

DURABILITE DES PRATIQUES CULTURALES DANS LE NORD DU BASSIN VERSANT DE LA VOLTA



Valérie Hauchart

2007

Volta Basin Focal Project Report No. 2

CGIAR Challenge Program on Water and Food



**DURABILITE DE L'AGRICULTURE
EN FONCTION DES PRATIQUES CULTURALES ACTUELLES ET
CONSEILLEES
(BURKINA FASO ET NORD GHANA)**

Valérie HAUCHART

2007

Ce document doit être cité de la façon suivante :

Hauchart V., 2007.- *Durabilité de l'agriculture en fonction des pratiques culturelles actuelles et conseillées (Burkina Faso et Nord Ghana)*. Volta Basin Focal Project Report No 2. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 109 p.

Liste des sigles

AMMA : Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine

BDPA : Bureau pour le développement de la production agricole, Ouagadougou, Burkina Faso

BUNASOLS : Bureau national des sols, Ouagadougou, Burkina Faso

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Ouagadougou, Burkina Faso

CNRST : Centre national pour la recherche scientifique et technique, Ouagadougou, Burkina Faso

CRDI : Centre de recherche pour le développement international

CSPA : Coordination des politiques sectorielles agricoles, Ouagadougou, Burkina Faso

DGPSA : Direction générale de la production et de la statistique agricole, Ouagadougou, Burkina Faso

FAO : Food and agriculture organization

FEER : Fond de l'eau et de l'équipement rural, Ouagadougou, Burkina Faso

GERES-Volta : Groupement européen de restauration des sols, Ouagadougou, Burkina Faso

ICRISAT : International Crop Research Institute for Semi-Arid Tropics

INERA : Institut national de l'environnement et de la recherche agricole, Ouagadougou, Burkina Faso

NAEP : National agricultural extension project, Accra, Ghana

NAES : Nyankpala agricultural experiment station, Nyankpala, Ghana

NARP : National agricultural research project, Accra, Ghana

PNRSP : Programme national de recherche sur les systèmes de production, Ouagadougou, Burkina Faso

SARI : Savanna agricultural research institute, Tamale, Ghana

SP/CONEDD : Conseil national pour le développement et l'environnement durable, Ouagadougou, Burkina Faso

URADEP : Upper region agricultural development project, Ghana

Lexique

Les mots ou expressions définis dans le lexique sont indiqués dans le texte par un astérisque.

Ados : Bourrelets ou banquettes de terre disposés selon les courbes de niveau et destinés à freiner le ruissellement et à limiter les pertes en terres

Billonnage : Opération agricole qui consiste à réaliser, à la main ou à la billonneuse, de légers exhaussements de terre linéaires sur lesquels sont semées les cultures

Boulis : Trou de forme variable, creusé en aval d'une parcelle et faisant office de citerne pour collecter et stocker les eaux de pluie et de ruissellement

Buttage : Opération agricole qui consiste à réaliser, à la houe, des amas de terre aux pieds des cultures

Champs de brousse : Champs situés en périphérie du finage villageois, traditionnellement mis en culture temporaire ou itinérante et destinés à la production céréalière ou aux cultures de rente

Champs de village : Champs situés autour ou à proximité du village, traditionnellement mis en culture permanente et destinés à la production céréalière

Contrat de confiage : Contrat qui lie un agriculteur sédentaire et un éleveur nomade : l'agriculteur confie ses bêtes à l'éleveur qui pratique la transhumance vers le Sud pendant la saison sèche

Contrat de gardiennage : Contrat qui lie un agriculteur sédentaire et un éleveur nomade : l'agriculteur confie ses bêtes à un bouvier qui les fait pâturer dans les brousses alentour du village pendant la saison pluvieuse

Contrat de parcage : Contrat qui lie un agriculteur et un éleveur : après les récoltes, l'agriculteur confie ses bêtes à un éleveur qui les garde sur les parcelles encloses où elles peuvent brouter les résidus de culture. L'agriculteur laisse libre accès à ses puits et fournit à l'éleveur du sel et du mil, en échange de quoi il récupère du fumier sur ses terres.

Contre-saison (culture de) : Saison sèche correspondant à la basse saison agricole mais au cours de laquelle des cultures maraîchères sont pratiquées sous irrigation

Daba : Outil aratoire de type houe traditionnelle à manche court

Dégué : Grumeaux de farine de mil cuits à l'eau et servis mélangés à du yaourt sucré

Demi-lunes : Technique de récupération des terres indurées qui consiste à creuser de grands demi-cercles bordés en aval d'un haut bourrelet de terres et destinés à collecter des eaux de ruissellement

Dolo : Bière de mil, préparée traditionnellement par les femmes et consommée le week-end dans les *dolotières* villageoises ou servie pour marquer l'hospitalité

Emprunteur : Personne qui a dû demander une terre en prêt au chef de terre ou de village, conformément au droit coutumier, cette démarche étant réservée aux immigrants qui n'appartiennent pas au lignage du village

Fascines : Alignements de branchages disposés selon les courbes de niveau et destinés à freiner le ruissellement et à limiter les pertes en terres

Fèces : Résidus de la digestion des animaux contenant des aliments non digérés dans l'appareil digestif, des fragments de la membrane intestinale, des bactéries et des produits de sécrétion digestive

Hivernage : Saison des pluies

Intensité culturelle : Taux d'occupation annuelle d'un périmètre, en une ou plusieurs campagnes agricoles

Jardins de case : Champs enclos, inclus dans l'espace domestique villageois et cultivés de façon soignée par les femmes pour la production de maraîchage ou de céréales hâtives

Légumineuse : Ordre de plantes à fleurs papillons, herbacées ou arborescentes, comprenant des variétés fourragères, cultivées pour leur système végétatif – par exemple, la luzerne – et des variétés à graines, cultivées pour leurs graines riches en protéines – pois, haricots, lentilles, soja, arachides...–

Mulching : Technique qui consiste à recouvrir la surface du sol d'une couche de matériaux protecteurs, végétaux minéraux et végétaux – paille, résidus de culture, écorces, argile – ou matériaux synthétiques et chimiques - agents structurants polymères comme les mèches acryliques ou les films plastiques, asphalte, huiles lourdes –.

Niébé : (*Vigna inguiculata*) ou dolique. Plante annuelle herbacée de la famille des légumineuses. Son système racinaire solide, pivotant et ramifié développe de nombreux nodules capables de fixer l'azote atmosphérique. Le niébé donne des gousses contenant 8 à 20 graines

Paillage : Technique qui consiste à recouvrir la surface du sol d'une couche de matériaux protecteurs d'origine végétale, principalement des résidus de culture ou des tiges de céréales séchées

Poquets : Trous ouverts dans la terre à l'aide d'une houe et dans lesquels sont déposées plusieurs graines

Poudrette : Déjections séchées, contenant des graines d'arbustes, des fèces, de la litière et des cendres réduites en poudre par le piétinement des animaux

Propriétaire : Personne qui, conformément au droit coutumier, a reçu des terres en don, transmissibles de père en fils, ce droit étant réservé aux autochtones, nés ou ayant grandi dans le village, ou aux descendants lignagers

Resemis : Deuxième voire troisième semis destiné à remplacer les plants n'ayant pas germé suite à un déficit pluviométrique après le premier semis

Sec (en) : Se dit d'un travail de la terre ou d'un semis réalisé sur sols secs, avant les premières pluies

Sécheresse : Déficit hydrique absolu ou relatif et temporaire qui a un caractère azonal et conjoncturel

Semenceau : Tubercule ou morceau de tubercule servant de bouture

Tô : Plat traditionnel burkinabé préparé avec de la farine de mil ou de maïs, servi accompagné de diverses sauces, comme la sauce gluante, et servant de base à l'alimentation

Voandzou : (*Voandzeia subterranea*) ou pois bambara. Plante herbacée annuelle de la famille des légumineuses qui produit des graines souterraines

Zai : Terme *mooré* qui désigne une technique de récupération des terres indurées et d'économie de l'eau reposant sur un travail du sol limité à des cuvettes disposées en quinconce, ouvertes à la houe et bordées à l'aval d'un bourrelet de terre

Zipellé : Terme *mooré* qui désigne un sol encroûté, tassé, blanchi par la battance des pluies et rendu stérile

Sommaire

Liste des sigles	1
Lexique	2
Sommaire	5
Table des illustrations	6
Introduction	7
1. Les diverses pratiques culturelles actuellement mises en oeuvre	11
1.1. L'agro-pastoralisme sahélien	11
1.2. La zone cotonnière sahélo-soudanienne	15
1.3. La culture céréalière du Plateau central, du Sud-Est burkinabé et de l'Upper East ghanéen	19
1.4. La complémentarité entre tubercules et céréales en zone nord-soudanienne	23
1.5. Les bas-fonds et les périmètres irrigués	25
2. Conséquences de ces pratiques sur la productivité et la durabilité de l'agriculture	32
2.1. Le rôle de l'élevage dans les activités agricoles	32
2.2. Les conséquences des pratiques exclusivement traditionnelles	33
2.3. L'impact de l'intensification des cultures	38
2.4. L'incidence des aménagements et pratiques de conservation des eaux et des sols	47
2.5. Les effets de la culture dans les bas-fonds et les périmètres irrigués	53
3. Perspectives d'amélioration durable de l'agriculture pluviale	63
3.1. Objectifs et enjeux	63
3.2. Les techniques d'économie et de gestion de l'eau	69
3.3. Les pratiques anti-érosives	75
3.4. La matière organique, une solution complète pour l'amélioration durable des aptitudes agronomiques des sols ?	77
Conclusion générale	84
Bibliographie	96
Annexes	107

Table des illustrations

Table des figures

Figure n°1 : Carte des zones agro-géographiques burkinabé et nord-ghanéennes du bassin de la Volta	9
Figure n°2 : Modèle d'organisation du finage	16
Figure n°3 : Pratique de la culture mécanisée dans les régions burkinabé et nord-ghanéennes du bassin de la Volta	40
Figure n°4 : Carte des pratiques anti-érosives mises en œuvre dans les régions burkinabé et nord-ghanéennes du bassin de la Volta	47
Figure n°5 : La dégradation environnementale dans les régions burkinabé et nord-ghanéennes du bassin de la Volta	61

Table des graphes

Graphe n°1 : Etude comparative des rendements céréaliers dans quatre régions burkinabé, entre 1985 et 2004	59
---	----

Table des tableaux

Tableau n°1 : Erosion, ruissellement et rendement selon les pratiques culturales	52
Tableau n°2 : Avantages, inconvénients et limites des principales techniques de gestion conservatoire des eaux et des sols	89
Tableau n°3 : Projection de population et évolution nécessaire des rendements jusqu'en 2051	93
Tableau n°4 : Complément alimentaire de riz selon les niveaux de rendements et les indices de fécondité en 2051	94

Introduction

L'agriculture demeure la principale activité économique des pays en voie de développement de la zone soudano-sahélienne comme le Ghana et le Burkina Faso où elle occupe 86 % de la population. Essentiellement pluviale, c'est une activité pratiquée de manière traditionnelle, avant tout destinée à la consommation familiale et à l'autosuffisance alimentaire nationale. Elle est complétée dans quelques sous-régions par des cultures de rente telles que le coton, le cacao, le café ou les fruits. Parce qu'elles semblent d'un bon rapport pour les exploitants et pour les Etats, ces cultures tendent à se développer encore, provoquant une concurrence accrue pour l'usage des terres et une modification des logiques de production agricole. Alors que les pays d'Afrique subsaharienne cherchent la voie d'un développement durable, cette pression foncière relativement nouvelle s'ajoute à celle résultant de leur forte croissance démographique. Elle les contraint à trouver rapidement des moyens pour accroître la productivité agricole et les oblige à envisager des solutions pour préserver leur capital pédologique et garantir ainsi la production à moyen et long terme. Il apparaît donc nécessaire de bien connaître et de comprendre l'impact des techniques de culture actuellement mises en œuvre.

C'est l'objet de cette étude portant sur la durabilité de l'agriculture en fonction des pratiques culturales actuelles et conseillées au Burkina Faso et dans le Nord du Ghana. Elle s'inscrit dans le cadre du Basin Focal Project Volta, programme de recherche mis en œuvre et financé par le Challenge Program on Water and Food et exécuté par l'Ird, et en particulier dans le volet sur la productivité agricole de l'eau. Le cadre géographique choisi s'étend sur l'ensemble de la zone du Burkina Faso faisant partie du bassin de la Volta et sur les trois régions septentrionales du Ghana¹, couvrant ainsi environ les deux tiers du bassin de la Volta². De par son étalement en latitude, de 9,2 à 14,3°N, son gradient climatique, sa variété biogéographique et sa diversité ethnique, la zone d'étude offre une image représentative des systèmes de culture locaux, des pratiques adoptées et de leurs conséquences environnementales.

¹ Une partie du Sud ghanéen appartient au bassin de la Volta mais, ayant des caractéristiques climatiques, pédologiques et, de fait, agropastorales différentes, elle n'a pas été prise en considération dans cette étude.

² 17 % du bassin sont partagés entre le Togo, le Bénin, le Mali et la Côte d'Ivoire.

Les pratiques culturelles concernent l'ensemble des opérations – préparation du sol, semis –, leurs modalités concrètes de réalisation – outillage, doses d'intrants – et leurs logiques dans le temps – itinéraires techniques –. Elles tiennent compte de différents facteurs naturels – données climatiques et pédologiques, conditions environnementales – et anthropiques – politiques gouvernementales, droit foncier et appartenance ethnique des exploitants, introduction d'une culture de rente, formation, éducation, disponibilité en terres et en matériaux –.

Dans le cadre géographique choisi, les pratiques culturelles traditionnelles reposent sur un assolement biennal ou triennal avec, chaque année, la même succession d'opérations culturelles – nettoyage des champs par le feu, travail préparatoire réduit et effectué à l'aide d'outils aratoires rudimentaires, un ou plusieurs semis auxquels succèdent deux ou trois sarclages ou sarclo-buttages –. L'agriculture céréalière pluviale, largement prédominante, doit faire face aux contraintes climatiques – déficit ou excédent pluviométrique, variabilité, irrégularité et intensité des pluies –, qui se traduisent par la récurrence des mauvaises récoltes. Il existe un gradient latitudinal Nord-Sud et, dans une moindre mesure Est-Ouest, de la pluviométrie, comprise sur l'ensemble de la zone entre 400 et 1100 mm. Cette variable introduit des nuances dans les systèmes de culture et, croisée avec d'autres paramètres comme la répartition des groupes ethniques, le découpage en sous-bassins versants et la nature des sols, permet de définir quatre zones agro-géographiques (Figure n°1) qui se différencient par leurs cultures et leurs pratiques agricoles.

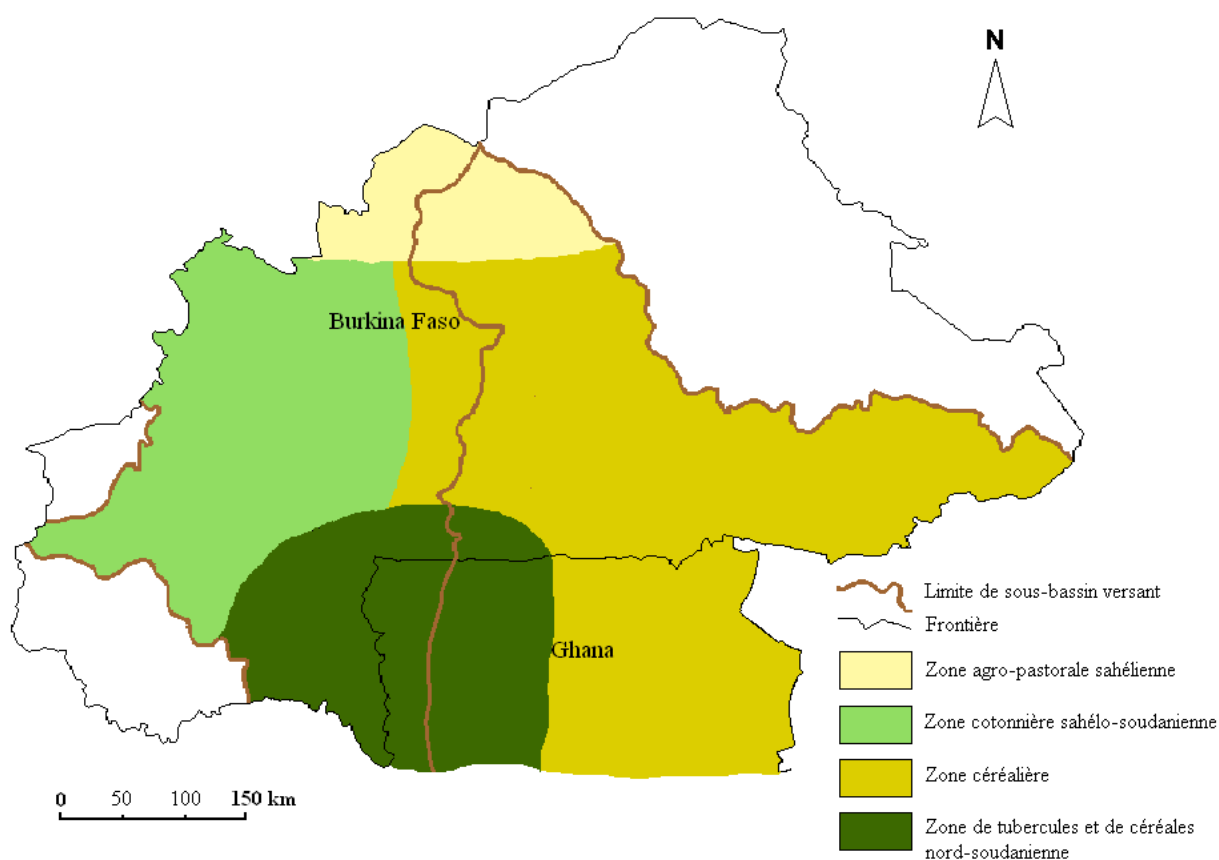
1 - En domaine sahélien – avec des précipitations de l'ordre de 400 à 500 mm –, à cheval sur le sous-bassin du Sourou et la partie septentrionale de celui du Nakambé, la **zone agro-pastorale** est essentiellement peuplée de Peuls et de Mossi. La mise en valeur des sols sableux, peu évolués sur matériaux gravillonnaires, et des surfaces indurées se limite à la culture traditionnelle du mil dans des systèmes de culture incluant l'élevage.

2 - La **zone cotonnière** s'étend à l'Ouest du Burkina Faso, sur les bassins du Mouhoun inférieur et supérieur où les précipitations, comprises entre 600 et 900 mm, rendent possible cette culture de rente, en complément du sorgho et du maïs. Des pratiques culturelles modernes – labour, usage d'intrants minéraux... – permettent aux Bobo, aux Bwa, aux Marka, aux Samo, aux Gourounsi et aux migrants Mossi de valoriser les sols tropicaux ferrugineux sur matériaux sablo-argileux ou argilo-sableux.

3 - Egalement en domaine sahélo-soudanien, la **zone céréalière**, sur les sous-bassins du Nakambé, du Nazinon, de la Pendjari, sur les régions ghanéennes Upper East et Northern, est dominée par des systèmes de cultures vivriers dans lesquels les Mossi, les Gourmantché, les Bissa, les Gourounsi, les Mamprusi, les Kusasi et les Busanga produisent du mil, du sorgho et du maïs. Les cultures de rente telles que le coton et le tabac y restent marginales.

4 - Enfin, dans l'extrême Sud-Ouest burkinabé, dans la région Upper West et dans la partie Nord-Ouest de la région Northern où les précipitations moyennes annuelles varient de 900 à 1100 mm, s'étend une zone dans laquelle Lobi, Birifor, Gourounsi, Sissala, Wala et Dagaaba (Kranjac-Berisavleivic et al., 1998) pratiquent **la culture des tubercules, du maïs et du sorgho**, sur des sols bruns eutrophes.

Figure n°1 : Carte des zones agro-géographiques burkinabé et nord-ghanéennes du bassin de la Volta



L'objet de ce rapport d'expertise sur la durabilité de la production agricole est de présenter, à partir des données et des travaux existants, les diverses pratiques culturales actuellement mises en œuvre au Burkina Faso et dans le Nord du Ghana. Après quoi, leurs conséquences sur la productivité à moyen et long terme dans un contexte environnemental fragile seront mises en exergue. Afin de proposer la présentation la plus complète possible des pratiques et de leurs implications, la recherche bibliographique a été effectuée dans les centres de documentation du CNRST, de l'Ird, de l'INERA, du Cirad, du Ministère de l'Agriculture, et de l'EIER, auprès de la DGPSA, du CSPA, du SP/CONEDD, du BUNASOLS, du SARI, du NAES ainsi que sur Internet.

Dans la plupart des cas, et exception faite de la zone cotonnière et du Nord ghanéen, les références disponibles³ sur les pratiques en vigueur se sont révélées très anciennes et d'objets limités. Les références sur les conséquences environnementales, plus récentes, relèvent souvent davantage d'expérimentations très localisées plutôt que d'observations en condition réelle de culture. Les diverses lacunes relatives au sujet seront exposées au fur et à mesure du travail.

Finalement, ce rapport s'attache à déterminer quelles techniques agricoles pourraient, par une gestion plus efficiente de l'eau et par des actions anti-érosives, augmenter les productions agricoles vivrières et commerciales tout en préservant durablement le capital sol et les ressources hydriques. Si la notion de durabilité repose bien sur l'adéquation entre récoltes et besoins des populations, elle suppose une projection dans le temps et, concernant la production agricole pluviale, elle dépend non seulement de l'évolution physico-chimique des sols, de celle des pratiques culturales et de l'évolution de la disponibilité en terres de culture mais aussi des facteurs climatiques. Faute de pouvoir identifier les changements climatiques à venir, nous supposons ici que les facteurs climatiques restent inchangés sur la période 2007-2025.

³ La disponibilité des études et des publications, variables selon les thèmes et les sous-régions, explique les déséquilibres dans la première partie décrivant les pratiques en vigueur.

1. Les diverses pratiques culturelles actuellement mises en oeuvre

Au Burkina Faso comme dans le Nord du Ghana, la production agricole est assurée par des exploitants traditionnels qui possèdent de petites exploitations : trois hectares de terres en moyenne au Burkina Faso (Gbikpi, 1996 ; FAO, 2002) et deux hectares au Ghana (Alhassan, 2004), valorisées grâce à des techniques manuelles ou partiellement mécanisées. Les différences ethniques, sociétales, foncières, climatiques et morpho-pédologiques introduisent toutefois une diversification des systèmes de culture. Chacune des zones agro-géographiques se définit donc par une unité biogéographique et par des systèmes de culture caractéristiques, reposant sur la place relative des activités agricoles et pastorales, sur l'introduction ou non d'une culture de rente, sur le niveau technique des exploitants, sur la succession d'opérations culturales et sur l'adoption de pratiques et d'aménagements anti-érosifs.

1.1. L'agro-pastoralisme sahélien

La zone sahélienne (Figure n°1) doit son originalité à la brièveté de sa saison pluvieuse qui lui donne clairement une vocation pastorale plutôt qu'agricole. **Deux systèmes de mise en valeur coexistent :**

1 - l'élevage pastoral semi-transhumant essentiellement pratiqué par les Peuls,

2 - l'agriculture vivrière traditionnelle.

Celle-ci fait face à la triple contrainte de la compétition avec l'élevage pour l'accès à la terre, de la forte croissance démographique et de la péjoration climatique qui rend difficile et incertaine la satisfaction des besoins alimentaires.

