

# REVUE DE LITTERATURE ZONE NORD OUEST

## BURKINA FASO

Author: Dr Hamado Sawadogo



Date: 01-12-2011

INERA – Burkina Faso

Report number 08

Series: Scientific Reports

This report was written in the framework of the WAHARA project – [www.wahara.eu](http://www.wahara.eu)





**BURKINA FASO**



-----  
**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET  
TECHNOLOGIQUE  
(C.N.R.S.T.)**

-----  
**INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE RECHERCHES AGRICOLES  
(I.N.E.R.A.)**

**REVUE DE LITTERATURE ZONE NORD OUEST  
BURKINA FASO**

**Dr Hamado SAWADOGO**

**December 2011**

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

AFVP	Association Française des Volontaires du Progrès
BUNASOLS	Bureau National des Sols
C.E.S/AGF	Conservation des Eaux et des sols et Agroforesterie
CILSS	Comité permanent Inter états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CRPA	Centre Régional de Promotion Agro-pastorale
DRA	Direction Régionale de l'Agriculture
DRET	Direction Régionale de l'Environnement et du Tourisme
FDR	Fonds de Développement Rural
FEER	Fonds de l'Eau et de l'Équipement Rural
F.E.D	Fonds Européen de Développement
GERES	Groupement Européen de Restauration des Eaux et des Sols
GRN/SP	Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Production
IFDC	Institut international pour la gestion de la fertilité des terres
IN.E.R.A	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
INSD	Institut National de la Statistique et de la Démographie
M.A.R.P.	Méthode Active de Recherche Participative
LCD/GRN	Lutte Contre la Désertification / Gestion des Ressources Naturelles
ONG	Organisations Non Gouvernementales
ORFA	Organisation Recherche Formation et Animation
ORSTOM	Office français de recherche scientifique pour les territoires d'outre mer
PAF	Projet Agro-Forestier (OXFAM Grande Bretagne)
PAE	Projet Agro-écologie (Financement allemand)
PATECORE	Projet d'Aménagement des Terroirs et de Conservation des Ressources dans le Plateau Central
PDRD	Programme de Développement Rural Durable
PRTD	Projet de Récupération des Terres Dégradées
PPIK	Plan de Parrainage International de Kongoussi
UP	Unité de Production

## Introduction

Le Burkina Faso est un pays sahélien enclavé au cœur de l'Afrique de l'ouest avec une superficie de 274.000 km<sup>2</sup> et une population de 15 millions d'habitants. Les producteurs du Burkina Faso tirent l'essentiel de leur subsistance de l'exploitation des ressources naturelles. L'économie repose en grande partie sur l'agriculture et l'élevage. En effet, les secteurs de l'agriculture et de l'élevage occupent 90% de la population active et contribuent pour 39% au produit intérieur brut. La production agricole est tournée vers les cultures vivrières qui occupent 80% des superficies, soit à peu près 2,5 millions d'hectares. Cette production est presque entièrement destinée à l'autoconsommation et elle est caractérisée par une dominance céréalière (sorgho, mil, maïs, riz, fonio), quoique les oléagineux (arachide, sésame, karité) occupent une place importante mais variable selon les années (CILSS, 2008).

Le secteur agricole du pays est cependant peu performant. Les conditions pédoclimatiques défavorables (pauvreté naturelle des sols en sels minéraux et insuffisance de la pluviométrie) et les processus continus de dégradation des sols (dus notamment aux érosions éolienne et hydrique) réduisent considérablement les rendements agricoles. En effet, une étude récente (Sawadogo-Kaboré et al., 2006) estime qu'environ 11% terres du pays sont considérées comme très dégradées et 34%, comme moyennement dégradées. Cette dégradation des terres a de nombreuses conséquences aussi bien écologiques que socioéconomiques néfastes (disparition du couvert végétal, fragilisation des écosystèmes, baisse de la fertilité des sols, baisse des revenus, migration, aggravation de la pauvreté, etc.).

Pour renverser cette tendance, de nombreuses actions de lutte contre la dégradation des terres et la désertification ont été mises en œuvre par les populations avec le soutien de l'Etat et des ONG. D'importants investissements financiers et humains ont été consentis pour la mise au point et la diffusion des techniques de conservation des eaux et des sols.

C'est ainsi que depuis les années 1970, la lutte contre la dégradation des sols s'est intensifiée particulièrement dans le Plateau Central mais également dans la presque totalité du pays. Depuis lors, lutte anti-érosive, reboisement, reconstitution du pâturage et mises en défens sont affichés comme des programmes prioritaires.

Pour minimiser d'une part les risques climatiques (irrégularité de la pluviométrie) et d'autre part garantir un niveau de production acceptable, les ONG, associations et projets se sont impliqués activement dans les actions de lutte contre la dégradation des terres à travers les reboisements, l'agroforesterie, les cordons pierreux et la conservation de la biodiversité. Dans le Nord Ouest, on peut citer entre autres :

- le Projet Agroforestier (PAF) voit le jour en 1981 dans le Yatenga. A la différence du GERES et du FEER, le PAF incite les paysans à aménager leurs propres champs. Il teste les techniques de demi-lune, des diguettes en tige de mil, en terre ou en cailloux suivant les courbes de niveaux. Les paysans montrent très rapidement une préférence pour les cordons pierreux ;
- des paysans innovateurs à l'exemple de Yacouba Sawadogo à Gourga (Ouahigouya) vont se lancer dans l'expérimentation d'un certain nombre de techniques traditionnelles de CES dont le Zaï forestier ;
- le Projet d'Aménagement des Terroirs et de Conservation des Ressources dans le Plateau central (PATECORE) et le Programme Spécial de Conservation des Eaux et des Sols et Agroforesterie (CES/AGF) voient le jour en 1988 ;
- le volet conservation des eaux et des sols devient une composante à part entière dans tous les projets de développement rural intégré. Le PDRD basé à Yako et le Projet de Récupération des Terres Dégradées (PRTD) sont les deux gros projets qui s'investissent actuellement dans la réhabilitation des terres notamment l'édification des sites anti érosifs.

De nos jours d'impressionnantes techniques de gestion des terres utilisant les cordons pierreux, le Zai, les demi-lunes et les tapis herbacés sont partout présentes en milieu rural. On peut estimer les superficies aménagées dans le Plateau central à plus de 300.000 ha (Ouédraogo 2005).

Ces actions ont donné des résultats très probants faisant du Burkina un laboratoire en la matière pour les pays de la sous région (Mali, Niger, Sénégal, etc.). Cependant, en l'absence d'une quantification des impacts (biophysiques, socio-économiques et environnementaux), ces résultats souffrent d'un manque de visibilité privant du même coup les partisans d'un accroissement des investissements dans la GRN et d'un argumentaire économique solide. Jusque là, ces derniers se sont fondés le plus souvent sur des cas de succès (success stories) grâce aux progrès dans l'utilisation de l'imagerie satellitaire et les photographies aériennes pour documenter les changements positifs en matière de couverture végétative. Par contre beaucoup de travail reste à faire pour documenter les bénéfices socio-économiques et environnementaux des différentes technologies qui ont été promues pendant plusieurs décennies. La quantification des impacts dérivés de la gestion améliorée des ressources naturelles (forêts, pâturages et eau) constitue encore un thème particulièrement faible. L'évidence des taux de rentabilité économiques des investissements dans les pratiques de gestion des ressources naturelles (GRN) reste sous estimée, souvent à cause de difficultés méthodologiques dans la détermination du degré auquel les pratiques de GRN, versus d'autres facteurs, ont conduit les changements observés au fil des années.

