. R. 2001. Biomass and essential oil yield of rainfed palmaroso (*Cymbopogon martinii* «Roxb» wats.var motia Buk) supplied with different levels of organic manure and fertilizer nitrogen in semi - arid tropical climate. *Industrial crops and products*. 14(3) : 171 - 178.
- Rutunga V. and H. Neel. 2006. Yield trends in the long-term crop rotation with organic and inorganic fertilisers on Alisols in Mata (Rwanda). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 10(3) : 217 - 228.
- Sawadogo A. 2006. Evaluation de l'efficacité des composts de tiges de coton en culture cotonnière. Rapport de stage, Centre Agricole Polytechnique de Matourkou, 31 p.
- Sharpley A. and B. Moyer. 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of environmental quality*. ISSN 0047-2425; 29, (5) : 1462 - 1469.
- Sims J. T. 1990. Nitrogen mineralization and elemental availability in soils amended with composted sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*. 19 : 669 - 675.

- Somé L. et Y. Dembélé. 1996. Péjoration pluviométrique au Burkina Faso : impacts sur les productions agricoles. *In* : Actes 2^e Forum National de la Recherche Scientifique et des Innovations Technologiques (FRSIT) à Ouagadougou. Thème : la recherche scientifique face aux problèmes de l'environnement, Tome 2, les communications scientifiques. pp 81 - 90.
- Somé N. A., K. Traoré, O. Traoré et M. Tassebedo. 2007. Potentiel des jachères artificielles à *Andropogon* spp. dans l'amélioration des propriétés chimiques et biologiques des sols en zone soudanienne (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11(3) : 245 - 252.
- Soumaré M., A. Demeyer, F. M. G. Tack and M. G. Verloo. 2000. Chemical characteristics of Malian and belgian solid waste composts. *Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent*, 65 : 79 - 83.
- Tejada M. and J. L. Gonzalez. 2007. Application of different organic wastes on soil properties and wheat yield. *Agron. J.* 99 : 1597 - 1606.
- Traoré K. 2007. Effets de l'acteur «compost plus» sur la qualité et l'efficacité des composts de résidus de culture sur la productivité du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Mémoire de fin d'études de l'IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 48 p.
- Traoré O., N. A. Somé, K. Traoré and K. Somda. 2007 a. Effect of land use change on some important soil properties in cotton-based farming system in Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 1(1) : 7 - 14.
- Traoré O., B. Koulibaly et D. Dakuo. 2007 b. 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.
- Vall E., P. Dugué et M. Blanchard. 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cahiers Agricultures*. 15(1) : 72 - 79.
- Vognan G. 2006. Influence des techniques de préparation du sol sur la physiologie et la productivité du cotonnier dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, 42 p.
- Zangre B. 2000. Effets combinés du travail du sol et des amendements organiques sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical lessivé dans la région de Saria. Mémoire de fin d'études de l'IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 83 p.
- Znaïdi I. E. A. 2002. Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Master of science degree. Mediterranean agronomic institute of Bari, 104 p.

Effet des amendements sur l'enracinement et la production du cotonnier sur un sol ferrugineux tropical de l'Ouest du Burkina Faso

Bazoumana KOULIBALY¹, Ouola TRAORE²,
Prosper N. ZOMBRE³ et Déhou DAKUO⁴

Résumé

L'étude a été réalisée sur un sol ferrugineux tropical dégradé de la station de recherches agricoles de Farako-Bâ dans l'objectif d'évaluer les effets des amendements sur l'enracinement et la production du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Dans un dispositif expérimental en blocs de Fisher, l'étude a comparé cinq amendements définis par (i) témoin (sans amendement), (ii) 6 t ha⁻¹ de compost, (iii) 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate, (iv) 1,5 t ha⁻¹ de dolomie et (v) 6 t ha⁻¹ de compost + 0,3 t ha⁻¹ de phosphate naturel + 1,5 t ha⁻¹ de dolomie. La profondeur, le nombre et la répartition des racines latérales des cotonniers ainsi que les rendements en coton graine ont été mesurés.

Les résultats indiquent qu'une forte proportion des racines latérales des cotonniers (92 %), est localisée dans les 30 premiers centimètres du sol. Environ 57 % des racines latérales sont situées dans l'horizon 0-10 cm contre 25 % sur 10-20 cm et seulement 10 % sur 20-30 cm. Le nombre de racines latérales ainsi que leur répartition ne sont pas influencés par les amendements qui par contre limitent l'extension latérale des racines dans les trois horizons 0-10, 10-20 et 20-30 cm du sol. A 120 jours après les semis, la profondeur de la racine pivotante des cotonniers du sol témoin (44,69 cm) dépasse celle des sols amendés en particulier celui amendé par le Burkina phosphate (36,41 cm) qui est significativement inférieur. Cependant, les applications du compost, de la dolomie ou l'apport combiné du compost, du Burkina phosphate et de la dolomie augmentent la biomasse racinaire au 80^e jour après les semis du cotonnier par rapport au sol non amendé. Les amendements par 6 t ha⁻¹ de compost, 1,5 t ha⁻¹ de dolomie ainsi que l'apport combiné de compost, de Burkina phosphate et de dolomie ont amélioré les rendements en coton graine de 9 à 18 % soit un gain de 260 kg ha⁻¹ par rapport au témoin sans amendement.

Mots-clés : cotonnier, amendements, racines, coton-graine, Burkina Faso.

¹ Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Programme coton 01 BP 208 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso. E-mail : bazoumana@hotmail.com Tél. : (226) 20 97 21 05 / (226) 70 23 90 05 Fax : (226) 20 97 01 59.

² Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Programme coton 01 BP 208 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso. E-mail : ouola.traore@coraf.org

³ Université de Ouagadougou. Unité de formation et de Recherche (UFR) des sciences de la vie et de la terre. Laboratoire de Sciences Appliquées de la Terre, de l'Eau et des Sols (SATES). 03 BP 7021, Ouagadougou 03 Burkina Faso. E-mail : prosper.zombre@univ-ouaga.bf

⁴ Société Burkinabé des fibres textiles (SOFITEX). Direction du développement de la production cotonnière. BP 147, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. E-mail : ddakuo@yahoo.fr

Effects of amendments on cotton rooting and production on ferruginous tropical soil in Western Burkina Faso

Abstract

This study aimed to assess the effects of amendments application on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plant rooting and cotton seed production, using a field experiment on an acid ferruginous soil. Five treatments were ranged according blocks of Fisher experimental design with the following amendments (i) control without amendment, (ii) compost (6 t ha⁻¹), (iii) Burkina phosphate rock (0.3 t ha⁻¹), (iv) dolomite limestone (1.5 t ha⁻¹) and (v) compost (6 t ha⁻¹) + Burkina phosphate rock (0.3 t ha⁻¹) + dolomite limestone (1.5 t ha⁻¹). The tap root depth, the distribution of cotton plant lateral roots and cotton seed production have been measured.

Results showed that a high proportion of cotton lateral roots (92%) were located in the upper 0-30 cm depth in control soil like in the amended ones. Amendments application to soil did not increase the number of roots and had no effect on their distribution in the soil. About 57% of cotton plant lateral roots were located in the upper 0-10 cm depth while the layer 10-20 cm and 20-30 cm contained respectively 25% and 10% of these lateral roots. Cotton plant laterals roots and their distribution were not influenced by amendments application to soil, however, these fertilizers reduced cotton plant roots extension. On day 120 after sowing, the depth of the tap root in the soil amended with phosphate rock (36.41 cm) and in the control soil (44.69 cm) showed a significant difference. However, an application of amendments (compost, dolomite) or an application of both compost, phosphate rock and dolomite to soil, improved cotton plant root biomass production on day 80 after sowing. An application to soil of compost, dolomite and phosphate rock increased cotton yield from 9 to 18% compared to that of control soil without amendment.

Keywords: Cotton, amendments, roots, cotton seed production, Burkina Faso.

Introduction

La dégradation des sols cultivés constitue pour l'enracinement et pour l'alimentation minérale du cotonnier de sérieux problèmes qui sont des facteurs très déterminants pour le rendement. Dans les systèmes de culture, la fertilisation pratiquée sur la plupart des sols tropicaux présente des limites qui font apparaître une dégradation de la fertilité des sols (BERTRAND et GIGOU, 2000). Les engrais minéraux permettent d'accroître les productions mais ils ne suffisent pas à maintenir la fertilité des terres, car ils n'ont aucun effet sur le statut organique du sol (DECKERS, 1993 ; BADO *et al.*, 1997 ; MILLS et FEY, 2003). De nombreux travaux ont montré le rôle limité de la fumure minérale seule dans l'intensification des cultures de la zone cotonnière et ont précisé la nécessité d'apporter des amendements (HIEN *et al.*, 1994). Les relations entre la plante et le sol s'établissent par l'intermédiaire des racines. L'évolution constante du système racinaire et la colonisation du sol par les jeunes racines est un phénomène fondamental de la nutrition minérale de la plante (CALLOT *et al.*, 1983). Les travaux de BERGER *et al.* (1987), TRUONG et FAYARD (1987), BADO *et al.* (1993), KAITIBIE *et al.* (2002) ont montré les effets à plus ou moins long terme des amendements aussi bien sur le sol que sur les rendements des cultures. Ce travail visait à étudier dans les systèmes de culture en zone cotonnière les effets des amendements calcoc-magnésiens sur le système racinaire et les rendements en coton graine du cotonnier.