Déterminée par la durée de l'hivernage*, l'agriculture pluviale repose sur la production de mil en culture associée sous parc (Annexe 1) à *Balanites aegyptiaca*, *Acacia seyal*, *A. albida*, *Parkia biglobosa*, *Bombax costatum* et *Lannea oleosa* (Marchal, 1977). Sur les glacis cultivables, les champs de village* ou de brousse* sont défrichés⁴ ou nettoyés par le feu en mai-juin. Le sol est alors scarifié manuellement en sec* car le travail sur sol humide toujours calé sur les premières pluies serait trop tardif (Kaboré et al., 1995). Le labour mécanisé, introduit dans les années 1970 était traditionnellement réservé à la culture de l'arachide (CIEH, IBRAZ et IRAT, 1985). Il se développe progressivement, la houe attelée permettant

⁴ Somda (1979) note qu'il faut cinq personnes pendant un mois pour défricher un hectare de terre.

"de tirer un meilleur parti de la fugacité des périodes favorables du point de vue climatique, tout particulièrement pendant la phase d'installation des cultures" (Milleville et Serpantié, 1994). Toutefois, il reste rare, les animaux de trait représentant un investissement assez lourd pour les agriculteurs (Marchal, 1983).

Les parcelles sont ensuite ensemencées en mil, plus répandu que le sorgho blanc car mieux adapté au contexte climatique grâce à un cycle végétatif court (Prudencio, 1986), et plus marginalement en maïs, en fonio ou en sésame (Marchal, 1985). Le mil, associé au niébé*, est principalement cultivé sur les sols épais tandis que l'arachide et les pois sont réservés aux sols secs des hautes terres, le sésame et le fonio aux sols sableux peu profonds (Marchal, 1982) et le sorgho à quelques bas-fonds limono-argileux (Prudencio, 1986) ou aux terres humides des bas de pente (Marchal, 1977).

Les cultures sont alors sarclées⁵ à plat à plusieurs reprises et les plantes adventices racées sont abandonnées sur le sol où elles se dessèchent (Marchal, 1982).

Le buttage*⁶ n'est pas généralisé faute de moyen et de temps mais il est traditionnellement effectué sur les pieds de mil pour éviter la verse des pieds en fin de saison.

Dans cette zone, certains exploitants pratiquent le débutage ou buttage* intercalaire qui consiste à planter sur des buttes puis à repousser dans les sillons les adventices et la terre lors du sarclage. Après le deuxième ou le troisième sarclage, les plants de mil sont débutsés et se trouvent entre quatre buttes enrichies en engrais vert, dans des cuvettes qui piègent les eaux de pluie (Marchal, 1984).

Malgré l'absence de jachère⁷ et la monoculture continue de mil-niébé* depuis une cinquantaine d'années, les cultures ne sont pas complémentées en intrants minéraux et très peu en fumure organique.

Après les récoltes, les parcelles sont offertes à la vaine pâture.

Les besoins en pâturages et en fourrage sont de plus en plus élevés. En effet, suite aux épisodes de sécheresse* qui ont décimé les troupeaux au cours des années 1970 et 1980, l'élevage s'est considérablement développé pour faire face au risque de mortalité. D'après les chiffres de la DGPSA, le cheptel bovin de cette zone comptait, en 2005, 441996 têtes, le

⁵ Cette opération menée sur un hectare de terres occupe cinq personnes pendant 15 jours (Somda, 1979).

⁶ 20-25 jours de travail sont nécessaires, à cinq personnes, pour butter un hectare (Somda, 1979).

⁷ Déjà au début des années 1980, Marchal (1982) notait que seule une jachère courte, de 1 à 5 ans, était pratiquée après 15 années de culture.

cheptel ovin, 1065718 têtes et le cheptel caprin, 760748 têtes⁸ ; en, 1985, ils en comptaient respectivement 245000, 378000 et 607000 têtes. Il en résulte une augmentation de la pression sur le milieu et des difficultés pour satisfaire les besoins alimentaires des animaux (Traoré, 1991). Les pâturages s'étendent sur les brousses et les jachères mais aussi sur les espaces cultivés. Pendant les deux mois qui succèdent aux récoltes, les animaux sont laissés en divagation dans les champs, enclos ou non, pour brouter les résidus de culture, exception faite des fanes de niébé*, de pois de terre et d'arachide qui sont ramassées pour être redistribuées plus tard en saison aux petits ruminants (Marchal, 1983).

Le parcage enclos relève souvent d'un contrat de fumure : l'agriculteur confie son bétail à un pasteur, lui laisse libre accès à ses puits et lui fournit du mil et du sel en échange de quoi le pasteur s'engage à faire séjourner les troupeaux sur les terres indiquées par l'agriculteur devenu le "logueur" (Landais et Lhoste, 1993). Après quelques semaines de vaine pâture, les ressources en eau et en fourrage s'épuisent. De ce fait, entre novembre et février, les animaux continuent de divaguer la journée mais ils sont regroupés le soir autour des puisards creusés dans les bas-fonds pour pallier l'assèchement des mares ou les prélèvements excessifs dans les puits domestiques et permettre de couvrir leurs besoins⁹ en eau. Ensuite, de mars à juin¹⁰, les bergers et leurs troupeaux pratiquent la transhumance et migrent vers le Sud.

Lorsqu'il est pratiqué par les agriculteurs, l'élevage constitue avant tout un moyen de capitalisation et une marque de richesse et, parce qu'ils sont moins coûteux, les moutons et les chèvres sont les plus répandus (Kébé, 1994). Les petits ruminants et, le cas échéant, le gros bétail sont gardés par de jeunes bouviers sur les hauts de pente, aux confins des terres de culture. Les bœufs d'attelage sont gardés sur les parcelles, attachés par les cornes à un piquet ou à un tronc d'arbre (Landais et Lhoste, 1993).

Sous l'effet conjoint de l'extension des terres dégradées¹¹ et de la pression foncière, les exploitants se voient obligés d'adopter des techniques de protection : paillage* avec des graminées coupées ou des résidus de culture déposés à la surface du sol puis enfouis pendant

⁸ Par ménage rural, cela représente 2,5 bovins, 4,2 ovins et 5,9 caprins, ce qui est conforme à la moyenne nationale burkinabé pour les petits ruminants mais très inférieur pour les bovins.

⁹ La demande en eau pour l'élevage est de 39,2 l/j/tête pour les bovins et de 4,3 litres pour les ovins et les caprins avec une exigence de qualité : un faible taux de sodium et de magnésium et l'absence d'algues vertes (Ministère de l'environnement et de l'eau, Direction de l'hydraulique, 2001).

¹⁰ Les mois de mai-juin sont considérés comme la période de soudure pour les activités d'élevage.

¹¹ L'extension des surfaces dégradées au cours des années 1980 est à mettre en relation avec le déficit pluviométrique chronique (Milleville et Serpantié, 1994) et avec le surpâturage, notamment lors du stationnement prolongé des troupeaux autour des lieux d'abreuvement.

les sarclages (Marchal, 1985) ou cordons pierreux et haies végétales destinés à ralentir le ruissellement.

Ils sont également amenés à réhabiliter les surfaces dénudées¹², encroûtées et blanchies par la battance que sont les *zipellés** (Ouedraogo et Kaboré, 1996). Pour cela, ils recourent à la technique du *zai** qui permet la récupération des parcelles après trois ou quatre cycles culturaux grâce, simultanément, à l'amélioration de l'efficacité des eaux pluviales et à la concentration de la matière organique (Ouedraogo et Kaboré, 1996).

Pratique traditionnelle, le *zai** consiste à creuser, très tôt en saison sèche, des trous à la pioche dans une surface encroûtée. Durant la fin de la saison sèche, les cuvettes piègent des particules fines sableuses ou limoneuses et de la matière organique apportées par l'harmattan. Dès les premières pluies, les paysans mettent une poignée de poudrette* dans chacune des cuvettes, ce qui attire les termites (Da, 2004). Ils sèment ensuite une douzaine de graines dans un unique poquet* creusé au fond de la cuvette (Roose et al., 1999). Les travaux agricoles sont alors réduits jusqu'à la récolte, en novembre. L'année suivante, les agriculteurs creusent de nouvelles cuvettes entre les précédentes jusqu'à ce que l'ensemble de la parcelle ait été travaillé.

Les demi-lunes* sont aujourd'hui à l'essai dans cette zone pour la récupération des terres dégradées. Elles consistent, comme le *zai**, au creusement de cuvettes mais celles-ci ont la particularité d'être en forme de demi-cercle d'un diamètre pouvant atteindre 4 mètres et d'être délimitées vers l'aval par un bourrelet de 30 cm de haut. Les autres opérations sont semblables à celles pratiquées dans le cas du *zai** mais ce sont 8 à 16 poquets* par cuvette qui reçoivent les graines (Da, 2004).

Les jardins de case* étaient traditionnellement cultivés pendant 5-6 ans avant d'être laissés en jachère le plus longtemps possible (Marchal, 1977), ce que la pression foncière rend de plus en plus difficile. Actuellement, ils sont moins fréquents que dans les autres zones agroécologiques, notamment à cause du déficit des ressources hydriques. Cultivés manuellement par les femmes et fortement fumés, les jardins sont destinés au maraîchage – feuilles de sauce, tabac, courges, tomates... (Marchal, 1985) –. Grâce au développement des variétés hâtives, le maïs et le niébé* peuvent aujourd'hui être cultivés dans les jardins comme cultures de soudure (Marchal, 1985).

¹² Chacun des exploitants possède généralement trois types de parcelles : des bas-fonds, des terres cultivables sur glakis et des *zipellés** (Milleville et Serpantié, 1994).

1.2. La zone cotonnière sahélo-soudanienne

Le coton¹³, destiné presque exclusivement à l'exportation, répond à des logiques de production spécifiques et exigeantes qui ont modifié les systèmes de culture traditionnels de l'Ouest burkinabé et qui en font leur spécificité (Figure n°1). Les cultures céréalières restent dominantes à l'échelle des exploitations autant que des provinces mais l'introduction d'une culture de rente a favorisé la mécanisation des opérations agricoles¹⁴ (Hartog, 1985) et l'intensification des cultures (Belem, 1986). Une différenciation est apparue entre les exploitants dont les pratiques culturelles varient avec leur niveau d'équipement et de technicité. Les évolutions des cultures et des techniques ont suscité l'intérêt de la recherche et les références bibliographiques sont nombreuses et récentes, autant sur la culture cotonnière que sur la mécanisation et ses implications.

Dans les provinces occidentales, les principales opérations culturales diffèrent selon la nature de la culture et le type de parcelle. Après le nettoyage du champ par le feu¹⁵ au mois de mars, la mise en valeur des champs de village* et de brousse* (Figure n°2), traditionnellement en culture sous parc¹⁶ (Annexe 1) à *Butyrospermum parkii* ou à *Parkia biglobosa* (Bertrand et Gigou, 2000), répond à deux logiques : la culture traditionnelle des céréales est manuelle tandis que la culture du coton est mécanisée et plus intensive.

Dans les exploitations uniquement céréalières, un scarifiage ou un labour manuel à plat peut précéder les semis mais le semis direct reste la pratique la plus répandue.

Dans les exploitations intégrant le coton, la totalité des parcelles destinées à cette culture et la majorité de celles destinées au maïs ou au sorgho sont labourées à la charrue attelée¹⁷ en avril ou mai, dès que les premières pluies rendent le travail du sol plus facile.

Les semis sont ensuite réalisés en lignes et en poquets*, dans un intervalle de temps qui fluctue entre la mi-mai et le début du mois de juillet selon la date des premières pluies et

¹³ Le coton est cultivé dans d'autres zones du bassin comme le Sud-Est burkinabé ou le Nord ghanéen mais il y est une culture marginale sans impact significatif sur les systèmes de production locaux.

¹⁴ Alors que 72 % des exploitants burkinabé pratiquent encore la culture manuelle, ils ne sont que 9 % dans la zone cotonnière. 86 % des agriculteurs de cette zone disposent par ailleurs d'animaux de trait contre seulement 17 % pour l'ensemble du pays (Gbikpi, 1996).

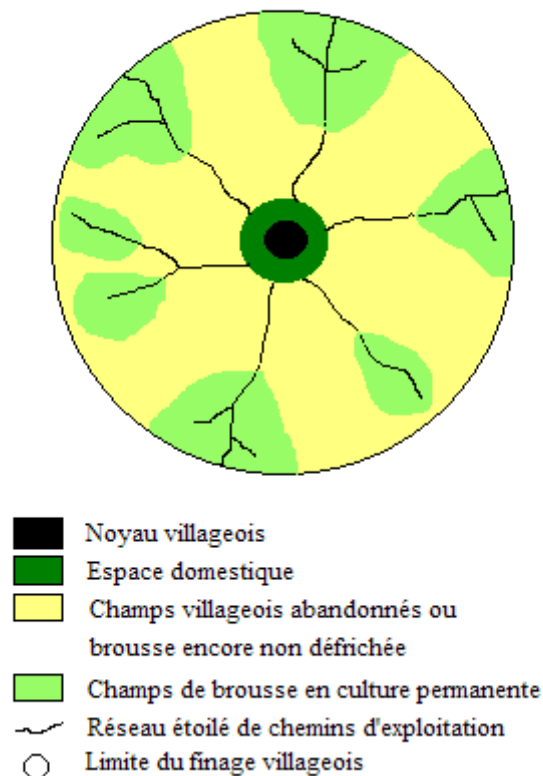
¹⁵ Ceci en dépit de la réglementation de 1985 interdisant les feux de brousse (Ordonnance 85-47 du Code pénal burkinabé, 2004).

¹⁶ Dans les parcelles sous parc, le nombre moyen d'arbres par hectare varie entre 10 et 15 (Hauchart, 2005), ce qui est faible au regard des parcs du Plateau central où la densité varie de 25 à 40 arbres (Robins, 1994).

¹⁷ L'usage du tracteur avait été vulgarisé dès les années 1960 dans le Nord ghanéen (Atengdem et Dery, 1999) et au cours des années 1980 dans la zone cotonnière burkinabé (Tersiguel, 1995) mais il est aujourd'hui abandonné, les tracteurs étant en panne.

l'avancement des travaux de préparation des champs. Après la levée, les pieds sont démarqués (PDA-HB, 1987).

Figure n°2 : Modèle d'organisation du finage



L'épandage des amendements minéraux – engrais NPK¹⁸ et urée – ou des traitements phytosanitaires – insecticides, pesticides voire herbicides – est réservé aux champs de coton. Il peut être effectué aussi sur les champs de maïs¹⁹, éventuellement en complément d'un apport de fumure organique. Si la fertilisation a lieu, elle est souvent tardive car elle est conditionnée par la date du semis, voire du resemis*, par la germination des graines mais aussi par la date de réception des sacs d'engrais achetés à crédit par les exploitants et livrés par les sociétés d'exploitation cotonnière (Hauchart, 2005).

Dans toutes les exploitations, les cultures céréalières et cotonnières sont ensuite sarclo-butées à la *daba** deux à trois fois durant les mois de juillet et août.

¹⁸ L'utilisation d'engrais NPK et les traitements phytosanitaires spécifiques au coton ont entraîné l'abandon des associations culturales au profit de la monoculture.

¹⁹ Depuis 1979, l'achat d'engrais NPK pour trois hectares de coton et plus donne droit à l'achat d'engrais pour un hectare de maïs. Par ailleurs, certains exploitants prélèvent une partie de l'engrais destiné au coton pour enrichir les champs de maïs.

Les récoltes manuelles, au cours desquelles les résidus sont laissés en place – sur pied pour le coton ou couchés sur le sol pour les tiges de maïs ou de sorgho –, ont lieu aux mois de septembre-octobre pour le maïs, d’octobre à novembre pour le sorgho et en décembre et janvier pour le coton.

Quelques exploitants, principalement ceux qui ont reçu une formation, profitent alors de la période creuse pour mettre en place des aménagements anti-érosifs. Ce sont essentiellement les fascines* ou les cordons pierreux qui consistent en alignements de branchages ou de blocs de cuirasse en suivant les courbes de niveau, ou au moins perpendiculairement à la pente principale.

Cette campagne agricole s’inscrit dans un cycle cultural plus vaste qui débute par le défrichage de la parcelle avec abattage partiel ou total des arbres puis par une culture de défriche comme le sésame ou le niébé* (Serpantié et Ouattara, 2001). Elle est suivie d’une autre saison agricole reposant sur le principe de la rotation culturale et d’un assolement biennal ou triennal, le maïs étant toujours semé derrière le coton pour bénéficier des arrières-effets de l’engrais NPK (Schwartz, 1999). Bien que très réduite dans le temps et dans l’espace²⁰, la jachère s’inscrit encore dans la rotation culturale, en fin de cycle, pour permettre le repos de la terre, notamment par les exploitants traditionnels qui n’utilisent aucun intrant minéral et très peu de fumure organique (Hauchart, 2005).

La mécanisation de la culture cotonnière et l’accroissement des revenus qu’elle procure aux exploitants ont permis le développement de l’élevage qui est de plus en plus pratiqué par les agriculteurs. Les éleveurs Peuls quant à eux se sédentarisent et adoptent la culture céréalière (Pourtier, 2003). Toutefois, bien que, dans la zone cotonnière, le nombre de têtes de bétail par exploitation soit supérieur à la moyenne nationale avec 3,9 têtes contre 0,5 (Schwartz, 1991), l’élevage reste encore limité et ne permet pas de fournir assez de fumure organique. Pour tirer profit des déjections animales, les agriculteurs pratiquent la vaine pâture : en saison sèche, ils laissent leurs animaux divaguer sur les parcelles et brouter les résidus de culture (Jacob, 1998).

Les Peuls qui détiennent plus de la moitié du cheptel inventorié, exclusivement des bœufs d’élevage (Schwartz, 1991), se voient parfois confier les troupeaux des agriculteurs

²⁰ Prétextant le manque de terres disponibles, les exploitants ne pratiquent plus que des jachères courtes, 6 à 8 ans après 15 ans de culture, dès lors que l’épuisement de la terre est tel qu’il affecte le développement des cultures et les récoltes.

sédentaires. Dans le cadre de ce contrat de gardiennage* rétribué en argent ou en nature, les bouviers peuls peuvent emmener les bêtes vers le Sud du pays au cours de la saison sèche et reviennent dans les provinces occidentales au cours du mois d'avril. Le fumier constitue une ressource monnayable que les éleveurs peuls livrent aux agriculteurs sédentaires à l'aide de charrettes et leur troquent contre des céréales ou du sel.

Le maraîchage de contre-saison* est pratiqué dans les jardins de case* par les femmes qui profitent de la proximité des parcelles et des possibilités d'approvisionnement en eau et en détritrus ménagers. Il peut également être pratiqué plus loin du village, à la condition qu'il y ait un point d'eau ; les berges des cours d'eau et les bas-fonds sont ainsi mis en culture maraîchère.

Les femmes pratiquent ces cultures manuellement et avec beaucoup de soins apportant de la fumure, des cendres, et un complément d'irrigation. Elles effectuent parfois un buttage* cloisonné et mettent en place des réseaux de canaux amenant l'eau prélevée par les hommes dans le Mouhoun ou un de ses affluents à l'aide d'une pompe. Les principales cultures sont les aubergines, les choux, les salades, les oignons, les piments, les tomates, le gombo, l'oseille et autres légumes et condiments autoconsommés ou vendus sur les marchés alentour.

En saison des pluies, ces parcelles sont plantées, avec les mêmes soins, en maïs ou en sorgho de variété hâtive dont les récoltes précoces permettent d'assurer la soudure.

Plusieurs facteurs naturels ou humains justifient les pratiques caractéristiques de la zone cotonnière et introduisent simultanément quelques différences à l'échelle des exploitations. Facteur d'homogénéité, l'introduction et le développement jusque là ininterrompu du coton dans les provinces occidentales se justifient par les données climatiques et pédologiques répondant aux exigences de cette plante²¹.

Favorisée par la culture cotonnière, la généralisation de pratiques culturelles modernes – mécanisation, recours aux intrants – est un facteur de relative unité entre les agriculteurs. Néanmoins, les exploitants qui se limitent à la production de céréales et qui, faute de moyens, ne bénéficient pas de la vulgarisation des pratiques modernes conservent des pratiques traditionnelles comme le semis à la volée ou les associations culturelles – le plus souvent, sorgho et niébé* –.

²¹ Le coton nécessite de la chaleur, tout au long du cycle végétatif et productif, avec une phase humide pour sa croissance et sa fructification puis une période de sécheresse* pour sa maturation. La pluviométrie doit être d'au moins 700 mm par an pour une culture pluviale viable (Sément, 1986).

De même que le fait d'adopter ou non le coton, l'appartenance ethnique établit une différenciation des itinéraires techniques. Parce qu'ils sont migrants et, à ce titre, ne disposent que de droits précaires, les Mossi ou les Peuls pratiquent moins la jachère que les Bobo et les Bwa, généralement propriétaires* de leurs terres.

En outre, le droit foncier est déterminant du maintien de la culture sous parc, les emprunteurs* ne pouvant en aucun cas planter ou arracher des arbres sur leurs parcelles (Nianongo-Serpantié, 2000). Il conditionne également l'adoption des techniques anti-érosives vulgarisées par les encadreurs départementaux ou provinciaux. Celles-ci sont peu mises en œuvre par les emprunteurs* qui exploitent la terre au maximum sans grand souci de préservation alors qu'ils conservent parfois leurs parcelles pendant plusieurs dizaines d'années (Da, 2004).

De plus, les techniques anti-érosives varient localement selon la disponibilité en matériaux : les cordons pierreux sont principalement construits dans les régions des collines du Birrimien où les exploitants disposent sur place des blocs de cuirasse nécessaires (Hauchart, 2005). Cette pratique est moins répandue sur les glacis où il faut souvent parcourir des kilomètres pour collecter les moellons, ce qui implique du temps et des moyens matériels.

1.3. La culture céréalière du Plateau central, du Sud-Est burkinabé et de l'Upper East ghanéen

La région centrale burkinabé et le Nord-Est ghanéen (Figure n°1) se caractérisent par une agriculture vivrière traditionnelle reposant sur l'association de céréales et de légumineuses*, cultivées sous parc (Annexe 1) à *Parkia biglobosa*, *Butyrospermum parkii* ou *Tamarindus indica*. La littérature sur les techniques culturales du Plateau mossi et de l'Est burkinabé est assez ancienne et peu abondante. Cependant, il semble que les pratiques agricoles n'aient pas évolué, si ce ne sont la réduction dans le temps et dans l'espace voire la suppression de la jachère consécutive à la forte densité de population²² et la mise en œuvre, de plus en plus fréquente d'aménagements pour la gestion conservatoire des eaux et des sols (Maatman et Schweigman, 1995). Les références sont plus nombreuses et plus récentes pour la région ghanéenne Upper East qui fait l'objet de recherche par les stations de recherche SARI de Tamale et NAES de Nyankpala.

²² Sur le Plateau central où 50 % des Burkinabé vivent sur un quart du territoire, la densité moyenne de population est de 76 hab/km² (Djiguembé, 1988).

Du fait de la forte pression foncière, cette zone est, dans son ensemble, une aire de culture continue²³ mais extensive dans laquelle les systèmes de culture sont peu évolués et insuffisamment productifs²⁴. Dans les champs de brousse*, les agriculteurs pratiquent la culture quasi-exclusive du mil et du sorgho²⁵ en association avec le niébé* (Djiguembé, 1988) au Burkina Faso et avec le dolique à œil noir (Kranjac-Berisavlejevic et al., 1998) ou pois cajan (Padi, 2003) au Ghana. Le calendrier agricole des céréales, principales ressources alimentaires, est privilégié par les exploitants qui, pour gagner du temps, n'hésitent pas à s'installer dans des campements de brousse lorsque les parcelles sont trop éloignées du noyau villageois. La culture est manuelle et sans intrants minéraux.