## **Objectif**

L'objectif de ce travail est de capitaliser les différentes technologies de collecte et de gestion de l'eau in situ et ex situ en vigueur dans la zone de recherche à travers la revue bibliographique

## **Recherche documentaire**

Nous avons revisité les expériences enregistrées au Burkina Faso depuis la fin des années 80 dans le domaine de la GRN. Pour ce faire nous nous sommes appuyés sur des travaux antérieurs (Marchal, 1983 ; Dugué, 1984-1989, Rochette (1989) qui avaient déjà décrit les expériences réussies en la matière dans les villages de Ranawa dans le Zondoma, Ziga et Sabouna dans le Yatenga, Noh et Rissiam dans le Bam. Celles-ci avaient concerné divers domaines de la GRN : conservation des eaux et des sols, récupération de terres dégradées, gestion de la fertilité des sols et régénération naturelle assistée.

D'autres travaux plus récemment se sont intéressés à ces mêmes domaines, on peut citer entre autres, Kaboré (1995), Hien (1995), de Graaf (1999), Hien et al, Kambou (1996), Zombré (2003), Zougmore (2003), Ouédraogo (2005), Sawadogo (2006), Traoré (2006), Reij et Thiombiano (2003), CILSS (2007)<sup>1</sup> et divers documents d'ONG, projets et programmes de développement

## **I Les techniques mécaniques**

Il y a essentiellement deux types de techniques ou ouvrages CES suivant que leur réalisation soit collective ou individuelle.

Parmi les ouvrages réalisés collectivement, on retrouve les *boulis*, les digues filtrantes et les traitements de ravines.

- 1 *Les boulis* : ce sont des ouvrages de forme ovale ou circulaire de 60 m de long et 4 à 6 m de profondeur, creusés dans le sol et destinés à collecter les eaux de ruissellement pour des usages divers (maraîchage, pépinières pour maraîchage et essences agroforestières en saison sèche) et pour la riziculture en hivernage. Traditionnellement, les *boulis* étaient utilisés à des fins diverses d'abreuvement des animaux, de confection de briques en terre et de lessive.
- 2 *Les digues filtrantes* : ce sont des ouvrages en pierres libres ou en gabions construits au travers d'une ravine. Elles assurent l'étalement des eaux de ruissellement pour favoriser leur infiltration et elles permettent le dépôt des particules solides et de la terre fine en amont. Ce dispositif permet de lutter contre le ravinement principalement dans les bas-fonds.
- 3 *Le traitement de ravines* : lorsque la ravine atteint une profondeur supérieure à 1,5 m, le traitement se fait à travers un ouvrage de pierres avec des gabions. C'est le traitement de ravines. Il permet de protéger généralement les voies de communication ou de grandes zones de cultures.

Parmi les techniques réalisables individuellement, on distingue le paillage, les cordons pierreux, le zaï, les demi-lunes et les bourrelets anti-érosifs ou diguettes en terre.

Le Burkina Faso a entrepris 'importantes efforts aux plans politiques, techniques et social en vue d'inverser la tendance de dégradation accélérée des terres. C'est ainsi que de nombreuses techniques de récupération des terres ont été développées ou expérimentés notamment dans la partie Nord du Burkina Faso. Ces technologies de CES/DRS, d'agroforesterie et de RNA ont été largement documentés et diffusés (Reij, 1983 ; Marchal, 1986 ; Rochette, 1989; Zougmore, 2003 et Sawadogo, 2006. Parmi les technologies les plus utilisées, on trouve les cordons pierreux ou diguettes en pierres. Cette technologie a été développée dans le Nord Ouest et vulgarisée dans tout le pays.

*1 Les cordons pierreux* : barrières mécaniques d'arrêt ou de freinage des eaux de ruissellement placées le long des courbes de niveau, pour réduire l'érosion et augmenter le stock d'humidité du sol. Les pierres sont disposées dans des tranchées de 10 à 15 cm de profondeur. La largeur d'un cordon est d'environ 15 à 20 cm et la longueur varie entre 10 et 30 m.



Photo 1 : Cordons pierreux



Photo 2 : Champ de sorgho avec cordons pierreux

Les avantages des cordons pierreux ou diguettes en pierres sont multiples. Ce sont des dispositifs perméables en pierres, réalisés suivant les courbes de niveau sur des champs cultivés ou en jachère et sur les terres de pâturages. Les cordons pierreux ralentissent le

ruissellement de l'eau pour mieux la faire infiltrer et laissent écouler les eaux excédentaires. Ce type de dispositif a connu du succès et est vulgarisé dans toutes les provinces du pays, où les conditions climatiques et pédologiques sont similaires à la région Nord Ouest et même dans les pays sahéliens limitrophes. Il permet de lutter contre les érosions en nappe et en rigoles.

Selon Zougmore et al. (2003), les cordons pierreux entraînent une diminution des pertes en terre de 21% avec un écartement entre cordons pierreux de 50 m, 46% avec un écartement de 33 m, et 61% avec un écartement de 25 m.

1. *les diguettes en terre ou bourrelets antiérosifs* : ce sont des dispositifs imperméables qui arrêtent l'eau. Elles sont de 1m de large et 50 à 60 cm de haut. Elles concentrent l'eau en surface créant des hydromorphies dans la partie amont tandis que les cultures en aval souffrent de manque d'eau. Ce dispositif n'est plus utilisé dans la zone car peu efficace et non adopté par les populations. Il reste que dans les endroits où les pierres ne sont pas disponibles, les diguettes en terre, réalisées avec des exutoires en moellons, peuvent être réalisées.
- 2 Les fossés ados C'est aussi une diguette en terre avec des pierres aux extrémités, implantée suivant une courbe de niveau. Les ados sont actuellement en cours de vulgarisation grâce aux travaux de l'INERA /IFDC/DPAH. La longueur de la diguette est de 100 m et les hauteurs sont variables (0,5 à 0,8 m) et la largeur de 0,6 à 1m.
- 3 *Les demi-lunes* sont des ouvrages de collecte des eaux de ruissellement. Elles ressemblent au zaï mais ont un diamètre variant de 2,0 m à 3 m avec une profondeur de 0,20 m à 0,40 m. Le ratio surface d'impluvium /surface de la demi-lune varie entre 1,5/1 et 3/1. La diguette de la demi-lune est parfois recouverte de pierres. Les demi-lunes donnent de bons rendements sur les sols sableux.

