

BURKINA FASO
UNITE – PROGRES - JUSTICE

MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION: Agronomie

THEME: Evaluation participative de la capacité nutritive des sols et des bilans minéraux dans les exploitations agricoles du micro bassin versant du Zondoma, dans le nord du Burkina Faso

Présenté par: DRABO Inoussa

Maître de stage: Dr Sansan YOUL

Directeur de mémoire: Dr Bernard BACYE

N°: -2009/AGRO

JUIN 2009

TABLE DES MATIERES

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <i>TABLE DES MATIERES</i> | <i>i</i> |
| <i>DEDICACE</i> | <i>iii</i> |
| <i>REMERCIEMENTS</i> | <i>iv</i> |
| <i>SIGGLES ET ABREVIATIONS</i> | <i>v</i> |
| <i>LISTE DES TABLEAUX</i> | <i>vi</i> |
| <i>LISTE DES FIGURES</i> | <i>vii</i> |
| <i>RESUME</i> | <i>viii</i> |
| <i>ABSTRACT</i> | <i>ix</i> |
| <i>Introduction</i> | <i>1</i> |
| <i>Chapitre 1 : Synthèse de la revue bibliographique</i> | <i>3</i> |
| 1.1 Notion de fertilité des sols | 3 |
| 1.2 Problématique de la fertilité des sols au Burkina Faso..... | 4 |
| 1.3 Amélioration de la fertilité des sols..... | 5 |
| 1.3.1 Amendements..... | 5 |
| 1.3.1.1 Les amendements organiques..... | 5 |
| 1.3.1.2 Les amendements calcomagnésiens..... | 6 |
| 1.3.2 Les engrais..... | 6 |
| 1.3.2.1 Les engrais minéraux..... | 6 |
| 1.3.2.2 Les engrais organiques et les engrais verts..... | 7 |
| 1.3.3 Techniques de Conservation des Eaux et des Sols (CES)..... | 7 |
| 1.3.3.1 Cordons pierreux | 7 |
| 1.3.3.2 Zai..... | 8 |
| 1.3.3.3 Demi-lunes | 8 |
| 1.4 Notion de bilan des éléments nutritifs | 9 |
| 1.5 Apprentissage Participatif et Recherche-Action (APRA)..... | 10 |
| <i>Chapitre 2 : Matériel et méthodes</i> | <i>12</i> |
| <i>2.1 Présentation de la zone d'étude</i> | <i>12</i> |
| 2.1.1 Situation géographique..... | 12 |
| 2.1.2 Végétation | 13 |
| 2.1.3 Conditions climatiques | 13 |
| 2.1.4 Sols..... | 15 |
| 2.1.5 Caractéristiques de la population..... | 15 |
| 2.1.6 Activités socioéconomiques | 16 |
| 2.1.6.1 L'agriculture | 16 |
| 2.1.6.2 L'élevage | 16 |
| 2.1.6.3 Autres activités | 16 |
| <i>2.2 Méthodologie de conduite des essais soustractifs en milieu paysan</i> | <i>17</i> |
| 2.2.1 Matériel d'étude | 17 |
| 2.2.1.1 Matériel végétal | 17 |
| 2.2.1.2 Fertilisants utilisés | 17 |
| 2.2.2 Méthodes d'étude | 17 |
| 2.2.2.1 Choix des villages et des producteurs..... | 17 |
| 2.2.2.2 Dispositif expérimental..... | 18 |
| 2.2.2.3 Conduite des essais..... | 19 |
| 2.2.2.3.1 Semis..... | 19 |
| 2.2.2.3.2 Travaux d'entretien..... | 19 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 2.2.2.4 Observations et mesures | 19 |
| 2.3 Méthode de recommandation de fertilisation | 19 |
| 2.4 Méthode d'évaluation des bilans des éléments nutritifs N, P et K | 21 |
| 2.4.1 Model conceptuel | 21 |
| 2.4.2 Suivi dans les exploitations agricoles | 23 |
| 2.4.3 Calcul du bilan partiel de N, P et K | 23 |
| 2.5 Analyse statistique des données..... | 24 |
| Chapitre 3 : Résultats et discussions | 25 |
| 3.1 Analyse des résultats des essais au champ | 25 |
| 3.1.1 Résultats | 25 |
| 3.1.1.1 Influence des formules de fumure minérale sur les rendements du Sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains | 25 |
| 3.1.1.2 Influence de la fertilisation organique sur les rendements du Sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains..... | 26 |
| 3.1.1.3 Effet de la fumure organo-minérale sur les rendements du sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains | 27 |
| 3.1.1.4 Influence des différentes techniques de conservation des eaux et des sols (CES) sur les rendements du Sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains | 27 |
| 3.1.1.5 Effets combinés de la fumure organique et des techniques de CES sur les rendements du sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains..... | 28 |
| 3.1.2 Discussions..... | 29 |
| 3.2 Recommandations de doses d'engrais | 30 |
| 3.2.1 Résultats | 30 |
| 3.2.2 Discussions..... | 32 |
| 3.3 Suivi et inventaire dans les exploitations agricoles..... | 34 |
| 3.3.1 Résultats | 34 |
| 3.3.1.1 Flux de matière | 34 |
| 3.3.1.1.1 Fumures apportées dans les champs de l'exploitation | 34 |
| 3.3.1.1.2 Production en grain sur les champs des exploitations..... | 34 |
| 3.3.1.1.3 Résidus de récolte exportés des différents champs des exploitations | 36 |
| 3.3.1.2 Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K..... | 37 |
| 3.3.1.2.1 Bilan partiel de N, P et K des principales parcelles | 37 |
| 3.3.1.2.2 Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K des exploitations agricoles..... | 38 |
| 3.3.1.2.3 Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K dans le bassin versant | 39 |
| 3.3.2 Discussion | 39 |
| CONCLUSION GENERALE | 42 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 44 |
| ANNEXES..... | I |
| <i>Annexe 1 : Fiche d'enquêtes.....</i> | <i>I</i> |
| <i>Annexe 2 : Schéma des différentes parcelles</i> | <i>VI</i> |
| <i>Annexe 3 : Carte des sols dominants du micro bassin versant du Zondoma.....</i> | <i>VII</i> |
| <i>Annexe 4 : Données utilisées pour le calcul du bilan des éléments nutritifs.....</i> | <i>VIII</i> |
| <i>Annexe 5 : Bilan partiel de N, P et K pour les principales cultures de bassin versant</i> | <i>IX</i> |

DEDICACE

*À mon père, feu Lara Assane. Dieu n'a pas
voulu que tu assistes à la réalisation de mon rêve de
devenir ingénieur agronome, c'est sa volonté.*

Que tu reposes en paix.

À ma mère Madjènèba Dafé

À mes marâtres

À tous mes frères et soeurs

Je dédie ce mémoire

Qu'Allah le tout puissant nous accorde longue vie

REMERCIEMENTS

Ce document est issu d'une collaboration entre l'Institut du Développement Rural (IDR) et le Centre International pour la fertilité des sols et le Développement Agricole (IFDC). Plusieurs personnes ont contribué à sa réalisation et nous saisissons l'occasion pour leur témoigner notre profonde gratitude. Nos remerciements s'adressent particulièrement:

A l'IDR et au corps enseignant pour la formation reçue ;

A l'IFDC pour l'accueil, le soutien technique et financier ;

Au Dr Sansan YOUL notre maître de stage, pour la conception du thème de stage, l'encadrement sans faille et les multiples conseils ;

Au Dr Bernard BACYE notre directeur de mémoire, pour ses suggestions pertinentes pour l'amélioration du document ;

A la DPAHRH/Zondoma et l'ensemble du personnel pour l'accueil chaleureux et le soutien lors de la phase terrain de notre stage ;

Aux producteurs du village de Kibilo et Songodin qui ont conduit nos essais ;

A notre grand frère DRABO Sékou Cheick et son épouse KANYOULOU Joséphine pour leur soutien inestimable ;

A notre frère aîné DRABO Adama pour son soutien inestimable ;

A nos mamans pour l'amour, les encouragements et les bénédictions;

A KABRE Jacqueline, pour son amour et son soutien ;

A INACE Lacina pour l'amour fraternel ;

A la famille KARAMBIRI à Tougan pour leur accueil chaleureux lors de mes études secondaires.

A tous nos frères sans exception, mes oncles, mes cousins, mes cousines, mes neveux et mes nièces ;

A GOROU Michel pour son amitié sincère;

A tous nos camarades de la 34^e promotion de l'IDR, en particulier SAMA Karim et TIEMTORE Moussa Izzat.

Que Dieu récompense tout un chacun selon son mérite !

SIGGLES ET ABREVIATIONS

| | |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APRA | Apprentissage Participatif et Recherche-Action |
| BV | Bassin versant |
| BP | Burkina Phosphate |
| BUNASOLS | Bureau National des Sols |
| CES | Conservation des Eaux est des Sols |
| CP | Cordon Pierreux |
| CEC | Capacité d'échange cationique |
| DL | Demi-lune |
| DPAHRH/Z | Direction Provinciale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques du Zondoma |
| DPEP/Z | Direction Provinciale de l'Economie et de la planification du Zondoma |
| EI | Efficiency Interne |
| FAO | Fonds des Nations Unis pour l'Agriculture et l'Alimentation |
| FO | Fumure Organique |
| GIFTS | Gestion Intégrée de Fertilité des sols |
| ICRISAT | Institut International de Recherche sur les Cultures des zones Tropicales Semi-arides |
| IFAD | International Funds for Agricultural Development |
| IFDC | An International Center for soil Fertility and Agricultural Development |
| INERA | Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles |
| MO | Matière Organique |
| NPK | Azote, Phosphore, Potassium |
| NUTMON | Nutrients Monitoring |
| PDRD | Projet de Développement Rural Durable |
| QUEFTS | : Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils (Evaluation Quantitative de la Fertilité des Sols Tropicaux) |
| RVC | Ratio valeur sur Coût |
| TAG-820 | Technical Assistance Grant N° 820 |
| TSP | Triple Super Phosphate |
| TR | Taux de Recouvrement |
| TRM | Taux de Rentabilité Marginale |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tableau I : Sols dominants du bassin versant du Zondoma.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Tableau II: Doses de fertilisant apportées dans les différentes parcelles</i> | <i>18</i> |
| <i>Tableau III: Teneur en NPK des cultures.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Tableau IV: Teneur en NPK des fumiers d'animaux.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Tableau V: Effet des fumures minérales sur les rendements grain et tige et le poids de 1000 grains du Sorgho</i> | <i>25</i> |
| <i>Tableau VI: Effet de la fumure organique sur les rendements grain et tige et le poids de 1000 grains du sorgho.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Tableau VII: Effet de la fumure organo-minérale sur les rendements grain et tige et le poids de 1000 grains du sorgho</i> | <i>27</i> |
| <i>Tableau VIII: Rendements grain et tige et poids de 1000 grains du sorgho en fonction des techniques de CES.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Tableau IX: Rendements du sorgho en grain et tige et poids de 1000 grains en fonction des effets combinés de la fumure organique et des techniques de CES</i> | <i>29</i> |
| <i>Tableau X : Rendements utilisés pour le calcul de la recommandation</i> | <i>31</i> |
| <i>Tableau XI : Performances agronomique et financière de la recommandation de fertilisation pour un objectif de rendement de 2400 kg/ha.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Tableau XII : Performances agronomique et financière de la recommandation de fertilisation pour un objectif de rendement de 1300 kg/ha.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Tableau XIII : Fumures apportées dans les différentes parcelles</i> | <i>34</i> |
| <i>Tableau XIV : Production grain par champs des exploitations agricoles (2008).....</i> | <i>35</i> |
| <i>Tableau XV: Résidus de récoltes exportées des champs des exploitations agricoles</i> | <i>36</i> |
| <i>Tableau XVI : Bilan partiel de N, P et K des principales parcelles</i> | <i>37</i> |
| <i>Tableau XVII : Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K dans le bassin versant.....</i> | <i>39</i> |

LISTE DES FIGURES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figure 1 : Localisation du bassin versant du Zondoma</i> | <i>12</i> |
| <i>Figure 2 : Evolution de la pluviométrie de 1999 à 2008 dans le Zondoma</i> | <i>14</i> |
| <i>Figure 3: Pluviométrie mensuelle dans la province du Zondoma en 2008</i> | <i>14</i> |
| <i>Figure 4 : Concept de l'exploitation agricole et des flux de matières.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Figure 5 : Bilan des éléments nutritifs N, P et K des exploitations agricoles.....</i> | <i>38</i> |

RESUME

L'étude a été menée dans le bassin versant du Zondoma, au nord du Burkina Faso dans le but d'évaluer la capacité nutritive des sols et les bilans minéraux. Elle a consisté à faire des essais soustractifs et des suivis dans les exploitations agricoles. Les essais soustractifs de N, P, K et Cu+Zn ont été faits avec et sans apport de fumure organique en milieux paysans dont le dispositif est un ensemble de blocs dispersés. Un producteur constitue un bloc ou une répétition. La parcelle de chaque producteur est sur un seul type d'aménagement : soit demi-lune, soit cordon pierreux soit encore zaï. Les résultats des essais soustractifs ont montré que le phosphore et l'azote sont les éléments les plus limitatifs de la production du sorgho dans le bassin versant du Zondoma. Les oligo-éléments n'ont pas apporté de supplément significatif de rendement car les traitements NPK et NPK+oligo-éléments présentent des rendements comparables. La matière organique a amélioré significativement la production du sorgho. Elle a permis une augmentation des rendements grain et tige respectivement de 39% et 37% par rapport au témoin. Des recommandations formulées suivant l'approche du modèle QUEFTS à partir des données des essais soustractifs montrent que pour atteindre un rendement grain de sorgho de 1,3 t/ha (rendement moyen de SARIASSO 11 en milieu paysan selon fiche technique INERA), il faudrait apporter 47 kg/ha de N, 26 kg/ha de P_2O_5 et 30 kg/ha de K_2O . Le calcul du bilan partiel des éléments nutritifs a montré que les bilans des éléments minéraux sont négatifs. La combinaison des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) à une fertilisation organique basée sur une bonne gestion des résidus de récoltes et une fertilisation minérale à base de phosphore permettrait d'améliorer la productivité et le bilan des éléments nutritifs des sols du bassin versant.

Mots clés : fertilité des sols, bassin versant, bilan minéral, mesures CES, matière organique, essais soustractifs, Burkina Faso.

ABSTRACT

The study was carried out in the Zondoma's watershed, in the north part of Burkina Faso to evaluate soil nutritive capacity and soil nutrient balances. The first part consisted in nutrient omissions trials (NOT) with and without organic manure. The design consist of a group of selected farmers fields in two villages. A farmer is considered as one bloc or repetition. The plot of each farmer is on one type of soil and water conservation technologies (SWC): half moon, stone lines or zaï. The second part consist of nutrient balances studies in farms fields. Then, we made monitoring and inventory of nutrients flows in those farms, to be able to estimate nutrient balances. The results of the NOT showed that phosphorus and nitrogen seem the most limiting elements for sorghum production in the Zondoma's watershed. The oligo-elements didn't bring a significant additional production. The organic fertilizing improved significantly the sorghum production. It permits to improve grain and harvest yield respectively to 39% and 37%. The use of QUEFTS model approach showed that 1,3 t/ha of sorghum grain can be obtained by a recommendation of 47 kg/ha of N, 26 kg/ha of P_2O_5 and 30 kg/ha of K_2O . The calculation of the partial nutrients balance showed that the major nutrient balances were deficit. The combination of SWC technologies with an organic fertilizing base on a good management of harvest and a mineral fertilizing base on phosphorus could improve soil productivity and the nutrient balances in the watershed of Zondoma.

Key words: soil fertility, watershed of Zondoma, partial nutrient balances, SWC technologies, subtractive essays, organic fertilizer, mineral fertilizer, Burkina Faso.