Après les travaux de préparation du champ – défrichage ou nettoyage et brûlis –, les semis sont effectués soit directement, soit suite à un labour manuel à plat ou à un grattage superficiel du sol à la *daba**, pratique la plus courante dans les régions centrales du fait de sa rapidité et du faible effort de traction nécessaire (Barro et al., 2005).

Conditionné par sa disponibilité autant que par les possibilités de transport jusqu'aux confins du finage, l'apport de terre de parc ou de fumure organique n'est pas systématique et les quantités sont souvent insuffisantes, de l'ordre d'une tonne par hectare (Reij et al., 2005).

En juillet et août, les agriculteurs effectuent deux à trois sarclages soigneux et les pieds de mil et de sorgho sont buttés en fin de cycle cultural afin de conserver l'humidité pour les racines. Cette pratique évite aussi, et surtout, la verse des pieds lors des épisodes venteux de septembre-octobre (Dabré, 1997).

Le mulching* ou paillage* serait une pratique traditionnelle courante sur ce type de parcelles (Kaboré et al., 1994) mais les divergences entre les auteurs²⁶ qui s'expriment sur le sujet ne permettent pas de déterminer dans quelle mesure elle est adoptée par les paysans et si elle est mise en œuvre sur l'ensemble du Plateau central et de l'Est. Il semblerait qu'il s'agisse d'une pratique généralisée dans cette zone mais limitée aux portions de terres, voire de champs, dont la surface est compactée ou indurée (Doamba, 2006). Le manque de résidus de culture, consommés par le bétail ou utilisés comme source d'énergie, est un obstacle à la réalisation

²³ Dans la zone burkinabé comme dans la zone ghanéenne (Fening et al., 2004), la culture itinérante a pratiquement disparu et avec elle la jachère.

²⁴ Au cours de la campagne 2004-2005, le taux de couverture des besoins alimentaires estimés à 190 kg/tête/an de céréales n'était que de 13 % dans la région Centre et de 70 % dans la région du Plateau central alors qu'il atteint des valeurs supérieures à 140 % dans les régions du Mouhoun, du Sud-Ouest ou du Centre-Ouest (DGPSA, 2006). Les céréales sont essentiellement consommées sous forme de *tô**, de bouillie, de *dégué** ou, plus marginalement de *dolo**.

²⁵ Le sorgho et le mil représentent environ 80 à 90 % des surfaces cultivées du Plateau mossi et de l'Est burkinabé (Kambou, 1996).

²⁶ Slingerland et Masdewel (1996) précisent que 70 % des Mossi le pratiquent tandis que Dabré (1997) évoque une pratique marginale.

du paillage*. Cela oblige les agriculteurs à récolter des herbes sèches, en avril-mai, lorsqu'elles sont impropres²⁷ à la consommation du bétail, et à ramasser des feuilles de karité ou d'autres ligneux pour couvrir le sol sur une épaisseur de deux centimètres, soit trois à six tonnes d'herbes ou de feuilles par hectare (Slingerland et Masdewel, 1996).

Après les récoltes de mil, de maïs, de sorgho ou d'arachide, les parcelles sont pâturées par le bétail, notamment par les animaux de trait et les petits troupeaux tandis que les agriculteurs qui possèdent beaucoup de bétail²⁸ les confient aux Peuls (Djiguembé, 1988). Les contrats de confiage* sont toutefois en recul, au profit des contrats de parcage* ce qui favorise la complémentarité entre l'agriculture et l'élevage (Kambou, 1996), ceci d'autant que les agropasteurs sont de plus en plus nombreux (Dabré, 1997).

Bien que la culture manuelle et continue du sorgho et du mil en association avec des légumineuses* soit caractéristique du Plateau central, du Sud-Est burkinabé et du Nord-Est ghanéen, cet ensemble est toutefois hétérogène du point de vue des systèmes de culture, des cycles culturels et des pratiques culturales ou anti-érosives, en réponse au gradient climatique.

Dans le Nord de cette zone, les systèmes de culture céréaliers reposent principalement sur la culture du mil, mieux adapté aux conditions pluviométriques régionales que le sorgho ou le maïs. L'élevage peul, plus développé que dans le reste de la zone, y est pratiqué sous une forme extensive et semi-transhumante (Dabré, 1997). Pendant l'hivernage*, les troupeaux divaguent sur les parcours naturels sous la surveillance d'un bouvier. Après cette période, beaucoup d'espèces fourragères à maturité ne sont plus appréciées par les animaux qui sont mis en pâture sur les parcelles de culture, les jachères ou les brousses. Lorsque les ressources en eau et en fourrages deviennent insuffisantes, les troupeaux migrent vers le Sud.

Par ailleurs, les agriculteurs doivent faire face au déficit pluviométrique chronique et adoptent différentes stratégies. D'une part, ils mettent en œuvre des techniques d'économie de l'eau comme le *zai** (cf. *infra* 2.4.), originaire du Yatenga mais qui tend à s'étendre vers le Sud, ou encore comme les demi-lunes* (cf. *infra* 3.2.) qui sont des techniques de collecte et de stockage des eaux de pluies. D'autre part, ils adoptent des cultivars, tels que le mil HKP, à cycle plus court – 70 à 90 jours –, adaptés à des semis tardifs, à une pluviométrie faible – 350 à 500 mm – et à une saison pluvieuse courte (Somé, 1989).

²⁷ La grande richesse en cellulose des herbes sèches réduit leur digestibilité or la digestibilité conditionne la teneur en énergie utilisable.

²⁸ Les agriculteurs assignent à l'élevage une fonction d'épargne pour assurer la régulation vivrière et permettre de faire face aux dépenses imprévues sans vendre de céréales.

Dans la bande médiane, la culture est uniquement céréalière, pratiquée telle que cela a été décrit précédemment.

Dans les régions du Sud burkinabé et du Nord-Est ghanéen, les associations culturales de céréales et de légumineuses* restent prépondérantes mais les cultures sont plus diversifiées.

Le développement de quelques cultures de rente comme le coton²⁹ et l'arachide³⁰ introduit des modifications dans les itinéraires techniques et dans les pratiques culturales qui sont plus intensives (Tsigbey et al., 2002). Les champs destinés à ces cultures sont labourés à la charrue³¹, voire au tracteur dans l'Upper East (Padi, 2003) et enrichis en engrais minéraux. Dans cette zone où la pluviométrie atteint 1100 mm, les exploitants accentuent leurs efforts pour lutter contre l'érosion hydrique et le ruissellement en édifiant des cordons pierreux ou en introduisant des bandes enherbées (Kambou, 1996).

La mise en valeur des champs de village*³² diffère quelque peu de celles des champs de brousse* car ils bénéficient de plus de soins. D'une part, ils peuvent faire l'objet d'un labour superficiel à la charrue attelée avant d'être ensemencés en maïs de variété hâtive associé à des pois voandzou* ou en arachide³³, en rotation avec du mil et du sorgho et, d'autre part, ils reçoivent plus d'apports en fumure organique que les champs de brousse*.

Ce sont aussi les parcelles les plus fréquemment aménagées pour une gestion conservatoire des eaux et des sols (Maatman et Schweigman, 1995).

Comme ailleurs au Burkina Faso ou dans tout le Nord du Ghana, les jardins de case*, protégés contre l'errance du bétail par des haies d'épineux, sont destinés au maraîchage, au maïs hâtif de soudure ou au tabac. Ce sont les parcelles qui reçoivent le plus d'attentions et, surtout, le plus de matières organiques. Le compostage est réalisé à partir des ordures ménagères, des déjections animales et des cendres.

²⁹ Avec la libéralisation de la filière cotonnière et la création de deux nouvelles sociétés d'exploitation, la culture du coton devrait se développer dans les provinces du Bam, Bazéga, Boulgou, Ganzourgou, Kadiogo, Kompienga, Koulpélogo, Kouritenga, Kourwéogo, Nahouri, Oubritenga et Zoundwéogo, entraînant avec elle la diffusion de la mécanisation et l'intensification des pratiques culturales.

³⁰ 90 % des familles ghanéennes de cette zone cultivent l'arachide, assurant 80 % de la production nationale (Tsigbey et al., 2002).

³¹ Les ânes représentent un tiers des animaux utilisés pour le labour ou le transport dans l'Upper East (Bobobee, 1999).

³² Les champs de brousse* et ceux de village* ne forment qu'un seul ensemble dans l'Upper East (Tsigbey et al., 2002).

³³ L'arachide est une légumineuse* adaptée aux associations culturales mais elle implique des sols légers, faiblement structurés et assez riches en matière organique (Schilling, 1996).

Les Mossi ont une technique spécifique de gestion de la matière organique : juste avant les semis, ils disposent la fumure dans des trous³⁴ un peu plus grands que les poquets* habituels et creusés à cet effet (Djiguembé, 1988).

1.4. La complémentarité entre tubercules et céréales en zone nord-soudanienne

La bibliographie descriptive des pratiques culturelles dans le pays Lobi est globalement ancienne mais les quelques références récentes y font état d'une grande stabilité des systèmes de culture. A l'inverse, le Nord du Ghana a fait l'objet d'études récentes et les publications sont nombreuses. Dans cette zone transfrontalière (Figure n°1), les systèmes de culture sont conditionnés par le climat qui, avec une pluviométrie de 900 à 1100 mm répartis sur six mois, permet d'opter pour des cultivars tardifs à cycle long, excepté pour l'igname³⁵, mais aussi pour des variétés de maïs hâtif à deux récoltes par an (Coulibaly, 1980), garantissant mieux la sécurité alimentaire des populations.

La particularité de cette zone nord soudanienne est la complémentarité³⁶ entre la culture des tubercules – igname, manioc, taro, patate douce et pomme de terre – et celle des céréales traditionnelles – sorgho et maïs –. Après un défrichage ou un nettoyage en mars-avril, et un brûlis en tas des branchages et broussailles, les sols sont labourés à la *daba** dès que la terre est suffisamment mouillée, généralement dans le courant du mois de mai (Somda, 1979). Les herbes et les cendres sont enfouies au moment du labour.

Les semis de sorgho et de maïs, sont effectués entre le 15 mai et le 15 juillet, en fonction des cultivars et de la date des premières pluies continues.

Deux ou trois opérations de sarclage ont lieu ensuite suivies en septembre par des opérations de buttage* (Somda, 1979).

La culture des champs de brousse* se fait sous parc (Annexe 1) à *Butyrospermum parkii*, *Khaya senegalensis*, *Faidherbia albida* et *Tamarindus indica* (Somé, 1989) avec apport de fumure organique et enfouissement des adventices (Somda, 1979).

³⁴ Ces trous diffèrent du *zai** car ils ne comportent pas de bourrelets en croissant et qu'une fois le semis effectué, le trou est rebouché.

³⁵ Les variétés, comme *Dioscorea rotunda*, avec un cycle long de 270 jours requiert 1500 mm d'eau et 9 mois de saison pluvieuse contrairement aux variétés comme *Dioscorea* qui, avec un cycle court de 120 jours, se satisfont de 500 mm de pluie (Bokonon, 1996).

³⁶ Cette complémentarité se retrouve également dans le Nord-Ouest du Bénin, avec des pratiques culturelles assez semblables (Bokonon, 1996).

Les cycles culturels alternent la culture des tubercules, le sorgho en association³⁷ avec du niébé*, puis avec du pois de terre ou de l'arachide (Palé, 1980) et le maïs tardif. Les tubercules sont généralement plantés en tête d'assolement car ce sont des cultures exigeantes en matière organique (Coulibaly, 1980).

Elles procèdent par ailleurs de techniques culturelles spécifiques et d'un calendrier agricole décalé par rapport aux céréales. Après un labour avec enfouissement des herbes coupées et un enrichissement en débris végétaux et animaux, des buttes hautes et larges sont confectionnées (Palé, 1980). Dès les premières pluies, des semenceaux* résultant du fractionnement de tubercules³⁸ sont disposés dans des trous ouverts à la houe sur le sommet des buttes (Coulibaly, 1980). Quelques opérations de désherbage ont lieu à partir du mois de juin, suivies d'un tuteurage. L'igname est ensuite récoltée en septembre-octobre, avant le sorgho. Après les récoltes, les animaux sont parfois laissés en divagation mais la pratique la plus courante reste le confiage* du bétail aux éleveurs peuls.

Dans ces champs de brousse*, les agriculteurs mettent en œuvre, spontanément ou dans le cadre de programmes gouvernementaux, des techniques conservatoires. Bandes enherbées, cordons pierreux, mulching* ou culture sur planches disposées dans différentes directions³⁹ pour limiter le ruissellement et l'érosion, aménagements en terrasses soutenues par des murets de pierre pour protéger les pentes, bassins ou fosses pour la collecte de l'eau, dispositifs pour drainer les eaux.

En revanche, si la pratique de la jachère reste plus fréquente que dans les autres régions, elle tend à se raréfier et à être raccourcie suite à l'augmentation de la pression foncière (INERA, 1994). La culture itinérante des champs de brousse* disparaît au profit d'une sédentarisation des parcelles (Gyasi, 1995) et elle n'est pas compensée par un apport suffisant de matières organiques ou d'intrants minéraux.

Les jardins de case* sont mis en valeur de la même façon que dans les autres régions burkinabé ou ghanéennes : le maraîchage de contre-saison* ou le maïs hâtif y sont cultivés en continu, de façon soignée (Savonnet, 1978).

³⁷ Les associations culturelles reposent généralement sur le principe de la mixité sans arrangement distinct (Kranjac-Berisavlejevic et al., 1998).

³⁸ Cette méthode s'applique aussi bien à l'igname, qu'au taro ou aux patates douces.

³⁹ Cette pratique est une particularité de l'Upper West.

Une nuance apparaît toutefois dans l'Upper West où le maïs, le tabac et les légumes sont pratiqués en culture intercalaire (Karbo et Agyare, 1998), sur le principe de lignes alternées (Kranjac-Berisavleivic et al., 1998).

Entre deux saisons culturales, ces parcelles servent au pacage des chèvres (Palé, 1980).

Si l'unité de cette zone repose sur la complémentarité entre tubercules et céréales en systèmes de culture traditionnels, il faut toutefois établir quelques distinctions de pratiques, notamment entre les espaces burkinabé et ghanéens.

La mécanisation étant plus ancienne⁴⁰ et plus largement répandue dans l'Upper West, les opérations culturales y sont plus intensives et le recours au labour attelé, voire le billonnage* à la charrue, y est généralisé (Bobobee, 2001). La modernisation agricole est d'autant plus favorisée dans cette région du Ghana que le coton s'y développe rapidement depuis le milieu des années 1980.

En région lobi, les agriculteurs sont également éleveurs. Pourtant les deux activités ne sont pas complémentaires, le bétail étant davantage perçu comme un bien de prestige que comme un outil de travail (Palé, 1980). Ceci explique le faible recours aux attelages pour le labour. Enfin, les Ghanéens ont une utilisation plus rationnelle des terres, adaptant les cultures aux situations topographiques. Ainsi, les céréales sont cultivées sur les hautes terres, les plantes à longues racines sont réservées aux zones de transition et, comme au Burkina Faso, le riz est pratiqué dans les fonds de vallée.

1.5. Les bas-fonds et les périmètres irrigués

Au Burkina Faso, la superficie irriguée ne représente que 1 % des terres cultivées. Au début des années 1990, elle couvrait 22 150 hectares sur 160 000 hectares de terres aménageables⁴¹ avec 15 750 hectares en maîtrise totale de l'irrigation et 6 400 hectares en maîtrise partielle. Les terres irriguées servaient à la production de riz sur 10 400 hectares, de canne à sucre sur 3 900 hectares, à l'arboriculture fruitière sur 3 700 hectares, au maraîchage sur 1 800 hectares (Ouattara, 1994), et à la culture du blé sur 350 hectares. Aujourd'hui, 32 000 hectares sont aménagés.

⁴⁰ La mécanisation a été introduite dans les années 1930 puis soutenue par un programme de vulgarisation et de crédit dans les années 1950. Parce que les risques de trypanosomiase y sont moins élevés, les trois provinces septentrionales ghanéennes regroupent aujourd'hui 99 % des bêtes de somme du pays (Bobobee, 2001).

⁴¹ Sur cette superficie, 125 000 hectares correspondent à des plaines, 21 000 hectares à des bas-fonds et 14 000 hectares à des terres en aval des barrages (Ouattara, 1994).

Au Ghana, les espaces irrigués, principalement localisés dans les trois provinces du Nord, représentent plus de 30 000 hectares. Les cultures, dominées par le riz et le maraîchage, y sont plus diversifiées qu'au Burkina Faso et elles intègrent le coton, le tabac ou encore davantage de céréales (CIEH, 1981).

Sur l'ensemble de la zone de recherche, les surfaces irriguées sont de trois types : les bas-fonds simples ou améliorés, les projets développés à partir des petits barrages et les grands périmètres irrigués. La différenciation repose non seulement sur la superficie de ces espaces irrigués mais aussi sur le niveau d'intensification culturale.

Les bas-fonds sont des zones topographiques basses, à fond plat ou concave, des vallons ou des axes d'écoulement temporaire et de drainage des eaux du bassin-versant, inondés pendant plusieurs jours ou semaines consécutifs. Ils possèdent des sols hydromorphes à pseudogley d'apport alluvial ou colluvio-alluvial (Sinaré, 2000).

Les bas-fonds étaient traditionnellement réservés au pâturage (Ouadba, 2000) mais, dans le contexte actuel de dégradation climatique, leur haute valeur agronomique et l'humidité que leur confère la convergence des eaux de surface et des écoulements hypodermiques attirent de plus en plus d'agriculteurs. Leur mise en culture a été rendue possible au Burkina Faso grâce au Programme d'aménagement des Voltas entrepris en 1973. L'assainissement des vallées de la Volta a favorisé un recul de l'onchocercose et a entraîné le déplacement et l'implantation de population le long du Fleuve (Zoungrana et al., 1996).

Dans l'ensemble de la zone d'étude, la mise en valeur des bas-fonds ne diffère qu'en fonction des influences climatiques.

1 - Dans le Nord du Burkina Faso, les pluies et les écoulements superficiels chargés d'alimenter les bas-fonds sont sporadiques. L'enneigement de courte durée limite la culture au maïs de variété hâtive et au maraîchage avec irrigation de complément et accroît la compétition entre éleveurs et agriculteurs pour l'usage des eaux et des ressources végétales (Lavigne-Delville et Camphuis, 1998).

2 - Au Sud du Burkina Faso et au Nord du Ghana, là où les précipitations excèdent 1000 mm par an, l'exploitation des bas-fonds en riz pluvial⁴² s'ajoute aux céréales précoces et au maraîchage de contre-saison* arrosé manuellement à partir des puisards qui doivent être recreusés chaque année après la décrue (Somé, 1982).

⁴² La culture du riz pluvial sans complément d'irrigation n'est possible qu'à partir de 800 mm de pluies (Dembele et al., 1999).

Les techniques de culture du riz pluvial, des céréales de variété hâtive, parfois associées au tabac (Tsigbey et al., 2002), ou du maraîchage sont semblables dans les quatre zones agro-géographiques précédemment définies. Le riz pluvial, pratiqué dans la zone topographique la plus sujette à l'engorgement⁴³, est planté sur sol labouré à la charrue et complété en matière organique avant d'être ennoyé. Malgré la compétition pour la main d'œuvre qui doit se partager entre la mise en valeur des bas-fonds et celles des autres parcelles, il bénéficie de beaucoup de soins pour le repiquage, le démariage et le désherbage des pieds.

Le maraîchage est pratiqué de la même façon que dans les jardins de case*.

La principale contrainte pour la mise en valeur des bas-fonds est l'absence de maîtrise du régime hydrologique qui entraîne des situations temporaires de stress hydrique ou, au contraire, d'engorgement. L'amélioration des bas-fonds consiste donc à édifier des aménagements pour éviter les inondations pendant l'hivernage* mais aussi pour retenir l'eau (Mercier-Quarshie, 2004) grâce à un système de diguettes ou de bourrelets de terre hauts de 50 cm (Palé, 1980) constituant des petites retenues d'eau en amont (Vermaat, 2004) ou formant un ensemble de casiers individuels (Lavigne-Delville et Camphuis, 1998).

Dans ces parcelles aménagées, les terres cultivées manuellement, sans intrants minéraux (Mercier-Quarshie, 2004) et avec trop peu de fumure organique reçoivent généralement une irrigation d'appoint. Le complément d'eau est apporté par un système gravitaire et permet le contrôle de la submersion.

Plus modernes et plus intensifs, les petits projets autour des barrages-réservoirs ou des barrages en terre ont été développés au cours des années 1950 (Gyasi, 1995) dans les régions septentrionales du Ghana, essentiellement dans l'Upper East (FAO, 2002) où ils sont gérés par les communautés villageoises (Obodaï et Teye, 2001). Au Burkina Faso, ils se développent depuis les années 1970, principalement sur le Plateau central (Triboulet, 1986). Les efforts pour le développement de la culture totalement ou partiellement irriguée ont été motivés par deux phénomènes simultanés : la péjoration du climat et la surexploitation des ressources consécutive de la croissance démographique (CIEH, 1981).

Avec une intensité culturale* moyenne de 160 % (Zida et al., 1997), les périmètres irrigués s'organisent en petites parcelles de culture et reposent sur la production de riz en double culture ou de riz et de maraîchage (Sally, 1994). Pendant la campagne de saison pluvieuse qui

⁴³ Ceci limite les possibilités de rotation culturale (Tsigbey et al., 2002).

de avril à octobre, les cultures reçoivent un complément d'irrigation ; pendant la campagne de saison sèche de novembre à mars, elles sont totalement irriguées.

Les petits périmètres irrigués étant mis en culture par la main d'œuvre familiale, les différentes opérations culturales de la campagne d'hivernage* sont souvent effectuées tardivement, après les travaux des champs céréaliers en culture pluviale auxquels les paysans donnent la priorité. En revanche, le maraîchage de contre-saison* bénéficie de la plus grande disponibilité de la main d'œuvre.

Dans ces espaces, la terre est généralement labourée à la charrue puis émottée. Cependant, la mise en boue et le planage sont rarement effectués comme ils devraient l'être (Ouattara et al., 1997). Les raies sont ensuite confectionnées à la main.

L'exhaure de l'eau se fait soit à l'aide de motopompes ou de pompes à pédales, soit à la main avec des arrosoirs, puis la conduite est effectuée en gravitaire par des canaux d'amenée et de distribution à la raie (Lemaitre, 1987). Le temps de remplissage dépend des débits de distribution, de la périodicité des arrosages et de paramètres stationnels – température moyenne mensuelle, évapotranspiration potentielle, taux d'humidité et texture du sol – (Durand, 1983).

Les principales opérations culturales diffèrent ensuite selon les cultures avec, pour le riz pratiqué en hivernage* et éventuellement en double campagne de saison sèche, un repiquage à partir des pépinières, un apport d'urée puis un désherbage manuel (Ouattara, 1997) et pour le maïs, un semis et quelques sarclages.

Au moment de la récolte, les tiges sont coupées à ras et les pailles ramassées sont données au bétail.

La culture des oignons, tomates, aubergines, carottes, haricots verts, choux, piments, du gombo ou de l'ail est réalisée sur billons ou sur planches et elle est complémentée en matière organique (Ouattara et al., 1997). Le désherbage manuel est très soigné.