Les demi-lunes sont des cuvettes en demi cercle creusées et ceinturées avec les déblais disposés en arc de cercle ouvert à l'amont. Le creux recueille l'eau piégée par les bras de la demi-lune. L'amont du creux sert d'impluvium. Elles permettent aux plantes cultivées dans la demi-lune de recevoir beaucoup plus d'eau que ne lui apportent directement les pluies.



Photo 3: Demi lunes

#### 4 La Réhabilitation des terres à l'aide de la charrue Treno ou Delphino

C'est une technique de récupération des terres grâce à la charrue Treno ou Delphino montée sur un tracteur d'une puissance élevée. Les sillons creusés servent à collecter les eaux de ruissellement et à mieux les infiltrer dans le sol.

Les caractéristiques des sillons sont :

- Longueur = 4 à 5 m
- Profondeur = 40 à 60 cm
- Largeur = 50 cm
- Sous-solage = 15 à 20 cm
- Distance inter-sillons : 3 à 5 m
- Superficie moyenne d'un micro-bassin = 1,35 m<sup>2</sup>
- Raie = 50 cm

Photo 4 :Sillons après une pluie



**La charrue Treno**

Photo 5: charrue Treno

## 5 Le zaï

C'est la principale technologie de réhabilitation des terres dans la zone de recherche.

### 5.1 Définition des mots *zaï* et *zipellé*

Étymologiquement, le mot *zaï* vient du mot *zaïgré* en langue locale *mooré* qui signifie généralement se dépêcher de faire quelque chose, prendre de l'avance (Kaboré *et al.*, 1997). Appliqué au domaine agricole, il prend le sens d'anticiper sur la saison agricole en ce sens que l'on creuse les trous pendant la période sèche, on met le fumier juste avant l'arrivée des premières pluies et on sème lorsqu'une pluie suffisante arrive. Parfois, on sème à sec en attendant la pluie.

De nos jours, le *zaï* est défini comme une technique de réhabilitation des terres dégradées notamment des *zipella* (pluriel de *zipellé*). Le mot *zi-pellé* signifie littéralement en langue locale *mooré* endroit blanc ou clairière c'est-à-dire une zone dénudée et encroûtée. Cela signifie qu'il n'y a pas de couverture végétale sur le *zipellé* et qu'aucune culture ne peut réussir si un traitement préalable n'est pas fait pour casser la croûte de battance. Il existe plusieurs types de *zipella* qui dérivent des types de sols dont ils sont issus. Il y a les glacis limono-sableux de pente supérieure ou moyenne, généralement de couleur blanche issus du décapage de l'horizon A des sols ferrugineux. L'autre catégorie de *zipellé* est constituée par les glacis gravillonnaires, stérilisés du fait de leur dégradation et qui dérivent des sols peu évolués issus de matériaux détritiques.

### 5.2 Les pratiques du *zaï*

Le *zaï* est une technique qui consiste en des poquets de 20 cm de diamètre et 15 cm de profondeur, creusés dans le sol et alignés perpendiculairement au sens du ruissellement. Du fumier ou du compost est ensuite apporté et le poquet est recouvert avec une mince couche de terre afin d'éviter les pertes solides ou gazeuses. Les poquets sont ensuite ensemencés avec des cultures diverses généralement du sorgho ou du mil et leurs associations avec le niébé. On y cultive de nos jours des légumineuses et même du maïs. La technique est également utilisée pour la plantation d'arbres (*zaï* forestier). Le *zaï* est donc un enchaînement dans le temps de trois opérations essentielles à savoir le creusage des poquets, l'application de matière organique et le semis.



Photo 6 : Sorgho dans des poquets de *zaï*

Il est plus intéressant de parler des pratiques du zaï car il y a une multitude de pratiques. A chacun son zaï, conclut Roose (1989). Dans la pratique, chaque producteur adapte les dimensions des poquets et la quantité de fumier à apporter selon le type de sol et la main d'œuvre disponible.

*Le zaï simple ou manuel*: technique de récupération des terrains encroûtés qui consiste à creuser des trous de 20 à 40 cm de diamètre et de 10 à 15 cm de profondeur afin de recueillir les eaux de ruissellement et de les laisser s'infiltrer. La matière organique y est ensuite apportée en quantité variable selon les paysans (une poignée, soit environ 600 g/trou) sous forme de fumier ou de compost, avant la période de semis.

Les avantages du zaï sont principalement : la capture des eaux de ruissellement et de pluie, la préservation des semences et de la matière organique, la concentration de la fertilité et des eaux disponibles au début de la saison des pluies et partant, une augmentation de la production agricole.

#### Variabilité des dimensions des poquets et disposition spatiale

Les dimensions des poquets sont très variées. En effet, les diamètres des poquets sont de 20 cm, 30 cm voire 50 cm et les profondeurs varient de 15 à 30 cm. Les dimensions de 50 cm de diamètre et 30 cm de profondeur sont généralement utilisées pour la plantation des arbres ; dans ce cas, il s'agit de zaï forestier. Cependant, dans la région du *Yatenga*, des dimensions plus réduites de 12 cm de diamètre et 10 cm de profondeur sont observées. Cette variante est appelée *guengo*. Le *guengo* apparaît comme l'ancêtre des zaï. Il est plus utilisé sur les sols sableux pour une application locale de fumier.

Sur le plan de la disposition spatiale, une certaine variabilité est observée. Les principales dispositions sont le zaï en quinconce, le zaï diguette et le zaï aligné (Sawadogo, 2001). Le zaï en quinconce est le plus utilisé dans la région. Il est maintenant pratiqué suivant les courbes de niveau et il permet une meilleure gestion des eaux de ruissellement. Le zaï croisé, proposé à l'époque par les services de vulgarisation a été vite abandonné car il laisse passer beaucoup le ruissellement et provoque la création de rigoles. Le zaï diguette est l'œuvre de paysans innovateurs. Il est plus utilisé sur les terrains fortement pentus et les terrains des glacis de pente supérieure.

#### Densité de semis et quantités de fumure à l'ha

Au niveau des densités de plantations également, une certaine diversité est notée. Les écartements théoriques suivants sont observés dans la région, 80 cm x 80 cm, 80 cm x 40 cm, 80 cm x 60 cm et 60 cm x 60 cm et même 50 cm x 50 cm soit des densités de semis de 15.000 à 32.000 poquets atteignant parfois 35.000 poquets/ha. Mais dans la pratique, les densités de 8.000 à 20.000 poquets par ha sont les plus répandues (Sawadogo, 1999 ; Dakio, 2000).

Au plan de l'utilisation des quantités de matières organiques, on trouve des doses allant de moins de deux tonnes jusqu'à plus de 20 voire 40 tonnes/ha. La dose moyenne utilisée par les paysans innovateurs est de 10 tonnes (Sawadogo, 1999). Pour les matières fertilisantes, on note le fumier de parc (déjections animales brutes mélangées au purin et d'autres déchets), les ordures ménagères appelées *tampoore* et le compost. Le paillage a été proposé en combinaison avec le zaï mais le succès reste limité. Ces différentes matières de base peuvent être enrichies par des phosphates naturels lors du compostage ou par application de l'engrais complexe NPK au semis en vue d'améliorer la nutrition des plantes.