Matériel et méthodes

Site d'étude

L'étude a été conduite sur la station de recherches agricoles de Farako-Bâ qui a pour coordonnées géographiques 4°20 ouest de longitude, 11°06 nord de latitude et une altitude de 405 m. Le climat est de type sud-soudanien avec une pluviométrie de 817 mm répartis sur 73 jours de pluie en 2004. L'essai a été implanté sur un sol ferrugineux tropical à texture limono-argileuse. Ce sol, avec un taux de matière organique de 1 %, est pauvre en bases échangeables, désaturé et acide. Les caractéristiques physico-chimiques et hydriques de ce sol sont présentées dans le tableau I. La réserve utile en eau (pF 2,5 – pF 4,2) est de 6 et 15% respectivement sur les horizons 0-20 et 20-40 cm de ce sol.

Matériel

Le matériel végétal utilisé est la variété de cotonnier FK 37 qui a un cycle de 150 jours et une productivité de 2 450 kg ha⁻¹. La dolomie utilisée est composée de 27 % de CaO et 19 % de MgO. Sa granulométrie indique que l'essentiel de ce produit (53,6 %) a une taille supérieure à 250 µm. Le phosphate naturel tricalcique du Burkina (Burkina phosphate) contient 25 % de P₂O₅ et 35 % de CaO ; plus de la moitié de ce produit (52,6 %) a une granulométrie comprise entre 53 et 106 µm. Le compost utilisé a été obtenu à partir des tiges de cotonnier préalablement broyées à l'étable et mélangées aux déjections des bœufs puis compostées en fosse. Avec un rapport C/N de 17, ce compost contient 39 % de matière organique, 1,31 % d'azote, 0,30 % de phosphore, 0,32 % de soufre et 1,20 % de potassium. La fumure minérale a été réalisée avec l'engrais coton de formule 14 % N-23 % P₂O₅-14 % K₂O-6 % S-1% B₂O₃ et l'urée (46 % N).

Dispositif expérimental

L'étude est réalisée selon un dispositif statistique en blocs de Fisher comportant cinq traitements et quatre répétitions. Les traitements comparés sont des amendements définis par (i) témoin sans amendement, (ii) 6 t ha⁻¹ de compost, (iii) 0,3 t ha⁻¹ de phosphate naturel (Burkina phosphate), (iv) 1,5 t ha⁻¹ de dolomie et (v) 6 t ha⁻¹ de compost + 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate + 1,5 t ha⁻¹ de dolomie. Une fumure minérale uniforme a été appliquée sur l'essai en apportant les doses de 150 kg ha⁻¹ d'engrais coton et de 50 kg ha⁻¹ d'urée respectivement 15 et 40 jours après les semis. Cette fumure minérale apportait par hectare 44 N, 34,5 P₂O₅, 21 K₂O, 9 S et 1,5 B₂O₃ sur les cotonniers.

Conduite de l'étude

Les travaux de préparation du sol ont consisté à labourer la parcelle au tracteur dès la première décennie de juin. Le compost, le Burkina phosphate et la dolomie appliqués de façon localisée ont été ensuite enfouis par le hersage sur des parcelles élémentaires de 160 m² (10 lignes de 20 m de long et écartées de 0,80 m). Le coton a été semé le 22 juin 2004 aux écartements de 40 cm entre les poquets et de 80 cm entre les lignes et le démariage à deux pieds/poquet est intervenu 15 jours après la levée. Les opérations d'entretien ont consisté à faire deux sarclages et un buttage à 45 jours après les semis. Le programme de protection phytosanitaire vulgarisé en culture cotonnière a été suivi en appliquant l'endosulfan (500 g ha⁻¹), 30 et 44 jours après la levée des cotonniers, l'association « cyperméthrine (30 g ha⁻¹)-triazophos (200 g ha⁻¹) » aux 58^e et 72^e jours puis l'association « cyperméthrine (36 g ha⁻¹)-acétamipride (8 g ha⁻¹) » aux 86^e et 100^e jours.

Paramètres mesurés et analysés

Au labour de la parcelle, des prélèvements ont été effectués à la tarière en 12 points aux profondeurs de 0-20, 20-40 et 40-60 cm pour constituer trois échantillons composites de sol. Ces échantillons ont été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures avant d'être broyés et tamisés à 2 mm pour analyser les caractéristiques physico-chimiques et hydriques du sol au laboratoire (BUNASOLS, 1987). La granulométrie a été mesurée après oxydation de la matière organique avec de l'eau oxygénée suivie d'une dispersion avec une solution de phosphate de sodium (NaPO_3)₆. Le pH eau du sol a été mesuré selon un rapport sol/eau distillée de 1/2,5. L'acidité d'échange a été extraite par une solution de KCl 1M et titrée avec du NaOH. Les bases échangeables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ont été extraites à l'acétate d'ammonium (NH_4Oac) et dosées par spectroscopie d'absorption atomique pour Ca, Mg et par spectroscopie d'émission à flamme pour Na et K. La méthode des chambres à pression a été utilisée pour déterminer l'humidité du sol aux pF 2,5 ; 3 et 4,2 après avoir soumis les échantillons saturés en eau à une pression de 0,3 bar (pF 2,5), 1 bar (pF 3) et 15 bars (pF 4,2).

Des cotonniers choisis au hasard ont été prélevés pour effectuer des diagnostics racinaires 30, 50, 80 et 120 jours après les semis qui consistent à caractériser l'enracinement. A chaque date, le diagnostic racinaire a été réalisé sur 32 plants par parcelle élémentaire afin d'apprécier l'extension et le nombre de racines latérales. La profondeur d'enracinement a été mesurée pour suivre la progression du front racinaire dans le sol durant le cycle du cotonnier en utilisant la méthode de HENIN *et al.* (1969). La biomasse racinaire a été déterminée après séchage à l'étuve à 70 °C des racines.

Les analyses statistiques des données collectées ont été réalisées au moyen du logiciel XLSTAT 6.1.9. Le test de Fisher a été utilisé pour la comparaison des moyennes lorsque l'analyse de la variance révélait des différences significatives entre les traitements au seuil de probabilité de 5 %.

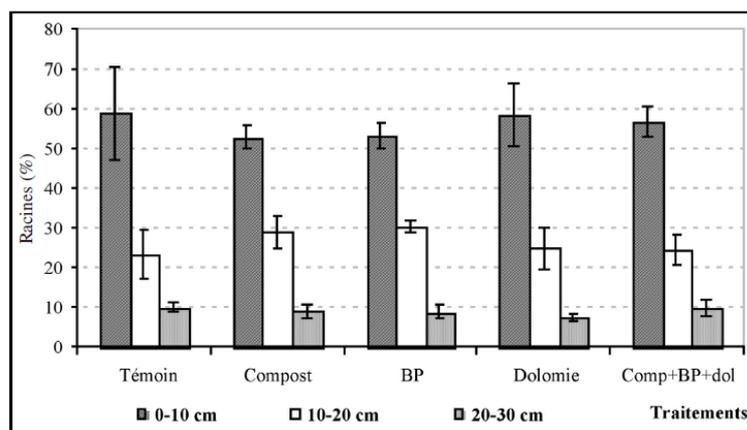
Résultats

Effet des fumures sur l'enracinement du cotonnier

Cent vingt jours après les semis, la distribution des racines latérales des cotonniers dans le sol indiquait que les 30 premiers centimètres de profondeur contiennent 92 % du nombre total de racines, dont 57 % sur 0-10 cm contre 25 % sur 10-20 cm et seulement 10 % sur 20-30 cm (figure 1). Sur l'horizon 0-10 cm, les sols amendés par 6 t ha⁻¹ de compost et par 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate comportaient 53 % de racines latérales. Ce qui est inférieur aux 59 % notés sur les autres sols amendés et le sol témoin non amendé. Par contre, il est ressorti que le taux de racines latérales du sol témoin non amendé était inférieur à ceux des sols amendés sur l'horizon 10-20 cm colonisé par seulement 23 à 30 % de racines. Aussi bien sur le sol amendé que sur le sol témoin, environ 10 % des racines latérales étaient localisées sur l'horizon 20-30 cm. La répartition des racines latérales a fait ressortir, en particulier sur 0-10 et 20-30 cm, que les amendements n'améliorent pas les taux de ces racines comparativement au sol témoin non amendé.