Introduction

La dégradation des ressources naturelles, particulièrement celle des sols demeure de nos jours un problème majeur pour le développement agro-sylvo-pastoral des zones soudano-sahéliennes (PONTANIER *et al.*, 1995 ; LAL, 1997). Elle se présente depuis le début du 20^e siècle comme un phénomène rapide (DUGUE et YANG, 1992 ; TAOUNDA, 1996) qui affecte la productivité des espaces agricoles de ces régions (MANU, 1997). Au Burkina Faso, des études ont révélé que les teneurs en matières organiques pour la plupart des sols ont décliné jusqu'à un seuil critique, moins de 1% de la teneur en matière organique (BUNASOLS, 1985 ; SEDOGO, 1993).

Autrefois, la pratique de jachères naturelles associée à la culture itinérante permettait une restauration de la fertilité des sols (BERGER, 1996). Les systèmes de culture traditionnelle, de type extensif, offraient ainsi des productions dont le niveau était adapté aux potentialités des terres et aux besoins alimentaires encore peu nombreux (BERGER, 1996). Aujourd'hui, en plus du changement climatique et la baisse de la pluviométrie, la croissance démographique et l'insertion progressive de l'agriculture dans l'économie de marché sont quelques unes des causes de changements importants de l'environnement rural. Les jachères longues (10 à 30 ans) ont fait place à des jachères courtes (1 à 4 ans) qui, elles-mêmes, disparaissent rapidement (BERGER, 1996). Le début de l'intensification des cultures qui s'accompagne de faibles apports d'engrais minéraux et de restitutions organiques ne compense plus les exportations minérales des cultures. L'ensemble de ces facteurs concourt à une baisse générale de la fertilité des terres de savane qui se traduit :

- sur le plan physique, par une mauvaise structuration du sol qui limite l'enracinement des plantes et l'infiltration de l'eau dans le sol. Il en résulte alors une augmentation du ruissellement et l'érosion hydrique sous toutes ses formes (VALENTIN, 1994) ;

- sur le plan chimique, par une baisse de la teneur en bases échangeables, une acidification du sol, une dépréciation du complexe argilo-humique et un déséquilibre de l'état ionique du sol ;

- sur le plan biologique, par une baisse de la minéralisation de la matière organique du sol par les micro-organismes.

Le maintien d'un stock matières organique et minérale dans le sol correspondant aux besoins de production actuelle, nécessite la gestion intégrée de la fertilité des sols. En effet, la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) se réfère à une meilleure utilisation des réserves d'éléments nutritifs dans le sol, des amendements locaux disponibles et des engrais pour augmenter la productivité tout en améliorant les bases de la production agricole (MANDO, 2007). La disponibilité des nutriments dans le sol est déterminée par le bilan entre les pertes en nutriments et les apports dans le sol. Par ailleurs, un déséquilibre des éléments nutritifs dans le sol influence négativement la productivité. Ainsi, pour mener une action efficace et raisonnée de restauration de la fertilité des sols, il est nécessaire d'établir le bilan des éléments nutritifs du sol. C'est dans cette optique qu'a été initiée la présente étude intitulée : « Evaluation participative de la capacité nutritive des sols et des bilans minéraux dans les exploitations agricoles du micro bassin versant du Zondoma, dans le nord du Burkina Faso ».

L'objectif général de cette étude est d'améliorer la fertilité des sols du bassin versant du Zondoma. Plus spécifiquement, il s'agit de:

- déterminer la capacité nutritive des sols du bassin versant dans les systèmes de production du sorgho à travers des essais soustractifs ;
- formuler des recommandations de doses optimales spécifiques de fumure pour les sols dominants du bassin versant ;
- établir les flux et les bilans des éléments nutritifs N, P et K à travers un inventaire et un suivi dans les exploitations agricoles.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre présente la synthèse bibliographique. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du milieu d'étude et du matériel et méthodes d'étude. Le troisième chapitre concerne les résultats et discussions.

Chapitre 1 : Synthèse de la revue bibliographique

1.1 Notion de fertilité des sols

La fertilité des sols est un concept complexe dont le contenu varie selon que l'on soit agronome, écologue, pédologue, économiste et qui, du reste, est en relation avec les aptitudes intrinsèques des sols et avec les conditions techniques d'exploitation (DEMBELE et KAYA, 2005). Différentes perceptions existent entre fertilité naturelle qui est définie comme l'aptitude des sols à assurer de façon régulière et répétée, la croissance des cultures et l'obtention des récoltes et la fertilité acquise qui résulte de l'intervention humaine. On peut citer les définitions données par :

- BARBIER (1960) qui écrit : « la fertilité d'un sol, sous son climat, se mesure à l'abondance des récoltes qu'il porte lorsqu'on lui applique les techniques agricoles qui lui conviennent le mieux ».

- DEMOLON et HENIN (1954) qui écrivent : « la capacité de production d'un sol dépend de son profil, mais elle n'atteint son maximum que si le niveau de tous les facteurs nutritifs a été correctement ajusté, en fonction de sa constitution et des besoins de la culture ».

La fertilité d'un sol vue sous l'angle agricole décrit donc sa capacité à fonctionner dans les limites d'un écosystème aménagé ou naturel afin de soutenir la production animale ou végétale (MANDO et *al.*, 2000). La fertilité d'un sol définit sa capacité à stocker et à libérer des éléments minéraux, l'eau et d'autres constituants pour les besoins des plantes afin de promouvoir et d'assurer leur croissance.

Selon LAL et MILLER (1993), un sol fertile doit être :

- au plan physique : bien structuré, aéré et assez profond ;
- au plan chimique : riche en matière organique et en éléments minéraux et ayant une bonne capacité tampon ;
- au plan biologique : riche en microorganismes.

1.2 Problématique de la fertilité des sols au Burkina Faso

Selon BUNASOLS (1985), la majorité des sols du Burkina Faso (39% des sols) sont des sols ferrugineux tropicaux. Dans les conditions naturelles, ces sols sont fortement susceptibles à une mauvaise structuration dès qu'ils sont mis en culture (SEDOGO, 1981).

La baisse de la fertilité des sols est considérée comme étant la principale contrainte limitant la productivité des terres au Burkina Faso. Cette baisse de fertilité des sols est occasionnée par les exportations des récoltes et des résidus de récoltes, l'érosion hydrique et éolienne, les lessivages, les lixiviations, les volatilisations et la dénitrification (MANDO, 2007). L'érosion active des sols, consécutive à la dégradation des ressources naturelles affecte 72% des terres arables des zones sahéliennes (DEMBELE et KAYA, 2005). Le manque de moyen de transport (charrette) constitue une contrainte pour la restitution de la matière organique aux sols au Burkina Faso (LOMPO et *al.*, 2000).

La gestion de la fertilité des sols est devenue de nos jours une nécessité. Les pratiques traditionnelles basées sur les jachères de longue durée, la rotation des cultures et l'apport de fumures organiques (résidus de cultures, fumier, compost, etc.) sont devenues difficilement applicables à cause de multiples contraintes socioéconomiques des systèmes de production : pression démographique, orientation de l'agriculture itinérante vers l'agriculture intensive (SEDOGO, 1981 ; MANDO, 2007). Malheureusement, une fertilisation minérale adéquate est hors de portée de la majorité des paysans. Il est donc évident que la gestion de la fertilité des sols doit passer par une pratique de fertilisation organo-minérale où les matières organiques pourraient améliorer la structure des sols et satisfaire les besoins azotés des plantes alors que le phosphore et les autres éléments devraient être apportés par les engrais minéraux.

Les principales sources organiques du sol sont les résidus de récoltes, les racines, les fumiers, le compost et les ordures ménagères. Malgré le rôle important des sources organiques de fertilisation, leur utilisation se heurte à la faible disponibilité en quantité (SEGDA, 1991). A cause de la divagation des animaux, les exploitations n'arrivent pas souvent à produire suffisamment de fumier de parc. Par ailleurs, le cycle de fabrication du compost est assez long en raison de la nature du substrat et de la non disponibilité d'eau. Aussi, les résidus de récoltes, matières

premières des sources organiques fertilisantes, font l'objet d'utilisations multiples et concurrentielles.

1.3 Amélioration de la fertilité des sols

1.3.1 Amendements

Les amendements sont des matières fertilisantes apportées au sol, dont la principale fonction est d'améliorer les propriétés physique, chimique et biologique de celui-ci (SOLTNER, 1986). Ils ameublissent le sol, augmentent sa capacité de rétention en eau, et le rendent perméable, créant ainsi des conditions nécessaires à la prolifération des micro-organismes, au développement des racines et à la nutrition des plantes. On distingue principalement deux types d'amendement suivant leur origine.

1.3.1.1 Les amendements organiques

La matière organique (MO) joue un rôle important dans le sol parce qu'elle influence la disponibilité en nutriment, la structure, la capacité de rétention d'eau et la vie microbienne du sol (DIELS et *al.*, 2003 cités par MANDO, 2007). Les amendements organiques sont constitués de composés carbonés fermentescibles ou ayant fermenté contenant des matières organiques d'origine végétale et animale. Suivant le degré de fermentation, on distingue la MO fraîche qui provient des débris végétaux et animaux qui retournent au sol sans subir au préalable une décomposition, les produits transitoires issus de la décomposition active de la MO fraîche et l'humus stable qui représente plus de 90% de la MO totale du sol (SOLTNER, 1986).

La minéralisation lente et continue de l'humus (1,5 à 2% /an) (SOLTNER, 1986) constitue une source importante d'éléments nutritifs pour les plantes. Elle augmente la disponibilité des éléments minéraux et améliore leur bilan dans le sol. Par ailleurs, les colloïdes humiques augmentent la capacité totale d'échange du sol. En effet un gramme d'humus fixe cinq fois plus de cations qu'un gramme d'argile (SOLTNER, 1986). La MO joue donc un rôle important dans le stockage des éléments minéraux dans le sol.

1.3.1.2 Les amendements calcomagnésiens

Les amendements calcomagnésiens sont utilisés pour diminuer l'acidité du sol, améliorer sa structure par floculation des argiles, faciliter son ressuage, intensifier le développement de la vie microbienne (SOLTNER, 1986). Les amendements calcomagnésiens permettent également la fourniture d'éléments minéraux (calcium, magnésium) aux plantes. On distingue deux types d'amendements calcomagnésiens :

- les produits crus qui sont le calcaire, la dolomite, la craie, le marne, le sable coquillier, les calcaires phosphatés.
- Les produits cuits qui sont soit les précédents cuits au four, soit des résidus industriels : chaux agricoles vives ou éteintes, chaux magnésiennes, écumes de défécation de sucrerie, laitiers de hauts fourneaux.

1.3.2 Les engrais

Les engrais sont des matières fertilisantes organiques ou minérales incorporées au sol dont la principale fonction est d'apporter aux plantes un ou plusieurs éléments directement utilisés pour leur nutrition. Suivant leur origine, on distingue les engrais minéraux et les engrais organiques.

1.3.2.1 Les engrais minéraux

Les engrais minéraux ont pour origine les roches éruptives, sédimentaires ou salines, ou obtenus par synthèse ou par transformations industrielles. En fonction du nombre d'éléments qu'ils contiennent, on distingue les engrais simples qui ne contiennent qu'un élément nutritif majeur (exemple le TSP), les engrais composés qui contiennent au moins deux éléments nutritifs majeurs (exemple le NPK). Aussi, on a des engrais solubles, peu solubles et des engrais insolubles (GROS, 1974). Au Burkina Faso, l'engrais minéral le plus utilisé par les paysans est celui formulé pour la culture de coton souvent appelé « coton » de formule 14-23-14-6S-1B (14% de N, 23% de P_2O_5 , 14% de K_2O , 6% de Soufre et 1% de Bore). Les engrais minéraux enrichissent le sol en éléments nutritifs et permettent d'augmenter le rendement des cultures.

1.3.2.2 Les engrais organiques et les engrais verts

Les engrais organiques apportent aux végétaux sous forme organique les éléments minéraux majeurs, secondaires et la plupart des oligo-éléments. La matière organique constitue une réserve importante en azote et en soufre (GROS, 1974). Lorsque les conditions sont favorables la matière organique se minéralise et libère les éléments minéraux dans le sol. Les engrais verts sont des plantes à végétation rapide, généralement des légumineuses, qui fixent l'azote atmosphérique. Ils sont cultivés dans le but d'être enfouis avant la mise en place d'une autre culture. Les engrais verts sont des matières organiques qui se minéralisent rapidement à cause de leur rapport C/N très faible (<20). L'intérêt agronomique des engrais verts est multiple : elles stimulent la vie microbienne, limitent le lessivage des nitrates, protègent le sol contre l'érosion et accélèrent la décomposition des pailles (SOLTNER, 1986).

L'utilisation des engrais organiques combinés aux engrais minéraux présente un grand intérêt dans la gestion intégrée de la fertilité des sols. Les fumures organo-minérales permettent d'avoir un meilleur bilan azoté, un bilan positif en calcium, une stabilité et une augmentation du taux de matière organique et de la capacité d'échange cationique (CEC) du sol (LOMPO et *al.*, 1993 cités par LOMPO, 2005). Grâce à ces propriétés, les fumures organiques sont la base même du succès des engrais minéraux (FAO, 1980).

1.3.3 Techniques de Conservation des Eaux et des Sols (CES)

Pour faire face à la dégradation des sols, des techniques permettant d'améliorer le bilan hydrique du sol, sa structure et de réduire les pertes d'éléments nutritifs par l'érosion hydrique ont été développées. Ces techniques ont été introduites, ou sont traditionnellement utilisées dans la zone semi-aride d'Afrique de l'Ouest. Les techniques de CES les plus utilisées au Burkina Faso sont les cordons pierreux, le zaï et les demi-lunes.

1.3.3.1 Cordons pierreux

Les cordons pierreux sont des mesures de conservation des eaux et des sols qui réduisent efficacement le ruissellement, par conséquent l'érosion hydrique. Ils améliorent l'humidité et la fertilité du sol (ZOUGMORE *et al.*, 2003). Les lignes de cordons pierreux sont installées sur les courbes de niveau, perpendiculairement aux

sens de ruissellement des eaux de pluie. Ces aménagements sont plus rencontrés dans le Nord et au Centre du Burkina Faso. Selon ZOUGMORE *et al.*, (2000), l'efficacité des cordons dépend de l'espacement entre les lignes. Il a montré que pour des espacements de 50m, 33m et 25m, le rendement grain du sorgho est amélioré respectivement de 58%, 106% et 343%. Plus l'espacement est large, moins est l'impact sur le ruissellement et le stockage de l'eau dans le sol.

1.3.3.2 Zaï

Les *zaïs* sont des trous de 20 à 40cm de diamètre et de 10 à 15 cm de profondeur. Ces trous servent à collecter l'eau des premières pluies afin de réaliser des semis précoces. La technique de zaï est une pratique courante utilisée pour la réhabilitation des sols dégradés. Sur le plan agronomique, cette technique endogène a fait ses preuves dans le Nord du Burkina Faso et commence à gagner l'intérieur du pays à la faveur des projets d'appuis au secteur agricole (REIJ *et al.*, 1996). La pratique du zaï contribue à lutter contre les effets néfastes de la sécheresse sur les cultures, en augmentant la capacité de rétention en eau du sol.

1.3.3.3 Demi-lunes

La technique des demi-lunes est née dans la région de Tahoua au Niger (REIJ *et al.*, 1996), et a été introduite au Burkina Faso par la recherche. Les demi-lunes sont des cuvettes de diamètre 4m avec un bourrelet servant à retenir l'eau de ruissellement dans la cuvette. Dans la pratique, lors du creusage des demi-lunes, la couche arable (horizon superficielle) est remise dans la cuvette. Le bourrelet est constitué avec la couche profonde. L'espacement entre deux demi-lunes sur la même ligne est de 2m et de 4m entre deux demi-lunes successives soit 417demi-lunes par hectare (ZOUGMORE *et al.*, 2003). Comme la technique de zaï, la demi-lune collectionne l'eau et augmente son stock dans le sol. Cependant, en cas de pluviométrie excédentaire, les rendements baissent sur les demi-lunes en raison des inondations temporaires qui influencent négativement le développement des cultures (ZOUGMORE *et al.*, 2000).