#### Sols favorables à la pratique du zaï

Pour de nombreux auteurs, parmi lesquels Dugué (1989), Kaboré (1997), Dakio (2000), les sols indiqués pour la pratique du zaï sont les sols situés sur les versants des collines ou les sommets de buttes à altitude peu élevée. Ces sols sont peu épais et ont une forte proportion de graviers. Sont également mentionnés, les sols gravillonnaires situés en haut de pente et enfin les sols dénudés à couche arable décapée (*zipella*) ainsi que les sols de moyen et bas glacis. Les sols de champs de case (*kaongo*) et les sols de bas-fonds ne sont pas recommandés pour le zaï.

## Tentatives d'amélioration du zaï

C'est après les grandes sécheresses des années 80 que les chercheurs et les services de développement se sont intéressés à la technique du zaï pour son amélioration. C'est à l'heure actuelle, une des techniques de gestion de la fertilité à la portée des producteurs. Cette technique a été diffusée de manière large dans la région du Yatenga, mais elle a gagné les autres provinces aux conditions pédoclimatiques similaires et même les pays voisins comme le Mali et le Niger.

Les contraintes majeures du zaï restent la faible disponibilité de la matière organique (compost ou fumier) et la pénibilité de son exécution particulièrement l'opération de creusage des poquets lorsque le sol est sec. Plusieurs initiatives ont été développées pour faciliter la réalisation des poquets et/ou améliorer les performances du zaï.

La mécanisation du zaï a fait l'objet de recherches par l'INERA, la Fédération Nationale des Groupements Naam (FNGN), la recherche développement et par les paysans.

- la dent INERA Réversible 12 (IR 12) est une dent de sous-solage montée sur une charrue bovine. Dans un passage croisé, elle facilite l'opération de creusage et réduit le temps de travail de plus de 70% par rapport au creusage manuel. Elle a été mise au point par l'INERA/CIRAD. Malheureusement, son utilisation nécessite la traction d'une paire de bœufs alors que dans la région, les exploitations utilisent soit un âne soit un bœuf.
- le zaï motorisé a été expérimenté dans le Nord du Burkina par les services de l'Environnement. Il consiste en un passage d'une charrue réversible montée sur un tracteur d'une puissance élevée. Tout ceci facilite l'opération de creusage et permet un gain de temps substantiel.
- des producteurs de l'Oubritenga dans le Centre du Burkina ont mis au point une dent de traction animale qui permet de creuser facilement les poquets mais le problème est que la terre excavée retombe dans le poquet ; ce qui nécessite toujours une main d'œuvre pour l'enlever. Néanmoins, la pénibilité du creusage est résolue et on obtient un gain de temps.
- *Le Zaï mécanique* : produit de la recherche, la dent IR 12 permet de réduire le temps de creusage des trous du zaï de 2/3 (70 heures contre 210 heures en manuel)



Photo 7 : Zaï mécanique

## Amélioration de la productivité du zaï

En ce qui concerne l'amélioration de la matière organique, quelques recherches ont été réalisées.

Kaboré (1995) dans le cadre de sa thèse a mené une étude sur le zaï avec plusieurs types de matières organiques dont des feuilles de certaines espèces végétales dans la région de Yako au nord ouest du Burkina Faso. Il montre que le zaï est une technique bien adaptée à la zone soudano-sahélienne en terme de production et de régénération des arbres mais en zone plus humide, le zaï est moins intéressant à cause des risques d'asphyxie des cultures sur sols à texture plus argileuse.

Kambou et Zougmore (1995) ont étudié différentes combinaisons de techniques avec le zaï. La combinaison zaï + paille de *Loudetia togoensis* serait intéressante en terme de conservation de l'humidité et du rendement mais la paille n'est pas très disponible à la période hivernale.

Maatman *et al.* (1998) ont réalisé une étude de l'impact des cordons pierreux et du zaï à l'échelle de l'exploitation et du village en utilisant un modèle mathématique de programmation linéaire à l'aide du logiciel General Analysis of Modelling System (GAMS). Les résultats de cette analyse mathématique indiquent que la combinaison du zaï et des cordons pierreux est intéressante à la parcelle car elle donne le meilleur rendement (1200 kg/ha) mais l'effet global sur la production des céréales de l'exploitation agricole est moindre, du fait que les superficies couvertes avec le zaï et les cordons pierreux sont largement inférieures aux superficies non aménagées. Cette étude suggère l'application d'engrais minéraux notamment les phosphates pour mieux valoriser les ouvrages CES.

Sawadogo *et al.* (2001) à travers des études de cas de paysans innovateurs montrent que le zaï et les diguettes en pierres permettent l'obtention de rendements de sorgho supérieurs à 1000 kg/ha avec une régénération appréciable de la végétation.

Le zaï avec semis à sec et en humide a été expérimenté par l'équipe RSP/Nord Ouest en 1991. Il ressort des résultats, que le semis en humide est préférable car il donne un gain de rendement de 30% de plus que le semis à sec. De même, le zaï avec du fumier tel que collecté par les paysans a été étudié en 1993 et en 1994 par l'équipe RSP/Nord Ouest dans les localités de Baszaïdo (Yatenga) et de Lankoé (Sourou) sur des champs paysans (Sawadogo, 1993). En dépit du fait que les sols étaient jugés fertiles par les paysans, les rendements moyens obtenus étaient modestes (560 kg/ha). L'étude conclut qu'il faille améliorer la qualité de la fumure notamment en faisant du compostage et en y incluant des phosphates naturels.

En dépit des nombreuses informations apportées par les études ci-dessus mentionnées, plusieurs questions restent posées ; en particulier, la dimension agro-économique des techniques CES (zaï, diguettes en pierres, agroforesterie), la rémunération du travail et la durabilité d'un système comme le zaï. La question de la durabilité a fait l'objet d'une étude dans le cadre du projet CES II (Sawadogo, 1999 ; 2001). Généralement, l'impact global des zaï et autres ouvrages CES sur la recapitalisation de la fertilité des terres et l'impact du zaï sur l'amélioration des conditions de vie des populations ont été très peu étudiés.

## **II Les techniques biologiques**

On distingue aussi bien les techniques d'agroforesterie comme la végétalisation et le reboisement et des pratiques agronomiques comme les associations de cultures et les assolements/rotations. Ces techniques protègent le sol contre l'érosion et améliorent le statut organique des sols par la production de biomasse végétale. Les études et les recherches menées par Rochette (1989), Doro (1991), Vlaar (1992) Sawadogo et al (2001) permettent de retenir les pratiques suivantes :

*La végétalisation* : c'est la plantation d'herbes ou d'arbustes le long des courbes de niveau pour lutter contre le ruissellement. La végétalisation est souvent associée aux cordons pierreux dont elle permet la stabilisation. Les espèces les plus couramment utilisées sont entre autres *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicellatum*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia senegal*, *Bauhinia rufescens* etc...