Tableau I. Caractéristiques physico-chimiques et hydriques du sol

Caractéristiques	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
Argile (%)	15,9	34,0	40,3
Limon (%)	71,2	53,8	47,4
Sables (%)	12,9	12,1	12,3
Matière organique (%)	0,82	1,05	0,97
C total (g kg ⁻¹)	4,80	6,10	5,60
N total (g kg ⁻¹)	0,60	0,60	0,60
P total (mg kg ⁻¹)	99,20	77,15	66,10
P assimilable Bray I (mg kg ⁻¹)	0,72	0,79	0,69
K disponible (mg kg ⁻¹)	23,50	23,50	46,50
Ca ⁺⁺ (Cmol. kg ⁻¹)	1,93	2,87	3,37
Mg ⁺⁺ (Cmol. kg ⁻¹)	0,34	0,76	0,81
K ⁺ (Cmol. kg ⁻¹)	0,17	0,12	0,12
Na ⁺ (Cmol. kg ⁻¹)	0,04	0,05	0,05
Somme des bases (Cmol. kg ⁻¹)	2,48	3,80	4,34
C.E.C (Cmol. kg ⁻¹)	4,50	6,32	6,45
Taux de saturation (%)	55	60	67
pH eau	5,33	5,38	5,62
Al ⁺⁺⁺ (Cmol. kg ⁻¹)	0,40	0,38	0,15
H ⁺ (Cmol. kg ⁻¹)	0,55	0,23	0,25
pF 2,5	11,32	26,64	22,55
pF 3,0	6,87	14,57	17,95
pF 4,2	5,24	11,66	14,70
pF2,5 - pF4,2	6,09	14,99	7,85

**Figure 1.** Répartition des racines latérales dans le sol

Témoin = sans amendement, Compost = 6 t ha⁻¹ de compost, BP= 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate, Dolomie = 1,5 t ha⁻¹ de dolomie, Comp + BP + dol = 6 t ha⁻¹ de compost + 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate + 1,5 t ha⁻¹ de dolomie.

L'évolution du nombre de racines latérales a montré un faible accroissement numérique de celles-ci du 30^e au 120^e jour (tableau II). Au 30^e jour, le nombre de racines présentes dans le sol amendé par la dolomie était significativement inférieur à celui du sol témoin pour le nombre de racines où plus des deux tiers de ces racines étaient observées. Par rapport au sol témoin non amendé, les amendements n'ont pas influencé significativement le nombre de racines latérales des cotonniers 50, 80 et 120 jours après les semis.

Tableau II. Evolution du nombre de racines latérales du cotonnier en fonction des amendements.

Traitements	30 jours	50 jours	80 jours	120 jours
Sans amendement	12,97a	14,69a	17,19a	18,50a
Compost (6 t ha ⁻¹)	11,56ab	16,25a	17,06a	18,19a
Burkina phosphate (0,3 t ha ⁻¹)	12,94a	16,19a	18,38a	17,28a
Dolomie (1,5 t ha ⁻¹)	11,28b	15,81a	16,47a	18,03a
Compost (6 t ha ⁻¹) + BP (0,3 t ha ⁻¹) + Dolomie (1,5 t ha ⁻¹)	12,66ab	15,69a	16,78a	16,31a
F	2,21	0,64	0,64	1,14
Probabilité (5 %)	0,026	0,629	0,635	0,337
Signification	s	ns	ns	ns

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % selon le test de Fisher. BP : Burkina Phosphate
s = significatif, ns = non significatif

Dans le sol témoin sans amendement, l'extension latérale des racines observée 120 jours après les semis était équivalente ou parfois supérieure à celle des sols amendés (figure 2). Dans l'horizon de surface 0-10 cm, excepté le compost, les amendements n'ont pas augmenté l'extension latérale comparativement au sol témoin. L'extension latérale des racines a diminué en profondeur dans les horizons 10-20 et 20-30 cm. Dans les trois horizons considérés, sur le sol amendé à la fois par le compost, le Burkina phosphate et la dolomie, l'extension latérale des racines a été plus faible que celle des autres sols amendés et du sol témoin non amendé.

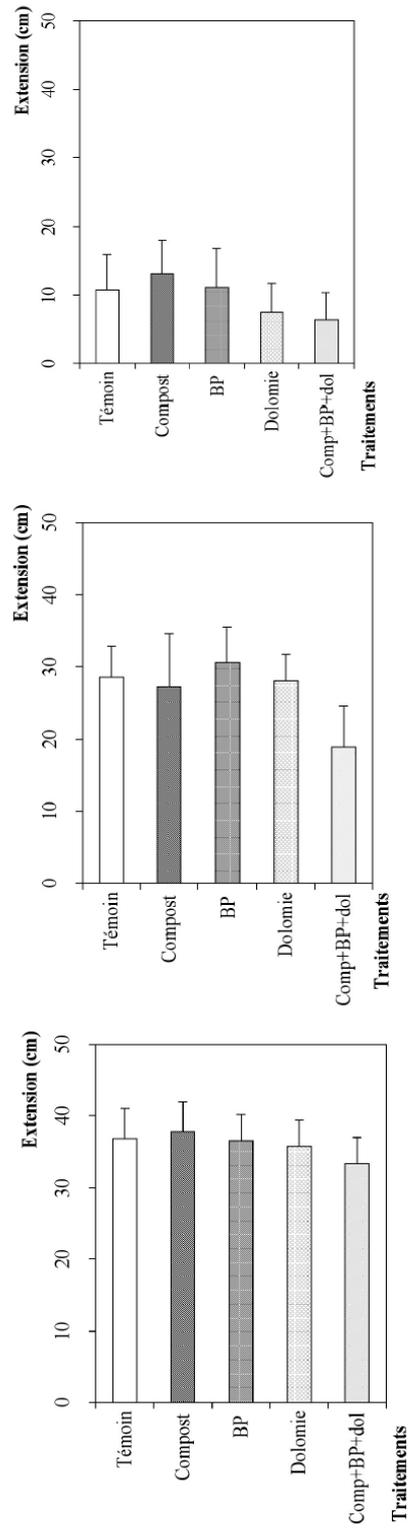


Figure 2. Extension latérale des racines selon les profondeurs du sol à 120 jours après les semis

Témoin = sans amendement, Compost = 6 t ha⁻¹ de compost, BP = 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate, Dolomie = 1,5 t ha⁻¹ de dolomie, Comp+BP+dol = 6 t ha⁻¹ de compost + 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate + 1,5 t ha⁻¹ de dolomie

Evolution de la profondeur d'enracinement du cotonnier

Sur les sols amendés et le sol témoin, les profondeurs d'enracinement des cotonniers ont augmenté du 30^e au 80^e jour après les semis mais ne sont pas influencées par les fumures (tableau III). Cent vingt jours après les semis, la profondeur de la racine pivotante du sol amendé par le Burkina phosphate (36,41 cm) était significativement inférieure à celle du sol témoin non amendé (44,69 cm). Par rapport au sol témoin, la profondeur de la racine pivotante n'a pas été améliorée par les apports des amendements.

Tableau III. Evolution de la profondeur de la racine pivotante (en cm) en fonction des amendements.

Traitements	30 jours	50 jours	80 jours	120 jours
Sans amendement	15,77a	31,31a	35,78a	44,69a
Compost (6 t ha ⁻¹)	15,56a	33,13a	34,53a	39,81ab
Burkina phosphate (0,3 t ha ⁻¹)	16,28a	26,88a	32,03a	36,41b
Dolomie (1,5 t ha ⁻¹)	16,52a	29,38a	33,43a	38,63ab
Compost (6 t ha ⁻¹) + BP (0,3 t ha ⁻¹) + Dolomie (1,5 t ha ⁻¹)	15,75a	30,44a	32,75a	39,93ab
F	0,34	0,81	0,83	1,98
Probabilité (5%)	0,845	0,517	0,502	0,007
Signification	ns	ns	ns	s

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Fisher. BP : Burkina Phosphate
s = significatif, ns = non significatif

Evolution de la biomasse racinaire

Le poids sec moyen des racines, déterminé pour chaque cotonnier, a montré une augmentation de la biomasse racinaire entre 30 et 80 jours après les semis (tableau IV). Les amendements n'ont pas influencé le poids sec des racines aux 30^e et 50^e jours après les semis. La biomasse racinaire moyenne par cotonnier a augmenté de façon sensible entre le 50^e et le 80^e jour. Le poids sec des racines sur le sol témoin qui était de 5,94 g plant⁻¹, s'est révélé significativement inférieur à celui noté sur le sol amendé par 6 t ha⁻¹ de compost (7,79 g plant⁻¹) au 80^e jour. Excepté le Burkina phosphate, les applications du compost, de la dolomie ou de l'association du compost, du Burkina phosphate et de la dolomie, ont entraîné une augmentation de la biomasse racinaire au 80^e jour par rapport au sol témoin non amendé.