1.4 Notion de bilan des éléments nutritifs

Le bilan des éléments nutritifs du sol est la différence entre les apports nets d'éléments nutritifs et les exportations totales (STOORVOOGEL et SMALING, 1990). Ils permettent d'évaluer l'effet à moyen et à long terme d'un système de culture sur la fertilité minérale et de prévoir pour les différents éléments, si le sol va s'enrichir ou s'appauvrir. Si le sol s'appauvrit en un élément déjà peu abondant, des carences risquent d'apparaître ou de s'aggraver. Au contraire, s'il s'appauvrit en un élément surabondant, cela est sans importance ou même favorable (le Mémento de l'agronome, 2006). S'il s'enrichit en des éléments peu abondants, cela améliore sa fertilité. Inversement, l'enrichissement en un élément déjà abondant est du gaspillage et peut devenir polluant. Le maintien de la fertilité des sols doit passer par la connaissance du bilan des éléments chimiques servant de nutriments aux plantes (KANTE, 2001). Les bilans minéraux peuvent aider à comprendre si globalement, un système donné perd ou au contraire accumule des éléments nutritifs. Compte tenu de la difficulté à mesurer certains flux de nutriments en milieu paysan, la plupart des calculs de bilan se limitent au bilan partiel qui prend en compte les apports d'éléments nutritifs par les fumures minérales et organiques et les exportations par les grains et les résidus de récoltes. Cependant, plusieurs études réalisées en Afrique ont montré que de tels bilans ne permettent pas de prévoir de façon significative l'évolution des stocks minéraux et organiques. Les pertes par l'érosion, la lixiviation ainsi que les flux internes de redistribution minérale y jouent des rôles déterminants (GRET, 1990). Dans les systèmes de culture traditionnelle sémi-intensive, le bilan des éléments nutritifs majeurs (l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium) est généralement négatif (PERI, 1989). Les études comparant les systèmes de culture et les jachères ont montré que les sols sous culture présentent des bilans annuels négatifs tant que les sols sous jachères présentent des bilans positifs. Selon DEVILLE (1996), les systèmes de culture avec de faibles exportations peuvent quasiment équilibrer leur bilan par les apports atmosphériques et la minéralisation de l'humus. Le recours à la fumure organo-minérale pourrait contribuer à équilibrer les bilans minéraux des systèmes de culture.

1.5 Apprentissage Participatif et Recherche-Action (APRA)

De nombreux projets d'utilisation durable des sols ont échoué à cause de l'approche sectorielle de ces projets, du manque d'intégration dans les structures existantes et principalement à cause du manque de participation des groupes cibles (STEINER, 1996). Selon ce même auteur, le transfert de technologies que l'on encourageait autrefois et qui consistait à développer des solutions au niveau de la recherche, puis à les diffuser au travers de systèmes de vulgarisation s'est révélé inadéquat. Vers la fin des années 70, plus d'attention a été prêtée aux contraintes paysannes et à la complexité des réalités rurales (STRUIF-BONTKES et WOPEREIS, 2003; WERNER, 1996). La recherche d'approches nouvelles s'est fortement orientée vers le développement de méthodes et insiste sur la nécessité d'une interaction étroite entre les trois systèmes de savoir (recherche, vulgarisation, pratique). Ainsi, les recherches en station ont été remplacées par les recherches in situ et les fermiers sont devenus des partenaires au lieu d'être simplement des récepteurs passifs d'information. Il s'agit de l'approche participative. Ce développement, quoique louable, faisait malheureusement face à des problèmes, pour tenir compte des variabilités paysannes : les solutions qui fonctionnent dans une situation particulière peuvent ne pas fonctionner dans une autre (STRUIF-BONTKES et WOPEREIS, 2003). Les technologies développées dans le cadre de certains projets ne peuvent être que partiellement généralisées et transférées à des situations particulières. Ce que l'on souhaite, ce sont des solutions spécifiques à des situations particulières ; le développement de telles solutions nécessite une connaissance précise des conditions locales (STEINER, 1996). Dans de telles conditions, les approches traditionnelles de recherche ne conviennent plus, et doivent, par conséquent être remplacées par une capacité d'analyse et de compréhension des situations pour offrir des options alternatives afin de résoudre un problème. C'est dans ce contexte que l'approche «Apprentissage Participatif et Recherche-Action» constitue une approche de solution pour une utilisation durable des sols.

L'« Apprentissage Participatif et Recherche-Action » est basée sur l'établissement d'un dialogue permanent entre les populations et les agents techniques, sur le principe de partenariat ainsi que sur la reconnaissance du savoir-faire local. Il est une approche d'éducation paysanne axée sur la formation en groupe et exploitant les expériences des paysans membres du groupe. L'APRA met un

accent particulier «sur la valorisation des connaissances et savoirs des populations locales et leur combinaison avec la connaissance scientifique moderne» (GUEYE et FREUDENBERGER, 1991). Selon STEINER (1996) les paysans possèdent une très bonne connaissance de leurs sols et utilisent leur propre classification. Celle-ci s'appuie sur des critères tels que la structure, la couleur du sol, les capacités de drainage et de rétention en eau et l'aptitude pour certaines cultures. La connaissance de la classification locale des sols facilite la discussion avec les paysans et avec le personnel local de vulgarisation.

Le curriculum APRA dure toute la saison et les activités suivent les stades de développement de la culture et les pratiques culturelles. Les paysans analysent eux-mêmes leurs pratiques, découvrent les problèmes et cherchent des solutions. Au lieu de diffuser ou de transférer des technologies issues des services de recherche/vulgarisation, les animateurs/facilitateurs aident les paysans à découvrir eux-mêmes des solutions et ainsi à augmenter leur capacité de «bons» gestionnaires de leurs cultures.

L'APRA ne cherche pas les meilleures solutions du point de vue scientifique, mais celles qui sont pratiques, applicables et adaptées à des situations spécifiques (DEFOER et *al.*, 2002). En Côte d'Ivoire, cette approche a été utilisée pour la Gestion Intégrée de la Riziculture en Afrique sub-saharienne (APRA-GIR) et y a donné des résultats satisfaisants par une exploitation optimale et durable des rizières et une maîtrise des eaux d'irrigation. L'approche APRA a pour objectifs :

- de développer la capacité paysanne d'observation et d'analyse de sa gestion des cultures afin d'identifier les contraintes majeures et de tester, d'adapter, d'innover avec des possibilités d'amélioration pour une gestion intégrée de la fertilité des sols ;

- de faciliter l'apprentissage pour mieux prendre des décisions raisonnées ; décisions qui aboutiront à une GIFS afin de rendre les sols plus productifs et ce, de façon durable.

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

2.1 Présentation de la zone d'étude

2.1.1 Situation géographique

L'étude a été menée dans le micro bassin versant du Zondoma (sous bassin versant du Nakambé) (figure1).

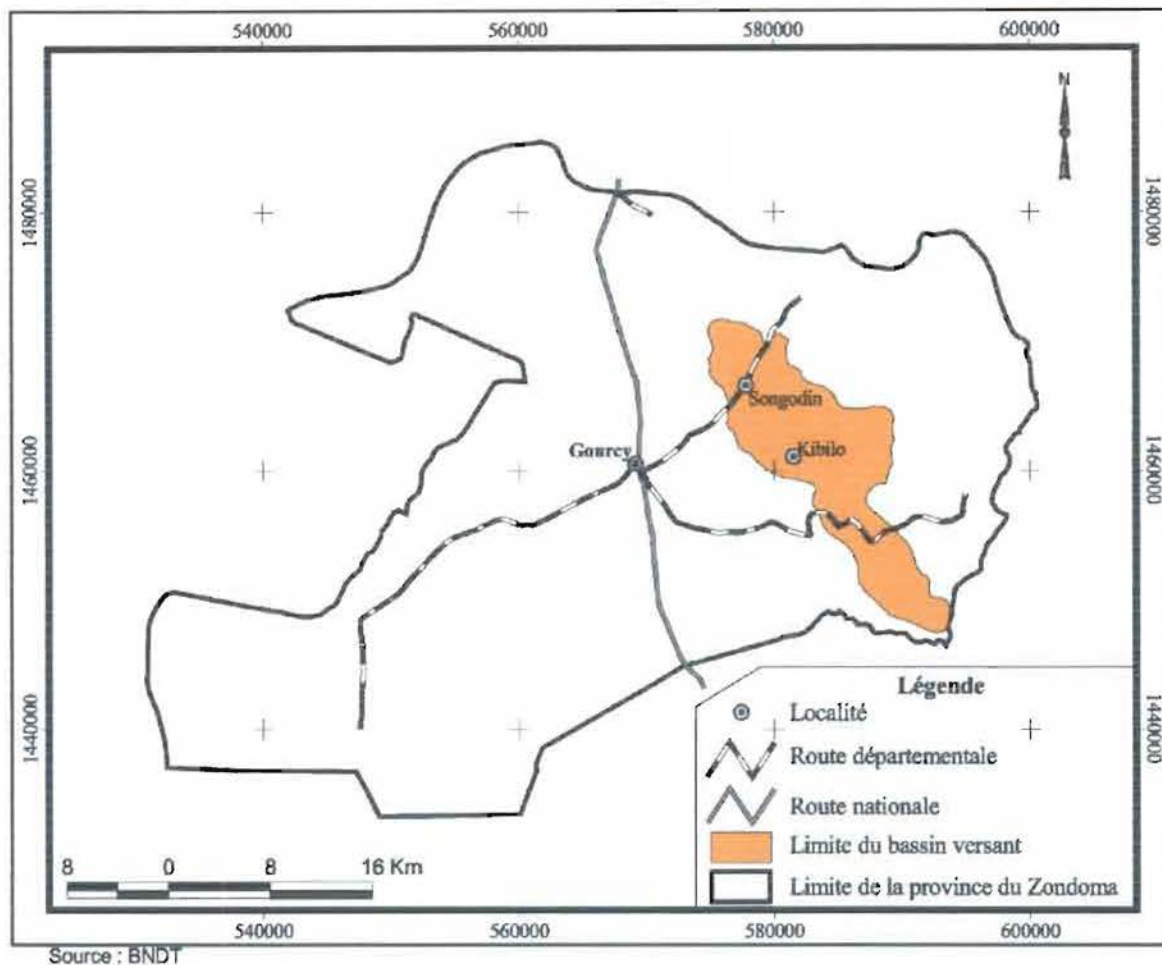


Figure 1 : Localisation du bassin versant du Zondoma

Située à environ 140km de Ouagadougou, la province du Zondoma fait partie de la région Nord du Burkina Faso. Elle est limitée par les provinces du Yatenga au Nord et à l'Est, du Passoré au sud et du Sourou à l'Ouest. Les coordonnées géographiques sont : 13° et 15° latitude Nord ; 1° 45 et 3° longitude Ouest. Plus précisément, l'étude a été conduite dans deux villages situés dans le bassin versant :

1) Songodin au nord du bassin versant, appartenant à la commune rurale de Bassi de coordonnées géographiques : 13°16'08,9 latitude Nord ; 02°15',6 longitude Ouest et 351m d'altitude.

2) Kibilo dans le centre du bassin versant appartenant à la commune urbaine de Gourcy de coordonnées géographiques : 13°12'50,1 latitude Nord ; 02°14'54,5 longitude Ouest et 319m d'altitude.

2.1.2 Végétation

Le couvert végétal jadis abondant s'est amenuisé au fil des années sous l'effet de la sécheresse et de l'exploitation excessive des ressources naturelles (PDRD, 2007). De nos jours, on ne compte que quelques reliques forestières disséminées çà et là sur le territoire provincial. On y retrouve des formations végétales caractéristiques du plateau, bien que plus dégradées. Il s'agit d'une savane arborée à base de *Khaya senegalensis*, *Tamarindus indica*, *Sclerocarya birrea* et *Parkia biglobosa* dans les zones basses ; de *Parkia biglobosa*, *Acacia albida*, *Sclerocarya birrea* et *Vitellaria paradoxa* sur les champs les plus fertiles. Les hauts de pente sont recouverts de formations très dégradées comportant des arbustes (*Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*), et une strate herbacée peu dense à base de *Loudetia togoensis* (ZOMBRE et al., 2008).

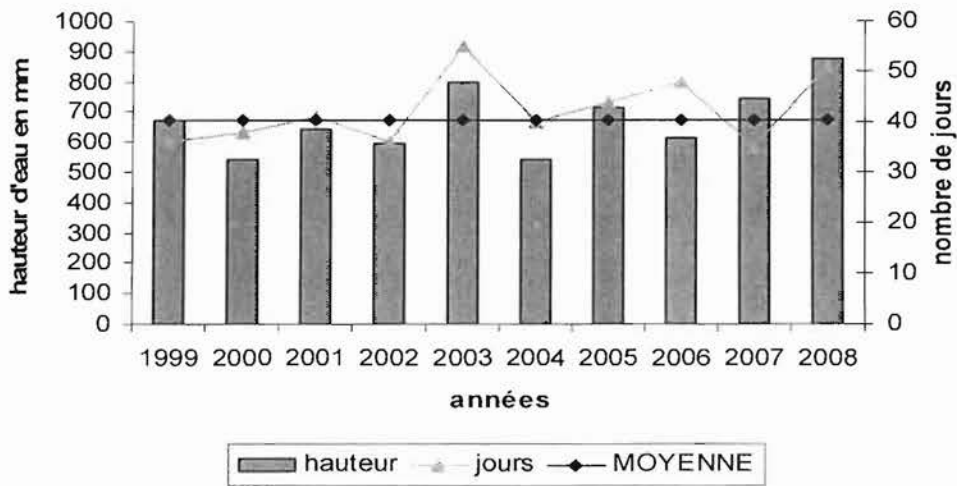
La baisse de la pluviométrie et la dégradation des sols sous la pression humaine et animale ont un effet défavorable sur cette végétation déjà fragile. Les conséquences sont l'apparition des plages dénudées appelée « Zippelé » en mooré, sur lesquelles l'agriculture est pratiquement impossible en absence d'actions de récupération. Les techniques de récupération telles que le zaï, les demi-lunes et les cordons pierreux combinées à l'utilisation de la fumure organique et de l'engrais minéraux permettent d'accroître la productivité de ces terres (ZOUGMORE et al., 2002 et 2003).

2.1.3 Conditions climatiques

La province du Zondoma est soumise à un climat continental sec soudano sahélien caractérisé par deux saisons :

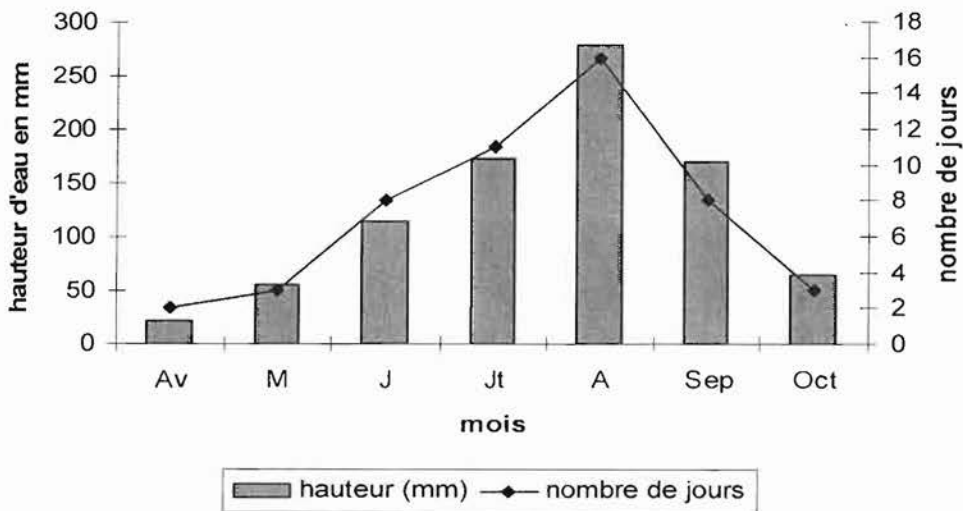
- une saison sèche de novembre à avril comportant une période froide de novembre à février et une période chaude qui commence au mois de mars. La période froide est caractérisée par l'harmattan qui souffle dans les directions Nord-Est et Sud-Ouest. Les amplitudes thermiques sont aussi très variables. Les températures maximales atteignent 45° C en avril et les minimales 15° C en janvier.