2 *Le reboisement* : c'est la plantation d'arbres sur une surface donnée. Souvent, les arbres sont plantés en lignes et servent de brise-vents.. L'Eucalyptus (*Eucalyptus camandulensis*) et le neemier (*Azadirachta indica*) sont les espèces les plus utilisées.

3 *L'association des cultures* : elle consiste à combiner dans un champ plusieurs cultures, généralement des céréales et des légumineuses ; ces dernières pouvant fixer l'azote atmosphérique et améliorer le statut du sol.

4 *La rotation des cultures et l'assolement*: c'est un changement des cultures dans le temps et dans l'espace pour éviter qu'une monoculture successive n'épuise le sol. Elle permet de lutter contre les mauvaises herbes comme le striga.

- Les brise vents
- Les haies vives

#### 6 **Récupération des terres dégradées par la technique du tapis herbacé**

C'est une technologie développée par les Groupements Naam pour réhabiliter les terres incultes à des fins de pâturages. Le tapis herbacé consiste à faire un sous solage et d'ensemencer les herbes. Les exigences en heures de travail sont comme suit.

coût de l'aménagement (surtout la location du tracteur) :

- Sous-solage : 15 ha/j (2 heures/ha);
- Scarifiage : 1 ha /j
- Coût des aménagements annexes ;
- Main d'œuvre pour la récolte des semences.

Il y a néanmoins la contrainte édaphique c'est-à-dire la nécessité de trouver des espèces adaptées au type de sol à aménager



Photo 8 : tapis herbacé

- 7 *Le paillage* consiste à couper l'herbe sauvage, les feuilles ou à utiliser la paille des céréales pour traiter les sols nus. Cette technique n'est plus appliquée sur les champs à grande échelle à cause de la rareté de la paille (utilisation par les animaux, dans le compostage ou comme source d'énergie en raison de la pénurie de bois de cuisine).
- 8 *La Régénération Naturelle Assistée (RNA)* : la RNA consiste à épargner et entretenir certains arbustes (arbres utiles et à usage multiple), de façon à reconstituer le couvert ligneux sur les champs. La présence d'arbres sur les champs contribue à freiner le débit de l'écoulement de l'eau, donc à réduire l'érosion.



Photo : RNA dans un champ de demi lunes

- 9 *La plantation d'arbres* : Il s'agit surtout de la plantation d'arbres fruitiers. Traditionnellement, ces plantations consacrent l'appropriation effective et individuelle de la terre.
- 10 *Les bandes enherbées* : Ce sont des bandes de végétation permanentes d'herbe, d'arbustes établies le long des courbes de niveau dans les champs. Réalisées perpendiculairement au sens des écoulements diffus et suivant des critères adéquats liés aux sols, aux pentes, à l'occupation du sol et aux pluies, les bandes enherbées favorisent (i) le ralentissement du ruissellement diffus de surface qui les traverse, du fait de la rugosité de surface importante de la végétation de la bande enherbée ; (ii) la diminution éventuelle de ce flux de ruissellement diffus, par infiltration accrue due à la présence d'une végétation dense ; (iii) le dépôt de sédiments du fait des deux processus précédents.

(iii)



Photo 9 : Bandes enherbées

*L'épandage de la fumure organique* : L'utilisation de la fumure organique constitue l'une des plus vieilles méthodes d'amélioration de la fertilité du sol. Elle s'effectue par le biais de plusieurs procédés. Les principaux types de fumures organiques utilisées sont :

*Le tampouré* : Ordures ménagères laissées à ciel ouvert et leur décomposition a lieu surtout en ce qui concerne leurs parties inférieures.

*La fosse fumière* : Trou rectangulaire ou circulaire peu profond (moins de 2m) recevant divers matériaux constitués de débris ménagers, d'herbes, de déjections animales. Tout le mélange est arrosé par les eaux de pluies pendant une année. Une autre variante de la fosse est le bassin de décomposition qui lui est construit sans creuser la terre, à partir de briques ou de pierres.

*Le compostage en fosse avec finition en meule* : Fosse creusée ou bassin + étable + meule recevant les déjections et urines produites à partir de l'étable où des matériaux végétaux et des cendres sont mélangés ou non. Par la suite, les produits sont conservés en mode aérobie dans la meule faite en paille et tiges. Les avantages sont la production en quantité importante de fumure, l'amélioration de la qualité du produit en mode aérobie, une fumure bien décomposée, une intégration agriculture-élevage.



Photo 10 : Fosse fumière

*Le compostage aérobie* : Cette technique ressemble à celle de la fosse fumière à la différence notable de la construction de plusieurs bacs, d'une combinaison bien étudiée de plusieurs couches de matériaux et un entretien de la fosse, par retournement régulier des matériaux. Les avantages sont multiples et comprennent la rapidité de la décomposition des matériaux, la bonne qualité de la fumure et l'utilisation possible du bassin de décomposition à d'autres fins.

*Le parc d'hivernage* : Cette technique consiste à disposer des résidus de récoltes ou des herbes dans les lieux de pacage des animaux. Ces lieux sont circonscrits et un mélange par les animaux en pacage a lieu entre la couche de débris déposés et leurs déjections. Les matériaux de base sont également broyés par les animaux à la suite de leurs piétinements. Dès la saison des pluies, les animaux sont déplacés et le parc est laissé arrosé par les eaux de pluies jusqu'au début de l'hivernage suivant. Les avantages sont que les apports de tiges sont faits progressivement, ce qui est léger pour le producteur, une bonne production de matière organique en quantité et en qualité, la simplicité de la technique.

*La haie vive* : Bandes d'arbustes utilisées pour délimiter des parcelles ou des jardins, généralement de petites superficies et joue le rôle de brise vent. Elle contribue aussi à la conservation et à la restauration des sols en ralentissant le ruissellement des eaux de pluie et en réduisant l'érosion.



Photo 11 : haies vives

*Le paillage* : Le paillage consiste à recouvrir le sol d'une couche de 2 cm d'herbes équivalant à 3 à 6 t/ha ou de branchages ou encore de résidus culturels (tiges de mil ou de sorgho) de façon à stimuler l'activité des termites de manière à induire un ameublissement du sol et une augmentation de sa porosité qui permettent une meilleure infiltration de l'eau.