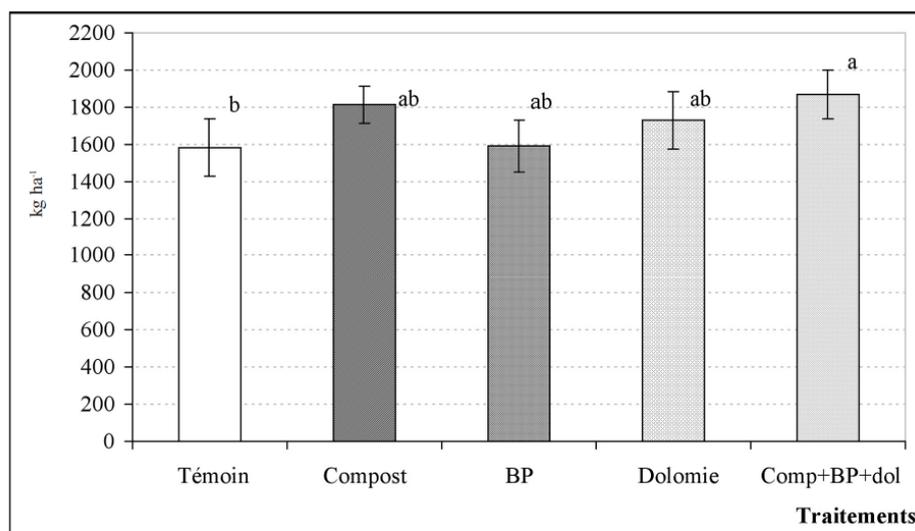
Tableau IV. Evolution de la biomasse racinaire (g plant⁻¹) en fonction des amendements.

Traitements	30 jours	50 jours	80 jours	120 jours
Sans amendement	0,31a	1,27a	5,94	6,72a
Compost (6 t ha ⁻¹)	0,33a	1,32a	7,79a	6,28a
Burkina phosphate (0,3 t ha ⁻¹)	0,35a	1,16a	5,93b	6,93a
Dolomie (1,5 t ha ⁻¹)	0,33a	1,23a	6,92ab	7,23a
Compost (6 t ha ⁻¹) + BP (0,3 t ha ⁻¹) + Dolomie (1,5 t ha ⁻¹)	0,37a	1,23a	6,93ab	6,53a
F	0,586	0,173	4,872	0,218
Probabilité (5%)	0,675	0,951	0,004	0,644
Signification	ns	ns	s	ns

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % selon le test de Fisher. BP : Burkina Phosphate
s = significatif, ns = non significatif

Effet de fumures sur les rendements en coton graine

Par rapport au sol témoin sans amendement, l'apport combiné du compost, du Burkina phosphate et de la dolomie a permis d'obtenir un supplément de rendement de + 284 kg ha⁻¹ de coton graine (figure 3). En revanche, l'apport de 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate n'a pas permis d'améliorer le rendement. Les apports du compost, de la dolomie ainsi que du compost associé au Burkina phosphate et à la dolomie, ont amélioré les rendements respectivement de 9, 15 et 18 % par rapport au témoin sans amendement.

**Figure 3.** Effet des amendements sur les rendements en coton graine

Témoin = sans amendement, Compost = 6 t ha⁻¹ de compost, BP= 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate, Dolomie= 1,5 t ha⁻¹ de dolomie, Comp + BP + dol = 6 t ha⁻¹ de compost + 0,3 t ha⁻¹ de Burkina phosphate + 1,5 t ha⁻¹ de dolomie.

Discussion

Les taux élevés de racines latérales sur l'horizon supérieur 0-10 cm traduisent une meilleure occupation de la partie superficielle du sol qui est relativement mieux pourvue en éléments minéraux que les deux autres horizons inférieurs. Les travaux de CALLOT *et al.* (1983) ont mis en évidence une prolifération superficielle des racines corrélativement à la richesse en éléments minéraux à différentes profondeurs du sol. L'amélioration des réserves minérales sur les sols amendés explique qu'un nombre plus important de racines latérales soit nécessaire sur le sol témoin sans amendement afin d'explorer un milieu plus pauvre en éléments minéraux.

Les amendements n'ont pas modifié la répartition des racines latérales dans les trois horizons, mais ils ont par contre réduit l'extension latérale des racines sur l'horizon de surface par l'amélioration des propriétés du sol évoquée par WILLERT et STEHOUWER (2003). Les extensions latérales des racines sont plus importantes sur le sol non amendé en relation avec sa pauvreté en éléments nutritifs qui exige de ce fait une exploration plus importante du sol par ces racines.

La diminution du nombre de racines latérales sur les sols amendés est liée à la minéralisation des amendements qui a amélioré le milieu nutritif limitant l'émission des racines (CALLOT *et al.*, 1983). Après des amendements organiques, DRIDI et TOUMI (1999) ont observé une amélioration de la réserve utile en eau du sol qui crée de meilleures conditions à l'enracinement et à la nutrition des plantes. Les fumures organiques, les phosphates naturels et la dolomie, en plus de leur rôle d'amendement, améliorent les réserves minérales du sol et peuvent également contribuer à l'alimentation des plantes (GASCHO et PARKER, 2001 ; FAO, 2004). L'homogénéité du nombre de racines latérales laisse penser que le système racinaire du cotonnier présente une architecture uniforme avec ou sans les amendements. Les ramifications secondaires plus importantes des racines latérales sur les sols amendés permettent de compenser le déficit du nombre de racines latérales et d'assurer la colonisation du sol.

Sur les sols amendés par le compost, le Burkina phosphate et la dolomie, les racines pivotantes du cotonnier sont moins profondes que celles du sol témoin non amendé. Des résultats similaires ont été rapportés par CARTER (2002) ; WILLERT et STEHOUWER (2003) qui évoquent les effets positifs des amendements sur les propriétés physico-chimiques du sol, qui, selon HUE *et al.* (2001) peuvent parfois réduire la profondeur racinaire. Cependant, les travaux réalisés par KOULIBALY (1992) ; ILBOUDO (1997) et KAMBIRE (2000) ont montré que l'enracinement des cotonniers était toujours superficiel sur des sols dégradés. Selon SOLTNER (1996), la morphologie des racines et leur pénétration dans le sol dépendent largement de son état structural. La présence d'une cuirasse latéritique rencontrée sur la parcelle d'expérimentation a contribué à limiter la profondeur d'enracinement de la racine pivotante. Les amendements, favorables à l'amélioration de l'humidité en surface, pourraient être un facteur limitant pour la profondeur de la racine pivotante qui est au contraire plus importante sur le sol témoin.

L'amélioration de la biomasse racinaire par les applications du compost, de la dolomie ou de l'association du compost, du Burkina phosphate et de la dolomie confirme les effets positifs des amendements rapportés par KAITIBIE *et al.* (2002).

L'amélioration des rendements en coton graine par les amendements est imputable à leurs effets positifs sur le sol (BADO *et al.*, 1993 ; DRIDI et TOUMI, 1999 ; SOUMARE *et al.*, 2003).

SHARMA *et al.* (1998) ont précisé que l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol par les restitutions organiques permet d'accroître les rendements. L'apport du Burkina phosphate n'a montré aucune efficacité sur le rendement à cause probablement de sa lente solubilisation rapportée par LOMPO *et al.* (1995) et FAO (2004). L'augmentation du rendement par la dolomie confirme les travaux de BADO *et al.* (1997) qui ont obtenu après l'apport de la dolomie un accroissement des rendements sur un sol ferrallitique sableux. DULIERE *et al.* (1999) ont souligné les effets favorables d'amendements calco-magnésiens sur les propriétés du sol. En associant le compost au Burkina phosphate et à la dolomie, l'effet cumulé des amendements induit un accroissement plus important des rendements. Cela confirme les travaux de ZOUGMORE *et al.* (2003) qui rapportent une amélioration de l'efficacité des phosphates naturels associés à la fumure organique.

Conclusion

Les amendements du sol par le compost, le Burkina phosphate et la dolomie améliorent le système racinaire du cotonnier sans influencer significativement le nombre de racines latérales, leur répartition dans le sol et la profondeur de la racine pivotante par rapport au cotonnier du sol non amendé. La biomasse racinaire est améliorée par les amendements qui limitent l'extension latérale ainsi que la profondeur de la racine pivotante. Excepté le Burkina phosphate, les apports de compost et de dolomie augmentent les rendements en coton graine et justifient ainsi l'intérêt des amendements.