- une saison pluvieuse de mai à octobre. Cette durée hivernale est variable d'une année à l'autre. Les précipitations sont peu abondantes, irrégulières et inégalement réparties dans le temps et dans l'espace. La figure 3 représente la pluviométrie de 2008. La province est située entre les isohyètes 500 et 750mm. Les hauteurs d'eau de pluie ont varié les dix dernières années de 538 mm à 876 mm soit une moyenne de 674 mm d'eau par an (figure 2).



Source : DPAHRH/Zondoma

Figure 2 : Evolution de la pluviométrie de 1999 à 2008 dans le Zondoma



Source : DPAHRH/Zondoma

Figure 3: Pluviométrie mensuelle dans la province du Zondoma en 2008

2.1.4 Sols

Selon BUNASOLS (2002), cinq classes de sol sont dominantes dans le micro bassin versant pilote du Zondoma (tableau I). La carte représentative des sols dominants se trouve à l'annexe 3

Tableau I : Sols dominants du bassin versant du Zondoma

| Sol dominant | Superficie en ha | % |
|------------------------------------------------------|-------------------------|------------|
| Sols bruns | 647,82 | 3,98 |
| Sols ferrugineux indurés | 9146,59 | 56,22 |
| Sols ferrugineux tropicaux à taches et à concrétions | 3179,97 | 19,55 |
| Sols hydromorphes | 1158,05 | 7,12 |
| Lithosols | 2135,95 | 13,13 |
| Total | 16268,38 | 100 |

Source : BUNASOLS (2002)

Les différentes unités cartographiques présentent comme principales contraintes à l'agriculture une faible disponibilité en éléments nutritifs et des risques liés à l'érosion. En effet, les sols de la région, comme d'ailleurs la plupart des sols sahéliens sont pauvres en matière organique, en phosphore et en azote (PIERI, 1989 ; FAO, 2005).

2.1.5 Caractéristiques de la population

Avec une superficie de 170 km², le bassin versant du Zondoma s'étend sur trois communes: la commune urbaine de Gourcy et les communes rurales de Bassi et Tougo. La population est estimée à 13 500 habitants avec une densité d'environ 80 habitants/Km². Le bassin versant représente la zone la plus peuplée de la province avec une pression foncière forte. Les conditions physiques difficiles du milieu contraignent bon nombre de jeunes à l'émigration aussi bien à l'intérieur du pays (vers Ouagadougou, Ouahigouya, etc.) qu'à l'extérieur du pays (vers la Cote d'Ivoire, le Ghana, etc.).

2.1.6 Activités socioéconomiques

2.1.6.1 L'agriculture

L'activité économique de base dans le Zondoma reste l'agriculture (DPED, 2005). Elle est de type extensif et le système de production repose sur la culture céréalière de sorgho et de mil, en association avec le niébé dans la majorité des cas. La production est essentiellement orientée vers l'autoconsommation familiale et couvre très rarement les besoins de la famille à cause de la pauvreté des sols, des faibles moyens de production des paysans et de l'insuffisance de la pluie (PDRD, 2007). Les cultures dites de rente que sont l'arachide, le niébé et le voandzou entrent aussi dans l'alimentation des familles. La culture maraîchère est aussi pratiquée dans le bassin versant surtout autour des points d'eau et périmètres aménagés (Lago, Minima, autour du barrage KANAZOE, etc.).

2.1.6.2 L'élevage

L'élevage est la deuxième activité après l'agriculture occupant les populations de la province (PDRD, 2007). La pratique de l'élevage constitue une source importante de revenu pour les producteurs et leur permet de pallier les insuffisances de la production céréalière. En plus, l'élevage contribue à la gestion de la fertilité des sols dans la zone à travers la production des fumiers et le recyclage des résidus de cultures. Cependant, le mode de gestion extensif de l'élevage réduit fortement le rendement des animaux. La contrainte majeure de l'élevage dans la zone est le problème d'eau durant la période sèche.

2.1.6.3 Autres activités

La population de la province du Zondoma pratique d'autres activités telles que le commerce et l'artisanat. Le commerce y est bien développé. On dénombre dix sept importants marchés repartis dans les villages des cinq départements de la province (PDRD, 2007). Ces marchés se tiennent tous les trois jours et les échanges portent essentiellement sur les produits agricoles et les produits d'élevage.

2.2 Méthodologie de conduite des essais soustractifs en milieu paysan

2.2.1 Matériel d'étude

2.2.1.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est le sorgho, variété *Sariasso 11*, dont le cycle de production est de 100 à 105 jours. Son aire de culture se situe entre les isohyètes 500 et 700mm avec un rendement potentiel qui se situe entre 3 à 4 tonnes/ha (Fiche technique INERA).

2.2.1.2 Fertilisants utilisés

Fumure minérale

Les engrais utilisés pour la fourniture des éléments nutritifs N, P et K au sol sont l'urée, le TSP, et le KCl contenant respectivement 46% de N, 46% de P₂O₅ et 60% de K₂O.

Fumure organique

La matière organique utilisée est du compost constitué à partir de déjections d'animaux, de résidus de récoltes et des ordures ménagères.

2.2.2 Méthodes d'étude

2.2.2.1 Choix des villages et des producteurs

L'étude a été réalisée en milieu paysan dans deux villages du bassin versant (BV) du Zondoma.

Les producteurs ont été choisis lors des assemblées générales organisées dans les villages. Ainsi dix huit (18) producteurs au total dont neuf (9) par village ont été retenus.

Les critères qui ont dirigé le choix des producteurs est qu'il devrait posséder une parcelle aménagée en cordon pierreux, en demi-lune ou en zaï où sera installés les traitements de fertilisation. Ainsi, on a 6 parcelles aménagées en cordon pierreux, 6 parcelles aménagées en zaï et 6 parcelles aménagées en demi-lunes.

2.2.2.2 Dispositif expérimental

Le dispositif est un ensemble de blocs dispersés. Un producteur constitue un bloc ou une répétition, correspondant à une technique CES. La parcelle de chaque producteur est sur un seul type d'aménagement : soit demi-lune, soit cordon pierreux soit encore zaï.

Des traitements de fumure minérale ont été constitués par combinaison des éléments nutritifs N, P, K et Cu+Zn en omettant un élément, les autres étant apportés à des doses maximales. Soit 6 traitements (Témoin, NK, PK, NP, NPK, NPK+oligo-éléments). Ces traitements ont été installés dans chaque parcelle avec et sans fumure organique. Ainsi par producteur, 12 traitements ont été installés.

La surface de la parcelle élémentaire est fonction de l'aménagement CES. Sur les aménagements en cordon pierreux et en zaï, les traitements ont été installés sur des parcelles élémentaires de 64m² (8m x 8m). Alors que sur les aménagements en demi-lune, les parcelles élémentaires sont de 72m² correspondant à 3 demi-lunes.

Pour chaque traitement, les quantités nécessaires de phosphore, de potassium, de cuivre et de zinc ont été apportées en un seul apport lors du premier sarclage (entre 15 à 20 jours après semis). La quantité d'azote nécessaire par traitement a été apportée en deux apports. Une moitié a été apportée lors du premier sarclage et l'autre moitié lors du second sarclage (40 à 45 jours après semis). Les doses de fertilisant apportées dans les différents traitements sont mentionnées dans le tableau 2.

Tableau II: Doses de fertilisant apportées dans les différentes parcelles

| Parcelles (CES) | N (kg/ha) | P ₂ O ₅ (kg/ha) | K ₂ O (kg/ha) | Cu (kg/ha) | Zn (kg/ha) | Compost (T/ha) |
|-----------------|-----------|---------------------------------------|--------------------------|------------|------------|----------------|
| DL | 100 | 30 | 35 | 30 | 30 | 14 |
| CP | 100 | 30 | 35 | 30 | 30 | 6,3 |
| Zaï | 100 | 30 | 35 | 30 | 30 | 10,9 |

DL = demi-lune, CP = cordon pierreux, TSP = triple super phosphate, KCl = chlorure de potassium, N = azote, Cu = cuivre, Zn = zinc

Le travail du sol a consisté en un labour à la traction animale des parcelles aménagées en cordon pierreux et au creusage des trous de zaï ou des cuvettes de demi-lunes. Les trous de zaï ont un diamètre de 20 à 40cm et 10 à 15cm de

profondeur. Quant aux demi-lunes, elles ont un diamètre de 4m et une profondeur variant entre 15 et 25cm.

2.2.2.3 Conduite des essais

2.2.2.3.1 Semis

Les semis ont été réalisés durant la période du 08 au 23 Juillet 2008. Ils ont été effectués le même jour dans toutes les parcelles pour chaque producteur. La densité de semis était de 0,8m entre les lignes et de 0,6m sur la ligne.

2.2.2.3.2 Travaux d'entretien

Toutes les opérations culturales ont été effectuées par les producteurs. Toutes les parcelles ont été sarclées au moins deux fois. Mais, cela n'a pas suffi à lutter efficacement contre les mauvaises herbes à cause de l'intensité et la fréquence des pluies enregistrées au cours de la saison. Les engrais ont été enfouis après leur apport.

2.2.2.4 Observations et mesures

Le nombre de panicules a été compté dans chaque parcelle élémentaire à la récolte. Les poids humides des grains et des tiges ont été mesurés à la récolte puis deux semaines après, les poids secs ont été mesurés. Les rendements en grain et en tige ont été évalués sur chaque traitement.

2.3 Méthode de recommandation de fertilisation

Afin de recommander une fertilisation sur la base des diagnostics, le principe de base de QUEFTS (*Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils*) a été adopté (SMALING et JANSSEN (1993)). QUEFTS est un outil simple, permettant de prédire des rendements sur la base d'un certain nombre de caractéristiques des sols (C organique, N total, P total, P assimilable, K échangeable et pH-eau) (BONTKES et al 2003). Cependant, il faut noter que QUEFTS ne prend pas en compte des facteurs tels que l'approvisionnement en eau, les déprédateurs et maladies, et les variétés (BONTKES et al 2003).

QUEFTS est également un outil de recommandation de doses de N, P et K à appliquer à une culture. Le principe utilisé dans ce cas consiste à déterminer les approvisionnements en N, P et K du sol et à calculer les quantités de nutriments à ajouter au sol pour atteindre les besoins de production d'un rendement ciblé tout en tenant compte de l'efficacité d'utilisation de ces éléments (taux de recouvrement de N, P et K appliqués et efficacité interne). A travers les essais soustractifs, sur une parcelle qui par exemple n'a pas été fertilisée en N mais a reçu une dose adéquate de P et K de manière à s'assurer que ces éléments ne limitent pas la croissance (rendement), le rendement obtenu reflète la fertilité initiale du sol en N.

Les données nécessaires pour le calcul sont :

- un Rendement ciblé : ce rendement correspond à un objectif de rendement et doit être inférieur ou égal à 80% du rendement potentiel pour des raisons économiques;

- rendement zéro X : ce rendement correspond au rendement obtenu sur la parcelle qui n'a pas reçu comme fertilisant l'élément X qui peut être N, P ou K dans le cadre de cette étude ;

- l'efficacité interne (EI): c'est la quantité de produit récolté (kg) par kg de nutriment absorbé.

- taux de recouvrement (TR): le taux de recouvrement d'un élément nutritif est le rapport entre la quantité d'engrais absorbée et la quantité d'engrais appliqué.

Selon MANDO (2007), les valeurs moyennes suivantes peuvent être considérées pour les efficacités internes et les taux de recouvrement pour une nutrition équilibrée dans le cas de la culture du sorgho dans les zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest:

EI (N)= 38 ; EI (P)= 278 ; EI (K)= 42

TR (N)= 30% ; TR (P)= 20% ; TR (K)= 30%

La dose d'un nutriment X à appliquer peut être obtenue selon la formule suivante :

$$\text{Dose X à appliquer} = \frac{\text{Rendement Ciblé} - \text{Rendement zéro X}}{\text{EI(X)} \times \text{TR(X)}}$$

Une analyse économique a été faite en calculant le rapport valeur sur coût (RVC) et le taux de revenu marginal (TRM).

$$\text{RVC} = \frac{\text{Revenu total}}{\text{Coût total}}$$

- Revenu total = Rendement grain x prix du kg de grain
 - Coût total des engrais = Somme (quantité engrais x prix du kg engrais)
- NB : L'option est rentable si RVC > 2

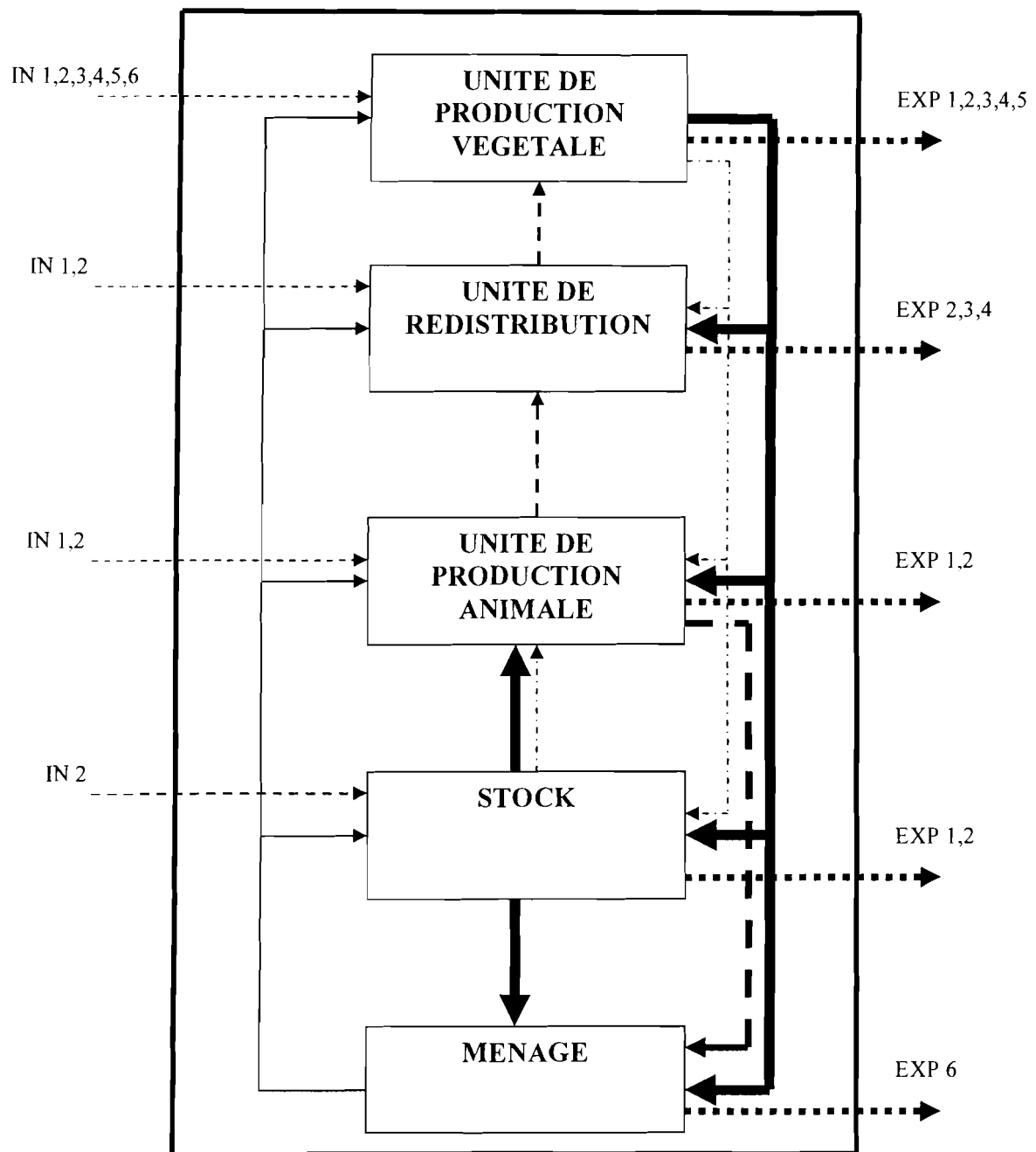
$$\text{TRM} = \frac{100 \times (\text{Bénéfice Net T1} - \text{Bénéfice Net T0})}{\text{Coûts Engrais T1} - \text{Coûts Engrais T0}}$$

- Bénéfice Net = Revenu Total – Coût des Engrais
 - T1 = Traitement relatif à la nouvelle dose à recommander
 - T0 = Traitement relatif à l'ancienne dose ou Dose Témoin
- NB : On peut passer à la nouvelle option si TRM > 100

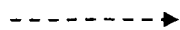
2.4 Méthode d'évaluation des bilans des éléments nutritifs N, P et K

2.4.1 Model conceptuel

Le model conceptuel de l'exploitation agricole a été utilisé pour faciliter l'évaluation des différents flux (SMALING et al (2006) (figure 4). Ce modèle résume l'exploitation agricole en cinq sous-unités qui sont en interaction : l'unité de production végétale, l'unité de production animale, l'unité de redistribution, le ménage et les stocks. Il distingue six flux entrants : les apports minéraux (IN1), les apports organiques (IN2), les dépositions atmosphériques (IN3), les fixations biologiques (IN4), la sédimentation (IN5), les réserves du sol (IN6) et six flux sortants : les pertes par les récoltes (EXP1), les pertes par les résidus de récolte (EXP2), les pertes par les lessivages (EXP3), les pertes gazeuses (EXP4), les pertes par l'érosion (EXP5), les pertes par les déjections humaines (EXP6). Les flux internes se réfèrent à la redistribution des produits de récolte, des résidus de récolte des productions animales, des fumiers d'animaux et des ordures ménagères entre les différentes unités de l'exploitation agricole.