Les récoltes débutent en mars mais s'étalent dans le temps en fonction des types de légumes et de leur écoulement sur les marchés. Les légumes à feuilles tels que l'oseille ou le chou ont un cycle plus court que les carottes, les aubergines ou les tomates, leur production est moins risquée et leur vente, compte-tenu des pratiques alimentaires, mieux assurée (Moustier et David, 2001).

Les grands périmètres irrigués – Bam, Bagré, Sourou, Kou, Dem, Tono, Zuarungu... – sont de vastes espaces de culture intensive destinés à dégager des revenus monétaires grâce à des cultures de rente mais aussi à assurer la sécurité alimentaire grâce à la production rizicole

et céréalière. Hormis les deux cas particuliers de la vallée du Sourou, en partie cultivée en blé, et du périmètre exclusivement réservé à la canne à sucre de la Société sucrière de la Comoé près de Banfora dans le Sud-Ouest burkinabé, ce sont des aires de culture du riz en double campagne ou de riz d'hivernage* et de maraîchage de contre-saison*.

Ces périmètres sont dotés d'une gestion et d'un encadrement propres qui fonctionnent sur la base de l'irrigation en maîtrise totale grâce à des pivots ou à des rampes d'aspersion, dans le cas du blé, du maïs ou de la canne, grâce à un système de pompage puis de distribution par gravité dans les parcelles en amont des retenues ou grâce à l'irrigation gravitaire par submersion dans les périmètres rizicoles et maraîchers en aval des barrages (Triboulet, 1986). Après l'aménagement des terres – ripage, planage, terrassement, construction de canaux – par des sociétés spécialisées, les parcelles sont mises en valeur de manière très intensive et rationnelle, surtout les parcelles d'exploitation collective⁴⁴ pour lesquelles les exploitants et les salariés agricoles sont guidés et surveillés.

Après un labour réalisé au tracteur, les parcelles collectives sont enrichies en engrais de fond NPK épandu à l'aide d'un déverseur tracté puis elles sont ensemencées. De l'urée est apportée dans les eaux d'irrigation⁴⁵ en trois fois, au cours des troisième, cinquième et septième semaines après les semis.

Les récoltes sont effectuées à la moissonneuse batteuse (Zan, 2006).

Dans les champs des périmètres irrigués cultivés de façon individuelle, chacun est libre de ses cultures, de son calendrier et de ses techniques. Les pratiques agricoles sont moins intensives car, d'une part, l'usage des tracteurs n'y est pas généralisé et, d'autre part, les apports d'engrais minéraux et d'urée sont légers.

Dans ces parcelles irriguées gravitairement, les coopératives organisent la distribution de l'eau et les exploitants ont généralement un tour d'eau tous les trois à cinq jours ; à eux de faire en sorte d'irriguer l'ensemble de leurs cultures (Zan, 2006).

Comme pour la mise en valeur des petits projets ou l'exploitation des bas-fonds, les cultures irriguées d'hivernage* imposent une forte pression sur la main d'œuvre car elles entrent en compétition avec les cultures pluviales. Ces dernières restent privilégiées par les exploitants car elles leur procurent les ressources alimentaires de base (Rigourd et al., 2002).

Dans les périmètres irrigués, quelle que soit leur taille, l'origine de l'eau – nappe phréatique, lac ou fleuve – ne modifie pas les pratiques culturales. En revanche, elle fait varier

⁴⁴ Dans le cas de la vallée du Sourou, il s'agit uniquement des parcelles cultivées en blé (Zan, 2006).

⁴⁵ Des aménagements sont édifiés pour drainer l'eau excédentaire qui est ensuite recyclée (Zan, 2006).

les systèmes de prélèvement et d'amenée de l'eau, le mode éventuel de stockage, la qualité de l'eau, sa disponibilité et, de fait, les quantités apportées lesquelles dépendent également de la capacité de stockage et de la pérennité ou non des retenues (Triboulet, 1986). Par ailleurs, l'origine de l'eau peut introduire une contrainte dans sa gestion, non seulement à l'échelle locale avec la compétition⁴⁶ entre ses différents usages – cultures céréalières ou rizicoles pluviales avec irrigation d'appoint, cultures maraîchères et rizicoles totalement irriguées, élevage⁴⁷, usage domestique... – mais aussi à l'échelle nationale et internationale, en application des accords pour le partage des eaux. Afin d'éviter les conflits et d'harmoniser les politiques nationales en matière de gestion des ressources en eau du bassin, une instance de gestion commune du bassin de la Volta a été créée début 2007 par les six pays qui se partagent le bassin.

Conclusion

L'ensemble de l'espace géographique étudié se caractérise par une agriculture vivrière principalement pluviale, pratiquée de manière continue, manuellement à l'aide d'outils rudimentaires, sans intrants minéraux et avec un minimum de travail.

Il existe toutefois des nuances dans les itinéraires techniques selon l'appartenance ethnique des exploitants, leurs droits fonciers et forestiers, la législation en vigueur, la place accordée aux cultures de rente, la pression foncière, la pluviométrie ou les caractéristiques topographiques et pédologiques. Ces facteurs ont une influence particulière sur la place de l'élevage, sur le niveau d'équipement des exploitations et, par suite, sur les techniques agricoles, sur la pratique de la jachère ou encore sur le choix des cultures. Ils permettent de distinguer quatre zones.

1 - La première, dans le Nord-Ouest burkinabé, se caractérise par la place accordée à l'élevage qui s'intègre dans des systèmes de culture traditionnelle reposant sur la production de mil.

2 - La deuxième, couvrant les provinces occidentales du Burkina Faso, se distingue par l'introduction du coton dans les exploitations, favorisant ainsi la diffusion de la mécanisation et une relative intensification des pratiques, la culture permanente sans remise en jachère s'étendant sur la majorité des terres.

⁴⁶ Les prélèvements spontanés et informels dans les barrages ou le long des canaux sont un facteur de compétition supplémentaire (Dioma et al., 2003).

⁴⁷ Les besoins en eau pour l'approvisionnement, variables dans le temps, sont maximaux en début de saison sèche, le long des aires de parcours (Triboulet, 1986).

3 - La troisième zone correspondant au Plateau mossi, aux provinces du Sud-Est du Burkina Faso et au Nord-Est ghanéen. Elle est caractérisée par la culture traditionnelle et manuelle de sorgho associé à des légumineuses* telles que le niébé*.

4 - La quatrième, enfin, située dans le Sud burkinabé et sur l'Upper West ghanéen, se différencie par la complémentarité entre la culture des tubercules et celle des céréales, pratiquée sur des sols enrichis en matières végétales.

A ces quatre sous-régions s'ajoutent les cas particuliers des bas-fonds et des périmètres irrigués qui répondent à des logiques propres : maîtrise de l'aléa climatique, culture intensive en double campagne, meilleur niveau de technicité.

2. Conséquences de ces pratiques sur la productivité et la durabilité de l'agriculture

Les pratiques culturales dans le cadre de l'agriculture pluviale ou irriguée et les activités d'élevage sont variables selon les zones agro-géographiques et elles ont des effets d'autant plus nuancés sur les rendements et l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des sols qu'elles se combinent dans des cycles cultureux complexes. Elles conditionnent en partie le niveau de fertilité des sols et l'efficience des eaux disponibles localement sur la productivité. Il convient donc d'étudier les conséquences des différents types de techniques agricoles mises en œuvre dans le bassin de la Volta, au Burkina Faso et au Ghana, afin de déterminer quelles sont les pratiques productives ou improductives et quelles sont celles bénéfiques ou néfastes pour la préservation des sols.

Ceci permettra de dresser l'état des lieux actuel de la dégradation environnementale.

2.1. Le rôle de l'élevage dans les activités agricoles

La diffusion de la mécanisation stimule l'acquisition de bétail⁴⁸ par les agriculteurs. L'activité d'élevage est menée en complément de l'activité agricole, au sein de l'exploitation⁴⁹, et elle accroît la disponibilité en matière organique ce qui, par suite, est bénéfique pour les sols.

Les animaux peuvent être laissés en divagation ou parqués, le parcage au champ étant plutôt le fait des agriculteurs que des éleveurs (Petit, 2000). Après les récoltes, de décembre à avril, les animaux sont mis en pâture sur les parcelles pour brouter les résidus de culture. Le passage et le piétinement des animaux dans les parcelles est nécessaire pour modifier l'état de surface des sols et hacher les pailles ce qui facilite leur décomposition biologique (Bosma et al., 1997). Lors du parcage en enclos, ils enrichissent le sol de leurs déjections ce qui permet la production de terre de parc.

Associé à un paillage*, le dépôt dans les champs de fèces* et d'urines riches en azote⁵⁰ et en potassium entraîne une hausse du taux de phosphore disponible dans le sol (Landais et

⁴⁸ Les chiffres concernant le cheptel – animaux d'élevage et animaux de trait – sont donnés par province. De ce fait, il est difficile de préciser le nombre d'animaux par exploitation dans les différentes zones agro-géographiques du Burkina Faso et du Ghana.

⁴⁹ Les contrats de confiage* du bétail aux éleveurs peuls tendent à disparaître et les animaux sont gardés par les enfants à proximité du village ou parqués sur les parcelles, selon les saisons.

⁵⁰ 50 % de l'azote contenue dans les urines est immédiatement perdue par volatilisation de l'ammoniac (Sangaré et al., 2001).

Lhoste, 1993) et une augmentation du pH, luttant ainsi contre l'acidification des sols (Sangaré et al., 2001). De plus, le passage des résidus végétaux dans le tube digestif des animaux favorise la fragmentation et la décomposition partielle de la matière organique ainsi que la libération des éléments nutritifs. Il en résulte une amélioration significative de la production de biomasse et notamment de la production en grains qui double par rapport aux parcelles témoins non encloses (Sangaré et al., 2001). Le bétail accroît donc la disponibilité en ressources alimentaires.

Toutefois, une production de poudrette* satisfaisante, de l'ordre de 2 t/ha/an, suppose d'enfermer quatre têtes de bétail pendant la contre-saison* agricole (Tersiguel, 1995). Or, les agriculteurs n'ont pas toujours assez d'animaux surtout dans les régions du Plateau central, de l'Est et du Sud-Ouest burkinabé où l'élevage est peu développé et où, faute de mécanisation, les animaux de trait sont peu nombreux.

De plus, bien que les troupeaux soient de petite taille, les agro-pasteurs et les éleveurs ont des difficultés pour nourrir leurs animaux. Les ressources fourragères – résidus de culture après récolte ou pâturages naturels – sont insuffisantes (Serpantié et Ouattara, 2001), surtout en saison sèche où les herbacées rares et desséchées sont peu appréciées (Petit, 2000).

Le développement de l'élevage accroît encore la surcharge pastorale, d'où un surpâturage qui fragilise les sols en réduisant le couvert végétal le long des aires de parcours et hypothèque les possibilités de revégétalisation, surtout dans la zone sahélienne. Sur ce point, il semble nécessaire de faire des études plus fines pour évaluer le rôle et la part du surpâturage dans la dégradation de la surface du sol et dans l'épuisement des ressources naturelles par rapport aux données climatiques – péjoration et caractère aléatoire des pluies – et à la mise en culture. Ces aspects sont d'autant plus importants à aborder que l'accroissement du cheptel, en particulier des animaux de trait, entraîne une extension des emblavures et une réduction des pâturages.

L'élevage entre donc à part entière dans les systèmes de culture avec des animaux fournissant à la fois la force de traction et la fumure pour les sols (Veihe, 2000) mais l'équilibre peut être fragile entre la pression supplémentaire qu'il implique sur le milieu et les avantages qu'il procure.

2.2. Les conséquences des pratiques exclusivement traditionnelles

Les pratiques traditionnelles s'inscrivent dans un itinéraire technique complexe et elles sont difficilement dissociables les unes des autres. Pour en saisir les conséquences, il convient

d'évaluer préalablement les effets de chacune des pratiques afin de comprendre leur place dans un processus plus global de modification de l'équilibre environnemental et de déterminer dans quelle mesure ces pratiques peuvent remettre en cause la durabilité de la production agricole.

◆ *Le brûlis*

Première étape du cycle cultural, le **nettoyage du champ** passe par un défrichage avec une coupe manuelle des herbes et des branchages qui préserve quelques souches et arbres utiles (Annexe 1) et qui, de fait, ne perturbe en rien le réseau racinaire ou les horizons superficiels du sol (Roose, 1985).

Les résidus sont ensuite brûlés. D'après des études menées dans les savanes burkinabé et ivoiriennes, le feu détruirait alors 80 à 90 % de la matière végétale (Bertrand et Gigou, 2000) qui s'est nourrie des éléments nutritifs du sol qui n'y retournent donc pas. L'azote se volatilise et les cendres sont dispersées par le vent ou les eaux de ruissellement au lieu d'enrichir le sol (Dabré, 1997). De plus, le feu cuit superficiellement le sol dont l'état de surface se trouve modifié. Il en résulte une réduction de la porosité qui provoque une augmentation du ruissellement et de l'érosion (Serpantié et Ouattara, 2001). Toutefois, le brûlage peut être favorable lorsqu'il se fait en tas avec épandage et enfouissement des cendres au cours du labour (Bertrand et Gigou, 2000). Dans ce cas, les cendres riches en potasse constituent des apports basiques qui permettent de redresser le pH et de lutter contre l'acidification (Serpantié et Ouattara, 2001).

Il faut également préciser que l'impact du défrichage et du brûlis varie selon le moment où ils sont effectués et selon le temps laissé à la végétation pour recoloniser la surface du sol avant le début de la saison pluvieuse. Ainsi, des mesures effectuées à Gonse au Burkina Faso ont montré que les feux tardifs qui dénudent les sols juste avant les premières fortes pluies portent le ruissellement de 0,3 à 15,3 % des pluies annuelles et décuplent les pertes solides de 33 à 344 kg/ha/an, même sur une pente très faible, de l'ordre de 0,5 % ; des feux précoces n'ont donné un coefficient de ruissellement que de 2,6 % et des pertes en terres de 147 kg/ha/an (Roose, 1992).

L'érosion éolienne est rarement évoquée dans l'espace étudié. Elle existe pourtant, en particulier dans la zone sahélienne⁵¹. A l'échelle de la parcelle (Roose, 2004), elle se traduit par des pertes en terre qui peuvent être accrues par un nettoyage précoce. Le brûlis a un

⁵¹ Le vent cesse d'avoir des effets désastreux au-dessus de 700 mm de précipitations annuelles (Mainguet, 1995. *L'homme et la sécheresse*, Masson, 335 p).

impact considérable sur le bilan de masse des sédiments de l'horizon superficiel : le bilan est négatif⁵² sur les surfaces brûlées avec des flux éoliens de particules qui se concentrent surtout aux mois de mai et de juin sur les sols encore nus (Biielders et al., 2004).

◆ *Le semis direct*

Après le brûlis, les sols sont ensemencés⁵³ directement. Adopté faute de main d'œuvre, de temps ou de matériel, le **semis direct** a l'avantage de protéger le sol contre les effets du splash, de préserver le taux d'humidité, de ne pas perturber l'activité de la mésofaune et de gagner du temps lors de la préparation (Ekboir et al., 2002). La scarification en sec* qui permet l'infiltration des premières pluies a pour effet d'améliorer l'efficacité des eaux reçues (Somé, 1989) et aussi de freiner le ruissellement tout en limitant sa capacité de charge (Boli et al., 1991). Mais, si le travail minimum du sol associé à un paillage* est une des techniques les moins dévastatrices, elle est aussi peu productive, ce qui est incompatible avec le nécessaire développement de la production alimentaire. Par ailleurs, le semis direct, comme le grattage superficiel, ne permet pas d'enfouir et de garder dans le sol la matière organique ou le fumier (Barro et al., 2005).

◆ *Les associations culturales*

Les **cultures associées ou intercalaires**⁵⁴ traditionnelles (cf. *supra* 1.1., 1.3. et 1.4.) ont de multiples effets bénéfiques.

Tout d'abord, elles permettent un gain de temps lors des opérations culturales et donc une meilleure gestion de la main d'œuvre pendant la pleine saison agricole (Kaboré et al., 1995).

Elles offrent un moyen de diversification et de stabilisation des ressources alimentaires (Kranjac-Berisavleivic et al., 1998).

Ensuite, les cultures associées offrent une meilleure couverture de la surface du sol, notamment lorsqu'elles mêlent une céréale comme le sorgho avec des plantes rampantes comme le niébé*.

⁵² Le bilan n'est toutefois négatif qu'à l'échelle de la parcelle. A l'échelle du versant et même du terroir, il y a redistribution des sédiments (Roose, 2004). Le délestage peut se faire à proximité des aires de départ lorsqu'une pluie suit immédiatement l'épisode venteux (Da, 2004).

⁵³ Les semis peuvent débuter mi-mai dans le Sud-Ouest où des cycles végétatifs de 130 jours sont possibles. Ils sont réalisés dans la deuxième quinzaine de juin dans la zone cotonnière, le Plateau central et l'Est tandis qu'ils ne sont effectués qu'après le 1^{er} juillet dans la zone sahélienne (Somé, 1989).

⁵⁴ Ces cultures peuvent être de différents types : 1/ mixtes, sans arrangement distinct de lignes, 2/ en lignes ou en bandes alternées ou 3/ en relai avec chevauchement pendant une partie de leur cycle de culture (Kranjac-Berisavleivic et al., 1998).

Elles constituent ainsi une protection contre l'agressivité des gouttes de pluie qui se trouve réduite de 36 % (Mietton, 1986) et entraînent une diminution des pertes en eau, en terres⁵⁵ et en éléments nutritifs par le ruissellement (Maatman et Schweigman, 1995). Les légumineuses* améliorent même le bilan minéral puisqu'elles ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique dans le sol (Djiguembé, 1988). De plus, la couverture du sol assurée par le niébé* ou les doliques maintient l'humidité du sol ce qui permet aux cultures céréalières de résister aux éventuels épisodes de sécheresse* et diminue le risque de mauvaises récoltes (Zougmoré et al., 1998).

Par ailleurs, un semis décalé des cultures permet une meilleure utilisation des ressources en eau par un étalement des prélèvements (Da, 2004). D'après des expérimentations menées au Niger, les rendements sont plus élevés si les exploitants utilisent des variétés à cycle court et si le niébé* est semé 14 jours après le sorgho ou le mil. Ainsi, il n'affecte pas les rendements de la céréale et donne des rendements de 1340 kg/ha⁵⁶ (Soumana et Chandra, 1987).

Enfin, les cultures associées diminuent les risques d'attaques parasitaires, de maladies et de colonisation par des adventices (Kranjac-Berisavlejcic et al., 1998).

Cas particulier d'association, la **culture sous parc** (Annexe 1) a, elle aussi, un impact globalement bénéfique en dépit de quelques méfaits selon les essences arborées.

Les racines des arbres structurent le sol et remontent les éléments nutritifs qui ont été drainés sous le niveau que peut atteindre le système racinaire des céréales ou des légumineuses*. Ils ont, de ce fait, un rôle fertilisant, rôle accru dans les horizons superficiels par la décomposition des feuilles tombées (Veihe, 2000).

Par ailleurs, le maintien des arbres dans les champs de culture permet la constitution de niches écologiques propices au développement de nombreuses espèces graminéennes, comme *Andropogon gayanus*, dont la régénérescence sera facilitée lors de la mise en jachère (Serpantié et Ouattara, 2001). Ceci s'explique par le fait que le bilan organo-minéral est meilleur sous les arbres, grâce à la réduction de l'érosion⁵⁷ et à l'augmentation de la litière, et ce d'autant plus que les arbres sont vieux. Serpantié et Ouattara (2001) notent une hausse de 50 % du taux de matière organique sous parc à karités et à nérés.

⁵⁵ Des mesures montrent que l'association sorgho-niébé* réduit presque autant les pertes en terre qu'un paillage*, la quantité de terre exportée par le ruissellement étant respectivement de 2,9 t/ha et de 1,4 t/ha alors qu'elle atteint 16,5 t/ha en culture de sorgho seul après labour (Zougmoré et al., 1998).

⁵⁶ Après ce délai, chaque semaine de retard du semis de la légumineuse* cause une perte de rendements d'environ 33 % (Soumana et Chandra, 1987).

⁵⁷ La frondaison réduit l'impact des gouttes de pluie ce qui est particulièrement bénéfique sur les sols encore nus (Baldy, 1986).

De plus, les feuilles forment un mulch qui améliore la rétention de l'humidité du sol et réduit l'évaporation, surtout les feuilles de karité qui contiennent des substances cireuses ralentissant leur décomposition (Robins, 1994).

Cependant, à l'exception des espèces qui perdent leurs feuilles en saison des pluies comme *Acacia albida*, les arbres créent, sous leur houppier, un micro-environnement ombragé et humide défavorable au développement des cultures.

◆ *Le sarclage*

Le **sarclage** qui est ensuite pratiqué manuellement est bénéfique car il permet non seulement de désherber mais aussi de briser les indurations pelliculaires de surface et de régénérer la porosité des horizons superficiels (Bertrand et Gigou, 2000). Les herbes adventices laissées en place dans les sillons constituent une protection de la surface du sol. En revanche, ils ont peu d'influence sur la fertilité car les matières vertes ont un coefficient d'humification proche de zéro⁵⁸ (Boyer, 1977).

◆ *L'assolement biennal ou triennal*

D'une année sur l'autre, les cultures sont pratiquées en **rotation**. Cela permet de limiter les attaques parasitaires et les ravageurs et de ralentir la baisse de fertilité minérale et organique des sols (Sément, 1986). Cette pratique est d'autant plus nécessaire que la jachère tend à disparaître ou à être écourtée et qu'elle n'est pas compensée par des apports suffisants en matière organique. Il en résulte une dégradation des propriétés physico-chimiques des sols (Somé, 1982) et une augmentation de l'instabilité structurale qui s'accompagne d'une plus grande vulnérabilité à l'érosion et au ruissellement (Boli et al., 1991). Nous reviendrons sur les méfaits de la culture continue lorsque nous aborderons les conséquences de la modernisation des pratiques agricoles et de l'intensification des cultures (cf. *infra* 2.3.).

Pour conclure, les itinéraires techniques reposant exclusivement sur des pratiques traditionnelles et manuelles comme il en existe encore sur le Plateau central ou dans le Sud-Ouest burkinabé ont des conséquences globalement plutôt bénéfiques ou neutres sur l'environnement, tant en terme de fertilité que de vulnérabilité des sols aux mécanismes d'érosion.

⁵⁸ A titre de comparaison, le coefficient d'humification des matières sèches telles que les pailles est de 15 %.

Toutefois, elles sont assez peu productives et ne permettent pas de garantir les rendements stables et élevés nécessités par la forte croissance démographique⁵⁹ dans une situation de saturation foncière. Si ces itinéraires techniques pris dans leur globalité ne conviennent pas dans le cadre d'un développement durable de la production agricole, quelques unes des pratiques comme les associations culturales avec légumineuses* doivent être adoptées et adaptées aux exigences actuelles de productivité et de préservation du capital environnemental.

Notons que les conséquences des pratiques traditionnelles – semis à la volée, semis en sec*, semis direct, grattage superficiel du sol à la *daba**, sarclage manuel avec abandon sur place des adventices – en terme de productivité et de réduction du ruissellement ou des pertes en terre mériteraient d'être davantage évaluées pour déterminer dans quelle mesure elles peuvent s'intégrer dans un système agricole productif et durable.

2.3. L'impact de l'intensification des cultures

Dans les provinces où elles sont mises en œuvre, les pratiques culturales modernes ne sont pas généralisées à l'ensemble des exploitants ou des parcelles, pour une campagne agricole donnée. Mais, comme elles s'intègrent dans les cycles culturaux et dans les assolements par le biais de la rotation culturale, leurs effets sur les dynamiques environnementales concernent l'ensemble des terres des finages.