Références bibliographiques

- BADO B.V., DAKUO D., N'DAYEGAMIYE A. et CESCAS M., 1993.** Effet de la dolomie sur la production et les propriétés chimiques d'un sol ferrallitique. *Agrosol VI* (2) : p. 22-24.
- BADO B.V., SEDOGO P.M., CESCAS M.P., LOMPO F. et BATIONO A. 1997.** Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cah. Agric.* Vol.6, 6 : 547-626.
- BERGER M., BELEM P.C., DAKOUO D., et 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.*, Vol. XLII, fasc.3 : 201-210.
- BERTRAND R. et GIGOU J., 2000.** La fertilité des sols tropicaux acides. ACCT, Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 397 p.
- BUNASOLS., 1987.** Méthodes d'analyse physique et chimique des eaux et du sol. *Document technique n°3.* Ouagadougou, Burkina Faso, 159 p.
- CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C. et SALSAC L., 1983.** Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. INRA, Paris, 325 p.
- CARTER M.R., 2002.** Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation, interaction that maintain soils functions. *Soil Sci. Am. J.* (94), p. 38-47
- DECKERS J., 1993.** La fertilité du sol et problème d'environnement dans différentes zones écologiques des pays en développement de l'Afrique sub-saharienne. *In* : Rôle de la fertilisation pour assurer une production durable des cultures vivrières en Afrique Sub-saharienne, VAN REULER et PRINS W. H. (Ed), p. 41-58.
- DRIDI B. et TOUMI C., 1999.** Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. *Etude et gestion des sols*, 6, 1, p. 7-14.

- DULIERE J. F., CARNOL M., DALEM S., REACLE J. et MALAISSE F., 1999.** Impact of dolomite lime on the ground vegetation and on potential net N transformations in Norway spruce and sessile oak stands in the Belgian Ardenne. *Ann. For. Sci.*, vol. 56, n° 5, p. 361-370.
- FAO, 2004.** Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. Bulletin Fao, Engrais et nutrition végétale 13, 144 p.
- GASCHO G. J. et PARKER M. B., 2001.** Long-term liming effects on coastal plain soils and crops. *Agron. J.* 93 : 1305-1315.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969.** Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. 2^e édit., Masson et Cie, Paris VI. 268 p.
- HIEN V., SEDOGO P.M. et LOMPO F., 1994.** Gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. *In* : Bilan et perspectives pour la promotion de systèmes agricoles durables dans la zone soudano-sahélienne, FAO, CIRAD, CTA (Ed), p. 47-59.
- HUE N. V., VEGA S. et SILVA J. A., 2001.** Manganese toxicity in a Hawaiian oxisol affected by soil pH and organic amendements. *Soil Sci. Am. J.* (65). p. 153-160.
- ILBOUDO O., 1997.** Effet des fumures de fond sur l'acidité et la croissance du cotonnier. Mémoire de fin d'études. Option Agronomie, I.D.R., Univ. Ouagadougou, 79 p.
- KAITIBIE S., EPPLIN F. M., KRENZER E. A. et ZHANG H., 2002.** Economics of lime and phosphorus application for dual-purpose winter wheat production in low-pH soils. *Soil Sci. Am. J.* (94). p. 1145-1145.
- KAMBIRE F., 2000.** Effet des techniques d'utilisation de la dent IR.12 sur la production du coton et du maïs dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études. Option Agronomie, I.D.R., Univ. Ouagadougou, 73 p.
- KOULIBALY B., 1992.** Effet de la fertilisation sur l'enracinement et la nutrition minérale du cotonnier. Mémoire de fin d'études. Option Agronomie, I.D.R., Univ. Ouagadougou, 113 p.
- LOMPO F., SEDOGO M. P. et HIEN V., 1995.** Agronomic impact of Burkina phosphate and dolomite limestone. *In* : Use of phosphate rock for sustainable agriculture in West Africa GERNER H et MOKWUNYE A.U. (Ed), Miscellaneous Fertilizers studies No. 11. Muscle Shoals, USA, IFDC Africa, p. 54-66.
- MILLS A. J. et FEY M. V., 2003.** Declining soil quality in South Africa: effects of land use on soil organic matter and surface crusting. *South African J. sci.* 99, p. 429-436.
- SHARMA S., RANGGER A., VON LUTZOW M. et INSAM H., 1998.** Functional diversity of soil bacterial communities increases after maize litter amendment. *Eur. J. biol.*, vol. 34, n° 2, p. 53-60.
- SOLTNER D., 1996.** Les bases de la production végétale, Tome I : le sol et son amélioration. 21^e édit., Collection *Science et Techniques Agricoles*, ISBN : 2-907710-16-8, 464 p.
- SOUMARE M., TAK F. et VERLOO M. G., 2003.** Rayegrass response to mineral fertilisation and organic amendment with municipal solid waste compost in two tropical agricultural soils of Mali. *J. plant nutr.* vol. 26, n° 6, p. 1169-1188.
- TRUONG B. et FAYARD C., 1987.** Proposition d'une filière d'engrais au Burkina Faso à base de phosphate naturel de Kodjari, partiellement solubilisé. Ministère de l'agriculture et de l'élevage, Ouagadougou, Burkina Faso, 90 p.
- WILLERT F. J. et STEHOUWER R. C., 2003.** Economics of lime and phosphorus application for dual-purpose winter wheat production in low-pH soils. *Soil Sci. Am. J.* 67, p. 778-768.
- ZOUGMORE R., ZIDA Z. et KAMBOU N. F., 2003.** Role of nutrient amendments in the success of haf-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil and tillage Research.* Vol. 72, p. 56-65.

Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso

B. Koulibaly¹, O. Traoré¹, D. Dakuo², P.N. Zombré³ & D. Bondé⁴

Keywords: Crops residues- Organic fertilization- Mineral fertilizer- Yield- Nutrient balance- Burkina Faso

Résumé

Un essai a été conduit de 1982 à 2006 dans l'objectif d'analyser les effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation triennale coton-maïs-sorgho. Dans un dispositif expérimental en blocs simples non randomisés, la gestion extensive où les résidus sont exportés (T1) est comparée à la gestion semi-intensive (T2) et à la gestion intensive des résidus de récolte (T3) recyclés en compost et fumier, respectivement. Les rendements des cultures, l'évolution des propriétés chimiques du sol et les bilans culturaux ont été déterminés. Les résultats montrent que l'exploitation continue des terres affecte la plupart des caractéristiques chimiques du sol quelle que soit la gestion des résidus de récolte. Les teneurs en carbone ont baissé de 44%, 15% et 13% respectivement en gestion extensive (T1), gestion semi-intensive (T2) et gestion intensive (T3) des résidus de récolte. Le P total a chuté de 25% soit une perte annuelle de 1% sur tous les traitements. Avec l'exportation des résidus de récolte, les teneurs en Ca²⁺ ont baissé de 2,43 à 1,37 cmol+ kg⁻¹, celles en Mg²⁺ de 0,9 à 0,29 cmol+ kg⁻¹ ainsi que la Somme des Bases Echangeables qui est passée de 3,79 à 1,79 cmol+ kg⁻¹ en 25 ans. Le recyclage des résidus de récolte en compost (T2) et en fumier (T3) augmente les rendements respectivement de 13 et 22% sur coton, 45 et 60% sur maïs, 19 et 44% sur sorgho. Les bilans culturaux en N, P, K et S sont positifs mais la baisse générale de la fertilité des sols met en évidence des pertes de nutriments dues à l'érosion qui mériteraient d'être évaluées. L'étude recommande une gestion intégrée des résidus de récolte et l'utilisation du phosphate naturel pour assurer la durabilité des systèmes de culture coton-céréales.

Summary

Crops Residues Management Effects on Crops Yields and Mineral Balance in a Cotton-Maize-Sorghum Rotation in Burkina Faso

The effect of crop residues management on crops yields and nutrients balances in a cotton-cereals cropping system was studied in a long-term experiment carried out from 1982 to 2006. The experimental design was a simple nonrandomized blocks comparing extensive management of crops residues (T1), semi-intensive management of crops residues (T2) and intensive management of crops residues (T3). Crops yields, soil chemical properties and mineral balances were measured. Results showed that after 25 years, soil carbon contents decrease was respectively 44%, 15% and 13%, with an extensive, semi-intensive and intensive management of crops residues. Total phosphorus decrease was 25% in all the treatments. Exchangeable Ca and Mg declined from 2.43 to 1.37 cmol+ kg⁻¹ and 0.9 to 0.29 cmol+ kg⁻¹ respectively while the Sum of Exchangeable Bases declined from 3.79 to 1.79 cmol+ kg⁻¹. Recycling crops residues to compost and manure increased cotton yields from 13 to 22 %, maize yields from 45 to 60 %, and sorghum yields from 19 to 44%. Mineral balance in N, P, K and S was improved after 25 years of continuous cultivation while using compost or manure. At the same time, the decline of soil properties was due to nutrients losses which need to be evaluated. This study recommends integrated crops residues management and the use of rock phosphate to improve sustainability in cotton-cereals cropping systems.

Introduction

La valorisation des résidus de récolte peut contribuer de façon déterminante à assurer le maintien de la fertilité des sols cultivés (10). Dans les zones

cotonnières du Burkina Faso, la mise en culture des sols est suivie d'une dégradation rapide de la fertilité qui se traduit par une acidification accentuée par

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Programme coton 01 BP 208 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso.