Flux entrants



1. Engrais minéraux
2. Fumures organiques
3. Dépôts atmosphériques
4. Fixations biologiques
5. Sédimentation
6. Réserves du sol

Flux sortants

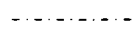


1. Produits agricoles
2. Résidus de récoltes
3. Lessivages
4. Volatilisations
5. Erosions
6. Déjections humaines

Flux internes



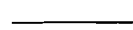
Produits agricoles



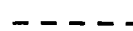
Résidus de récoltes



Productions animales



Ordures ménagères



Fumiers/Compost



Limite de l'exploitation

Source : SMALING et al., (2006)

Figure 4 : Concept de l'exploitation agricole et des flux de matières

Le bilan qui a été établi dans la présente étude est un bilan partiel. Pour ce faire des simplifications ont été faites en considérant seulement les apports de fertilisants minéraux (IN1) et organiques (IN2) et les exportations de récolte (EXP1) et de résidus de récoltes (EXP2). Ces différents flux ont été inventoriés et quantifiés avec les producteurs.

2.4.2 Suivi dans les exploitations agricoles

Seize exploitations agricoles dont neuf à Songodin et sept à Kibilo ont été suivies. Ces exploitations sont essentiellement celles ayant conduit les parcelles diagnostiques. Des données sur les apports d'engrais minéraux, de matières organiques ainsi que des productions en grain et des exportations de résidus de récoltes ont été collectées par questionnement direct de l'agriculteur en utilisant des fiches d'enquête/suivi (annexe 1).

2.4.3 Calcul du bilan partiel de N, P et K

Les différents flux de matière ont été convertis en éléments nutritifs N, P et K en multipliant chaque quantité par sa teneur en N, P et K. Des teneurs issues de la littérature ont été utilisées à cet effet (tableau II et III).

Tableau III: Teneur en NPK des cultures

| Cultures | Produits récoltés | | | Résidus de récolte | | |
|----------|-------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| | N kg/tonne | P kg/tonne | K kg/tonne | N kg/tonne | P kg/tonne | K kg/tonne |
| Sorgho | 14,5 | 5,5 | 3,8 | 10,8 | 4,6 | 29,2 |
| Mil | 19,2 | 6 | 5,4 | 20,4 | 4 | 59,8 |
| Niébé | 20 | 3,4 | 11,1 | 10,4 | 1 | 13,1 |
| Sésame | 30 | 6,1 | 6,8 | 15 | 5,4 | 21,1 |
| Arachide | 37,2 | 6 | 8,2 | 15,9 | 2,4 | 14,9 |

Source: FAO, (2005)

Tableau IV: Teneur en NPK des fumiers d'animaux

| Fumier animal | N% | P% | K% | Auteurs |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------------------|
| | 0,56 | 0,15 | 0,12 | LEKASI et al 2001b |
| | 0,84 | 0,12 | - | EYASU 1998 |
| | 0,7 | 0,11 | - | EYASU 1999 |
| | 0,7 | 0,1 | - | EYASU 2000 |
| | 0,6 | 0,1 | 0,77 | KATER et al 2000 |
| | 0,39 | 0,1 | 0,63 | ONDOUROU et al 1999 |
| | 0,7 | 0,25 | 0,55 | VAN DEN BOSCH et al 1998a |
| | 0,54 | 0,09 | 0,65 | DEFOER et al 1998 |
| | 0,54 | 0,16 | 0,72 | Moyenne de STOORVOGEL et SMALING 1990 |
| Moyenne: | 0,63 | 0,13 | 0,54 | |

Source: FAO (2005)

Les bilans ont été calculés par parcelle, par exploitation agricole et sur le bassin versant.

Au niveau des parcelles, le calcul du bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K a concerné uniquement les apports d'engrais et de fumiers et des exportations de grains et de résidus de récoltes des parcelles.

Au niveau de l'exploitation, le calcul du bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K a concerné les apports d'engrais et de fumier et des exportations de grains et de résidus de récoltes de l'ensemble des parcelles de l'exploitation agricole.

Le calcul du bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K au niveau du bassin versant a utilisé les données des apports d'engrais et de fumiers ainsi que des exportations de grains et de résidus de récoltes de l'ensemble des exploitations agricoles suivies.

2.5 Analyse statistique des données

Le tableur Microsoft EXCEL version 2003 a été utilisé pour la saisie et le stockage de données. Après vérification des données des résumés sous forme de tableau et les explorations graphiques ont été faites. Les analyses de variance ont été faites avec le logiciel Genstat version 10.2. La séparation des moyennes a été effectuée par le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5%.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

3.1 Analyse des résultats des essais au champ

3.1.1 Résultats

3.1.1.1 Influence des formules de fumure minérale sur les rendements du Sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains

Les fumures minérales ont influencé significativement les rendements en grain et en tige ainsi que le poids des 1000 grains du sorgho (tableau V) ($P < 0,001$).

Les meilleurs rendements grains ont été obtenus avec le traitement NPK+ oligo-éléments (1118 kg/ha), qui est statistiquement identique au traitement NPK. Le plus faible rendement en grain a été obtenu avec le traitement TEMOIN. Il forme un groupe statistiquement homogène avec les traitements NK et PK.

Le meilleur rendement tige a été obtenu avec le traitement NPK, avec une valeur moyenne de 2827kg/ha. Il forme un groupe statistiquement homogène avec le traitement NPK+ oligo-éléments. Le plus faible rendement en tige a été obtenu avec le traitement TEMOIN (1349kg/ha).

Pour le poids des 1000 grains, seul le traitement témoin diffère des autres traitements et représente la plus faible valeur (10,54g). Le meilleur poids de 1000 grains est de 12,58g pour le traitement NPK.

Tableau V: Effet des fumures minérales sur les rendements grain et tige et le poids de 1000 grains du Sorgho

| Fertilisation minérale | Rendement grain (kg/ha) | Rendement tige (kg/ha) | Poids 1000 grains (g) |
|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| TEMOIN | 561a | 1349a | 10,54a |
| NK | 677a | 1877ab | 11,89b |
| PK | 765ab | 2000ab | 11,88b |
| NP | 988bc | 2503bc | 12,52b |
| NPK | 1058c | 2827c | 12,58b |
| NPK+ oligo | 1118c | 2772c | 12,44b |
| Probabilité | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Signification | HS | HS | HS |

Les moyennes affectées d'une même lettre dans la même colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student-Newman-Keuls.
HS : hautement significatif ; S : significative.

3.1.1.2 Influence de la fertilisation organique sur les rendements du Sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains

La fumure organique a induit un effet hautement significatif sur les rendements en grain et tige ($P < 0,001$), et un effet significatif sur le poids de 1000 grains ($P = 0,002$) (tableau VI). Elle a amélioré les rendements en grain et tige ainsi que le poids de 1000 grains de 39%, 37% et 7% respectivement.

Tableau VI: Effet de la fumure organique sur les rendements grain et tige et le poids de 1000 grains du sorgho

| Fertilisation organique | Rendement grain (kg) | Rendement tige (kg) | Poids 1000 grains (g) |
|-------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Sans FO | 655a | 1719a | 11,57a |
| Avec FO | 1067b | 2723b | 12,38b |
| Probabilité | <0,001 | <0,001 | 0,002 |
| Signification | HS | HS | S |

Les moyennes affectées d'une même lettre dans la même colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student-Newman-Keuls.

HS : hautement significatif ; S : significative ; FO : fumure organique.

3.1.1.3 Effet de la fumure organo-minérale sur les rendements du sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains

Les résultats de l'analyse de variance ont montré qu'il n'y a pas eu d'interaction significative entre la fumure organique et la fumure minérale (tableau VII).

Tableau VII: Effet de la fumure organo-minérale sur les rendements grain et tige et le poids de 1000 grains du sorgho

| Fertilisation organique | Fertilisation minérale | Rendement grain (kg) | Rendement tige (kg) | Poids 1000 grains (g) |
|-------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Sans FO | TEMOIN | 416 | 956 | 9,59 |
| Sans FO | NK | 523 | 1444 | 11,18 |
| Sans FO | PK | 511 | 1590 | 11,19 |
| Sans FO | NP | 722 | 1794 | 12,39 |
| Sans FO | NPK | 831 | 2194 | 12,66 |
| Sans FO | NPK+ oligo | 924 | 2368 | 12,52 |
| Avec FO | TEMOIN | 705 | 1741 | 11,5 |
| Avec FO | NK | 832 | 2310 | 12,59 |
| Avec FO | PK | 1019 | 2420 | 12,57 |
| Avec FO | NP | 1253 | 3212 | 12,76 |
| Avec FO | NPK | 1284 | 3481 | 12,51 |
| Avec FO | NPK+ oligo | 1311 | 3176 | 12,36 |
| Probabilité | | 0,849 | 0,83 | 0,077 |
| Signification | | NS | NS | NS |

3.1.1.4 Influence des différentes techniques de conservation des eaux et des sols (CES) sur les rendements du Sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains

L'analyse statistique montre une différence hautement significative entre les différentes techniques de CES sur les rendements en grain et en tige du sorgho (tableau VIII). Les meilleurs rendements en grain et en tige ont été obtenus avec les cordons pierreux (respectivement 1173 kg/ha et 2733 kg/ha), formant un groupe statistiquement homogène avec le zai. Les plus faibles rendements ont été obtenus sur les demi-lunes. Quant au poids de 1000 grains, l'analyse statistique montre que les trois techniques de CES présentent des effets comparables.

Tableau VIII: Rendements grain et tige et poids de 1000 grains du sorgho en fonction des techniques de CES

| Technique de CES | Rendement grain (kg) | Rendement tige (kg) | Poids 1000 grains (g) |
|------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| CP | 1173a | 2733a | 12,17 |
| DL | 470b | 1197b | 12,01 |
| Zai | 940a | 2734a | 12,75 |
| probabilité | <0,001 | <0,001 | 0,525 |
| signification | HS | HS | NS |

Les moyennes affectées d'une même lettre dans la même colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student-Newman-Keuls.

HS : hautement significatif ; NS : non significatif ; CES conservation des eaux et des sols ; CP : cordon pierreux ; DL : demi-lune.

3.1.1.5 Effets combinés de la fumure organique et des techniques de CES sur les rendements du sorgho en grain et tige et le poids de 1000 grains

Le tableau IX montre que l'interaction entre les techniques de CES et la fumure organique a été hautement significatif sur les rendements en grain et en tige et significatif sur le poids de 1000 grains. Les cordons pierreux avec apport et sans apport de FO forment un groupe statistiquement homogène pour les rendements en grain et en tige et le poids de 1000 grains. Par contre, l'apport de la FO sur le zai et la demi-lune a induit une amélioration significative des rendements en grain et tige et le poids de 1000 grains.

Tableau IX: Rendements du sorgho en grain et tige et poids de 1000 grains en fonction des effets combinés de la fumure organique et des techniques de CES

| Technique de CES | Fertilisation organique | Rendement grain (kg) | Rendement tige (kg) | Poids 1000 grains (g) |
|------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| CP | Sans FO | 1087a | 2695b | 12,2a |
| CP | Avec FO | 1258a | 2772b | 12,2a |
| DL | Sans FO | 285c | 730d | 11,6ab |
| DL | Avec FO | 653b | 1663c | 12,4a |
| Zai | Sans FO | 590b | 1733c | 10,9b |
| Zai | Avec FO | 1290a | 3735a | 12,55a |
| Probabilité | | <0,001 | <0,001 | 0,005 |
| Signification | | HS | HS | S |

Les moyennes affectées d'une même lettre dans la même colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student-Newman-Keuls.

HS : hautement significatif ; S : significative.

3.1.2 Discussions

Les résultats obtenus sur les essais soustractifs ont montré que les fumures minérales permettent d'augmenter significativement les rendements du Sorgho dans le bassin versant du Zondoma. Le rendement grain obtenu par le traitement NPK est de 1058kg/ha contre 561kg/ha sur le témoin. Ce qui correspond à une amélioration du rendement de 89% par rapport au témoin. L'effet positif des nutriments a été observé dans plusieurs travaux (YARO et *al.*, 1996 ; LAMBONI, 2003 ; BANDAOGO, 2008). Cependant, une différence significative a été observée entre les différents traitements de fumure minérale. L'analyse des résultats met en évidence une déficience concomitante nette des éléments N et P dans le sol. Cela s'observe à travers les faibles rendements obtenus sur les traitements NK et PK qui sont comparables aux rendements du traitement témoin. L'apport simultané de N et P a permis d'obtenir des rendements comparables aux rendements du traitement avec fumure complète (NPK). L'apport des oligo-éléments (Cu et Zn) ne semble pas très important pour la culture de sorgho dans le bassin versant, car il n'a pas apporté de suppléments significatifs sur les rendements (rendements similaires des traitements NPK et NPK+oligo-éléments). Ces résultats confirment les travaux de ZOUGMORE et YOUL (2007) et de YOUGBARE (2008) réalisés dans le bassin versant du

Zondoma. Les auteurs tels que ROCHE et al (1980) cités par PIERI (1989) ont montré que les sols des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest sont généralement carencés en phosphore et que les cultures réagissent très favorablement à de très faibles doses d'engrais phosphatés.

La fumure organique a eu un effet significatif aussi bien sur les rendements grain et tige que sur le poids de 1000 grains. Ces résultats sont en adéquation avec ceux de SEDOGO (1981), PIERI (1989), OUEDRAODO et al (2000), ZANGRE (2000), BANDAOGO (2008) et YOUGBARE (2008).

L'interaction entre la fumure minérale et la fumure organique n'a pas été significative sur les rendements du sorgho. Mais l'examen des graphiques des rendements (figure 5 et 6) indique que les traitements ayant reçu la fumure organique présentent des rendements supérieurs. Ces résultats sont en accord avec ceux de YOUGBARE (2008). Cependant, MANDO (2007) et BERGE (1996) ont montré que l'apport des ressources organiques permet une utilisation efficace des nutriments apportés sous forme d'engrais. Les résultats obtenus pourraient donc être liés à la qualité de la MO utilisée par les producteurs.

Les résultats ont montré une interaction positive entre les techniques de CES et la fumure organique. La demi-lune et le zaï semblent mieux valoriser la fumure organique à l'opposé des cordons pierreux. Les écarts de rendements entre apport et sans apport de FO sont de 700 kg/ha sur le zaï, 368 kg/ha sur la demi-lune et seulement de 171 kg/ha sur les cordons pierreux. Le rôle positif de la fumure organique sur les techniques de CES a également été mis en évidence par les auteurs tels que ZOUGMORE et al (2002), ZOUGMORE et al (2003), MANDO et al (2000). Selon ces auteurs, le fumier ou le compost augmente l'efficacité des techniques de CES sur les « zipelés » (sols dégradés). En absence des résultats d'analyse chimique, ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les parcelles de cordons pierreux présentent des caractéristiques déjà améliorées.