Parce qu'elles témoignent d'un changement et d'un progrès, ces pratiques sont davantage étudiées que les pratiques traditionnelles. Aussi, leurs conséquences sur la productivité et la durabilité de l'agriculture à travers les mécanismes de dégradation des sols sont mieux connues.

Comme pour les pratiques manuelles, les effets de chacune des pratiques modernes sur les rendements et sur le comportement des sols vont être présentés sans perdre de vue que les différentes opérations s'intègrent dans un itinéraire technique global.

◆ *Le défrichement avec dessouchage*

Dans les systèmes de culture moderne et mécanisé, le passage des charrues attelées implique un défrichement plus poussé que celui pratiqué pour la culture manuelle. Il se traduit

⁵⁹ D'après la FAO, les productions vivrières augmentent, en Afrique subsaharienne, de 2 % par an alors que la population s'accroît simultanément au rythme annuel de 3 % par an d'où une diminution de la disponibilité alimentaire par habitant (Parent et al., 2002).

généralement par la **suppression des souches et des arbres**. Tout défrichage cause un déséquilibre du sol mais selon son degré et le système cultural qui lui succède, les effets peuvent être accrus, les cas extrêmes étant ceux d'un défrichage radical et brutal, suivi d'une culture intensive parfois inadaptée à l'environnement local.

Dans cette situation, "*les horizons humifères sont décapés, il ne reste qu'une masse minérale encroûtée, compacte, inerte, presque stérile*" (Roose, 1985) tels que les *zipellés**. Le défrichage total a des conséquences à moyen et long terme puisqu'il interrompt le cycle de fertilisation des sols auxquels les matières végétales et les éléments nutritifs ne sont plus restitués.

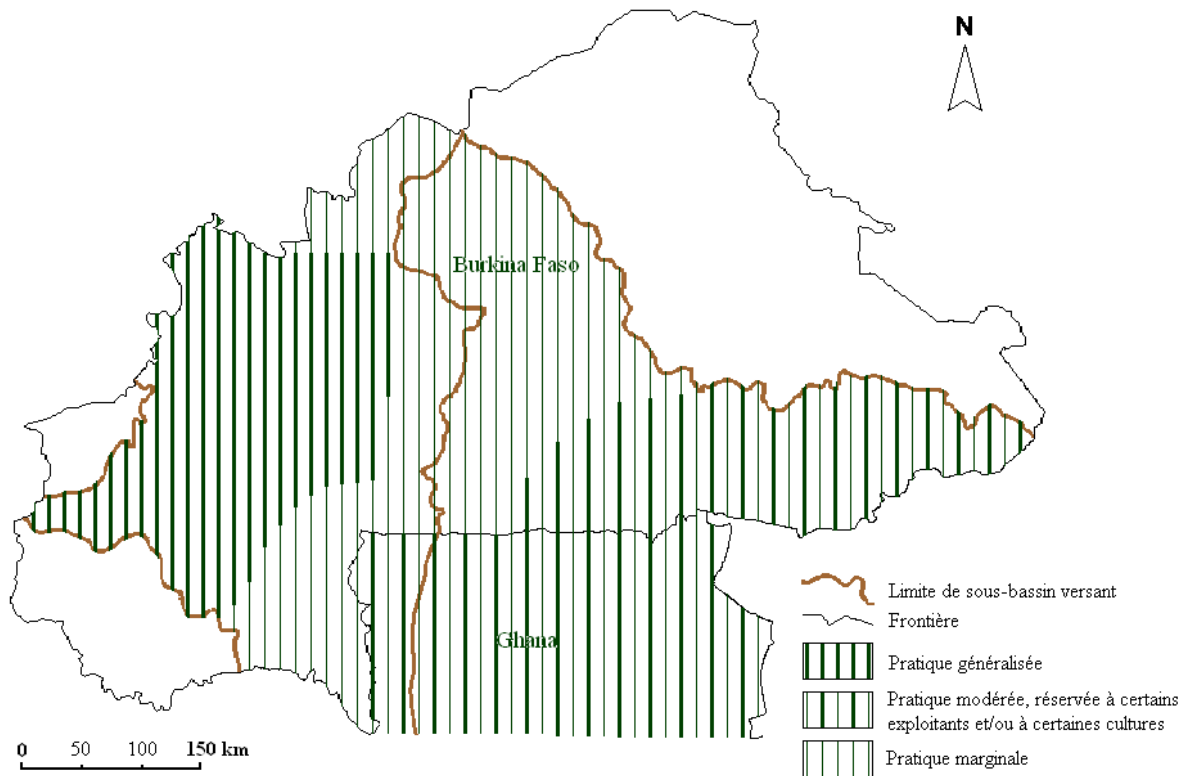
En outre, il a des effets néfastes à court terme par la dégradation des horizons superficiels qu'il occasionne. Il s'en suit une décroissance du taux de matière organique et une diminution du stock d'éléments nutritifs qui peuvent aboutir à une acidification du sol tandis que l'érosion sélective favorisée par la destructuration du sol entraîne un appauvrissement en particules fines (Roose, 1985).

Les défrichements mécanisés sont d'autant plus dévastateurs qu'ils arrachent le réseau racinaire assurant la charpente du sol et, de fait, sa stabilité, qu'ils décapent les horizons humifères et qu'ils pulvérisent les horizons superficiels tout en tassant les horizons inférieurs. De plus, ils s'accompagnent d'un dessouchage total qui donne naissance à de vastes trous, ou mouillères, qui ne sont pas comblés, même au cours des opérations d'aplanissage. Non seulement le dessouchage complet supprime le pourrissement des souches qui aurait pu enrichir le sol en matière organique mais il supprime aussi les rejets qui se développent normalement sur les souches et qui sont favorables à la régénérescence lors de la mise en jachère (Peltre-Wurtz, 1984).

◆ *Le labour attelé*

Après le défrichage poussé des parcelles, leur mise en culture moderne passe par la **mécanisation** (Figure n°3) et par l'**intensification** de certaines opérations agricoles. Ceci a des conséquences directes – par le labour, la monoculture, le buttage*, l'usage d'engrais minéraux et de traitements phytosanitaires – et indirectes – par l'extension des emblavures et la suppression de la jachère – sur les dynamiques environnementales, affectant du même coup les rendements.

Figure n°3 : Pratique de la culture mécanisée dans les régions burkinabé et nord-ghanéennes du bassin de la Volta



La mécanisation ainsi que le labour attelé sont lourds de conséquences sur les sols, particulièrement sur les sols légers facilement déstructurés et lessivés (Charrière, 1984) tandis que les terres argileuses et humidifiées résistent mieux, surtout si elles sont riches en humus. Ainsi, les sols des bas-fonds et des bas-glacis, comme les vertisols ou les sols hydromorphes sont moins affectés que les sols ferrugineux remaniés sur matériaux sableux et gravillonnaires issus du démantèlement des cuirasses de glaciaires. Le passage de la charrue engendre une augmentation de la mobilité des éléments minéraux tels que Ca, Mg ou K d'où une réduction des bases échangeables et un appauvrissement des sols. Déjà en 1977, Boyer précisait qu'après 15 ans de culture mécanisée, les pertes atteignent 50 à 60 % soit le taux obtenu à l'issue de 80 années de culture manuelle traditionnelle à jachère.

D'un point de vue mécanique, les conséquences de la culture attelée diffèrent peu de celles des outils manuels puisque certaines opérations, comme l'émottage ou le sarclage, sont identiques. Cependant, les impacts sont accrus car la puissance mise en jeu est nettement supérieure et elle s'applique sur des parcelles qui sont totalement dessouchées, ou presque.

En outre, la mécanisation engendre une mise en culture plus longue pour rentabiliser les opérations de défrichement poussé, voire radical, et elle s'accompagne d'autres pratiques d'intensification comme la fumure minérale, dans le but d'accroître les rendements et de tirer le meilleur profit des investissements concédés en temps, en énergie et en matériel (Boyer, 1977).

En conséquence, la mécanisation fait apparaître des modifications structurales négatives sur les sols, perturbations qui vont de pair avec une élévation de l'indice d'instabilité structurale⁶⁰ et qui augmentent la vulnérabilité des sols face à l'érosion.

Le **labour**, indissociable de la mécanisation, a des conséquences variables selon sa date de réalisation⁶¹, ses modalités et la nature des sols.

Ainsi, en ameublissant la couche arable, le labour apparaît tout d'abord comme une opération culturale favorable à la circulation verticale de l'eau, à l'amélioration de la rugosité de surface et à l'aération du sol, ce qui ralentit ou limite le ruissellement potentiel (Sément, 1986).

Ameubli, le sol permet un meilleur système d'enracinement des végétaux grâce à une progression plus rapide du front racinaire d'où un réseau plus dense et une plus grande colonisation du sol (César et Coulibaly, 1990). Ceci conduit à une meilleure exploitation de l'eau et des nutriments et se traduit par une hausse des rendements (Barro et al., 2005).

Les effets du labour sont avantageux encore s'il s'accompagne de l'enfouissement d'une fumure organique profitable à la structure ou au système poral du sol et indispensable pour que les bienfaits du labour soient durables (Ouattara et al., 1998).

Enfin, ils sont bénéfiques lorsque le labour est grossier, complété par un simple émottage, ce qui évite ainsi de rendre les sols pulvérulents.

Pourtant, dans le même temps, le labour est néfaste et ce, quelle que soit sa profondeur. Le labour profond ou "rooting" dû à l'utilisation d'équipements inadaptés aux conditions pédologiques locales désagrège le sol sur une profondeur de 20 à 25 cm (Bertrand et Gigou, 2000). En deçà de la profondeur atteinte par les outils aratoires, se forme une semelle de labour⁶² compacte, lisse et imperméable (Some, 1982) qui génère une discontinuité

⁶⁰ L'indice d'instabilité structurale excède 1 dès la quatrième année de culture, avec pour conséquences l'apparition d'un glaçage superficiel, d'une réduction de la porosité et d'une augmentation du taux de ruissellement (Boyer, 1977).

⁶¹ Effectué en fin de cycle, il modifie l'état physique du sol et améliore la capacité de rétention en eau (Charrière, 1984).

⁶² Un sous-solage (Dakouo, 1998) ou même un simple ameublissement de cet horizon par émottage suffirait à limiter les conséquences néfastes (Boyer, 1977).

hydraulique et un engorgement temporaire du sol (Roose, 1985). Dans l'horizon brassé, il accélère le lessivage et l'érosion, ce qui peut stériliser le sol après seulement deux ou trois campagnes culturales, d'autant que l'érosion est accrue dès 0,5 % de pente (Charrière, 1984). En outre, il expose les matériaux profonds à la battance puis réduit la cohésion et la résistance du sol.

Enfin, il dilue la matière organique et surtout, l'enfouit par paquets dans les horizons plus profonds où les conditions anaérobiques sont défavorables à son évolution.

Cependant, dans les faits, le labour est souvent très superficiel, n'égratignant que la surface du sol (Doamba, 2006), ce qui s'explique par la faible puissance musculaire⁶³ des animaux au sortir de la saison sèche et par le passage trop rapide de la charrue (CIEH et al., 1985). Il pulvérise alors la terre sur quelques centimètres, la rendant facilement exportable par les pluies. La période d'érodibilité maximale dure jusqu'à ce que les semis constituent une couverture suffisante pour protéger le sol.

A ces effets néfastes, s'ajoute le manque de durabilité des conséquences positives.

Les labours répétés assèchent progressivement le sol par une réduction de la capacité de stockage des eaux de pluie suite à la baisse de la teneur en colloïdes (Roose, 1985). La multiplication des labours aboutit finalement à désorganiser la structure et à la rendre instable. Ainsi, des mesures effectuées dans le Nord du Cameroun ont montré que, sur parcelles labourées non protégées, 95 % des pluies ruissellent (Boli et al., 1993) et les pertes en sol sont presque doublées⁶⁴ par rapport à la culture manuelle (Neboit, 1991). Par ailleurs, une seule pluie, de 40 mm au moins, suffit à effacer toute trace de labour (Boli et al., 1991).

Un labour bien conduit et bénéfique ne peut reposer que sur :

- 1** - l'utilisation d'un **matériel adapté**, un matériel léger dans le cas des sols tropicaux, ce qui suppose la vulgarisation des araires et la mise en place d'un système de crédit,
- 2** - l'enfouissement simultané de **matières organiques** – fumier ou résidus de culture –, ce qui implique une grande disponibilité en ressources végétales pour couvrir les usages domestiques, l'alimentation du bétail et l'enrichissement des parcelles,
- 3** - la réalisation d'un **travail soigné**, en prenant le temps de retourner la terre en profondeur et en la travaillant perpendiculairement à la pente principale, ce qui suppose

⁶³ En fin de saison sèche, les animaux ont perdu 20 % de leur poids (Bosma et al., 1997).

⁶⁴ Les pertes en sol sont estimées de 1 à 6,5 t/ha en culture manuelle, de 2,5 à 10 t/ha en culture mécanisée alors qu'elles ne sont que de 0,02 à 0,4 t/ha dans les savanes arbustives (Neboit, 1991).

d'avoir des bœufs bien nourris, de respecter le calendrier cultural et d'avoir reçu une formation professionnelle,

4 - et la réalisation d'un **sous-solage** complémentaire pour éviter la formation d'une semelle de labour.

Faute de prendre ces précautions nécessaires, le labour devrait être réservé, en zones sahéliennes à nord-soudaniennes, aux sols argileux, comme ceux des bas-fonds.

◆ *La culture pure*

Après le labour, le coton, les céréales et les tubercules sont semés en **culture pure**, en poquets* et en lignes. La monoculture a été adoptée pour répondre aux exigences des traitements phytosanitaires spécifiques mais elle favorise la prolifération de maladies ou les attaques parasitaires comme le *Striga heimanthea* ou le *S. gesneriodes* sur les céréales et l'*Eragrostis tremula* sur le cotonnier (Silvie et al., 1993).

En outre, les semis en lignes ne confèrent pas au sol un bon taux de couverture, ce qui le rend sensible aux manifestations de l'érosion et du ruissellement. La sensibilité est d'autant plus grande que le développement des végétaux est lent : à titre d'exemple, le manioc met près de 6 mois à couvrir le sol à 80 % (Roose, 1985). Or, lorsqu'il est planté sur sol labouré comme c'est le cas dans quelques zones du Sud-Ouest burkinabé ou de l'Upper West ghanéen, il laisse pendant quelques semaines le sol nu et déstructuré par le passage de la charrue, soumis à l'agressivité des pluies.

◆ *Le buttage**

Les lignes de culture sont buttées, généralement à la main bien que l'opération tende à se mécaniser. Les conséquences du **buttage*** sont variables. Elles sont bénéfiques lorsque cette opération s'accompagne d'un binage ou d'un sarclage qui détruit les pellicules superficielles (Boli et al., 1991). Elles le sont également lorsque les buttes sont alignées perpendiculairement à la pente principale car elles constituent un moyen de ralentir les eaux de ruissellement, sauf dans les cas de pluies anormalement élevées ou de pentes très fortes. Justement en raison des fortes pluies locales, les agriculteurs préfèrent souvent butter dans le sens de la pente pour limiter le risque de faire face à une rupture des billons (Hauchart, 2005). Dans ce cas, les dérayures de labour constituent des axes préférentiels d'écoulement des eaux de pluie (Boli et al., 1991). La concentration des eaux s'accompagne d'une accélération de leur vitesse de circulation, d'une augmentation de leur capacité de charge et donc d'une plus

grande mobilisation des particules qui se trouvent exportées vers l'aval des parcelles (Sément, 1986).

Sur les hauts de pente, l'érosion sélective dénude des dalles ou des bancs de cuirasse et favorise la formation d'horizons superficiels gravillonnaires et les pavages de cailloux.

A l'aval, les sillons sont le siège d'une accumulation des particules fines – argiles, limons, sables et matières organiques – qui devient significative à mi-longueur des champs. La réorganisation texturale joue sur le développement des végétaux avec, en bas de pente sur les sols sablonneux, des plants plus grands mais aussi plus enherbés (Hauchart, 2005).

◆ *Les apports d'intrants minéraux*

Les cultures sont ensuite complémentées avec des **intrants minéraux**⁶⁵ qui augmentent les rendements avec un maintien relatif du niveau de production, mais qui ont des effets négatifs à moyen et long terme sur les sols.

L'apport d'engrais de fond NPK améliore le bilan minéral, et particulièrement celui du phosphore, ce qui se traduit par une augmentation de la biomasse, par une hausse des rendements à l'hectare et par une réduction du risque de mauvaises récoltes.

Avec des rendements en grains qui doublent voire qui quadruplent selon la nature des sols et qui sont stables d'une année sur l'autre, la fertilisation minérale donne de meilleurs résultats que les autres techniques telles que le labour seul ou avec un complément de matière organique, que le paillage* seul ou appliqué sur un sol non travaillé. Pour un objectif de rendement cotonnier de 1500 kg/ha, l'apport d'azote permet, d'après les études menées dans le Sud-Ouest burkinabé, de réduire de 12 % le risque de ne pas atteindre le tonnage espéré. Avec un traitement phytosanitaire⁶⁶ conjoint, la réduction atteint 30 %, portant le risque d'échec à 10 %. Pour un objectif de 1200 kg/ha, le risque est alors nul (Crétenet et al., 2006).

Cela suppose toutefois de bien choisir la date d'épandage des intrants⁶⁷ et de respecter les doses préconisées (Groot et al., 1995). Or, en conditions réelles, pour des raisons économiques, techniques ou culturelles, les agriculteurs ne respectent pas les calendriers conseillés et n'apportent pas les quantités d'intrants recommandées. Les conséquences sur les

⁶⁵ L'engrais de fond étant principalement commercialisé par les sociétés d'exploitation cotonnière, il est réservé aux producteurs de coton, d'autant que son coût impose d'avoir des liquidités ou de pouvoir accéder au système de crédit.

⁶⁶ Les traitements phytosanitaires contre les ravageurs, chenilles, mouches... sont au cœur de la recherche, en témoignent les activités de l'INERA ou le Programme coton de la Banque mondiale.

⁶⁷ Théoriquement, dans le cas du sorgho, la date d'épandage des intrants est optimale lorsque les plants ont une hauteur de 50 cm et que le nombre de sites fructifères par plants est de 22 (Crétenet et al., 2006).

rendements ne sont donc pas aussi bonnes, notamment en ce qui concerne la stabilité interannuelle de la production.

Par ailleurs, seul le coton est enrichi en engrais minéraux et le fait d'intégrer dans les assolements des cultures non fumées comme le sorgho remet en cause l'amélioration du bilan minéral global (Dakouo et Koulibaly, 1994). Amélioration dont la durabilité est discutée : 10 ans selon Bado et ses co-auteurs (1997), 20 ans selon Dakouo (1998). Il semble nécessaire de multiplier les observatoires agronomiques en conditions réelles pour évaluer les effets sur les rendements et sur le comportement des sols des pratiques culturales telles qu'elles sont effectivement mises en œuvre et non telles qu'elles devraient l'être.⁶⁸

L'apport de fumure minérale en remplacement et non en complément de la matière organique aboutit à une modification des propriétés physico-chimiques des sols, à une acidification et, par suite, à une désorganisation structurale (Serpantié et Ouattara, 2001).

L'acidification réduit la disponibilité en éléments nutritifs, comme le calcium et le magnésium échangeables (Cattan et al., 2001), empêche la bonne assimilation du phosphore et de l'azote par les plantes⁶⁹ et induit des toxicités notamment aluminiques (César et Coulibaly, 1990).

De plus, elle favorise la minéralisation poussée de la matière organique (Piroux et al., 1997) et de l'azote (Hien, 1990). Une étude pluriannuelle menée au Burkina Faso a montré que 9 ans de culture continue réduisent de 50 % le taux de carbone organique avec de l'engrais minéral, alors que la baisse n'est que de 25 % avec de la fumure organique (Bado et al., 1997).

Toutefois, l'effet acidifiant de l'engrais de fond peut être amoindri par une association avec de la fumure organique. Celle-ci permet en outre de limiter la baisse de la teneur en calcium échangeable et de faciliter l'absorption des engrais minéraux apportés⁷⁰.

◆ *La sédentarisation des cultures et l'abandon de la jachère*

Par le biais de la culture attelée, les cultures de rente comme le coton confèrent à l'espace agricole une nouvelle dynamique caractérisée par la **sédentarisation des champs**⁷¹ et par un processus d'intensification culturale avec une augmentation du capital travail et des

⁶⁸ Cette remarque vaut également pour les conséquences des pratiques anti-érosives et des aménagements adoptés par les exploitants.

⁶⁹ L'acidification n'a aucun effet négatif sur l'assimilation du fer et du manganèse (Bertrand et Gigou, 2000).

⁷⁰ Sédogo (1981) précise que les rendements moyens de sorgho sont de 200 kg/ha sans aucune fumure, de 600 kg avec une fumure minérale faible, de 750 kg avec une fumure minérale forte, de 1250 kg en double fumure faiblement dosée et de 2000 kg en double fumure fortement dosée.

⁷¹ La culture itinérante avec déplacement des champs et pratique de la jachère disparaît avec l'augmentation de la pression foncière, la mise en culture continue des terres et la fixation des champs.

intrants (Belem, 1986). Dans le même temps, le taux d'occupation des sols augmente suite à l'accroissement récent de la capacité d'emblavure par la mécanisation et à la mise en culture de terres de plus en plus éloignées du noyau villageois (Drabo, 2000). Cela se traduit par une disparition de la jachère alors que celle-ci avait pour finalité de permettre la régénérescence du couvert végétal et la restauration de la fertilité des sols. La culture continue épuise le substrat par les pertes en terre, en éléments nutritifs minéraux et en matière organique (Boli et al., 1993). Elle modifie les propriétés du sol avec une baisse de 15 % de la porosité après 10 ans de culture, une réduction de la stabilité structurale, une baisse de la perméabilité et une augmentation de la cohésion (Hien, 1990).

En conclusion, la modernisation des techniques de production agricole caractéristique de cette zone permet une meilleure planification des opérations culturales et un gain de temps lors du labour (Peltre-Wurtz, 1984), évitant les semis trop tardifs (CTA, 1998).

Complétée par l'apport d'engrais minéral, elle favorise une réelle augmentation des rendements tant cotonniers que céréaliers. Il en résulte le dégagement d'un surplus commercialisable (Tallet, 1989) et une amélioration de la situation alimentaire (Fok et Raymond, 1999). Des études ont montré qu'avec une hausse de 20 à 30 % des rendements en maïs enregistrée dans les exploitations cotonnières semi-intensives, la sécurité alimentaire y apparaît mieux assurée (Fok et Raymond, 1999).