Tél: (226) 20 97 21 05/70 23 90 05, Fax: (226) 20 97 01 59; E-mail: bazoumana@hotmail.com

E-mail: ouola.traore@coraf.org

²Société Burkinabé des Fibres Textiles (SOFITEX), BP 147, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. E-mail: ddakuo@yahoo.fr

³Unité de Formation des Sciences de la Vie et de la Terre (UFR/SVT), Laboratoire de biologie et écologie végétale, Université de Ouagadougou,

E-mail: prosper.zombre@univ-ouaga.bf

⁴Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Institut du Développement Rural (IDR), Département d'agronomie. E-mail: desire06bonde@yahoo.fr

Reçu le 22.07.10 et accepté pour publication le 09.09.10.

l'utilisation quasi exclusive des engrais minéraux (19). La durabilité des systèmes de cultures repose sur la gestion rationnelle de la fertilité des sols (5, 7, 11). Berger *et al.* (1) ont proposé l'enfouissement direct des résidus au sol ou leur restitution sous forme de fumure organique pour maintenir la fertilité des sols cultivés. D'autres travaux précisent que le recyclage des résidus ou leur incorporation au sol combinée aux techniques de travail du sol et aux rotations des cultures, améliore certaines propriétés du sol tout en réduisant les phénomènes d'érosion (2, 18). Pourtant, dans les systèmes de production à base de coton et de céréales, les résidus de récolte sont brûlés ou pâturés, ce qui entraîne souvent des bilans minéraux déficitaires (3). Dans ces conditions, la matière organique du sol baisse rapidement du fait que sa minéralisation n'est pas compensée par les restitutions organiques adéquates (14).

Le maintien de la fertilité semble compromis par la mauvaise gestion des résidus de récolte et le coût de revient des engrais minéraux importés. De plus, le phosphate naturel extrait du gisement de Kodjari couramment appelé « Burkina phosphate » est peu utilisé par les producteurs (6, 9).

La présente étude vise à déterminer les effets de trois traitements associant la fumure minérale et les modes de gestion des résidus de récolte dans un système de rotation triennale coton-maïs-sorgho. En outre, elle intègre à la gestion des résidus de récolte, la valorisation du phosphate naturel, puis analyse l'influence des traitements comparés sur la nutrition minérale des cotonniers et les bilans culturaux dans ce système de culture au terme de 25 ans d'étude.

Matériels et méthode

Cette étude est implantée depuis 1982 sur la ferme expérimentale de Boni (3°26' de longitude Ouest,

11°32' de latitude Nord et 302 m d'altitude) sur un sol ferrugineux tropical. Le climat est du type sud-soudanien avec une saison pluvieuse allant de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. La pluviométrie souvent mal répartie, est très irrégulière et varie de 723 à 1353 mm répartis sur 40 à 75 jours de pluie (Figure 1).

L'essai est conduit en blocs simples non randomisés, sur six hectares cultivés en rotation coton-maïs-sorgho à raison de deux hectares par culture et par année. Trois modes de gestion des résidus de récolte combinés à des apports de phosphate naturel (25% P_2O_5 et 35% CaO) et d'engrais minéraux sont comparés.

T1 - Gestion extensive des résidus de récolte. Les tiges de maïs et de sorgho sont pâturées ou exportées de la parcelle. Tous les trois ans sur le maïs, 300 kg.ha⁻¹ de phosphate naturel sont apportés au hersage.

T2 - Gestion semi-intensive des résidus de récolte. En moyenne 4 t.ha⁻¹ de tiges de sorgho sont recyclées en compost après 45 jours de broyage par 20 bœufs dans un parc où on apporte 300 kg de phosphate naturel. Ce compost est appliqué tous les trois ans sur le maïs à 6 t.ha⁻¹ et contient en moyenne: 28% de matière organique; 2,2% N; 1,9% P; 1,8% K et 0,3% S.

T3 - Gestion intensive des résidus de récolte. Les 4 t.ha⁻¹ de tiges de sorgho sont recyclées en fumier dans un parc d'hivernage sous l'action seule des eaux pluviées après 60 jours de broyage par 20 bœufs. Ce fumier de parc contient 28% de matière organique; 2,2% N; 1,1% P; 1,7% K et 0,3% S. Il est utilisé à 6 t.ha⁻¹ tous les trois ans sur le maïs avec 300 kg.ha⁻¹ de phosphate naturel.

Sur les traitements T2 et T3, les tiges de maïs sont

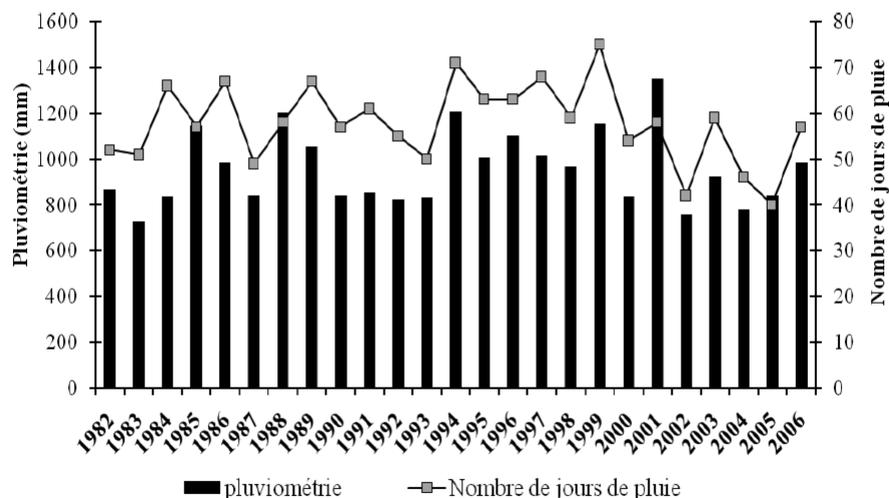


Figure 1: Pluviométrie et nombre de jours de pluie à Boni de 1982 à 2006.

enfouies au sol par un labour de fin d'hivernage tandis que les tiges de cotonniers sont coupées et brûlées en petits tas sur tous les traitements. La fertilisation minérale (engrais solubles et phosphate naturel) ramenée à l'année, apporte par hectare 46 N, 25 P, 48 K, 18 S et 1 B sur le cotonnier, 74 N, 25 P, 60 K sur le maïs, 46 N et 25 P sur le sorgho.

Les variétés de cotonnier, de maïs et de sorgho utilisées ont des potentiels de rendement respectifs de 3 à 4 t.ha⁻¹, 4 à 5 t.ha⁻¹ et 2 à 3 t.ha⁻¹.

Un labour du sol au tracteur à partir de mai précède les semis effectués du 20 mai au 10 juillet. Un démaillage est pratiqué 15 jours après la levée afin de ramener les trois cultures à une densité théorique de 62.500 plants ha⁻¹. La lutte contre les mauvaises herbes est réalisée par des désherbages chimiques, manuels et mécaniques. La protection du cotonnier est assurée par les programmes de traitements insecticides vulgarisés.

Des échantillons de sol ont été prélevés sur les parcelles en coton pour suivre l'évolution du carbone, de l'azote, du phosphore (total et assimilable), des bases échangeables, de la CEC et du pH eau et pH KCl. Chaque année les rendements des trois cultures sont évalués. Un bilan cultural basé sur les apports par les fumures et les exportations minérales par les récoltes a été déterminé (8, 13).

Les logiciels STATITCF et XLSTAT 6.1.9 ont été utilisés pour l'analyse de variance des données et le test de Fisher pour la séparation des moyennes au seuil de probabilité de 5%.

Résultats

Evolution des caractéristiques chimiques des sols

Le tableau 1 montre que la plupart des caractéristiques chimiques des sols sont affectées par la durée d'exploitation du sol et ce, quelle que soit la gestion des résidus de récolte. Les teneurs initiales du sol en carbone variaient de 9,40 à 8,20 g.kg⁻¹. Après 25 années de mise en culture du sol, ces teneurs ont baissé de 44%, 15% et 13% respectivement en gestion extensive (T1), gestion semi-intensive (T2) et gestion intensive (T3) des résidus de récolte.

Les teneurs en azote du sol ont chuté de 44% avec la fumure minérale (T1) et de 34% avec l'association compost-fumure minérale (T2). Les teneurs en P total et en P assimilable du sol qui étaient initialement faibles ont baissé de façon drastique sur toutes les parcelles y compris celles amendées par le compost et le fumier. Le P total a chuté de 25% soit une perte annuelle de 1% sur tous les traitements. Les baisses les plus importantes ont été notées en gestion extensive des résidus sur les teneurs en Ca²⁺ (2,43 à 1,37 cmol+ kg⁻¹), en Mg²⁺ (0,9 à 0,29 cmol+ kg⁻¹) ainsi que la SBE qui est passée de 3,79 à 1,79 cmol+ kg⁻¹ en 25 ans. La baisse de la CEC qui est de l'ordre de 16% est modérée avec les apports de compost (T2) et de fumier (T3). Les valeurs du pH eau allant de 5,88

à 6,40 ainsi que celles du pH KCl ne laissent entrevoir aucune tendance d'acidification des sols suite à leur mise en culture.