3.2 Recommandations de doses d'engrais

3.2.1 Résultats

Les données de rendement sur les parcelles diagnostiques utilisées dans le calcul des doses à recommander sont mentionnées dans le tableau VIII. Les rendements potentiels et les rendements moyens en milieu réel sont ceux indiqués sur la fiche technique.

Tableau X : Rendements utilisés pour le calcul de la recommandation

| Traitements | Rendement grain (kg/ha) |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Rendement potentiel de SARIASSO 11 | 3000 |
| 80% du rendement potentiel | 2400 |
| Rendement moyen en milieu réel | 1300 |
| Rendement du traitement témoin | 561 |
| Rendement du traitement 0N | 765 |
| Rendement du traitement 0P | 677 |
| Rendement du traitement 0K | 988 |

Deux scénarios ont été testés :

Premier scénario : le rendement cible égale 80% du rendement potentiel de SARIASSO 11

Deuxième scénario : le rendement ciblé égal au rendement moyen de SARIASSO 11 en milieu paysan.

Dans le premier scénario, les résultats de calcul montrent que pour atteindre un rendement grain de sorgho (SARIASSO 11) de 2400 kg/ha dans le bassin versant du Zondoma, il est nécessaire d'apporter les doses de nutriments suivantes de :

143 kg/ha de N soit 312 kg/ha d'urée

71 kg/ha de P₂O₅ soit 154 kg/ha de TSP

135 kg/ha de K₂O soit 224 kg/ha de KCl

Ce qui correspond également à un apport de 6 sacs de 50 kg du complexe NPK 14-23-14, de 4 sacs de 50 kg d'urée (46% de N) et de 3 sacs de 50 kg de KCl (60% de K₂O).

Pour le second scénario, les résultats de calcul montrent qu'un rendement grain de 1300 kg/ha de SARIASSO 11 peut être atteint en appliquant les doses de fertilisation suivantes aux sols :

47 kg/ha de N soit 102 kg/ha d'urée

26 kg/ha de P₂O₅ soit 56 kg/ha de TSP

30 kg/ha de K₂O soit 50 kg/ha de KCl

Ce qui correspond également à un apport de 2 sacs de 50 kg du complexe NPK 14-23-14, de 1,5 sac de 50 kg d'urée (46% de N) et de 0,5 sac de 50 kg de KCl (60% de K₂O).

Les performances agricole et financière des nouvelles doses sont présentées dans les tableaux IX et X. les résultats montrent que pour le premier scénario, les doses recommandées permettraient de réaliser une production additionnelle de 1838 kg. Son RVC est de 1,4 et son TRM est de 6,4%. Pour le deuxième scénario, les doses recommandées permettraient d'augmenter le rendement de 739 kg. Son RVC est de 2,5 et son TRM de 41,2%.

Tableau XI : Performances agronomique et financière de la recommandation de fertilisation pour un objectif de rendement de 2400 kg/ha

| Traitements | Doses de fertilisants (kg/ha) | Rdts (kg/ha) | Production additionnelle (kg/ha) | Valeur additionnelle (CFA/ha) | Coût additionnel (CFA/ha) | Bénéfice net (CFA/ha) | RVC | TRM (%) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----|---------|
| Témoin | 0 | 561 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dose à recommander | Urée : 312 TSP : 154 KCl : 224 | 2400 | 1839 | 294240 | 276584 | 17656 | 1,4 | 6,4 |

RVC = Rapport Valeur sur Coût. TRM = Taux de Revenu Marginal, prix de l'urée = 22500 CFA, prix du KCl = 17500 CFA, prix du TSP = 17500 CFA, 1 kg de sorgho = 160 CFA.

Tableau XII : Performances agronomique et financière de la recommandation de fertilisation pour un objectif de rendement de 1300 kg/ha

| Traitements | Doses de fertilisants (kg/ha) | Rdts (kg/ha) | Production additionnelle (kg/ha) | Valeur additionnelle (CFA/ha) | Coût additionnel (CFA/ha) | Bénéfice net (CFA/ha) | RVC | TRM (%) |
|--------------------|------------------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----|---------|
| Témoin | 0 | 561 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dose à recommander | Urée : 102 TSP : 56 KCl : 50 | 1300 | 739 | 118240 | 83865 | 34364 | 2,5 | 41,2 |

RVC = Rapport Valeur sur Coût. TRM = Taux de Revenu Marginal, prix de l'urée = 22500 CFA, prix du KCl = 17500 CFA, prix du TSP = 17500 CFA, 1 kg de sorgho = 160 CFA.

3.2.2 Discussions

Tous les deux scénarios testés ont montré qu'il est possible d'augmenter le rendement du sorgho en augmentant les doses de fertilisation. Cependant, l'analyse économique montre qu'il n'est pas économiquement rentable de cibler le rendement de 2,4t/ha (premier scénario) dans le bassin versant du Zondoma (RVC = 1,4). En effet, on peut augmenter le rendement mais le surplus obtenu ne compense pas les coûts liés à l'achat d'engrais. Avec le premier scénario, on réalise une production additionnelle de 1,8t/ha avec un bénéfice net de 17656 CFA/ha. Par contre avec le

deuxième scénario, on réalise une production supplémentaire de 0,7t/ha et un bénéfice net de 34364 CFA/ha. Le deuxième scénario semble économiquement rentable (RVC = 2,5). Il serait donc intéressant de considérer le rendement cible du deuxième scénario pour les recommandations parce que non seulement il serait économiquement rentable mais aussi ce rendement peut être atteint en milieu paysan et les coûts de production peuvent être supportés par les paysans. Les doses de fertilisant que l'on pourrait recommander pour la culture du sorgho dans le bassin versant du Zondoma seraient donc celles obtenues sur le deuxième scénario c'est-à-dire 47 kg/ha de N, 26 kg/ha de P₂O₅ et 30 kg/ha de K₂O.

3.3 Suivi et inventaire dans les exploitations agricoles

3.3.1 Résultats

3.3.1.1 Flux de matière

3.3.1.1.1 Fumures apportées dans les champs de l'exploitation

Le tableau XIII présente les apports de fumures minérales et organiques dans les champs des exploitations agricoles enquêtées dans le bassin versant. L'apport de MO est faible et varie de 1,3 à 2 t/ha. Celle des engrais minéraux est également très faible.

Tableau XIII : Apport moyen de fumures dans les différentes parcelles

| Parcelles | FO (kg/ha) | NPK (kg/ha) | Urée (kg/ha) | BP (kg/ha) |
|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Sorgho | 1830 | 19 | 3 | 3 |
| Mil | 2137 | 19 | 0 | 0 |
| Niébé | 1763 | 30 | 4 | 0 |
| Arachide | 1301 | 0 | 0 | 0 |
| Sésame | 1680 | 0 | 0 | 0 |

3.3.1.1.2 Production en grain sur les champs des exploitations

Le tableau XIV présente les productions en grains sur les différents champs des exploitations agricoles dans le bassin versant. Ces productions ont été évaluées au cours des enquêtes. Elles représentent les quantités de produits stockés pour l'alimentation des familles (les céréales surtout) ou destinés à la vente. Le sorgho est le plus produit, suivi du niébé.

Tableau XIV : Production grain par champs des exploitations agricoles (2008)

| Exploitations agricoles | Sorgho (kg) | Mil (kg) | Niébé (kg) | Arachide (kg) | Sésame (kg) |
|---------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-------------|
| 1 | 1500 | 300 | 350 | 0 | 0 |
| 2 | 900 | 0 | 100 | 0 | 0 |
| 3 | 900 | 0 | 200 | 0 | 0 |
| 4 | 900 | 150 | 200 | 0 | 0 |
| 5 | 900 | 900 | 400 | 100 | 0 |
| 6 | 1200 | 0 | 150 | 120 | 0 |
| 7 | 1050 | 0 | 350 | 140 | 0 |
| 8 | 600 | 0 | 150 | 80 | 0 |
| 9 | 1200 | 300 | 300 | 0 | 0 |
| 10 | 2250 | 0 | 1000 | 200 | 0 |
| 11 | 1200 | 0 | 200 | 160 | 0 |
| 12 | 1500 | 0 | 400 | 0 | 0 |
| 13 | 1200 | 0 | 300 | 80 | 0 |
| 14 | 1050 | 0 | 250 | 120 | 0 |
| 15 | 900 | 0 | 100 | 80 | 0 |
| 16 | 1800 | 0 | 200 | 80 | 40 |
| Total | 19050 | 1650 | 4650 | 1160 | 40 |
| Superficie (ha) | 40 | 4,5 | 10,25 | 5,75 | 0,25 |
| Rendements (kg/ha) | 476 | 367 | 454 | 202 | 160 |

3.3.1.1.3 Résidus de récolte exportés des différents champs des exploitations

Le tableau XIII présente les exportations de résidus de récoltes des différents champs des exploitations agricoles dans le bassin versant (2008). Ces exportations représentent les résidus de récoltes qui sont enlevés des champs et stockés pour l'alimentation du bétail. Les plus importants enlèvement sont constitués par les résidus de mil et de sorgho. Les exportations de fanes de niébé et d'arachide sont faibles. En effet, les fanes seraient rapidement consommées par les animaux ce qui fait que les quantités de stock sont faibles.

Tableau XV: Résidus de récoltes exportées des champs des exploitations agricoles

| Exploitations agricoles | Sorgho (kg) | Mil (kg) | Niébé (kg) | Arachide (kg) | Sésame (kg) |
|---------------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| 1 | 13000 | 1950 | 240 | 0 | 0 |
| 2 | 5200 | 0 | 80 | 0 | 0 |
| 3 | 3900 | 0 | 160 | 0 | 0 |
| 4 | 5200 | 1040 | 140 | 0 | 0 |
| 5 | 7150 | 7150 | 200 | 120 | 0 |
| 6 | 6110 | 0 | 50 | 50 | 0 |
| 7 | 10250 | 0 | 120 | 100 | 0 |
| 8 | 1600 | 0 | 80 | 48 | 0 |
| 9 | 5200 | 1300 | 100 | 0 | 0 |
| 10 | 14300 | 0 | 400 | 200 | 0 |
| 11 | 10400 | 0 | 100 | 80 | 0 |
| 12 | 13000 | 0 | 80 | 0 | 0 |
| 13 | 7800 | 0 | 800 | 80 | 0 |
| 14 | 4550 | 0 | 240 | 200 | 0 |
| 15 | 3900 | 0 | 100 | 160 | 0 |
| 16 | 13000 | 0 | 160 | 200 | 200 |
| Total | 124560 | 11440 | 3050 | 1238 | 200 |
| Superficie (ha) | 40 | 4,5 | 10,25 | 5,75 | 0,25 |
| Rendements (kg/ha) | 3114 | 2542 | 298 | 215 | 800 |

3.3.1.2 Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K

3.3.1.2.1 Bilan partiel de N, P et K des principales parcelles

Les bilans partiels des éléments nutritifs dans les principales parcelles sont présentés dans le tableau XIV. Les résultats montrent que le bilan est considérablement déficitaire pour les parcelles de mil et le sorgho pour tous les trois éléments nutritifs N, P et K. Les parcelles de niébé présentent des bilans positifs en N, P et K. les parcelles d'arachide présentent des bilans légèrement négatifs en N et P, et un bilan positif pour le K. les parcelles de sésame présentent des bilans négatifs pour les éléments nutritifs P et K, et un bilan positif en N.

Tableau XVI : Bilan partiel de N, P et K des principales parcelles

| Parcelles | Surface (ha) | N (kg/ha) | P (kg/ha) | K (kg/ha) |
|------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| Sorgho | 40 | -25,14 | -12,44 | -81,19 |
| Mil | 4,5 | -43,17 | -7,73 | -141,23 |
| Niébé | 10,25 | 5,07 | 3,64 | 3,07 |
| Arachide | 5,75 | -2,63 | -0,01 | 2,01 |
| Sésame | 0,25 | 0,83 | -1,66 | -2,85 |

3.3.1.2.2 Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K des exploitations agricoles

La figure 5 présente les bilans partiels des éléments nutritifs N, P et K des exploitations agricoles enquêtées dans le bassin versant du Zondoma. Les résultats montrent que le bilan est négatif dans toutes les exploitations agricoles pour les éléments nutritifs N, P et K avec une variabilité entre les différentes exploitations. De façon générale, le bilan de P est moins déficitaire que le bilan de N qui lui-même est moins déficitaire que celui de K.

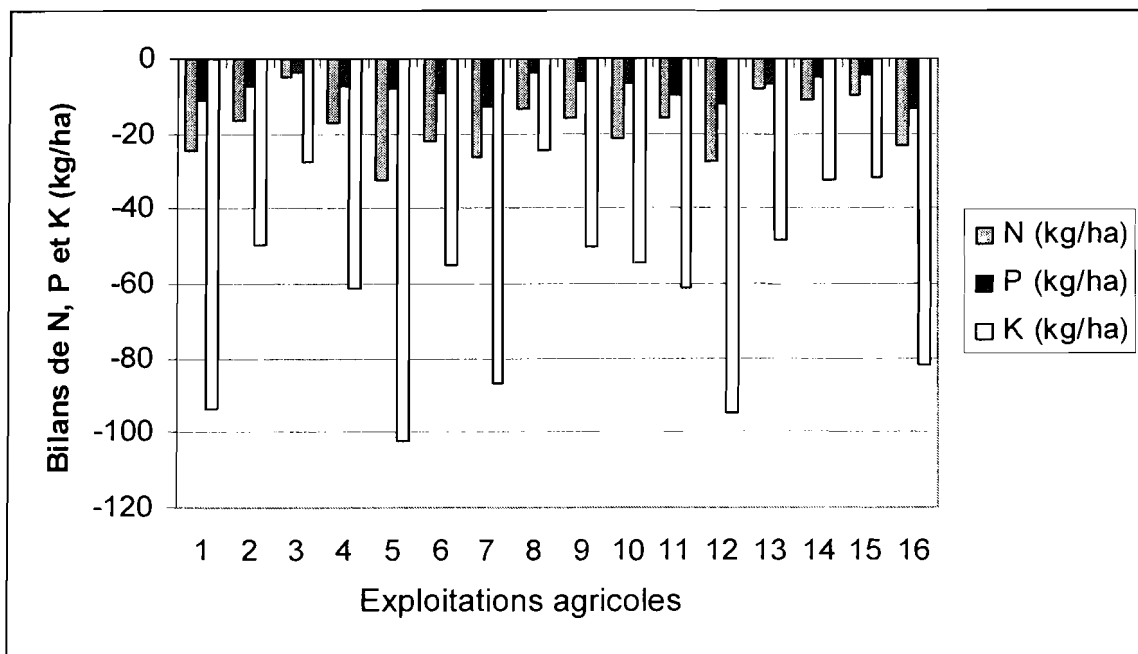


Figure 5 : Bilan des éléments nutritifs N, P et K des exploitations agricoles

3.3.1.2.3 Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K dans le bassin

versant

Le bilan partiel des éléments nutritifs est déficitaire dans le bassin versant (tableau XV). Les pertes d'éléments nutritifs à travers les résidus de récolte (OUT2) sont les plus élevées. L'aspect le plus saisissant est le faible apport d'engrais minéraux (IN1).

Tableau XVII : Bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K dans le bassin versant

Surface récoltée = 60,75ha

| Eléments du bilan partiel | Flux | N (kg/ha) | P (kg/ha) | K (kg/ha) |
|----------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Fertilisant minéral | IN1 | 4 | 2 | 2 |
| Fertilisant organique | IN2 | 11 | 2 | 10 |
| Intrants totaux | IN1+IN2 | 15 | 5 | 11 |
| Grains | OUT1 | 7 | 2 | 2 |
| Résidus | OUT2 | 27 | 10 | 72 |
| Exportations totales | OUT1+OUT2 | 34 | 13 | 75 |
| Bilan | IN-OUT | -19 | -8 | -63 |

3.3.2 Discussion

Les principales cultures du bassin versant du Zondoma sont le sorgho, le mil, le niébé, l'arachide et le sésame.