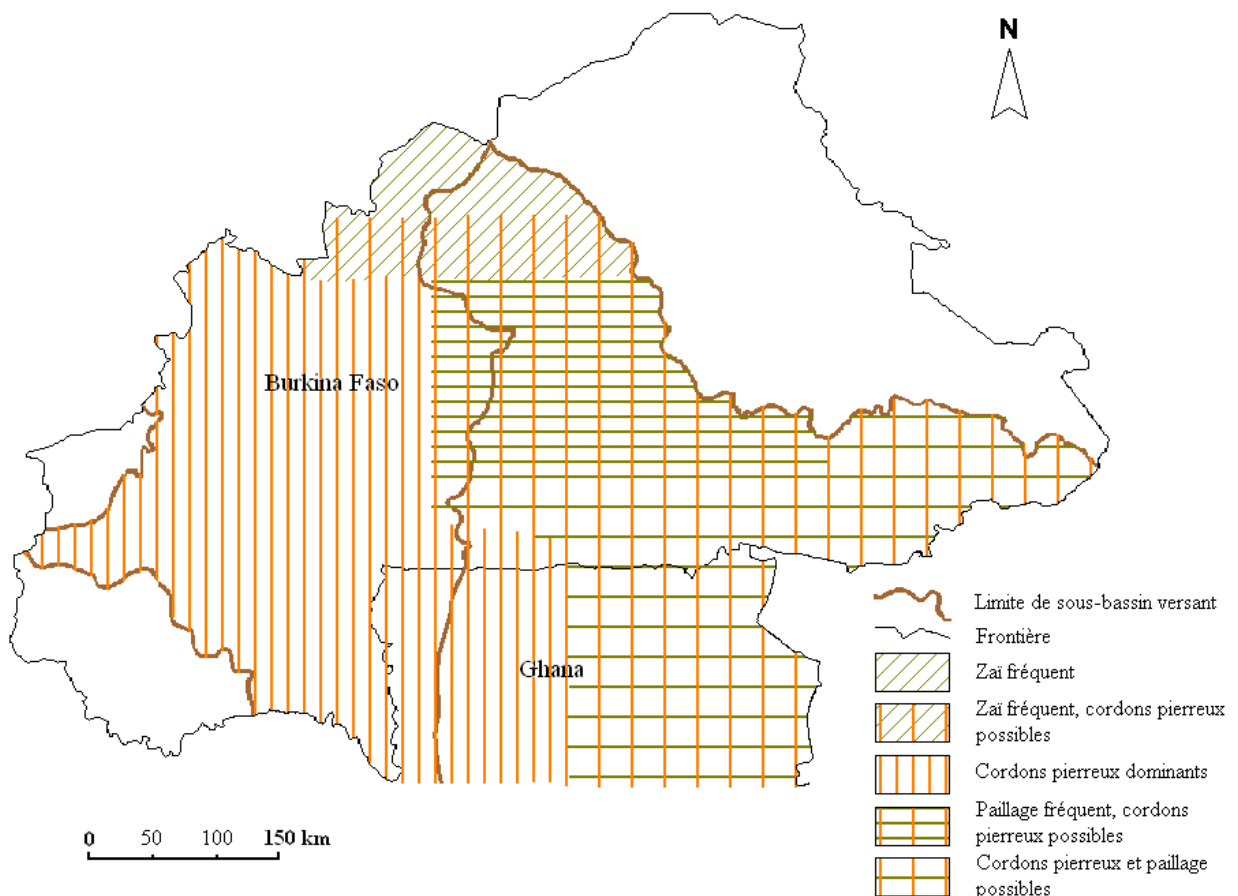
Toutefois, les techniques modernes étant souvent mal conduites et mal maîtrisées, le gain de productivité à l'hectare reste modéré et ne permet pas systématiquement de rentabiliser les investissements en capital et en énergie (CTA, 1998). Or, la bonne conduite des techniques modernes ne pourra se faire qu'au prix d'une véritable formation professionnelle agricole. Mais, si cette formation était effectivement dispensée, les agriculteurs auraient-ils pour autant les moyens d'acheter le matériel le mieux adapté et disposeraient-ils de la main d'œuvre nécessaire pour une utilisation optimale dans le respect du calendrier cultural déterminé par les contraintes climatiques locales ?

Par ailleurs, le processus simultané d'intensification et d'extensification culturales avec extension des emblavures et disparition de la jachère (Grouzis et Albergel, 1988) engendrent une dégradation de l'environnement – dégradation physique des sols avec érosion sélective et modification structurale, altération chimique avec désaturation du complexe d'échanges et acidification du profil (Ouattara et al., 1994) – ce qui hypothèque les gains de productivité à moyen terme et réduit la durabilité des productions vivrières et commerciales.

2.4. L'incidence des aménagements et pratiques de conservation des eaux et des sols

Dès qu'ils perçoivent les méfaits de l'érosion et du ruissellement à travers une baisse des rendements cultureaux, les agriculteurs mettent en œuvre, spontanément ou dans le cadre de programmes provinciaux ou nationaux de préservation environnementale, des techniques de lutte anti-érosive⁷² et aménagent leurs parcelles. Les stratégies adoptées varient selon les zones agro-géographiques (Figure n°4) mais elles ont toujours les mêmes objectifs principaux : limiter la prise en charge et l'exportation des particules par l'eau ou le vent, maintenir ou restaurer la fertilité des sols et valoriser les eaux de pluie.

Figure n°4 : Carte des pratiques anti-érosives mises en œuvre dans les régions burkinabé et nord-ghanéennes du bassin de la Volta



⁷² Dans le Nord du Ghana, la lutte contre l'érosion date des années 1930, époque au cours de laquelle se diffusent les cordons pierreux et l'usage de la fumure organique (Veihe, 2000).

◆ *Les aménagements selon les courbes de niveau*

Les techniques les plus simples et les plus répandues mais aussi les plus anciennes pour permettre une réduction des pertes en eau et en terres dues au ruissellement reposent sur des **aménagements en courbes de niveau** qui peuvent être de trois types :

- 1 - les **cordons pierreux**,
- 2 - les **fascines*** et
- 3 - les **ados***.

Les **cordons pierreux**⁷³ édifiés par les agriculteurs sont des alignements de moellons disposés parfois selon les courbes de niveau après leur matérialisation au sol mais, le plus souvent, de façon grossièrement perpendiculaire à la pente car c'est un avantage des cordons de ne pas nécessiter le marquage précis des courbes de niveau (Mietton, 1986). Le dispositif le plus courant est celui des cordons à une seule rangée de pierres car c'est le plus simple à mettre en œuvre : il nécessite moins de pierres et moins de temps de travail (Kaboré et al., 1994) que les systèmes à trois pierres ou que les pierres dressées avec sous-solage (cf. *infra* 3.3.). Toutefois, pour être efficaces, ces cordons pierreux simples supposent une construction soignée faute de quoi ils peuvent être rapidement dégradés par le passage des animaux (Veihe, 2000) ou les eaux ruisselantes (Kaboré et al., 1994). Le délogement de quelques moellons crée des brèches dans lesquelles le ruissellement se concentre et s'accélère (Roose, 1990). Ces points de vidange préférentiels aboutissent à la formation de chenaux d'écoulement voire de ravines (Lamachère et Serpantié, 1991).

Le but de ces barrages n'est ni de stopper ni de détourner le ruissellement mais de valoriser les eaux qui entrent dans la parcelle par un accroissement de la rétention superficielle, une augmentation de la surface imbibée et un ralentissement des écoulements favorable à l'infiltration.

L'objectif est aussi de diminuer l'érosion des sols en réduisant les vitesses d'écoulement et, de ce fait, la capacité de charge de l'eau, ce qui se traduit par un délestage des particules transportées en amont des cordons.

D'après les mesures effectuées dans la station expérimentale de Pougyango (12°59'N et 2°9'W), ce dispositif peut entraîner une réduction du ruissellement de 53 % (Zougmoré et al.,

⁷³ Selon les enquêtes permanentes au Burkina Faso, le seul aménagement fréquent est le cordon pierreux, surtout dans le Centre Nord et sur le Plateau Central où il est édifié sur 15 à 20 % des parcelles, et moindrement dans les provinces occidentales.

2004) et modifie les paramètres des crues. Les débits de pointe se trouvent laminés d'au moins 39 % par rapport aux parcelles non aménagées. Le ralentissement des écoulements par les cordons dépend de leur niveau de colmatage. D'après des mesures effectuées dans le Yatenga, la lame ruisselée est réduite de 10 % la première année mais, après 5-6 ans, le colmatage atteint un état d'équilibre (Coulibaly, 1993) qui porte la réduction à 70 % (Fournier et al., 2000).

La mise en place des cordons a également des effets bénéfiques sur les cultures. D'une part, le cycle de croissance des végétaux est plus rapide et le développement foliaire plus précoce. D'autre part, la production de matières sèches et de grains est augmentée : des études menées sur le Plateau Central burkinabé ont mis en évidence une majoration des rendements de 30 % sur l'ensemble des champs aménagés⁷⁴ (Kambou, 1996) et même de 100 % dans la partie aval des parcelles ou lors d'un apport conjoint de matières organiques sur les parcelles avec cordons (Zougmore et al., 2004). Les arbres utiles qui ont pu être préservés dans les parcelles aménagées bénéficient eux aussi des bienfaits des cordons et voient leur productivité accrue (Reij et al., 2005). Pourtant, dans la pratique, ces bienfaits sont très aléatoires et souvent bien moindres que les résultats espérés ou que ceux obtenus dans les stations expérimentales, surtout lorsque la pente principale est forte (Hil et al., 1985).

A défaut de disposer de blocs de cuirasse, les agriculteurs alignent des branches. L'efficacité de ces **fascines*** en terme de rendements ou de préservation environnementale est assez limitée car les branchages sont rapidement déplacés ou emportés par les écoulements et ils sont détruits sous l'action des termites.

Sur ce même principe des courbes de niveau, les **ados*** sont une technique traditionnelle du Plateau central qui consiste à construire des banquettes de terre recouvertes ou non de cailloux. L'eau de pluie est retenue entre les billons où elle s'infiltré tandis que l'excès d'eau s'évacue lentement aux extrémités du champ, ce qui suppose l'aménagement d'exutoire (Gigou et al., 2006). Les ados* sont des dispositifs faciles à mettre en place mais rapidement détruits par les

⁷⁴ La hausse moyenne des rendements à l'échelle des champs ne doit pas occulter qu'il y a une hétérogénéité du potentiel productif sur deux à six mètres en amont des cordons (Roose, 1990).

pluies intensives et agressives, sauf si ils sont recouverts d'une strate herbacée permanente spontanée ou plantée en *Andropogon gayanus* (Gigou et al., 2006). Ils doivent être réservés aux pentes inférieures à 3 % et pratiqués sur des sols ni trop sableux ni trop argileux, c'est-à-dire ni instables ni sensibles à l'engorgement (Lavigne Delville, 1990).

Des études menées dans la région cotonnière du Sud malien, du Sud burkinabé et du Nord ivoirien ont montré qu'ils entraînent une augmentation de l'infiltration de 10 %, une hausse des rendements de 30 % et surtout une diminution de la variabilité interannuelle de la production par réduction du stress hydrique (Gigou et al., 2006).

Les bourrelets sont d'autant plus efficaces qu'ils sont édifiés dans des champs en culture intercalaire de mil et de légumineuses* ou qu'ils sont complétés par d'autres techniques. Un paillage* et un apport d'engrais minéral sur les parcelles aménagées engendrent une hausse des rendements en mil de 50 %, hausse qui peut être portée à 100 % avec un apport de fumure organique à raison de 5 t/ha de bouse de vache (Kranjac-Berisavlejevic et al., 1998).

Par ailleurs, les pertes en terre sont amoindries et elles se traduisent surtout par une redistribution entre parcelles contiguës, sans exportation à l'échelle du bassin versant (Gigou et al., 2006).

◆ *Le mulching**

Répondant à l'objectif de réduire l'énergie cinétique des gouttes de pluies et de soustraire la surface du sol à l'agressivité des pluies, le **mulching*** a lui-aussi des conséquences sur les caractéristiques physico-chimiques des sols. Il fertilise le sol par une décomposition lente des résidus de culture (Djiguembé, 1988) et le taux de matière organique, dont la minéralisation est ralentie, s'accroît (Bertrand et Gigou, 2000).

Par ailleurs, les pailles favorisent le développement de l'activité faunique des termites (Ambouta et al., 2000) ou des vers de terre qui cassent la pellicule superficielle indurée et ameublissent le sol (Roose et al., 1992). Il en résulte une amélioration de la structure du sol, avec un accroissement de la porosité, et une augmentation de la rugosité de surface.

Le sol dont la surface est protégée par une mince couche de pailles, de branchettes ou d'herbes est moins sensible aux agents érosifs (IITA, 1992). D'après des études menées par l'ICRISAT de Niamey, deux tonnes de pailles par hectare ne couvrent que 7 à 10 % de la surface du sol mais suffisent à freiner le ruissellement et à diminuer les flux de sédiments de 40 à 60 % (Biielders et al., 1995).

L'infiltration des eaux de pluie est facilitée par le ralentissement des écoulements et l'humidité du sol est accrue par une réduction de l'évaporation (Anschütz et al., 1998).

Moins de stress hydrique et une meilleure fertilisation organique du sol se traduisent par une hausse des rendements, ceux-ci pouvant théoriquement être multipliés par 3,5 selon Zaongo (1983) voire par 6 d'après Da (2004) par rapport aux parcelles témoins en culture manuelle et sans aménagement.

Cependant, le gain de productivité ne compense pas toujours l'investissement en travail et en temps pour collecter les résidus de culture ou les herbes sèches, pour recouvrir la surface du sol, semer et sarcler en écartant les pailles ce qui est 3 à 5 fois plus long que sur les parcelles nues (Kaboré et al., 1994). En outre, pour des raisons de disponibilité en main d'œuvre et en matériaux, l'épaisseur du couvert végétal mort est souvent inférieure à celle recommandée, ce qui amoindrit les effets bénéfiques.

◆ *Le zai**

Autre technique traditionnelle, le *zai** est à la fois une technique d'économie de l'eau et de la fumure et une technique de réhabilitation des sols dégradés et encroûtés de type *zipellés**.

Il consiste à creuser des trous ronds, parfois carrés, en quinconce ou non, de 20 à 60 cm de diamètre et 10 à 30 cm de profondeur⁷⁵ ; la terre excavée est disposée en bourrelets à l'aval des trous. D'après les études menées sur le Plateau mossi burkinabé et dans le pays Dogon au Mali, les cuvettes permettent de collecter 25 % des pluies qui ruissellent sur un impluvium correspondant à cinq fois leur surface (Roose et al., 1999). L'eau de chaque micro-bassin met ensuite deux heures, en moyenne, pour s'infiltrer ce qui annihile le risque d'asphyxie des plants (Evequoz et Yadji, 1998).

Dans chaque cuvette, les agriculteurs déposent de la bouse de vache, de la poudrette* ou du fumier avant d'effectuer les semis en poquets* (Bertrand et Gigou, 2000). La concentration en matière organique et en eau permet une croissance plus rapide des végétaux, de meilleurs rendements en talles, pailles et grains surtout dans la zone où la pluviométrie est comprise entre 300 et 800 mm (Ambouta et al., 2000) et elle limite les risques de resemis* (Kaboré et al., 1995).

Par ailleurs, le *zai** améliore la structure des sols grâce à la réintroduction de la faune : les termites sont attirés par la matière organique et creusent des galeries au fond des cuvettes. Ils contribuent de la sorte à perforer la croûte de surface et à ameublir le sol d'où une

⁷⁵ Une cuvette de 30 cm de diamètre et de 20 à 30 cm de profondeur peut contenir 13-14 litres d'eau ce qui signifie, par ailleurs, qu'une pluie de 15 mm suffit à engendrer un phénomène de ruissellement (Evequoz et Yadji, 1998).

augmentation de l'infiltration qui participe à la recharge locale de la nappe (Roose et al., 1992).

Après trois ou quatre cycles culturels au cours desquels le travail de préparation et le sarclage se limite aux cuvettes nouvellement creusées, toute la surface du sol a été remuée par le labour ou le travail des termites (Kaboré et al., 1995) et, grâce à une amélioration des taux de matière organique, de phosphore et de calcium, la fertilité est restaurée (Somé et al., 2004).

La technique du *zai** facilite la revégétalisation des *zipellés**, notamment grâce à l'apport éolien de limons, de débris organiques et de graines au cours de la saison sèche qui favorise la colonisation par de nombreuses espèces végétales, herbacées ou arbustives (Roose et al., 1999).

Les cuvettes apparaissent donc comme un moyen d'augmenter la disponibilité en terres cultivables voire de réintroduire la jachère dans les cycles culturels. C'est toutefois une technique exigeante en main d'œuvre et qui nécessite, les premières années, un travail long et difficile pour creuser les trous (Barro et al., 2005). Lorsque les écoulements sont forts, elle doit s'accompagner d'aménagements tels que des cordons pierreux afin de ralentir le comblement des cuvettes (Wright, 1985).

En conclusion, les techniques traditionnelles pour la conservation des eaux et des sols atteignent leurs objectifs quant au maintien de la fertilité ou du pH et à la réduction des pertes en terre (Tableau n°1) même si elles ne sont pas parfaitement maîtrisées. Elles permettent une meilleure gestion et un meilleur usage des eaux de pluies d'où une hausse relative des rendements.

Ces techniques doivent donc être encouragées mais elles posent le problème d'un lourd investissement en matériel et, surtout, en travail.

	Rendement en t/ha	Coeff de ruissellement	Erosion en t/ha
Parcelle témoin	0,120	19,9	0,15
Sous paillage*	0,769	7,7	0,009
Avec <i>zai</i> *	1,730	2,6	0,07

Mesures effectuées dans le Sud-Ouest de Niamey en 1996 et 1997

Da (2004) et Ambouta et al. (2000)

Tableau n°1 : Erosion, ruissellement et rendement selon les pratiques culturales

2.5. Les effets de la culture dans les bas-fonds et les périmètres irrigués

Dans le bassin de la Volta, les cultures partiellement ou totalement irriguées apparaissent comme une solution pour accroître et diversifier la production. Dans les faits, les résultats en terme de productivité et de durabilité sont variables selon la nature et la maintenance des aménagements, les pratiques agricoles et hydrauliques et la capacité organisationnelle des producteurs.

◆ *La culture des bas-fonds*

La mise en culture traditionnelle des bas-fonds effectuée dans le cadre familial permet de valoriser l'humidité des sols argileux réputés comme étant des sols de bonne valeur agronomique⁷⁶ mais difficiles à travailler et qui nécessitent d'être drainés et billonnés (Casenave et Valentin, 1989). Cependant, les pratiques agricoles sont faiblement intensives et les techniques d'aménagement et d'irrigation sont assez mal maîtrisées.

La mise en boue et le planage sont rarement faits correctement et ne sont jamais réalisés sur toute la surface submergée (Ouattara, 1994). L'irrégularité topographique donne alors naissance à des zones dépressionnaires sujettes à l'engorgement et à des zones en haute toposéquence menacées de stress hydrique (Ouattara et al., 1997). Le risque d'engorgement est renforcé par la mauvaise gestion des eaux d'irrigation et l'absence ou le manque d'entretien des drains.

Comme le calendrier et les surfaces ensemencées dans les pépinières ne respectent pas les préconisations, les plants sont souvent en nombre insuffisant et ils sont repiqués alors qu'ils ont plus de trois semaines. Or, d'après les observations effectuées sur 66 périmètres irrigués répartis sur le territoire burkinabé, les repiquages tardifs⁷⁷, notamment après le mois d'août, ont des conséquences sur la reprise des plants et sur le tallage d'où des rendements très faibles et une baisse de l'intensité culturale* de 10 à 25 % (Ouattara et al., 1997).

En raison du manque d'intrants et de la mauvaise maîtrise des aménagements, la hausse des rendements permise par l'irrigation de complément reste très modérée et elle n'est pas garantie.

⁷⁶ Les vertisols possèdent toutefois un fort taux de sodium échangeable, 10 à 20 %, néfaste aux cultures (Duchaufour, 1991).

⁷⁷ Les exploitants font face au chevauchement des activités agricoles à mener dans les champs de culture pluviale et dans les périmètres irrigués.

Par ailleurs, la mise en valeur des bas-fonds telle qu'elle est pratiquée aboutit à une dégradation des caractéristiques physico-chimiques des sols. Dans les cas d'engorgement, la dégradation prend la forme d'une toxicité ferreuse défavorable aux cultures.

De plus, leur faible profondeur, leur évasement et le fait qu'ils possèdent un fond plat rendent les bas-fonds non aménagés sensibles à l'ensablement (Compaoré, 2000). Traditionnellement réservés au pâturage, l'extension actuelle de leur mise culture avec dessouchage des berges, suppression des formations ripicoles puis labour les vulnérabilisent (Ouadba, 2000). Composées de *Berlinia grandiflora* et de *Mitragyna inermis* (Mietton, 1988), les formations ripicoles permettent, en effet, le maintien de la fertilité des sols, la préservation de la diversité biologique et la fixation des berges qui sont alors plus résistantes au risque d'érosion et au sapement (Ouadba, 2000).

◆ *Les petits périmètres irrigués*

Les petits périmètres irrigués avec barrages en terre relèvent d'une mise en valeur plus intensive – préparation des sols, double culture, irrigation, intrants éventuels...– qui permet une augmentation des ressources familiales tant alimentaires par l'intensification culturelle que monétaires par la vente des produits maraîchers.

Cependant, cette augmentation passe par une dégradation des caractéristiques géochimiques des sols avec alcalinisation, sodisation ou salinisation (Bruckler, 2000) suite aux mauvais dosages des intrants, au mauvais drainage des sols ou à des apports excessifs d'eau d'irrigation⁷⁸, comme cela a été observé dans le cadre du projet Fara-Poura au Burkina Faso.

Elle passe également par une dégradation du couvert végétal consécutive au défrichage de l'aire d'emprise ou à l'augmentation de la pression foncière autour des points d'eau et dans les aires de culture riveraines (Dioma et al., 2003).

Or, la dégradation des eaux et des sols est incompatible avec une production agricole durable et des rendements élevés. Ainsi, un suivi des périmètres irrigués burkinabé par le Ministère de l'Environnement et de l'Eau a montré que la fréquente monoculture rizicole subit rapidement une baisse des rendements qui peut être évitée par un précédent en culture maraîchère. Le gain de productivité de 5 à 10 % pourrait même être porté à 20 ou 25 % avec un apport simultané de matière organique (Ouattara et al., 1997).

⁷⁸ Les apports excessifs et les pertes en eau sont surtout le fait des systèmes d'irrigation gravitaires d'où la nécessité d'améliorer les dispositifs et d'utiliser des tuyaux à vanne pour gérer la distribution (Lemaitre, 1987).

Les petits hydro-aménagements étant un moyen pour les familles de dégager un excédent céréalier et de faire face à la soudure, il apparaît nécessaire de préserver ces espaces. Pourtant, il y a peu d'études sur l'évolution physico-chimique des sols résultant de la monoculture, de l'irrigation ou de l'intensification avec deux et même trois campagnes par an, comme cela est envisagé à l'aval de Bagré. De même, le transport solide et la sédimentation dans les petits barrages de terre sont mal connus.

Les répercussions sur la santé – développement des maladies liées à la mauvaise qualité des eaux et à la prolifération des moustiques, état nutritionnel⁷⁹ – mériteraient également d'être approfondies d'autant qu'elles peuvent jouer sur la productivité à travers une diminution de la force de travail (Parent et al., 2002).

◆ *Les grands périmètres irrigués*

Dans le cas des grands périmètres irrigués, la durabilité de la production agricole dépend de la fertilité des sols, de la qualité des eaux d'irrigation, de la maîtrise des techniques agricoles et hydrauliques et de l'entretien des aménagements, le risque de pertes en terres et de modification texturale des sols étant nul (Ouattara, 1994).

Les techniques de mise en valeur de ces espaces sont très intensives avec, d'une part, la motorisation des opérations de labour, de semis et de récolte, d'autre part, un apport optimal d'intrants minéraux dans le respect des proportions et des dates d'épandage préconisées. Enfin, ces espaces bénéficient d'une gestion rationnelle de l'irrigation. Cette dernière est complétée par des aménagements et des techniques qui limitent le risque d'engorgement ou d'engorgement et qui accroissent l'efficacité de l'eau tout en réduisant sa consommation (AVV, 1986).