*La mise en défens* : Jachère protégée contre les formes de pressions liées aux activités humaines (pâturage, feu de brousse, coupe de bois) de manière à permettre une régénération du couvert végétal avec une amélioration de la production primaire et une modification de la structure de la végétation

*Le labour* permet d'améliorer l'infiltration de l'eau et la conservation de l'humidité du sol



Photo 12 : Le labour

Le tableau suivant résume les atouts et les désavantages des pratiques CES

Tableau 1: Résumé des atouts et des faiblesses de quelques pratiques de CES

Techniques	Atouts	Faiblesses
Paillage	<ul style="list-style-type: none"> <li>protection du sol</li> <li>révégétalisation</li> <li>réduction de l'évapotranspiration</li> <li>stimulation de l'activité biologique</li> <li>augmentation de la porosité du sol</li> <li>amélioration de la fertilité du sol</li> <li>augmentation des rendements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>disponibilité limitée des résidus</li> <li>problème de transport</li> </ul>
Mise en défens	<ul style="list-style-type: none"> <li>-protection de la parcelle contre les animaux et l'homme</li> <li>-régénération du couvert végétal</li> <li>-réduction du ruissellement et de l'érosion</li> <li>-augmentation du bilan hydrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-pas d'effet sur les sols nus et encroûtés</li> <li>-gestion nécessaire</li> <li>-mesures complémentaires (travail du sol)</li> <li>-aménagement régional ou de bassin versant</li> <li>-négociation entre les communautés riveraines</li> </ul>

Techniques	Atouts	faiblesses
Reboisement, végétalisation ligneuse	-restauration du couvert végétal disparu - impact positif sur le sol et le fourrage naturel	-concurrence avec les activités agricoles -difficultés de mise en défens ou d'entretien -mauvaise qualité des plants -eau insuffisante en saison sèche -lenteur des cycles de développement -taux de survie faible
Bandes enherbées	-stabilisation des ouvrages mécaniques de CES -lutte contre l'érosion et le ruissellement -production des biens et services (fourrage, matériaux de construction)	-disponibilité limitée des souches d'herbes -forte emprise sur le sol -dégâts par le bétail -concurrence avec les cultures situées à proximité
Tapis herbacé	-régénération du couvert végétal -production de fourrage -protection du sol	-technique très coûteuse -nécessité d'un sous-solage (mécanisation) -main d'œuvre pour la collecte des semences -difficultés de mise en défens ou d'entretien
Brise-vent et haies vives	-protection contre l'érosion éolienne -fixation du sol -protection contre les animaux	-empiétement sur les parcelles -organisation collective -entretien (mise en défens) -concurrence avec les activités agricoles

### III Les impacts des investissements des technologies CES

Des mécanismes d'évaluation des impacts au niveau des projets et programmes ont permis de décrire certains effets documentés par SP/CONEDD (2006) :

- Sur le plan physique, différents auteurs (Somé et al., 1998 ; Ouédraogo et al., 2001 Cf. Evaluation de cellule Recherche participative du PATECORE (2003) notent une diminution de l'érosion, la reconstitution des sols, la régénération de ligneux et herbacées, la remontée de la nappe phréatique et des eaux souterraines, la rétention de l'humidité sur les sols aménagés et l'amélioration de la fertilité des sols.

- Au niveau socioéconomique, le ralentissement de la migration, le renforcement de la cohésion sociale (parce que les aménagements sont souvent des actions collectives), l'amélioration du statut nutritionnel des populations et l'amélioration des revenus constituent des éléments positifs résultant de la lutte contre la dégradation.

Les impacts de certaines technologies sur la production agricole et la sécurité alimentaire suscitent l'intérêt des producteurs et des décideurs politiques. Dans la zone du programme CES/AGF, les cordons pierreux induisent une augmentation des rendements de 23 % pour le sorgho blanc et 15% pour le sorgho rouge dans les champs de case ou de village. Cette augmentation est de 28% pour le sorgho blanc sur les champs de brousse (Projet CES/AGF). Dans la zone du projet PATECORE le rendement moyen du sorgho sur les terres aménagées est de 774 kg/ha contre 651 sur celles non aménagées ; ce qui représente une augmentation de l'ordre de 19% (tableau 3). Les rendements du mil sur les terres aménagées ont été inférieurs à ceux des témoins (470 kg/ha contre 531 kg/ha) (Ouédraogo, 2005). Les études menées par l'INERA dans le cadre du programme RSP Centre (1993-1994) ont montré que le Zaï entraîne un accroissement de rendement de 86 % dans le plateau Central (tableau 4). Ce qui fait de ce dernier une technologie prometteuse pour cette région du Burkina Faso. Associé au paillage, le zaï donne également de bon rendement 1050 kg/ha contre 668 kg/ha pour le témoins soit un accroissement de près de 57%. L'association avec la paille semble avoir eu un effet dépressif sur le rendement du zaï.

Selon Thombiano et al.(2003) les pratiques CES jouent énormément sur l'évolution de la fertilité des sols. Les conclusions que les auteurs ont tiré sont:

(i) La fertilité chimique des sols était déjà très pauvre au départ dans la Zone Nord Ouest. Au fil des années quelques paramètres (la teneur en azote et en matière organique) montrent une baisse, mais quelques autres sont assez stables ou montrent une évolution légèrement positive. Il s'agit notamment des taux de saturation en bases, de la capacité d'échange cationique et le rapport carbone-azote.

(ii) Les cordons pierreux réduisent les pertes de nutriments par érosion en piégeant les débris organiques (sur une bande étroite), mais cette action ne balance pas les pertes par exportation et autres pertes (minéralisation des matières organiques et lessivage des nutriments solubles).

(iii) Les digues filtrantes ont permis le comblement de ravines. Les ravines colmatées par les sédiments venus de sols pauvres ne peuvent donner des sols riches, mais plutôt des sols plus profonds et mieux alimentés hydriquement, d'où l'amélioration des rendements qui seraient encore bien meilleurs si on ajoutait davantage de nutriments, non pour enrichir les sols, mais pour les cultures. Les digues filtrantes et les cordons pierreux n'enrichissent pas le sol, mais peuvent améliorer la rentabilité de la fumure bien adaptée aux besoins des cultures.

(iv) Les propriétés physico-chimiques des sols aménagés en zaï montrent, en comparant la situation après 3 ans et 5 ans, une légère amélioration au fil des années. Cela n'étonne pas car les paysans appliquent de petites quantités de matière organique aux cuvettes, qui sont attaquées par des termites, qui creusent des galeries et améliorent ainsi la structure des sols.

Malgré ces importants efforts consentis par les différents gouvernements ainsi que les partenaires techniques et financiers depuis les années 80, les impacts des investissements en GRN ne se sont pas toujours bien connus. Il existe certes des résultats de recherche sur des sites spécifiques ((Marchal, 1983 ; Dugué, 1984-1989, Rochette 1989, Kaboré (1995), Hien (1995), de Graaf (1999), Hien et al, (2004), Kambou (1996), Zombré (2003), Zougmoré (2003), Ouédraogo (2005), Sawadogo (2006), Traoré (2006), etc.) mais qui ne permettent pas de renseigner de manière pertinente les indicateurs socio-économiques et environnementaux à l'échelle nationale.

En 2002, une étude pluridisciplinaire a permis de cerner les effets des aménagements CES sur la réhabilitation de la capacité productive des terroirs du Plateau central en particulier dans la zone Nord Ouest du Burina entre 1980 et 2001. La CES a un impact positif sur les activités d'élevage.

### *Evolution des modes d'élevage*

Les résultats des analyses de corrélations entre les dates de changement de modes d'élevage et celles de l'installation des aménagements de CES, le statut du village et de classe socio-économique révèlent que la date de début de l'embouche bovine est significativement en corrélation à celle du début des aménagements, de même que le nombre d'UBT conduit en conditions semi-intensives (Savadogo, 2003:22). L'adoption des mesures CES semble avoir déclenché une dynamique des modes d'élevage, avec une proportion plus importante d'animaux en embouche ou en stabulation partielle. Cette évolution des modes d'élevage traduit cependant une mutation des rapports entre les éleveurs traditionnels (Peuls) et les agriculteurs. Notamment dans les villages témoins à faible intensité d'aménagement, les relations de complémentarité entre éleveurs et agriculteurs est en régression. Les agriculteurs, ou plutôt agro-pasteurs stabulent de plus en plus leurs animaux pour obtenir du fumier indispensable pour le maintien du niveau de productivité des sols.