Effets des fumures sur les rendements des cultures

Les modes de gestion des résidus de récolte n'ont pas eu d'effets significatifs sur les rendements du coton et du maïs pendant 12 ans de culture, ni sur ceux du sorgho pendant 15 ans (Tableau 2). Les restitutions au sol du compost (T2) et du fumier (T3) ont amélioré les rendements et de façon significative après 15 à 18 années selon les cultures. Par rapport au témoin sans aucune restitution organique (T1), l'augmentation des rendements en 25 ans avec l'apport de fumier (T3) a été de 22%, 60% et 44% sur le coton, le maïs et le sorgho, respectivement. L'accroissement des rendements dû à l'apport de compost a été de 13% sur le coton, 45% sur le maïs et 19% sur le sorgho. On observe avec la durée mise en culture des terres, une baisse du rendement des cultures quelle que soit la gestion des résidus de récolte. Cette baisse des rendements est accentuée par l'exportation des résidus de récolte.

Effets des fumures sur les bilans culturaux

Les bilans culturaux après 25 années d'étude sont présentés dans le tableau 3. Tous les traitements dégagent des bilans excédentaires sauf la fumure minérale seule (T1) qui affiche un déficit en potassium. L'enfouissement au sol des tiges de maïs et l'application du compost (T2) et du fumier (T3) permet des bilans azotés positifs de + 442 et + 624 kg.ha⁻¹ de N contre seulement + 88 kg.ha⁻¹ de N après l'exportation des résidus de récolte (T1). Le recyclage des tiges de sorgho en compost améliore le bilan en phosphore. L'exportation des résidus de récolte (T1) a entraîné un bilan potassique déficitaire de - 332 kg.ha⁻¹ de K tandis que le compost et le fumier (associés à la fumure minérale) ont des bilans excédentaires de + 132 à + 143 kg.ha⁻¹ de K. Comparativement à l'exportation des résidus de récolte, le recyclage de ces résidus en compost ou fumier améliore les bilans en soufre de 2,1 et 2,5 fois; respectivement.

Discussions

La baisse de la fertilité du sol est considérée comme une importante cause de la faible productivité des sols tropicaux (4, 11). La fumure minérale sans aucune restitution organique (T1) affecte davantage les caractéristiques chimiques du sol avec le nombre d'années de culture, ce qui dénote d'ailleurs les limites de cette fumure. Cette pratique correspond pourtant à celle qui prédomine dans les systèmes de culture coton-céréales et qui conduit généralement à l'épuisement des terres (4, 15). La baisse des teneurs en C total résulte de la minéralisation de la matière organique qui est de 2 à 4% par an (1). Outre

Tableau 1
Evolution des caractéristiques chimiques des sols sur l'horizon 0-20 cm au cours de leur mise en culture

Traitements	Durée de mise en culture du sol	g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹			cmol ⁺ .kg ⁻¹					pH eau	pH KCl
		C	N	P. ass	P. tot	Ca++	Mg++	K+	Na+	SBE	CEC			
T1	1 an (1982)	9,40	0,85	-	240,00	2,43	0,9	0,36	0,04	3,79	5,81	6,35	5,4	
	6 ans (1986)	5,85	0,55	19,50	279,00	1,91	0,60	0,15	0,04	2,70	3,32	5,95	4,5	
	12 ans (1993)	5,55	0,37	10,07	120,80	1,95	0,43	0,10	0,05	2,65	4,11	5,88	-	
	18 ans (1999)	5,50	0,50	9,00	107,17	1,77	0,36	0,19	0,05	2,36	3,68	5,90	5,2	
	25 ans (2006)	5,24	0,40	6,72	185,89	1,37	0,29	0,11	0,03	1,79	2,55	6,26	5,51	
T2	1 an (1982)	8,50	0,79	-	265,00	2,16	0,81	0,44	0,11	3,52	6,08	6,10	5,00	
	6 ans (1986)	7,25	0,37	18,00	296,00	1,95	0,66	0,23	0,05	2,89	3,68	5,93	5,10	
	12 ans (1993)	7,10	0,28	12,63	170,20	2,43	0,62	0,14	0,08	3,37	5,00	5,94	-	
	18 ans (1999)	6,88	0,63	15,28	221,73	2,19	0,47	0,19	0,05	2,90	4,46	5,97	5,37	
	25 ans (2006)	6,56	0,52	7,87	199,01	1,50	0,33	0,12	0,03	1,99	3,82	6,27	5,38	
T3	1 an (1982)	8,20	0,68	-	217,00	2,31	0,91	0,40	0,04	3,66	5,32	6,40	5,60	
	6 ans (1986)	5,60	0,327	18,50	235,00	2,16	0,76	0,21	0,04	3,20	3,70	6,08	5,15	
	12 ans (1993)	6,30	0,24	12,07	125,25	2,71	0,77	0,49	0,05	3,72	6,63	6,17	-	
	18 ans (1999)	7,01	0,56	10,79	140,31	2,16	0,55	0,19	0,03	2,92	3,94	5,99	5,49	
	25 ans (2006)	7,14	0,57	6,08	164,63	2,07	0,54	0,14	0,03	2,77	3,82	6,37	5,62	

P. ass.: Phosphore assimilable - P. tot: Phosphore total

T1= gestion extensive des résidus + Fumure minérale - T2= gestion semi-intensive des résidus + Fumure minérale + compost - T3= gestion intensive des résidus + Fumure minérale + fumier.

Tableau 2
Evolution des rendements des cultures en fonction de la durée de mise en culture des terres et des modes de gestion des résidus de récolte

Durée de mise en culture des parcelles	Coton			Maïs			Sorgho		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
3 ans (1982-1984)	1752 a	1583 a	1902 a	1486 a	1693 a	1650 a	1488 a	1410 a	1469 a
6 ans (1982-1987)	1660 a	1658 a	1800 a	1981 a	2276 a	2410 a	1398 a	1289 a	1509 a
9 ans (1982-1990)	1589 a	1609 a	1812 a	2121 a	2621 a	2738 a	1331 a	1439 a	1603 a
12 ans (1982-1993)	1477 a	1535 a	1702 a	1929 a	2632 a	2648 a	1203 a	1344 a	1518 a
15 ans (1982-1996)	1434 b	1569 ab	1689 a	1900 b	2661 ab	2693 a	1110 a	1258 a	1424 a
18 ans (1982-1999)	1393 b	1526 ab	1671 a	1759 b	2524 a	2638 a	1006 b	1198 ab	1390 a
21 ans (1982-2002)	1325 b	1476 ab	1606 a	1629 b	2358 a	2531 a	934 b	1117 ab	1331 a
25 ans (1982-2006)	1261 b	1421 ab	1545 a	1528 b	2250 a	2444 a	881 b	1047 ab	1276 a
Rendements (%) en 25 ^e année	100	113	122	100	147	160	100	119	149

T1= gestion extensive des résidus + Fumure minérale - T2= gestion semi-intensive des résidus + Fumure minérale + compost - T3= gestion intensive des résidus + Fumure minérale + fumier. Pour chaque culture, les valeurs suivies de la même lettre sur chaque ligne ne diffèrent pas de façon significative au seuil de probabilité de 5%.

Tableau 3
Bilans culturaux en fonction des modes de gestion des résidus de récolte en 25 années d'exploitation des terres

Eléments minéraux	Composantes du bilan	Traitements		
		T1	T2	T3
		kg.ha ⁻¹		
Azote (N)	Apport annuel par les fumures	55,33	73,65	74,85
	Apport par les fumures en 25 ans	1383,33	1841,25	1871,28
	Exportation annuelle par les cultures	51,81	56,00	49,89
	Exportation par les cultures en 25 ans	1295,25	1399,60	1247,27
	Bilan de 25 ans (N)	+ 88	+ 442	+ 624
Phosphore (P)	Apport annuel par les fumures	25,00	28,00	34,82
	Apport par les fumures en 25 ans	625,00	698,00	871,00
	Exportation annuelle par les cultures	13,54	15,1	24,16
	Exportation par les cultures en 25 ans	338,39	376,8	603,89
	Bilan de 25 ans (P)	+ 287	+ 322	+ 267
Potassium (K)	Apport annuel par les fumures	36,00	53,00	53,46
	Apport par les fumures en 25 ans	900,00	1317	1337
	Exportation annuelle par les cultures	48,51	47,4	47,76
	Exportation par les cultures en 25 ans	1212,80	1184,8	1193,98
	Bilan de 25 ans (K)	-313	+ 132	+ 143
Soufre (S)	Apport annuel par les fumures	6,00	9,00	8,99
	Apport par les fumures en 25 ans	150,00	225	225
	Exportation annuelle par les cultures	3,87	4,1	4,52
	Exportation par les cultures en 25 ans	96,69	102,6	112,95
	Bilan de 25 ans (S)	+ 53	+ 122	+ 112

T1= gestion extensive des résidus + Fumure minérale - T2= gestion semi-intensive des résidus + Fumure minérale + compost - T3= gestion intensive des résidus + Fumure minérale + fumier.

l'absence de restitution organique, elle s'explique aussi par le labour pratiqué chaque année, ce qui provoque une déprotection de la matière organique et sa minéralisation accélérée (11). L'enfouissement des tiges de maïs et la restitution de compost et de fumier atténuent les pertes en carbone et réduisent les pertes en calcium et magnésium échangeables en raison de la minéralisation de ces substrats organiques et de leurs effets sur les propriétés bio-physico-chimiques du sol (2, 17). Les pertes d'éléments minéraux des sols sont aussi attribuées à l'érosion hydrique entraînant des pertes de terre pouvant atteindre en quatre ans 90 t.ha⁻¹ après un labour annuel (12). En 1995 un sous-solage a été effectué sur l'essai avant d'implanter sur les courbes de niveau, des bandes enherbées d'*Andropogon gayanus* pour lutter contre le ruissellement et l'érosion.