A titre d'exemple, la présence d'une lame d'eau de 5 à 10 cm avant l'épandage d'azote a des effets variables selon qu'elle est continue ou intermittente et qu'elle s'accompagne ou non d'un drainage. Des expérimentations de plein champ, menées dans la vallée du Kou, au Sud-Ouest du Burkina Faso, montrent qu'une lame permanente⁸⁰ avec drainage offre les meilleurs rendements, 5,1 t/ha, mais la plus faible efficacité de l'eau, 0,51 kg/m³, tandis qu'une lame intermittente garantit des rendements de 4,3 t/ha mais porte l'efficacité à 0,62 kg/ m³ (Dembélé et al., 2005).

⁷⁹ La fréquence de maigreur serait plus élevée chez les enfants vivant à proximité des petits hydro-aménagements et issus de famille pratiquant le maraîchage (Parent et al., 2002).

⁸⁰ Le choix du régime hydrique dépendra de la disponibilité en eau puisque, le maintien d'une lame permanente nécessite 9200 m³ d'eau par hectare pour seulement 7700 dans le cas d'une submersion intermittente (Dembélé et al., 2005).

La principale conséquence positive de ces aménagements est donc une productivité élevée et régulière : les rendements de riz⁸¹ ou de blé sont de l'ordre de 4 à 5 tonnes par hectare (Dembélé, 1994) et peuvent exceptionnellement atteindre 7 à 8 tonnes (Zan, 2006). La riziculture irriguée en maîtrise totale représente aujourd'hui 20 % des surfaces rizicoles burkinabé (Dembélé et al., 2005). Elle assure 47 % de la production nationale au Burkina Faso (Dembélé et al., 2005) et, d'après le CRDI, 40 % au Ghana⁸². D'ici 2008, la culture irriguée du blé dans la vallée du Sourou devrait, quant à elle, couvrir 90 % des besoins nationaux du Burkina Faso, permettant une économie de devises de 15 milliards de FCFA (Tadjousti, 2006).

Dans le contexte climatique aléatoire du Burkina Faso ou du Ghana septentrional, la céréaliculture irriguée apparaît donc comme un moyen de tendre vers une plus grande satisfaction des besoins alimentaires. Mais est-ce un moyen suffisant alors que la population croît rapidement ?

Deux risques sont toutefois à prendre en considération dans la gestion des grands périmètres irrigués.

1 - Le premier risque concerne la menace d'envasement des retenues (Roose, 2004).

Les mesures des dépôts permettent de déterminer l'érosion à l'échelle des bassins-versants. Effectuées dans quatre stations burkinabé sur la Volta Blanche et sur la Kompienga, elles ont donné une dégradation spécifique⁸³ en amont des barrages supérieure à 60 t/km²/an et ayant même pu atteindre 312 t/km²/an, indépendamment de la valeur de pente, de la surface du bassin-versant, de la quantité de précipitations moyenne annuelle et de la méthode de mesure – levés topographiques comparés ou sondages – (Mietton, 1986).

2 - Le second risque est celui de la modification géochimique des sols due aux eaux d'irrigation et aux intrants minéraux – risque de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation (Durand, 1983) –. La qualité des eaux apportées – salinité⁸⁴ et danger d'alcalinisation⁸⁵ – varie selon leur origine (Durand, 1983) – barrages de retenue

⁸¹ A titre d'information, les rendements de riz pluvial fluctuent autour de 800 kg/ha (Dembélé, 1994).

⁸² Plus des deux tiers de superficies rizicoles se trouvent dans les trois provinces septentrionales ((Kranjac-Berisavlejevic et al., 1998).

⁸³ Les mesures ne tiennent pas compte du transport par charriage, du déversement occasionnel des fines par dessus les barrages et des dépôts intermédiaires qui échappent aux mesures (Mietton, 1986).

⁸⁴ Déterminée d'après la relation entre la conductibilité spécifique à 25°C de l'eau d'irrigation et celle de l'extrait saturé du sol (Durand, 1983).

⁸⁵ Estimé en fonction du sodium absorbable par le sol (Durand, 1983).

comme Ziga, barrages de dérivation⁸⁶ comme la vallée du Kou, lac de Bam ou de Dem..., captage, puits et forages – et leur mode de distribution – par aspersion, au goutte à goutte, par submersion, par planches... –. Elle implique de prendre certaines précautions relatives à la périodicité et au volume d'arrosage⁸⁷, au drainage des eaux excessives (Durand, 1983)... Dans les faits, il semble que des mesures de contrôle de la qualité des eaux et de leur incidence sur les sols soient régulièrement effectuées, à l'exemple de ce qui est fait dans le périmètre ghanéen de Tono (ODI, 2003) ou dans le périmètre burkinabé du Sourou (Zan, 2006).

Les grands projets de culture irriguée ont également des bienfaits et des méfaits sur les espaces alentour.

D'une part, ils créent localement un micro-climat favorable au retour d'une plus grande biodiversité végétale (Dioma et al., 2003).

D'autre part, les barrages ont un impact environnemental à l'échelle des bassins-versants. Des mesures effectuées dans quelques grands périmètres irrigués, comme celui du Sourou ou du Kou au Burkina Faso, ont mis en évidence que les barrages permettent une régulation des crues par laminage, avec des débits de pointe divisés par trois à la sortie du barrage (Triboulet, 1986). L'écrêtement et l'allongement de la crue rendent possible la culture en bordure des marigots, tout en réduisant le risque d'érosion mais suppriment l'inondation du lit majeur.

Pourtant, en l'état actuel de la gestion et de l'exploitation des abords des barrages, les terres cultivées et irriguées s'étendent mais avec elles, les surfaces érodées par surexploitation et/ou surpâturage (Triboulet, 1986). Pour éviter une dégradation physico-chimique des sols aux abords des barrages, il est essentiel de bien évaluer la quantité d'eau à apporter, la dose d'arrosage devant être définie par la capacité de rétention du sol, la fréquence des irrigations et la vitesse de consommation par les plantes. Il est également nécessaire de déterminer la périodicité des arrosages et la méthode de distribution les mieux adaptées non seulement aux contraintes pédologiques et climatiques locales mais aussi aux cultures (Durand, 1983).

⁸⁶ Dans le cas des barrages de dérivation à partir d'un cours d'eau, la concentration des eaux est plus forte au début de la crue, puis elle décroît après le passage de la tête de crue pour atteindre un taux faible qui remonte légèrement en fin de crue (Durand, 1983).

⁸⁷ Le volume doit être calculé avec précision en fonction des besoins de la plante, de la nature des sols, des données climatiques locales comme la quantité de pluie et l'évaporation. La vitesse, quant à elle, doit être inférieure à celle de l'absorption par le sol (Durand, 1983).

Pour conclure, l'irrigation améliore la sécurité alimentaire des familles en garantissant un rendement minimum, même si celui-ci reste aléatoire dans les bas-fonds, voire dans les petits périmètres. Toutefois, elle n'améliore pas forcément le niveau de pauvreté des populations car elle est risquée. Une étude comparée de douze périmètres irrigués répartis au Mali, au Burkina Faso, en Mauritanie et au Sénégal a mis en évidence que, si le coût des intrants et de l'eau est supérieur aux gains à la vente, ce qui arrive fréquemment pour les cultures maraîchères, les revenus sont négatifs. Au contraire, dans le cas de l'agriculture pluviale, il n'y a aucun investissement et, dans le pire des cas, les revenus sont nuls (Rigourd et al., 2002).

Par ailleurs, pour qu'elle soit un moyen durable de satisfaire les besoins alimentaires nationaux, l'irrigation suppose d'être mieux maîtrisée, notamment sur les bas-fonds et dans les petits projets où elle engendre une dégradation des caractéristiques physico-chimiques des sols et leur érosion. A l'échelle de la parcelle, cela se traduit par des pertes en bases, en azote, en matière organique et en carbone et par un décapage superficiel avec exportation des particules fines. A l'échelle du bassin-versant, cela cause une diminution de l'infiltration, une augmentation du ruissellement, le creusement de rigoles ou de ravines, une érosion régressive le long des berges et un envasement des réservoirs et des barrages (Bunasols, 1998).

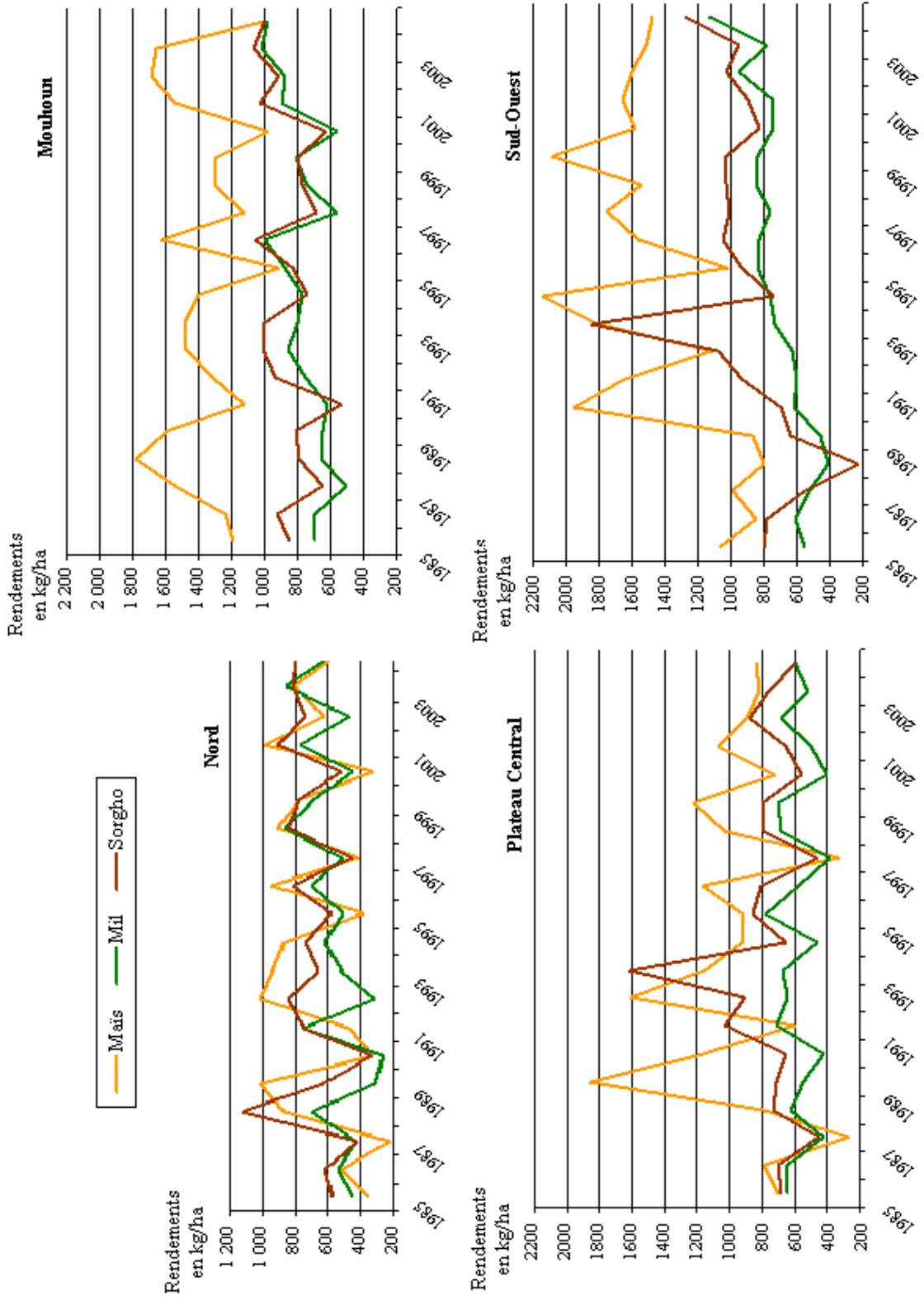
Conclusion

Variante selon les systèmes de culture et selon les zones agro-géographiques, les itinéraires techniques ont des conséquences variables sur les rendements et sur la durabilité de la production agricole.

Certes, les niveaux de production sont, pour une part, conditionnés par la pluviométrie. Les rendements céréaliers moyens, calculés en fonction de la place respective des trois principales céréales – le sorgho, le mil et le maïs –, augmentent du Nord vers le Sud, passant de 645 kg/ha dans la région Nord du Burkina Faso à 977 dans la région Sud-Ouest (Graphe n°1).

Mais ils peuvent être améliorés par les pratiques culturales. Ainsi, les pratiques traditionnelles dont certaines restent mises en œuvre dans tous les itinéraires techniques et sur l'ensemble de l'espace étudié ont des effets plus ou moins bénéfiques sur les sols mais elles sont souvent peu intensives et peu productives (Graphe n°1), ne répondant pas aux exigences alimentaires actuelles. Elles donnent des rendements céréaliers moyens assez faibles, souvent inférieurs à 700 kg/ha, alors qu'à latitude et à pluviométrie équivalentes, des pratiques culturales

Graphe n°1 : Etude comparative des rendements céréaliers dans quatre régions burkinabé, entre 1985 et 2004



modernes et semi-intensives donnent des rendements nettement supérieurs. A titre d'illustration, les rendements céréaliers moyens du Mouhoun, région de production cotonnière, sont de 880 kg/ha ; ils sont de 693 kg/ha sur le Plateau Central. En outre, indépendamment des données climatiques, les pratiques culturales influent sur le caractère aléatoire des rendements céréaliers (Graphe n°1) : les écarts à la moyenne sont plus faibles là où des techniques intensives s'intègrent dans les systèmes de culture⁸⁸.

Cependant, les pratiques modernes – intrants minéraux, labour... – souvent mal maîtrisées, ont des conséquences néfastes sur les sols. Cela se traduit, à l'échelle des parcelles, par un fort taux de ruissellement, par un appauvrissement chimique, par une érosion sélective avec des pertes en terre, notamment en particules fines. Les données chiffrées sont à prendre avec précaution : elles résultent d'expérimentations menées dans des conditions qui peuvent être fort différentes de la réalité et ils sont très variables selon les sources.

Il n'y a donc que les périmètres irrigués, principalement les grands aménagements en maîtrise totale de l'irrigation, qui, par une mise en culture rationnelle et très intensive, offrent des rendements élevés sans risque majeur de dégradation des aptitudes physico-chimique des sols.

Alors que le climat des zones sahéliennes à soudaniennes, marqué par l'irrégularité, la discontinuité et la variabilité des pluies, fait peser des contraintes sur la production agricole et sur la conservation des sols, les évolutions actuelles – croissance démographique, développement des cultures de rente et intensification culturelle – provoquent une forte pression sur les terres et la surexploitation des ressources.

Cela se traduit par la raréfaction de la jachère, par l'épuisement des sols qui sont de plus en plus soumis aux mécanismes d'érosion et par la multiplication des terres devenues incultes. L'environnement est aujourd'hui dégradé (Figure n°5) avec des dynamiques érosives très actives dans certaines régions comme le Nord ghanéen ou une menace latente dans d'autres zones comme les provinces du Sud-Est burkinabé.

Dans les faits, l'érosion des sols est estimée, pour l'ensemble du Ghana, comme étant :

- 1 - faible à modérée et sous forme de nappe pour 29 % des terres,
- 2 - sévère et se manifestant en nappe ou en rigoles et ravines pour 43 %,
- 3 - extrême pour 23 % (Veihe, 2000).

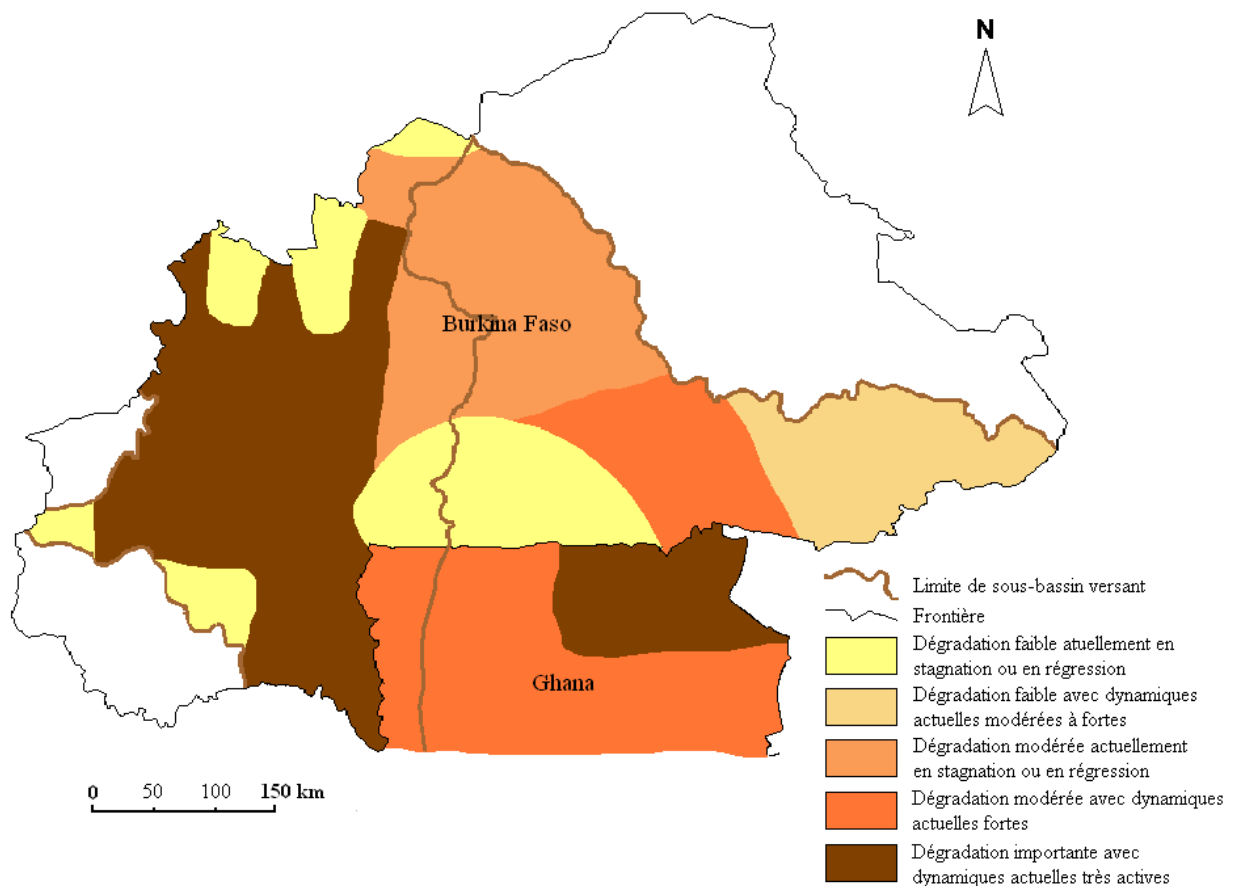
Elle est estimée, pour l'ensemble du Burkina Faso, comme étant :

⁸⁸ Dans la région du Mouhoun, les variations s'étendent d'un déficit de 28 % à un excédent de 27 % ; le déficit a pu être de 35 % dans la région Nord, de 57 % dans le Sud-Ouest et de 39 % sur le Plateau Central tandis que les excédents ont pu être respectivement de 48 %, de 53 % et de 71 %.

- 1 - faible à modérée pour 16 % des terres,
- 2 - sévère pour 45 %,
 - 3 - extrême pour 31 % (Guillobez et al., 2000).

et, d'après l'estimation⁸⁹ de Guillobez, Lompo et De Noni (2000), les terres les plus dégradées sont, pour l'essentiel, localisées dans la partie du pays qui correspond au bassin de la Volta. L'étude diachronique menée par ces auteurs a mis en évidence une progression considérable de la dégradation, tant en intensité qu'en superficie, dans la zone cotonnière de l'Ouest où plus de 50 % des sols ont une tendance à l'acidification et plus de 80 % sont remaniés, lessivés ou érodés (Hauchart, 2005). La dégradation est restée très élevée mais stable dans le Sud-Ouest. A un niveau encore élevé, elle tend néanmoins à reculer sur le Plateau central (Guillobez et al., 2000).

Figure n°5 : La dégradation environnementale dans les régions burkinabé et nord-ghanéenne du bassin de la Volta



⁸⁹ L'estimation a été établie d'après la susceptibilité des sols à l'érosion, la densité de population, la charge pastorale et l'usage des sols.

Une telle proportion de terres déjà dégradées ou appauvries et des dynamiques actuellement très actives, particulièrement dans l'Ouest burkinabé, remettent en cause la durabilité des productions agricoles pluviales, vivrières et commerciales, à moyen et long terme et affectent d'ores et déjà les récoltes.

Sensibles à la baisse des rendements dans certains de leurs champs, les agriculteurs mettent en œuvre des techniques de lutte dont les effets, bien que globalement positifs, sont insuffisants au regard de la menace qui pèsent sur leurs terres de culture. Ils complètent également de plus en plus leur production par l'exploitation des bas-fonds ou de petits périmètres irrigués mais cela ne résout pas les problèmes de la variabilité interannuelle des rendements et de leur insuffisance par rapport aux besoins alimentaires croissants (ODI, 2003).

3. Perspectives d'amélioration durable de l'agriculture pluviale

Les évolutions des conditions de production agricole – pression démographique, réduction des terres arables, raréfaction de la jachère, modification des pratiques culturales – et les fluctuations climatiques avec une récurrence des années déficitaires soulèvent la question de la nécessaire augmentation de la productivité pour répondre aux besoins croissants des populations. Elles posent également le problème de la durabilité même de l'agriculture pluviale dans les pays en développement de la zone soudano-sahélienne, comme le Burkina Faso et le Ghana.

L'inquiétude est d'autant plus légitime que, déjà, on observe une stagnation, voire une baisse des rendements, et une amplification des mécanismes de dégradation pédologique (Guillobez et al., 2000). Dans ces conditions et alors que la production vivrière doit être doublée voire triplée d'ici les années 2030 (cf. *infra* Tableau n°3) pour suivre l'accroissement démographique⁹⁰, l'intensification culturale semble incontournable.

Néanmoins, ses conséquences parfois néfastes pour l'environnement poussent tout d'abord à s'interroger sur la capacité des terres à être plus productives et à assurer les besoins des générations futures sans que ne se déclenchent des processus de dégradation par érosion et diminution continue des réserves minérales et organiques des sols. Elles conduisent ensuite à chercher des solutions d'accompagnement pour une gestion conservatoire des sols et un usage plus efficient des ressources hydriques.

Les solutions pour un accroissement des rendements et/ou la préservation du capital productif sont au cœur des programmes de recherche des instituts et organismes comme le NAES, le SARI, l'URADEP, l'Upper region land conservation and small-holder rehabilitation project, le NARP, le NAEP, le Cirad, l'Ird, le FEER, l'INERA, le CNRST, le BDPA, le Geres-Volta, le PNRSP...

3.1. Objectifs et enjeux

Dans le bassin de la Volta, la culture essentiellement pluviale est pratiquée de façon traditionnelle dans de petites exploitations familiales. Sa relative intensification – généralisation de la culture continue, introduction de la mécanisation – perturbe le bilan

⁹⁰ Avec le taux de croissance actuel, la population double tous les 25 ans.

minéral des sols et réorganise leur structure, ne permettant plus de répondre aux exigences démographiques et économiques.

Les objectifs du développement de la production agricole pluviale doivent donc viser simultanément :

- 1 - un **accroissement** et une **stabilisation des rendements**,
- 2 - le **maintien** ou la **restauration de la fertilité des sols** et,
- 3 - la **réduction des mécanismes de ruissellement et d'érosion**.