Les effets des aménagements sur les changements des modes d'élevage sont surtout perceptibles au niveau des exploitations agricoles pauvres et moyens. Cette situation est surtout liée à la réalisation des zaï améliorés, qui ont permis aux producteurs de mieux optimiser l'utilisation des faibles quantités de matière organique (fumure ou compost).

## *Evolution des ressources fourragères au niveau des zones aménagées en CES et non-aménagées*

Dans la zone du Yatenga, plus de 80% des personnes interrogés estime que les aménagements de CES améliorent la disponibilité fourragère dans les terroirs. Ce constat tient au fait que la CES aussi bien individuelle que collective améliore l'installation spontanée dans les zones sylvo-pastorales, une meilleure productivité des bandes enherbées et des ligneux. Ces impacts sont perceptibles dès la deuxième année d'installation pour la plupart des techniques de CES (Rochette et al. 1989; Hien, 1995). Dans les villages d'étude au Bam on constate une réduction de l'espace pastoral ce qui se traduit par un remplacement progressif des pâturages naturels par les résidues de culture et les adventices. Les trois villages d'étude avec aménagements au Bam ont un terroir relativement petit.

Les quantités de résidus de récolte sur parcelles aménagées et non-aménagées ne montrent pas de différences significatives quand il s'agit des monocultures. Pour les cultures associées (mil-niébé; sorgho-niébé et mil-sorgh) les différences sont plus importantes, à savoir + 16 % pour le sorgho et + 50 % pour le mil.

Kessler et al.(1998) ont rapporté que la mise en défens d'une zone pastorale dégradée dans la province du Bam (Zanamogho) a permis de réduire le taux de sol nu de 19% à travers la régénération des herbacées (+137%) et des ligneux (+19%) entre 1990 et 1994. Des mesures de CES (cordons pierreux, paillage) ont permis de doubler le taux de recouvrement des herbacées tandis que celui des ligneux a augmenté de 92% soit une baisse significative de 43% du taux de sol nu par rapport aux zones témoins dans la même zone. L'amélioration du recouvrement végétal s'est accompagnée de changements importants de la composition floristique. Le nombre d'espèces herbacées est passé de 35 à 59 et la contribution d'espèces de bonne valeur fourragère ont augmenté de 0 - 2% à 11-13%.

### *La CES et la Régénération Naturelle Assistée*

Afin de vérifier l'hypothèse que les aménagements de CES ont eu un impact positif sur la régénération de la végétation, un transect a été réalisé dans chacun des douze villages. Les informations ont été collectées sur des placettes au début et à la fin de chaque transect et à chaque fois qu'on a constaté un changement dans l'unité d'occupation. Il s'agissait surtout de recenser les arbres et arbustes (nombre, espèces et classes d'âge) sur zones aménagées et non-aménagées et de définir le niveau de régénération des ligneux. Ce travail a été fait avec le soutien de personnes ressources du village. Au total 68 placettes ont été posées dont 47 sur parcelles aménagées et 21 sur parcelles non-aménagées. La superficie de chaque placette étant de 40m x 40m, soit 1600 m<sup>2</sup>, la superficie aménagée sous placettes est de 7,52 ha et non-aménagée de 3,36 ha, soit une superficie totale échantillonnée de 10,88 ha (Belemviré, 2003). Sur 1299 pieds ligneux inventoriés, 75% se trouvent sur des sites aménagés et 25% sur des sites non-aménagés. La diversité sur les sites aménagés (33 essences) est plus importante que celle sur les sites non-aménagés (26 essences). Sur les sites non-aménagés deux essences dominent fortement, à savoir *Piliostigma thonningii* (30%) et *Guiera senegalensis* (17%). Sur les sites aménagés les essences fortement représentées sont: *Balanites aegyptiaca* (12%), *Leptadenia hastata* (12%) et *Guiera senegalensis* (24%).

Tableau 2: Répartition des classes d'effectifs des ligneux selon la nature du site (proportion à l'intérieur de chaque catégorie)

Classe d'effectifs	Proportion sur Site aménagé	Proportion sur Site non aménagé
[0 - 50 pieds/ha]	26.1%	25.0%
[50 - 100 pieds/ha]	26.1%	37.5%
[100 - 200 pieds/ha]	28.3%	16.7%

[200 - 300 pieds/ha]	6.5%	8.3%
[300 - 400 pieds/ha]	6.5%	12.5%
[400 - 500 pieds/ha]	4.3%	0.0%
[500 - 600 pieds/ha]	2.2%	0.0%
	100.0%	100.0%

Source : Belemviré (2003)

La densité moyenne des ligneux sur site aménagé est de 126 pieds/ha, tandis qu'elle est de 103 pieds/ha sur site non-aménagé. En regardant les classes de densité, le tableau 9.1 montre que les classes de densité les plus élevées (plus de 400 pieds/ha) sont inexistantes sur l'ensemble des sites non-aménagés inventoriés.

Au niveau social, il y a eu une évolution des migrations. En effet, les populations enquêtées soutiennent que de nos jours, l'on rencontre moins de migration dans la zone (66%) contre 24% qui estiment que la situation s'est stabilisée. Dans le même temps les retours de migrants sont en augmentation. De ce fait, on peut en conclure que les villages ont connu une amélioration de leur situation alimentaire de sorte à pouvoir maintenir sur place la plupart nombre de candidats au départ. De l'avis des populations, les évolutions notées dans les départs et les retours auraient un lien avec la pratique des GRN (82% des enquêtés le pensent).

Au niveau économique, la quantification des impacts révèle que les investissements ont été très rentables. 37 à 107% pour le zaï, 23% pour les cordons pierreux et 145 % pour les demi-lunes. Bien que toujours sous-estimés, ces taux de rentabilité sont supérieurs aux taux d'intérêt des banques commerciales, montrant ainsi qu'investir dans les GRN est très rentable.

## Conclusion

Il ressort de ce travail, que les investissements dans la GRN ont eu des impacts importantes et ont contribué de ce fait à l'augmentation de la productivité et de la production agricole et donc à l'accroissement de la sécurité alimentaire, à l'amélioration des revenus des populations, à la reconstitution de la végétation ligneuse.

Les techniques comme le zaï, les cordons pierreux, les demi-lunes et leurs combinaisons ont donné des gains de rendements moyens de l'ordre de 30% à plus de 100%. Ces impacts deviennent plus importants avec les techniques d'intensification qui accompagnent les mesures de conservation des eaux et des sols comme la fumure et l'équipement.