L'homogénéité des rendements pendant les 15 premières années dénote une bonne réponse du sol à la fumure minérale (T1). Pourtant, dans les systèmes de culture de cette zone, Ouattara *et al.* (11) rapportent qu'une telle fumure n'augmente les rendements des cultures que pendant seulement 5 à 6 années. Le phosphate naturel semble prolonger la durée

d'efficacité de la fumure minérale par la réduction de son effet acidifiant (2). De façon générale, le compost et le fumier augmentent les rendements des cultures par l'amélioration des propriétés du sol, notamment la disponibilité en eau et en éléments nutritifs (16, 17). La perte des rendements avec la durée de mise en culture des terres résulte surtout de la dégradation du sol (14) mais aussi des contraintes pluviométriques. L'examen des bilans culturaux a montré que la plupart des exportations minérales, notamment en N, P et S sont compensées par la fumure minérale sans restitution des résidus de récolte (T1) sauf celles en potassium dont les céréales sont fortement consommatrices (13). Seuls, l'enfouissement direct des tiges de maïs et la transformation des tiges de sorgho en compost et fumier associés aux fumures minérales permettent des bilans potassiques positifs. Le compost et le fumier ont amélioré les bilans minéraux grâce aux nutriments apportés par la minéralisation de ces substrats (16). L'amélioration du bilan phosphaté avec l'adjonction du phosphate naturel au cours du compostage (T2) confirme l'efficacité de cette forme d'utilisation de ce substrat par rapport à son application directe au sol (6, 9). Bien que les

bilans culturaux soient positifs, le recyclage des tiges de cotonnier actuellement exportées, pourrait être envisagé pour les améliorer (8). La baisse progressive de la fertilité du sol observée sur tous les traitements confirme des pertes de nutriments au niveau du sol qui nécessiteraient d'être évaluées.

Conclusion

Les résultats de l'étude ont montré une baisse progressive des propriétés chimiques du sol avec la durée de mise en culture du sol quelle que soit la gestion des résidus de récolte. L'application directe au sol du phosphate naturel ou son incorporation lors du compostage permet de valoriser ce substrat local ce qui pourrait ainsi réduire les importations d'engrais minéraux phosphatés par le pays. La fumure minérale associée à l'enfouissement au sol des résidus et à leur recyclage en fumure organique, améliore les rendements et les bilans culturaux en N, P, K et S. La

baisse progressive de la fertilité des sols, nécessite d'envisager d'une part, un recyclage des tiges de cotonnier et, d'autre part, des aménagements anti-érosifs (19). L'étude recommande une gestion intégrée des résidus de récolte et l'utilisation du phosphate naturel pour assurer la durabilité des systèmes de culture coton-céréales en zone cotonnière.

Remerciements

Les auteurs remercient la Société Burkinabé des Fibres Textiles (SOFITEX) pour son appui financier et matériel dans la réalisation de cette étude. Ils remercient vivement tous les chercheurs qui ont contribué à la conception et conduite de l'étude depuis sa mise en place en 1982. Leurs remerciements s'adressent au responsable de la ferme de Boni et à son personnel ainsi qu'aux techniciens du Programme Coton de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (I.N.E.R.A) pour la collecte des données.

Références bibliographiques

- Berger M., Bélem P.C., Dakouo D. & Hien V., 1987, Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Cot. Fib. Trop.* **42**, 3: 201-211.
- Blair N., Faulkner R.D., Till A.R. & Poulton P.R., 2006, Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: Part I: Brodbalk experiment. *Soil Till Res.* **91**, 1-2: 30-38.
- Braud M., 1987, La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes. *Supplément Cot Fib Trop, Etudes et synthèse*, 8: 35 p.
- Cattan P., Letourmy P., Zagré B., Minougou A. & Compaoré E., 2001, Rendement de l'arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso. *Cah. Agric.* **10**, 3, 159-172.
- Crozier C.R., Walls B., Hardy D.H. & Barnes J.S., 2004, Response of Cotton to P and K Soil Fertility Gradients in North Carolina. *Journal of Cotton Science*, 8, 130-141.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2004, Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. *Bulletin Fao, Engrais et nutrition végétale*, 13; 144 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.
- Koulibaly B., Traoré O., Dakouo D. & Zombré P.N., 2009, Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **13**, 1, 103-111.
- Lompo F., Segda Z., Gnankambary Z. & Ouandaogo N., 2009, Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs. *Tropicultura*, **27**, 1-2, 105-109.
- Malhi S.S., Lemke R., Wang Z.H. & Baldev S.C., 2006, Tillage, nitrogen and crop residue effects on yield, nutrient uptake, soil quality and greenhouse gas emissions. *Soil Till Res.* **90**, 1-2, 171-183.
- Ouattara B., Ouattara K., Serpentini G., Mando A., Sédogo M.P. & Bationo A., 2006, Intensity cultivation induced effects on soil organic carbon dynamic in the western cotton area of Burkina Faso. *Nutr Cycl Agroecosyst.* **76**, 331-339.
- Roose E. & Barthès B., 2006, Soil carbon erosion and its selectivity at plot scale in Tropical Mediterranean regions. *In: Soil erosion and carbon dynamics*. Roose E., Lal R., Feller C., Barthès B., Stewart eds, *Advances in soil sciences*, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 55-72.
- Traoré B., 1995, Fertilisation du cotonnier au Mali: complémentarité de trois méthodes de diagnostic agronomique. *In: Interprétation agronomique de données de sol: un outil pour la gestion des sols et le développement agricole*. Séminaire BUNASOLS/INERA/AB-DLO, Ouagadougou, 14-16 mars. AB-DLO Thema's, AB-DLO, Haren, pp. 183-195.
- Traoré O., Somé N.A., Traoré K. & Somda K., 2007, Effect of land use change on some important soil properties in cotton-based farming system in Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **1**, 1, 7-14.
- Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N. & Merckx R., 2005, Long-term integrated soil fertility management in South-western Nigeria: Crop performance and impact on the soil fertility status. *Plant and soil*, **273**, 1-2, 337-354.
- Velthof G.L., Beuiche van M.L., Rajmakers W.M.F. & Janssen B.H., 1998, Relation between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and soil*, **200**, 215-226.
- Vulloud P., Mercier E. & Rysler J.P., 2004, Bilan de 40 ans d'essai portant sur différentes fumures organiques (Changrin 1963-2003). *Revue Suisse d'agriculture*, **36**, 2, 43-51.
- Wei X., Hao M., Shao M. & Gale W.J., 2006, Change in soil properties and availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization. *Soil Till Res.* **91**, 1-2, 120-130.
- Zougmore R., Ouattara K., Mando A. & Ouattara B., 2004, Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, **15**, 1, 41-48.

B. Koulibaly, Burkinabé, Ingénieur Agronome, DEA, Ingénieur de Recherche, Chercheur à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Programme coton 01 BP 208, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso. Tél : (226) 20 97 21 05/70 23 90 05, Fax : (226) 20 97 01 59; E-mail: bazoumana@hotmail.com

O. Traoré, Burkinabé, Thèse de doctorat (PhD), Maître de recherche, Chef de Programme coton de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 01 BP 208, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso. E-mail: oula.traore@coraf.org

D. Dakouo, Burkinabé, Thèse Doctorat FAST Abidjan, Attaché de Recherche, Directeur adjoint du développement de la production cotonnière de la Société Burkinabé des Fibres Textiles (SOFITEX). BP 147, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. E-mail: ddakouo@yahoo.fr

P.N. Zombré, Burkinabé, Doctorat d'état, Maître de conférence, Enseignant à l'Unité de formation des sciences de la vie et de la terre (UFR/SVT), Laboratoire de biologie et écologie végétale, Université de Ouagadougou, E-mail: prosper.zombre@univ-ouaga.bf

D. Bondé, Burkinabé, Ingénieur Agronome, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Institut du Développement Rural (IDR), Département d'agronomie. E-mail: desire06bonde@yahoo.fr