La gestion de la fertilité des sols est basée sur l'utilisation des fertilisants minéraux, les fumures utilisées sont essentiellement le NPK (18kg/ha), l'urée (2kg/ha) et le BP (2kg/ha). Les doses utilisées sont largement inférieures aux doses recommandées. Cette faible utilisation d'engrais entraîne une baisse de la fertilité des sols et une chute de leur productivité. La fumure organique est également utilisée dans la fertilisation des sols. La dose appliquée est très faible (2T/ha), mais elle reste le moyen de fertilisation le plus accessible. Le mode de fertilisation organique est essentiellement basé sur la gestion des résidus de récolte. Les résidus de récolte sont majoritairement exportés des champs et utilisés comme fourrage pour nourrir les animaux. Les fumiers et le reste des résidus de récolte, associés aux ordures ménagères, sont utilisés pour la fertilisation des champs de l'exploitation. Les résidus laissés sur les champs sont souvent consommés sur place par le bétail

et peuvent être perdus au profit d'autres exploitations ou sur les surfaces non cultivées. Le mode extensif de l'élevage contribue à une perte importante d'éléments nutritifs au niveau des exploitations agricoles.

Le bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K est négatif pour les céréales (sorgho et mil). En effet, en plus des faibles apports d'engrais minéraux et organiques, les productions de ces cultures exportent beaucoup d'éléments nutritifs. L'exportation massive des résidus de ces cultures hors des champs constitue donc des pertes importantes de nutriments non compensées. Le bilan des éléments nutritifs est positif pour le niébé, et légèrement négatifs pour les l'arachide et le sésame. Les raisons principales de cette différence sont les faibles rendements de ces cultures ainsi que leurs teneurs faibles en éléments nutritifs comparer aux céréales.

Le bilan partiel des éléments nutritifs est négatif dans toutes les exploitations agricoles. Les bilans déficitaires seraient dus entre autre aux faibles apports minéraux contre les exportions massives des résidus de récolte hors des champs de l'exploitation agricole et qui sont faiblement retournés sous forme de fumure organique. Pour partie, la variabilité entre les exploitations agricoles reflète les différences dans la gestion telles que le choix des cultures, l'application des engrais et fumures organiques.

Le bilan partiel global des éléments nutritifs N, P et K pour le système de culture à base de sorgho dans le bassin versant du Zondoma est très déficitaire. Les céréales (sorgho et mil) participent le plus à ce bilan déficitaire, car leur bilan présentent les valeurs négatives les plus élevées. En effet, la plupart des sorties importantes d'éléments nutritifs sont dues aux productions agricoles et à l'enlèvement des tiges des champs.

Ces résultats confirment la diminution de la teneur en éléments nutritifs des sols du sud du Sahara, signalée par plusieurs auteurs dont STOOORVOGEL et SMALING (1990) et FAO (2005). Le bilan établi dans cette étude est un bilan simple mais il permet de comprendre l'épuisement des éléments nutritifs dans les systèmes de culture du bassin versant. Les résultats des essais soustractifs ont montré que le potassium ne constitue pas un élément limitatif des rendements du sorgho dans le bassin versant. Cependant, il présente le bilan le plus déficitaire (-63 kg/ha/an). Des résultats similaires ont été obtenus au Malawi (VANLAUWE et GILLER (2006). Mais les analyses de sol ont prouvé que les sols contenaient une importante quantité de K

pouvant supporter la production agricole. Les sols du bassin versant seraient donc riche en K, mais le système de culture pourrait contribuer à son épuisement à long terme.

CONCLUSION GENERALE

La connaissance de l'état de dégradation des sols présente un grand intérêt pour la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS). La présente étude réalisée dans le Zondoma, au nord du Burkina Faso, avait pour objectifs de déterminer la capacité nutritive des sols du micro bassin versant du Zondoma, et d'établir les bilans minéraux dans les exploitations agricoles. Les résultats devraient contribuer à faire des recommandations de formules de fumure et des modes de gestion adéquats de la fertilité des sols pour la culture du sorgho dans la zone d'étude. Ainsi, des essais soustractifs combinant les éléments N, P, K et oligo-éléments (Cu+Zn) avec et sans apport de fumure organique sur des pratiques courantes de CES (cordons pierreux, zaï et demi-lune) ont été mis en place pour déterminer les éléments limitants la production du sorgho. Des suivis ont été faits dans les exploitations agricoles pour évaluer les flux de nutriments et calculer le bilan des éléments minéraux pour l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K).

Les résultats obtenus sur les essais soustractifs ont montré que le phosphore est l'élément le plus limitatif de la production du sorgho dans le bassin versant, suivi de l'azote. Ce qui prouve une faible capacité nutritive des sols en phosphore et en azote. Par contre, ces sols semblent présenter une bonne capacité nutritive en oligo-éléments (Cu+Zn) et en potassium.

La fumure organique utilisée par les producteurs a permis une amélioration de la fertilité du sol. Cela se traduit par l'augmentation significative des rendements grain (39%) et tige (37%) et du poids de 1000 grains (7%) dû à l'apport de la fumure organique.

Les techniques de zaï et de demi-lune ont permis une meilleure valorisation de la fumure organique par rapport aux cordons pierreux.

La recommandation de dose de fertilisant sur la base du modèle de QUEFTS montre qu'un objectif de rendement de 1,3 t/ha pourrait être atteint avec un apport de 47kg/ha de N, 26kg/ha de P_2O_5 et 30kg/ha de K_2O .

Il ressort des suivis dans les exploitations agricoles que les principales cultures sont le sorgho le mil, le niébé, l'arachide et le sésame. La gestion de la fertilité du sol est basée sur une faible utilisation des engrais minéraux combinés à une faible quantité de matière organique dans l'échantillon enquêté.

Le bilan partiel des éléments nutritifs N, P et K est négatif aussi bien à l'échelle des exploitations qu'à l'échelle du bassin versant. Les parcelles de sorgho et de mil présentent les bilans les plus déficitaires. Le niébé, l'arachide et le sésame présentent des bilans légèrement équilibrés.

Les résultats obtenus permettent de faire des recommandations suivantes qui devraient être prises en compte dans la gestion intégrée de la fertilité des sols du bassin versant du Zondoma :

- une fertilisation à base de phosphore qui s'est avéré le plus limitatif des rendements du sorgho. Une recapitalisation des sols avec le phosphate naturel serait judicieux.

- la pratique des cordons pierreux dans la récupération des « zipellés ».

- le zaï et la demi-lune sont à pratiquer en cas de disponibilité de fumure organique.

- une meilleure intégration de l'agriculture et l'élevage pour mieux gérer les résidus des cultures et les restituer sous forme de fumure organique aux champs de l'exploitation.

Les flux et les bilans des éléments nutritifs ne sont pas très significatifs sans la connaissance du stock d'éléments nutritifs du sol. A cet effet, les futures études devraient chercher à évaluer le stock d'éléments nutritifs des sols du bassin versant et étudier la dynamique de ces stocks.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BANDAOGO A., 2008.** Gestion de la fertilité des sols pour la culture du maïs pluvial et irrigué dans la province du Houet à l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. 45p.
- BARBIER G., 1960.** La fertilité, sa conservation et son amélioration. Valeur et utilisation du sol. Les techniques agricoles, Paris, fiche1370, 6p.
- BATIONO A., 1994.** Gestion de la fertilité des sols. In : FAO : cours de formation : le travail du sol pour une agriculture durable.
- BERGER M., 1996.** L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. Fiches techniques. In agriculture et développement numéro hors-série 1996. 55p.
- BREMAN H. et SISSOKO K., 1998.** L'intensification agricole au sahel. Karthala, 998p.
- BUNASOLS, 1985.** État de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso, document technique n°1 50p.
- BUNASOLS, 2002.** Étude morpho-pédologique des provinces du Yatenga, du Lorum et du Zondoma. Echelle: 1/100000. 62p.
- CHALCK P.M., 1998.** Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. Aust. J. Res., 49: 303-316.
- DEFOER, T, WOPEREIS, M. C. S., IDINOBA, P. et KADISHA, K. L., 2002.** Curriculum d'Apprentissage Participatif et Recherche-Action (APRA) pour la Gestion Intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne : Manuel du facilitateur, ADRAO, Bouaké, Edition préliminaire.

- DEMBELE et KAYA, 2005.** Agroforesterie et gestion de la fertilité des sols au sahel. Manuel didactique à l'intention des étudiants du cycle supérieur. 50 P.
- DEMOLON et HENIN, 1954.** Le profil cultural, op. cit. 2-4 p.
- DEVILLE P. L., 1996.** Gérer la fertilité des terres dans le sahel. Diagnostic et conseil aux paysans. Collection le"point sûr"; 397p.
- DPED/Zondoma, 2005.** Monographie du Zondoma, 87p.
- DUGUE P., YUNG J.-M., 1992.** Reconstruction de la fertilité. Yatenga Burkina Faso. In : le développement agricole au sahel, tome III, Bosc P. M., Dolle V., Garin P., Yung J.M (Eds), collection documents systèmes agraires, CIRAD-SAR.
- FAO, 1980.** Les engrais et leur application. 51p.
- FAO, 1988.** FAO production yearbook 42. Collection FAO, statistiques, Rome, 350p.
- FAO, 2005.** Évaluation du bilan des éléments nutritifs du sol : approche et méthodologie. Bull. engrais et nutrition végétale. N°14 ; 85p
- GRET, 1990.** Manuel d'agronomie tropicale. Appliquée à l'agriculture haïtienne. 489p.
- GROS A., 1974.** Engrais. Guide pratique de la fertilisation. 6^e édition 435p.
- GUEYE, B. et FREUDENBERGER, K. S. 1991.** Introduction à la méthode accélérée de recherche participative (MARF) : Rapid Rural Appraisal (quelques notes pour appuyer une formation pratique), 2e édition, 70 p.
- KANMEGNE J., SMALING E.M.A., BRUSSAARD L., A. GANSOP-KOUOMEGNE A. et BOUKONG A., 2006.** Nutrient flows in smallholder production systems in the humid forest zone of southern Cameroon. Nutrient Cycling in Agroecosystems (2006) 76:233–248.

- KANTE S., 2001.** Gestion de la fertilité des sols par classe d'exploitation au Mali SUD. Thèse; Worgeningen University, 239p.
- LAL R. and MILLER F.P., 1993.** Soil quality and its management in humid subtropical and tropical environment. Pp: 530-539. In M.J. Baker (Eds). Grassland for our world. Canberra.
- LAL R., 1997.** Soil quality and sustainability. In: LAL, R., W.H Blum, C. Valentine and B.A. Stewart. Pp. 17-31. Methods for assessment of soil degradation. CRC PRESS. Boca Raton, New York.
- 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 d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. 50p.
- LOMPO F., BONZI M., ZOUGMORE R., YOUL S., 2000.** Rehabilitating soil fertility in Burkina Faso. In nutrients on the move, soil fertility dynamics in African farming systems, 103 -118 p.
- MANDO A., ZOUGMORE R., ZOMBRE N. P. Et HIEN V., 2000.** Réhabilitation de sols dégradés dans les zones semi-arides d'Afrique Subsaharienne. Dakar, 13-16 avril 1999. 27p.
- MANDO A., 2007.** Introduction à la Gestion Intégrée de la fertilité des Sols (GIFS) : principes et aspects technologiques. Notes présentées à la formation internationale sur la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), Fada, 29 mai au 1^{er} juin 2007. 35p.
- MANU A., COLEMAN T. L. and JUO A.S.R., 1997.** Soil restoration and degraded agro-pastoral systems of semi-arid West Africa. In soil fertility management in West African Land Use Systems, RENARD G., 117-184p.
- Mémento de l'agronome, 2006** Editions du GRET-CIRAD. 1691p.

- OUEDRAOGO E., MANDO A., ZOMBRE N.P., 2000.** Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84 (2001) 259–266.
- PDRD, 2007.** Projet de plan d'aménagement du bassin versant pilote du Zondoma. 114p.
- PIERI C., 1989.** Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement au sud du Sahara. Ministère de la coopération française et CIRAD/IRAT (Montpellier). 444p.
- PONTANIER R., M'HIRI A., AKRIMR N., ARONSON J. and LE FLOC'HE., 1995.** L'homme peut il faire ce qu'il a défait? John Libbey (ED) Eurotext, Paris. 455p.
- SEGDA, 1991.** Contribution à la valorisation agricole des résidus de culture dans le plateau centrale du Burkina Faso: inventaire des disponibilité en matière organique et étude des effets de l'inoculum MICRO 110 IBF. Mémoire d'ingénieur des sciences appliquées, IPR/KATBOUGOU, 110p.
- SEDOGO P.M., 1981.** Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse d'université, agronomie, Lorraine, France, 195p.
- SEDOGO P.M., 1993.** Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion de la fertilité. Thèse Doct. ès Sciences (science du sol), Univ. Nat. De Cote d'Ivoire, 332p.
- SMALING E.M.A et JANSSEN H.B. (1993).** Calibration of Quefts, a model predicting nutrient uptake and yields from chemical soil fertility indices. *Geoderma* 59: 21-44.

- SMALING E.M.A KANMEGNE J., BRUSSAARD L., GANSOP-KOUOMEGNE A., et BOUKONG A., (2006).** Nutrient flows in smallholder production systems in the humid forest zone of southern Cameroon. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2006) 76:233–248
- SOLTNER, 1986.** Les bases de la production végétale. 14^e édition. 464p.
- STEINER, K.G 1996.** Causes de la dégradation des sols et approches pour la promotion d'une utilisation durable des sols (version française : GUENAT, D et LAURENT, F.), Acade, Bussigny, Suisse, 97 p + annexes.
- STOORVOOGEL, J.J et SMALING, E.M.A., 1990.** Assessment of soil nutrient depletion in sub Saharan Africa: 1983-2000. Report 28, Vol. 1-4. The Winand starting center. Wageningen.
- STRUIF BONTKES T.E., WOPEREIS M .C.S., TAMELOKPO A., ANKOU K.A. et LAMBONI D. 2003.** Utilisation de QUEFTS en vue de recommandations de fertilisation équilibrée du maïs au Togo. In outils d'aide à la décision pour l'agriculture en Afrique sub-saharienne STRUIF BONTKES T.E., WOPEREIS M .C.S (éditeurs). Chapitre 5, p 73-90.
- TAONDA S. J.6B., 1996.** Évolution de la fertilité des sols sur un front pionnier en zone nord soudanien (Burkina Faso). Thèse d'université, agronomie, Lorraine, France, 133p.
- VALENTIN, 1994.** Sealing, crusting, and hardsetting soil and Sahelian agriculture. H.B. So et al. (Eds) sealing, crusting, hardsetting soils: productivity and conservation, Australian Society of Science Soil Inc. (Queenland Branch), Brisbane, Australia. pp. 53-76.
- VANLAUWE B. et GILLER K.E 2006.** Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116, 34-46.

VLAMING J. ; VAN DEN BOSCH H. ; VAN WIJK M.S.; DE JAGER A.; BANNIK A.
Et **VAN KEULEN H., 2001.** Monitoring nutrient flows and economic performance in tropical farming systems (NUTMON) 180p.

WERNER, J. 1996.- Développement participatif d'innovations agricoles. Procédures et méthodes de la recherche en milieu paysan. Eschborn/ wageningen, GTZ/ CTA, 256 p.

YOUGBARE., 2008. Évaluation de la fertilité des terres aménagées en cordon pierreux, zaï et demi-lunes dans le bassin versant du Zondoma. Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB 56p.

YOUL S. et KONFE. L., 2008. Lutte contre la dégradation des terres à travers l'intensification agricole en Afrique Sud-saharienne TAG-820 IFAD IFDC Burkina Faso. Rapport d'activités. 39p.

ZANGRE .B.V.C. A 2000. Effet de la contribution du travail du sol et des amendements organiques sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical lessivé dans la région de SARIA (zone centre du Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur de développement rural / Option agronomie. IDR /UPB. Burkina Faso. 81P.

ZOMBRE N.P., SAWADODO H., BOCK L., LACROIX D., 2008. Evolution de l'occupation du sol de Ziga dans le Yatenga (Burkina Faso) à partir de photos aériennes. Télédétection, 2008, vol. 8, n°1, p 59-73.

ZOUGMORE R., GNANKAMBARY Z., GUILLOBEZ S., STROONIJDER L., 2002. Effect of stone lines on soil chemical characteristics under continuous sorghum cropping in semi arid Burkina Faso. Soil and Tillage research 66 (2002) 47-53.