Les aménagements ont eu un impact positif sur la reconstitution de la végétation ligneuse et sur les fourrages. En effet, dans presque tous les sites, la densité et le nombre d'espèces végétales recensées ont été supérieurs dans les champs aménagés par rapport aux champs témoins, traduisant ainsi, une amélioration de la densité des ligneux et donc une amélioration de diversité biologique dans les champs aménagés comparativement à ceux non aménagés.

## Références bibliographiques

**Bationo, A., Wani, S., Biielders, C.L., Vlek, P.L.G., Mkwunye A.U.** (2000). Crop residue and fertilizer management to improve soil organic carbon content, soil quality and productivity in the Desert Margins of West Africa. In: LAL R, KIMBLE, JM, and STEWART BA, eds. *Global climate change and tropical ecosystems*. Boca Raton (USA): CRC Press, 2000: 117-45.

**Biielders, CL. Michels, K. Bationo, A.** 2002. On farm evaluation of ridging and residue management options in a sahelian millet-cowpea intercrop. I. Soil quality change. *Soil use manage*, 18: 216-22.

**Belemviré A.**, 2003. Impact de la Conservation des eaux et des sols sur la régénération naturelle assistée. Etude plateau central. Rapport de travail n°1.

**Ganaba S. et Guinko S., 1995.** Etat actuel et dynamique du peuplement ligneux de la région de la mare d'Oursi (Burkina Faso) ; Zustand und dynamik des Geholzbestandes idner Umbedung des mares d'Oursi (Burkina Faso). *Etudes flor vég Burkina Faso*, 2 :3-14.

**Ganaba S. et Kiéma A., 2000.** Impacts des aménagements anti-érosifs sur la diversité biologique et végétale en région sahéenne du Burkina Faso. Rapport INERA/PGRN-SY, 54p.

GERES 1965. Livret de la carte morpho pédologique. Secteur de restauration des sols de Ouahigouya,. République de Haute Volta ; 62pp.

**Guinko S., 1984.** Végétation de la Haute-Volta. Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles, Univ. Bordeaux II, 2 vols, 394 p.

**Guinko S., 1984 ; Hien F. G., 1995.** La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel : Une étude de l'effet des mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. Document sur la gestion des ressources tropicales n°7, université de Wageningen, 194p.

**Kaboré, C., 1997a :** *Etude sur les méthodes d'inventaire forestier : cas de tests réalisés dans les forêts de Maro, Tuy et Naborgane*. ETF/PNGT, Bobo-Dioulasso, 38 p.

**Michel A., 2000.** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches de l'Afrique de l'Ouest. CIRAD, MNHN-UICN, 539p.

**Ganaba S., 2000.** Impact des aménagements de conservation des eaux et des sols sur la régénération des ressources ligneuses en région sahéenne et nord soudanienne du Burkina Faso. P.G.R.N-SY.

**INERA/RSP, 1994.** Economie des cordons pierreux, du paillage et du zaï dans le Nord du Plateau Central du Burkina Faso, une perspective préliminaire. *Recherche intégrée en production agricole en gestion des ressources naturelles*. Purdue University et Winrock International

**Ouédraogo, S. 1999.** " Analyse Economique des effets des mesures de conservation des eaux et des sols sur la production agricole dans le plateau central ". Université de Ouagadougou.

**Ouédraogo, S., Millogo, M.C.S., Lalba, A., Troré, J.-N., Bonkougou, J., 2002.** *Participation des producteurs à la mise en œuvre des projets de lutte contre l'érosion : un modèle d'intervention sociale plus approprié*, Ouagadougou, INERA.

**Ouédraogo, S.** Intensification de l'agriculture dans le plateau central du Burkina Faso. Une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies ; University of Groningen.

**Ouédraogo S., Sorgho/ Millogo M.C. 2007.** Système coutumier de tenure des terres et lutte contre la désertification en milieu rural au Burkina Faso. *Natures Sciences Sociétés* 15, 127-139 (2007)

**PATECORE, 2000.** Etude de l'impact des aménagements sur les rendements agricoles (campagne agricole 1999). GTZ, Burkina Faso.

**PSCES-AGF, 1999.** Rapport d'avancement à mi-parcours ; Ministère de l'Agriculture ; Burkina Faso.

**PSCES-AGF, 2000.** Evaluation de l'impact socio-économique de la première phase ; Société Africaine d'Etudes et Conseils (SAEC), Ouagadougou, Burkina Faso

**Rajot, JL Ribolzi, O Thiebaut, JP. 2002.** Wind erosion in a small catchment of grazing area in northern Burkina Faso: influence of surface features *in* LEE JA, ZOBECK TM, eds. *Proceedings of the ICAR5/GCTE-SEN joint meeting*. Lubbock, Texas, USA, 22-25 July 2002. Lubbock, (Texas): international center for arid and semi arid lands studies, 2002:185-90.

Reij C. et Thiombiano T., 2003. Développement rural et environnement au Burkina Faso : la réhabilitation de la capacité productive des terroirs sur la partie nord du plateau central entre 1980 et 2001.

**Reij, C., 1983.** *L'Évolution de la lutte anti-érosive en Haute-Volta depuis les indépendances : vers une plus grande participation de la population*, Amsterdam, Institute for Environmental Studies, Free University

**Requier-Desjardins M., Bied-Charreton. M., 2005.** Evaluation des coûts sociaux, économiques et environnementaux de la dégradation des terres et de la désertification. Centre d'Economie et d'Éthique pour l'Environnement et le Développement, Université de Versailles St Quentin-en-Yvelines

**Rochette, R.M., 1989.** *Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences*, Weikersheim, Margraf

**Reij C. et Thiombiano T., 2003.** Développement rural et environnement au Burkina Faso : la réhabilitation de la capacité productive des terroirs sur la partie nord du plateau central entre 1980 et 2001.

**Reij, C, 1983.** *L'Évolution de la lutte anti-érosive en Haute-Volta depuis les indépendances : vers une plus grande participation de la population*, Amsterdam, Institute for Environmental Studies, Free University

**Requier-Desjardins M., Bied-Charreton. M., 2005.** Evaluation des coûts sociaux, économiques et environnementaux de la dégradation des terres et de la désertification. Centre

d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement et le Développement, Université de Versailles St Quentin-en-Yvelines

**Rochette, R.M., 1989.** *Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences*, Weikersheim, Margraf

**Savado M., 2003a.** Impacts des mesures de conservation des eaux et des sols sur les modes d'élevage.

**Savado M., 2003b.** Impacts des mesures de conservation des eaux et des sols sur les ressources fourragères.

**Sawadogo, H. 2001.** Rapport final sur les activités de développement participatif de technologie dans le cadre du projet CES II. INERA/ORFA/ Réseau MARP/CDCS, 52p.

**Sawadogo, H. 2003.** Impact des aménagements sur les systèmes de production, les rendements et la sécurité alimentaire des exploitations agricoles. Etude Plateau Central. Rapport de travail No 3

**Sawadogo, H. 2006.** Fertilisation organique et phosphatée en système de culture zaï en milieu soudano-sahélien du Burkina Faso. (Thèse de doctorat). Gembloux, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 242p + annexes.