ZOUGMORE R., ZIDA Z., KAMBOU N.F., 2003. Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. Soil and Tillage Research 71 (2003) 143-149.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'enquêtes

Inventaires pour l'établissement des flux et bilan des nutriments dans les exploitations agricoles dans le micro bassin versant du Zondoma : zone PDRD

1. Données générales sur l'exploitation agricole

| | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|--|--|--|--|
| Enquêteur : | Nom et prénom du producteur: | | | | |
| Date | Enquêté : (préciser si chef d'exploitation) : | | | | |
| Village : | position dans le bassin versant: | | | | |
| Nombre de femmes sur l'exploitation : | Nombre d'hommes sur l'exploitation : | | | | |

2. Inventaire des activités de production végétale (output)

| Numéro de champ | Description de l'activité de production végétale | Superficie (ha) | Quantité produite (kg) | | Destination du produit récolté | | Aménagement CES et type de sol |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|
| | | | grain | paille | grain | paille | |
| Champ 1 | | | | | | | |
| Champ 2 | | | | | | | |
| Champ 3 | | | | | | | |
| Champ 4 | | | | | | | |
| Champ 5 | | | | | | | |
| Champ 6 | | | | | | | |
| Champ 7 | | | | | | | |
| | Sorgho, mil, maïs, niebe, arachide, vanzou, sesame, ... | | | | | | |

3. Inventaire des activités de production animale (source d'input ou d'output selon le système de gestion)

| Numéro d'élevage | Type d'élevage | Race (am,loc) | Description de l'élevage et système de gestion | destination | Effectif | Fumier collecté | Observations |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|------------------------------------------------|-------------|----------|-----------------|--------------|
| Elevage 1 | | | | | | | |
| Elevage 2 | | | | | | | |
| Elevage 3 | | | | | | | |
| Elevage 4 | | | | | | | |
| Elevage 5 | | | | | | | |
| Elevage 6 | | | | | | | |
| Elevage 7 | | | | | | | |
| Bovin, caprin, ovin, asine, équidé, porc, volaille, mode de conduite, transhumance, fourrage, au piquet, pâturage | | | | | | | |

4. Inventaire des unités de recyclage des matières organiques (input)

| Numéro de l'unité de recyclage | Type d'unité de recyclage (fosse fumière, compostières, déjections humains, parcs, abris des animaux, ordures ménagères....) | Taille de l'unité de recyclage (dimension, volume...) | Quantité produite de matières (kg, charrette, brouettes...) | Localisation de l'unité de recyclage (cours du ménage, CC...) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Unité 1 | | | | |
| Unité 2 | | | | |
| Unité 3 | | | | |
| Unité 4 | | | | |
| Unités : étable fumière, fosse, parcs, compostage en tas, latrine, ordures, case de caprins, case d'ovins et case de la volaille | | | | |

5) Achat d'engrais minéraux pour les cultures (input)

| Source [extérieur] | Destination [Champ] | Description de l'input | | | | Observations |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| | | Type d'engrais et composantes | Quantité (sacs) | Unité (kg) | Coût (FCFA) | |
| | Champ 1 | | | | | |
| | Champ 2 | | | | | |
| | Champ 3 | | | | | |
| | Champ 4 | | | | | |
| | Champ 5 | | | | | |
| | Champ 6 | | | | | |
| <p>Pour tout input acheté, précisez la source</p> <p>A rappeler : Les inputs provenant des unités de recyclage sont enregistrés ailleurs</p> | | <p>Liste type : Engrais minéraux pas les organiques qui sont ailleurs Semences (précisez type / nom et traitement dans Observations)</p> | | | <p>Remarques : - Un seul input peut être destinée à plusieurs champs. L'intrant sera divisé parmi les destinations.</p> | |

6) Achats de matières organiques pour les cultures (input)

| Destination (Recyclage , champ) | Description de l'input | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------|-------------------|---------------------------------------------------|
| | Type (phosphate naturel, fumier ou compost acheté...) | Quantité | Unité | Prix par unité | Observations |
| compost | | | | | |
| fumier | | | | | |
| Phosphate naturel | | | | | |
| | Liste type : Précisez la nature et la source <i>fumier acheté</i> <i>compost acheté</i> <i>amendements comme le phosphate naturel</i> <i>déchets achetés</i> | | | | Un input peut avoir plusieurs destinations |

7) Questionnaire :

- raison de non application du fumier ou de l'engrais :
 - i. Manque d'information ?
 - ii. Technologie ?
 - iii. Disponibilité ?
 - iv. Prix ?
- Avez-vous d'autres activités ? Oui/...../ ; Non/...../
- v. Les quelles ?
- vi. Activité 1 :
- vii. Activité 2 :

viii. Activité 3 :

Pourquoi menez-vous ces activités ?

ix. Raison 1 :

x. Raison 2 :

xi. Raison 3 :

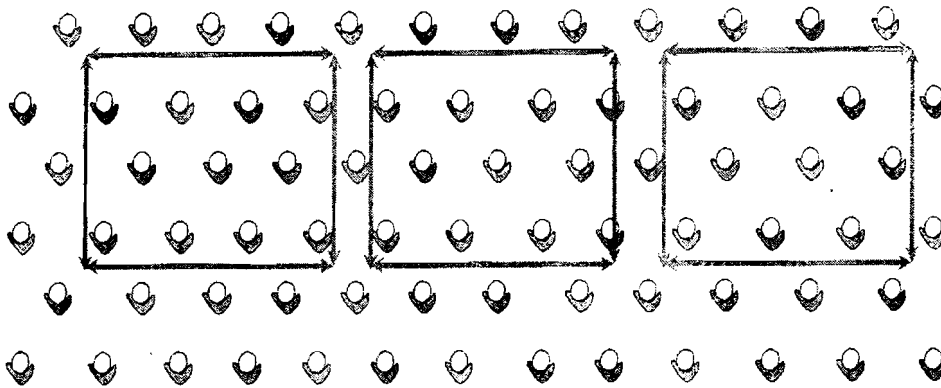
- recevez-vous de l'aide ?

xii. Financière ? Combien avez-vous reçu cette année ?

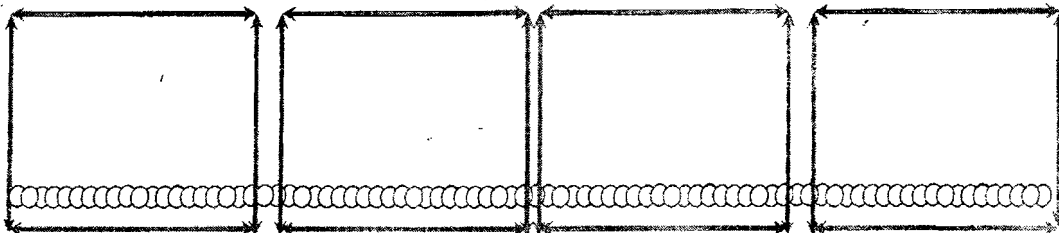
xiii. matériel : qu'avez-vous reçu ?

Annexe 2 : Schéma des différentes parcelles

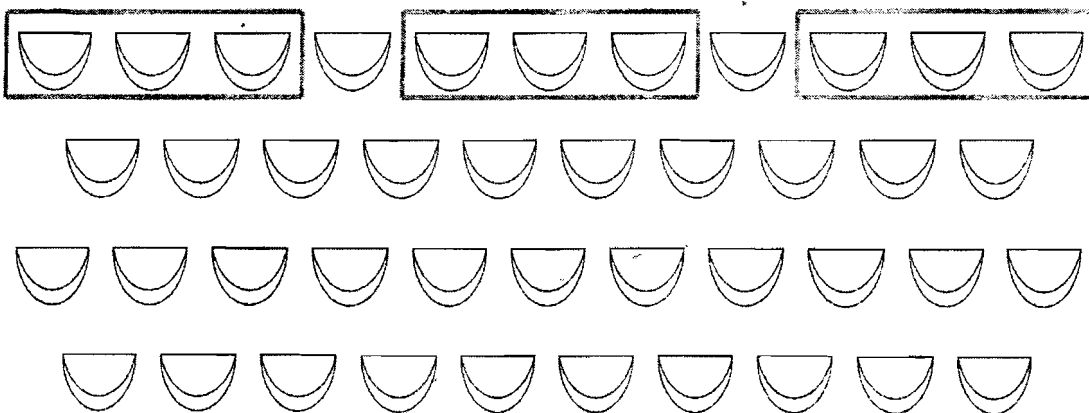
Pente



Parcelles de zaï

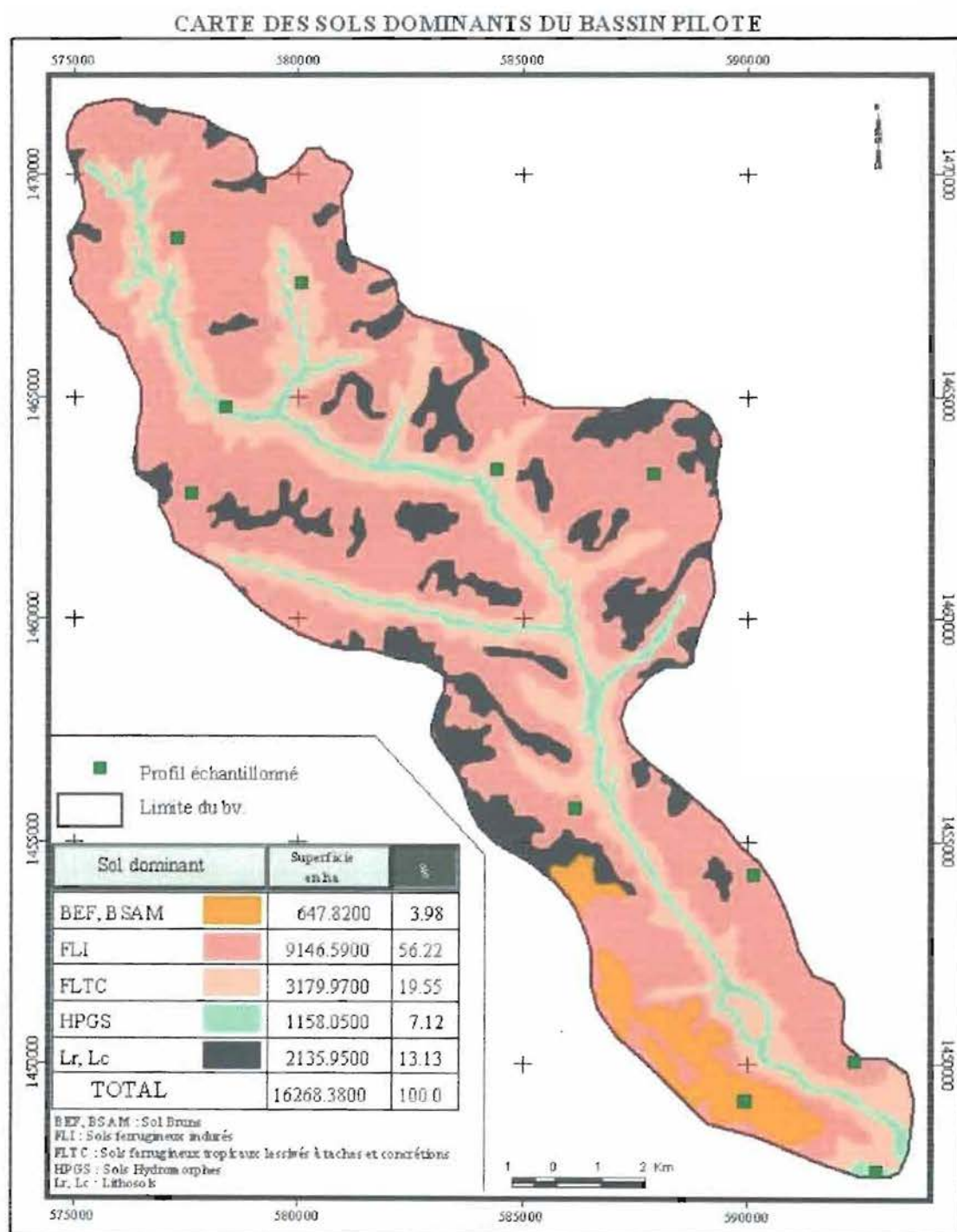


Parcelles de cordon pierreux



Parcelles de demi-lunes

Annexe 3 : Carte des sols dominants du micro bassin versant du Zondoma



Annexe 4 : Données utilisées pour le calcul du bilan des éléments nutritifs

Tableau XVIII : Données de production

| Cultures | Surface récoltée (ha) | Rendement récolte (kg/ha) | Résidus exportés (kg/ha) |
|-----------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Sorgho | 40 | 476,25 | 3114 |
| Mil | 4,5 | 366,67 | 2542,22 |
| Niébé | 10,25 | 453,66 | 297,56 |
| Arachide | 5,75 | 201,74 | 215,30 |
| Sésame | 0,25 | 160 | 800 |

Source: Données d'enquêtes

Tableau XIX : Eléments fertilisants utilisés

| Cultures | Surface cultivée (ha) | Engrais minéraux | | | Fumures organiques | | |
|-----------------|------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|---------------------------|----------------|----------------|
| | | N | P | K | N | P | K |
| | | (kg/ha) | (kg/ha) | (kg/ha) | (kg/ha) | (kg/ha) | (kg/ha) |
| Sorgho | 40 | 160,3 | 86,02 | 71,688501 | 455,443 | 93,9803 | 390,38 |
| Mil | 4,5 | 12,25 | 8,787 | 7,323508 | 58,5428 | 12,0803 | 50,1795 |
| Niébé | 10,25 | 57,5 | 31,6 | 25,291121 | 119,178 | 24,5924 | 97,7587 |
| Arachide | 5,75 | 0 | 0 | 0 | 47,74 | 9,85 | 39,5 |
| Sésame | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 4,40824 | 0,90964 | 3,77849 |

Source: Données d'enquête

Annexe 5 : Bilan partiel de N, P et K pour les principales cultures de bassin versant

| Cultures | Surface récoltée (ha) | Eléments nutritifs | Apports | | | Exportations | | | Bilan |
|----------|--------------------------|-----------------------|---------|-------|---------|--------------|--------|-----------|---------|
| | | | IN1 | IN2 | IN1+IN2 | OUT1 | OUT2 | OUT1+OUT2 | IN-OUT |
| kg/ha | | | | | | | | | |
| Sorgho | 40 | N | 4,01 | 11,39 | 15,4 | 6,91 | 33,63 | 40,54 | -25,14 |
| | | P | 2,15 | 2,35 | 4,5 | 2,62 | 14,32 | 16,94 | -12,44 |
| | | K | 1,79 | 9,76 | 11,55 | 1,81 | 90,93 | 92,74 | -81,19 |
| Mil | 4,5 | N | 2,72 | 13,01 | 15,73 | 7,04 | 51,86 | 58,9 | -43,17 |
| | | P | 1,95 | 2,68 | 4,63 | 2,2 | 10,17 | 12,37 | -7,74 |
| | | K | 1,63 | 11,15 | 12,78 | 1,98 | 152,02 | 154 | -141,22 |
| Niébé | 10,25 | N | 5,61 | 11,63 | 17,24 | 9,07 | 3,09 | 12,16 | 5,08 |
| | | P | 3,08 | 2,4 | 5,48 | 1,54 | 0,3 | 1,84 | 3,64 |
| | | K | 2,47 | 9,54 | 12,01 | 5,04 | 3,9 | 8,94 | 3,07 |
| Arachide | 5,75 | N | 0 | 8,3 | 8,3 | 7,5 | 3,42 | 10,92 | -2,62 |
| | | P | 0 | 1,71 | 1,71 | 1,21 | 0,52 | 1,73 | -0,02 |
| | | K | 0 | 6,87 | 6,87 | 1,65 | 3,21 | 4,86 | 2,01 |
| Sésame | 0,25 | N | 0 | 17,63 | 17,63 | 4,8 | 12 | 16,8 | 0,83 |
| | | P | 0 | 3,64 | 3,64 | 0,98 | 4,32 | 5,3 | -1,66 |
| | | K | 0 | 15,11 | 15,11 | 1,09 | 16,88 | 17,97 | -2,86 |