Il s'agit de trouver les moyens de combiner le recours aux ressources humaines, techniques ou matérielles disponibles localement – main d'œuvre, compost, ressources minérales locales (Burkinaphosphate⁹¹), moellons, savoir-faire – avec les apports extérieurs – intrants minéraux, techniques rationnelles – (Segda et al., 1998).

Mais, répondre aux objectifs de productivité et de durabilité suppose de relever quatre défis majeurs.

◆ *Premier défi*

Le premier défi est de **produire sur des sols de faible valeur agronomique**, exception faite des sols bruns eutrophes. En effet, les sols peu évolués d'érosion sur matériaux gravillonnaires ou minéraux bruts sur roches ou cuirasse sont des sols peu profonds, pauvres en éléments nutritifs, en azote et en phosphore, possédant un taux de matière organique inférieur à 2 % (Veihe, 2000). Les vertisols sur alluvions ou matériaux argileux sont plus riches mais difficiles à travailler du fait de leur compacité et des risques d'asphyxie. Les sols ferrallitiques sont marqués par une tendance à l'acidification. Enfin, les sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non sur matériaux argilo-sableux, sablo-argileux ou sableux qui sont les plus fréquents sont plus profonds mais pauvres et peu structurés. De telles caractéristiques impliqueront donc d'apporter systématiquement des nutriments et de la fumure organique (cf. *infra* 3.4.) faute de quoi les autres solutions seraient partiellement ou totalement inefficaces en terme de rendements. Ainsi, Zougmore et ses co-auteurs (2004) notent, d'après des recherches menées au Burkina Faso, à Saria et à Pougyango, que la conservation de l'eau, avec une gestion efficace des ressources disponibles mais sans intrants, n'entraîne pas de hausse significative des rendements.

⁹¹ Il s'agit du phosphate naturel produit dans le gisement burkinabé de Kodjari, découvert il y a une vingtaine d'années et dont les ressources sont estimées à 65 millions de tonnes.

◆ *Deuxième défi*

Le deuxième défi est de **garantir une production agricole suffisante⁹² à moyen et long terme sur des sols dégradés ou menacés de l'être** qui occupent déjà les deux tiers de la superficie cultivable au Ghana (Veihe, 2000) et près des trois quarts au Burkina Faso (Guillobez et al., 2000) et qui ne cessent de s'étendre. Ceci implique de favoriser l'infiltration au détriment du ruissellement (cf. *infra* 3.3.) afin de limiter les pertes en terre, notamment en particules fines et nutriments, mais aussi les pertes en eau qui réduisent les possibilités d'alimentation hydrique des plantes.

◆ *Troisième défi*

Le troisième défi est d'**assurer des rendements élevés et stables dans un contexte climatique difficile**, marqué par la variabilité interannuelle⁹³ et intra-saisonnière, par des épisodes pluvieux mal répartis et sporadiques⁹⁴, par des pluies agressives et intenses⁹⁵ et, enfin, par une tendance, au cours des dernières décennies, à la baisse du total pluviométrique. Toutefois, les enjeux climatiques sont variables selon les zones, la zone sahélienne étant principalement affectée par le raccourcissement de la saison des pluies et les déficits⁹⁶ hydriques récurrents tandis que les zones plus arrosées sont davantage touchées par les faux départs de pluies, par des épisodes secs intermédiaires ou, au contraire, par des excès d'eau. Ces caractéristiques climatiques sont une contrainte majeure pour la culture pluviale. D'une part, elles entraînent une surcharge de travail car il est fréquent pour les agriculteurs d'avoir à effectuer un deuxième voire un troisième semis en cas de faux départ. D'autre part, elles hypothèquent la production et augmentent le risque de mauvaises récoltes. Dans le Mouhoun⁹⁷, ce risque s'élève à 45 % des récoltes (Hauchart, 2005). Cette contrainte se traduit

⁹² Une production suffisante suppose une production en croissance continue pour suivre les évolutions démographiques, c'est-à-dire une production qui augmente d'environ 3 % par an alors que son taux de croissance n'est actuellement que de 2 % (Braumon et Vler, 2006).

⁹³ Dans le Mouhoun, la pluviométrie moyenne était de 758,6 mm entre 1982 et 2002 mais les totaux annuels ont fluctué entre 580,4 mm relevés en 2000 et 1131,2 mm en 1994 (Hauchart, 2005).

⁹⁴ Les épisodes de 10 à 14 jours consécutifs sans pluie ne sont pas rares au cœur de la saison de pluies, entre juin et septembre (CPWF, 2006) : ils perturbent le cycle de croissance et, dans les pires cas, entraînent la perte de la production (Palé, 1980).

⁹⁵ Des pluies sont considérées comme agressives dès lors qu'elles ont une intensité de 120 mm/h pendant plus de 5 mn (Somé et Ouattara, 1991). De telles intensités ainsi que des épisodes pluvieux conséquents, de l'ordre de 90 mm, peuvent avoir lieu dès les mois d'avril ou mai (Hauchart, 2005).

⁹⁶ Les années déficitaires se caractérisent par un déficit au cœur de l'hivernage, un retrait plus rapide de la mousson, un nombre total moindre d'événements pluvieux et des intensités de pluies plus faibles (Balme-Debionne, 2004).

⁹⁷ Dans le Mouhoun, en 20 ans, les pluies ont été globalement insuffisantes dans 33 % des cas, mal réparties au cours de la campagne dans 43 % des campagnes et ont eu une fin trop tardive dans 37 % des cas d'où le pourrissement des capsules de coton (Hauchart, 2005) ou l'échaudage des épis (Dugué, 1998).

par des rendements très aléatoires (cf. *supra* Graphe n°1) avec des écarts à la moyenne qui peuvent atteindre 100 %⁹⁸ et qui peuvent perdurer plusieurs années⁹⁹ (Albergel et al., 1984).

Toutefois, les cultures répondent différemment aux contraintes climatiques. Ainsi, le mil et le sorgho qui sont des plantes photopériodiques ne sont pas sensibles à un début capricieux de la saison des pluies et la date des semis n'influe pas sur la floraison (Gigou et al., 2006). A l'inverse, la date des semis est décisive pour le coton car il faut 120 jours de pluie pour répondre aux besoins des cycles végétatifs et reproductifs (Sément, 1986) ; des retards entraînent donc une baisse des rendements et augmentent le risque de mauvaise déhiscence des capsules.

Enfin, l'agressivité des pluies et l'intensité de certains épisodes au cours desquels les quantités de pluie excèdent la capacité d'infiltration des sols génèrent des mécanismes de ruissellement en nappe ou en rigoles qui peuvent affecter directement les récoltes par l'arrachage des pieds ou par un engorgement temporaire des sols défavorables aux cultures.

Les contraintes climatiques rendent nécessaires l'adoption de stratégies et la prise de risques au moment des semis¹⁰⁰ ou des traitements pour tirer les meilleurs profits des investissements en capital et en travail (Crétenet et al., 2006).

1 - Première stratégie : développer des plants en pépinière, avec éventuellement une irrigation de complément, puis un repiquage lorsque la saison des pluies est bien installée plutôt qu'un ou plusieurs semis directs. Cela a pour avantage de réduire le risque d'envahissement par *Eragrostis* ou *Striga* et de favoriser une hausse des rendements, même en cas de sécheresse* épisodique, car les plants ont une plus grande adaptabilité aux conditions d'humidité des sols et ont une maturité plus précoce (CPWF, 2006).

2 - Seconde stratégie : mettre en place un système de gestion des eaux pluviales avec canalisation du ruissellement sur les impluvium puis collecte et stockage dans les compluvium (cf. *infra* 3.2.). Cela signifie des interventions à l'échelle de la parcelle mais aussi à celle du versant ou du bassin-versant.

Toutefois, la bonne gestion de la ressource en eau ne peut être entreprise qu'à partir de solides connaissances des phénomènes pluviogènes et du cycle saisonnier des pluies. Une étude est

⁹⁸ Les rendements de sorgho ont été excédentaires de 102 % en 1993 dans la région Sud-Ouest du Burkina Faso, d'après les chiffres de la DGPSA.

⁹⁹ Albergel et ses co-auteurs (1984) notent que les écarts à la moyenne peuvent être modérés par les pratiques culturales : ils ont observé qu'une baisse des rendements de mil de 83,5 % ne sont, dans des conditions climatiques identiques, que de 32,7 % avec des techniques de culture améliorée par des intrants organiques.

¹⁰⁰ La date optimale des semis varie du 25 avril en pays lobi ou dans le Nord ghanéen au 30 juin dans le Yatenga (Zaongo, 1983).

actuellement en cours dans le cadre du programme AMMA pour définir la date d'installation de la saison pluvieuse¹⁰¹, l'impact des épisodes secs et l'influence sur les rendements et la date des semis¹⁰² de la variabilité intra-saisonnière. Le programme étudie notamment l'apparition d'un affaiblissement¹⁰³ ou d'un renforcement des pluies au cours de la saison. Or, un nombre de jours secs consécutifs compris entre 5 et 15 jours aboutit au stress hydrique des cultures déjà en place (Balme-Debionne, 2004).

◆ *Quatrième défi*

Enfin, le quatrième défi est d'**accroître les rendements avec des pratiques culturelles actuellement peu intensives**. Rappelons que les techniques de culture les plus fréquentes sont manuelles ou partiellement mécanisées, qu'elles ont trop peu recours aux intrants, que, de fait, elles sont peu productives et qu'elles exacerbent les effets des sécheresses* épisodiques et la faible fertilité naturelle des sols.

Ceci implique de les moderniser et de les intensifier mais suppose au préalable d'appréhender les raisons qui justifient les techniques actuellement mises en œuvre. Il s'agit donc de résoudre les problèmes liés à la technicité des méthodes à introduire ou liés aux questions d'ordre culturel, social ou sociétal afin de dépasser les réticences et de comprendre les blocages – manque de temps, de moyens, de main d'œuvre, de savoirs, perception des gains, appréhension de la dégradation des sols, droit foncier, croyances –. Il s'agit aussi de mettre en place des mesures d'accompagnement dans les secteurs connexes et, en particulier, d'assurer un encadrement technique, des formations et un soutien financier dans le cadre d'une approche participative des exploitants, principaux acteurs de la production agricole et de sa consommation immédiate.

Pour être viable, une solution doit donc répondre simultanément aux deux objectifs de productivité et de durabilité tout en respectant les particularismes locaux. Or, certaines solutions promues par des organismes de recherche restent partielles et ne peuvent, seules, être retenues pour assurer un développement à moyen ou long terme de la production agricole pluviale.

¹⁰¹ Cette date est définie statistiquement à partir de l'occurrence de plusieurs jours consécutifs recevant un certain seuil de pluie (Chaouche, 1988) ou présentant une valeur seuil d'humidité du sol (Franquin et Cochème, 1967).

¹⁰² La date des semis doit être choisie pour que la maturation coïncide avec la fin de la saison pluvieuse (Sultan, 2002).

¹⁰³ Un affaiblissement d'une durée moyenne apparaît entre le 10^{ème} et le 25^{ème} jour après le départ des pluies (Sultan, 2002).

C'est le cas des **variétés culturales améliorées** qui, avec des cycles hâtifs, permettent de répondre à la contrainte d'une courte saison des pluies, comme elle l'est en zone sahélienne ou comme elle peut l'être dans le cas de faux départs répétés (Kasei et Rudat, 1994). Les variétés précoces et à cycle court¹⁰⁴ ou de variétés hautement résistantes au stress hydrique ont des besoins en eau bien moindres que les variétés tardives : à titre d'exemple, le mil précoce HKP à cycle de 90 jours requiert 350 mm d'eau contre 600 pour le mil *somno* à cycle de 120 jours. L'utilisation de ces variétés donne généralement des rendements plus élevés et plus stables que les variétés traditionnelles (Alhassan, 2004), surtout si elles sont complémentées par des engrais de fond et de l'urée (Drissa, 2000).

Toutefois, ces variétés cultivées les exploitations familiales, c'est-à-dire avec les mêmes techniques agricoles que les variétés classiques, ne permettent pas de lutter contre la dégradation physico-chimique des sols ni même de maintenir leur niveau de fertilité (cf. *supra* 2.2. et 2.3.). A ce titre, elles ne peuvent contribuer efficacement, à elles seules, à une amélioration durable de la production. En outre, elles augmentent les coûts de production.

D'autres solutions ne peuvent pas davantage être retenues car trop utopiques.

C'est le cas des solutions qui préconisent un **apport de fumure organique** dans des proportions de 10 (Nicou, 1986) ou de 20 t/ha/an (Valet, 2000) sans mesures complémentaires alors que la production locale de matière organique, variable entre 0,5 et 5 t/ha/an (Valet, 2000) selon les exploitations et les zones agroécologiques, est insuffisante (cf. *infra* 3.4.).

C'est aussi le cas du **labour** qui peut être bénéfique dans certaines conditions de réalisation mais qui ne l'est souvent pas en conditions réelles, faute de technique, de moyens ou de temps (cf. *supra* 2.3.).

De plus, la mécanisation n'est pas toujours une solution envisageable car, dans certains zones comme les provinces sahéliennes, la sécurité alimentaire familiale étant déjà difficilement assurée, les exploitants ne peuvent pas vendre de céréales pour avoir les liquidités nécessaires à l'achat de bétail et de matériel. En outre, cette précarité les rend réticents à s'engager dans de lourds investissements dont ils ne percevront pas immédiatement les bénéfices.

Ce n'est souvent que dans les cas extrêmes de baisse des rendements ou de dégradation visible – rigoles ou ravines – que les agriculteurs entreprennent d'aménager leurs parcelles ou de modifier leurs pratiques culturales. On observe alors un effet d'entraînement avec

¹⁰⁴ Il existe de nombreuses variétés de mil – HKP, ¾ HK, ANK-P1, ITMV-8304... –, de sorgho – *El mota*, IRAT 204... –, de maïs – Maka, Jeka... – à cycle de 80-90 jours avec des besoins en eau inférieurs à 400 mm, plusieurs variétés de riz – IR 1529, D 52-37 – à cycle de 120-130 jours et quelques variétés de niébé* comme le TN 88-63 à cycle de 60 jours.

l'adoption conjointe de plusieurs techniques ou aménagements dont la mise en place de dispositifs pour freiner le ruissellement.

Certaines solutions (cf. *infra* 3.2., 3.3. et 3.4.) peuvent néanmoins être envisagées de façon réaliste pour apporter une réponse simultanée aux deux objectifs de productivité et de durabilité des systèmes de culture.

3.2. Les techniques d'économie et de gestion de l'eau

Quelques unes des pratiques agricoles traditionnelles ou plus modernes et certains dispositifs anti-érosifs améliorent le contrôle de la pluie et du ruissellement (Reij et al., 2005) car elles accroissent, au moins temporairement, les possibilités d'infiltration des eaux de pluie. C'est le cas de la scarification en sec*, du labour, du *zai**, des demi-lunes*, du paillage* et des cordons pierreux (cf. *supra* 2.4.). Mais, à l'exception du *zai** et des demi-lunes*, ils ne sont pas mis en œuvre ou érigés par les exploitants burkinabé et ghanéens dans le but d'améliorer la gestion des ressources en eau. Pourtant, les dysfonctionnements hydriques sont la principale explication des fluctuations de rendements en culture pluviale, tant à l'échelle de la parcelle que du versant (Valet, 2000). Compte-tenu des caractéristiques du climat – déficit, excès et irrégularité spatio-temporelle (cf. *supra* 3.1.) –, il est nécessaire, comme premier volet d'un programme global d'action pour la durabilité de la production agricole, d'introduire des pratiques culturales ou de favoriser l'adoption d'aménagements capables d'améliorer le bilan hydrique des sols (Somé, 1989) et la mise à disposition de l'eau pour les plantes (Baldy, 1986). Pratiques et aménagements doivent pour cela :

1 - réduire le ruissellement (Reij et al., 2005) ou le détourner vers des parcelles de culture (CPWF, 2006) car 25 à 55 % des pluies (Gigou et al., 2006), voire même 70 %¹⁰⁵ sur sol nu et compact, sont perdues pour les cultures à l'échelle du champ et génèrent des mécanismes d'érosion (Some et Ouattara, 1991),

2 - favoriser l'infiltration, notamment celle des premières pluies grâce à un grattage superficiel ou à un labour, car, en zone soudano-sahélienne, chaque millimètre d'eau qui s'infiltré au lieu de ruisseler engendre, en année sèche, un gain de rendement en grain de 8 kg/ha (Valet, 2000),

¹⁰⁵ Les pourcentages résultent de mesures respectivement effectuées dans le Sud du Mali, entre Bamako et Ségou, et dans le Nord du Burkina Faso, à Saria.

3 - réduire l'évaporation¹⁰⁶,

4 - accroître la capacité de stockage des sols pour pallier les éventuels déficits (Ouattara et al., 1994),

5 - améliorer les conditions de drainage pour éviter l'engorgement (Ouattara et al., 1994) et limiter les percolations en profondeur (Nicou, 1986),

6 - et enfin, faciliter les conditions d'utilisation des eaux par les plantes en ameublissant le sol et en permettant ainsi un meilleur développement du système racinaire.

L'objectif est de faire du ruissellement une source supplémentaire d'alimentation en eau qui correspond à "*une irrigation naturelle, complémentaire et simultanée à la pluie qui l'a générée en fonction des conditions évolutives de l'état de surface*" et qui permet de reconstituer le stock hydrique (Valet, 2000).

Les moyens pour parvenir à ce report hydrique et pour rendre plus efficiente et plus économe la gestion des eaux disponibles sont de nature variée mais ils doivent répondre à une logique temporelle.

♦ *Les aménagements et pratiques agricoles pour une gestion efficiente des ressources en eau sur glacis et versants*

Le report hydrique et la gestion efficiente des eaux doivent tout d'abord reposer sur des techniques biologiques ou mécaniques telles que les **barrages filtrants** (cf. *infra 3.2.*) : des cordons pierreux particulièrement adaptés aux hauts de versants, des fascines* végétales vives et des haies plantées de préférence en tête des petits vallons (Valet, 2000) ou des dispositifs, à l'échelle des bassins versants pour combler les ravins et réhabiliter les surfaces stérilisées (Dupriez et De Leneer, 1990) en améliorant le drainage (Hil et al., 1985). Ces aménagements permettent la reconstitution progressive des écosystèmes (cf. *infra 3.3.*) ; ils doivent toutefois s'accompagner de mesures pour l'accès au foncier et à l'eau afin d'entrer dans une logique collective de gestion de l'espace et de préservation des ressources hydriques et pédologiques (Moustier et David, 2001).

¹⁰⁶ Le mulching*, associé à un semis direct, permet, par exemple, de limiter l'évaporation et de conserver l'humidité du sol d'où une hausse des rendements de 16 à 45 % en année normale et de 38 à 48 % en année sèche (Ekboir et al., 2002).

Les barrages filtrants doivent ensuite être complétés par des techniques agricoles répondant aux objectifs précédemment exposés d'infiltration partielle ou totale des eaux au détriment du ruissellement.

Deux pratiques ont donné des résultats encourageants lors des expérimentations et semblent adaptées aux conditions humaines et techniques locales ; elles méritent d'être exploitées.

1 - En premier lieu, il s'agit du **labour en sec* à la dent**¹⁰⁷. C'est une technique applicable à l'ensemble des unités de paysage de la toposéquence affectés par le ruissellement en nappe. Le passage de la dent se fait suivant les courbes de niveau ou perpendiculaire à la pente principale, avec un écartement de 45 à 50 cm. Cette technique présente l'avantage de pouvoir être effectuée en début de saison sèche, en seulement 12 heures par hectare (Ruelle et al., 1990). De plus, sa réalisation est facile car le travail ne s'effectue que sur une profondeur de 8 à 12 cm (Lavigne Delville, 1990). Le labour à la dent est très efficace pour limiter la circulation des eaux de surface. La création de micro-modelés aptes à retenir la lame d'eau et à en réduire la vitesse et l'accroissement de la porosité des horizons superficiels facilitent l'infiltration des eaux, la progression du front d'humectation et le développement du réseau racinaire (Ruelle et al., 1990). D'après des mesures effectuées sur plusieurs années au Burkina Faso et au Sénégal, les rendements sont accrus de 20 % pour le sorgho, le mil, le coton ou les arachides, de 55 % pour le maïs et de 70 % pour le riz paddy en culture pluviale (Nicou, 1986).

2 - En second lieu, il s'agit du **labour cloisonné** qui permet une économie de l'eau par l'amélioration des conditions d'infiltration (Nicou et Lemoigne, 1990). Le cloisonnement stoppe totalement le ruissellement et, en condition de manque d'eau, les micro-cuvettes ont des effets spectaculaires sur les rendements grâce au stockage des pluies : un gain de 68 % a été observé dans le Yatenga (Nicou et Lemoigne, 1990). Mais la technique n'est efficace que si les sols sont capables de retenir les eaux et elle est donc inadaptée aux sols sableux (Nicou, 1986).

◆ *Les techniques de stockage de l'eau*

Ces pratiques agricoles peuvent être complétées par des techniques de stockage de l'eau dans le sol lui-même ou dans des trous creusés à l'aval des parcelles.

¹⁰⁷ Cette technique n'est adoptable qu'à la condition de mettre en place simultanément un système de crédit et de formation pour faciliter l'acquisition du matériel et la maîtrise de la technique.

Dans le premier cas, cela consiste à utiliser un **hydrorétenteur** de type Aquasorb (Dugué et al., 1988) ou Polyter (Karimou Ambouta et Bouzou Moussa, 2004). Apportés dès les premières pluies utiles, en même temps que les semences, ces produits ont, d'après les études menées à Kossa, en zone sahélienne nigérienne, et dans le Liptako à la frontière Mali-Burkina, la capacité d'absorber de 160 à 500 fois leur poids sec (Karimou Ambouta et Bouzou Moussa, 2004). Les particules forment des nodules gorgés d'eau autour des racines, accroissant la réserve d'eau utile et limitant les pertes par percolation (Dugué et al., 1988). Cela permet, le cas échéant, de réduire d'environ 50 % les quantités d'eau apportées par l'irrigation et d'espacer les arrosages mais il faudrait toutefois déterminer de façon plus précise s'il s'agit d'une économie réelle ou uniquement d'une diminution par rapport à un arrosage excessif et inutile.

Que les cultures soient irriguées ou non et qu'elles soient complémentées ou non en fumure minérale et organique, les hydrorétenteurs ont toujours des effets positifs :

- 1 - sur l'état de surface des sols avec la création d'un micro-modelé rugueux favorable à la rétention des eaux de pluies,
- 2 - sur le ruissellement et l'érosion¹⁰⁸
- 3 - sur les rendements et sur la production de talles fertiles, avec une augmentation de 11 à 31 % (Karimou Ambouta et Bouzou Moussa, 2004).

Toutefois, les bienfaits restent très relatifs au regard du coût¹⁰⁹ des produits ce qui en fait une solution peu réaliste dans le bassin de la Volta. Les frais ne peuvent justifier l'usage que pour des cultures commercialisables comme les produits maraîchers ou les cultures de rente.

Dans le second cas, le stockage consiste à creuser des **boulis***¹¹⁰ en aval des parcelles – à la limite du parcours sur glacis gravillonnaire ou des blocs de culture sur glacis limoneux (Roose, 1990) – ou à aménager des micro-retenues pour retenir l'eau et pouvoir ensuite la redistribuer.

Les boulis* sont des trous de forme variée de plusieurs mètres de diamètre ou de côté et de un à deux mètres de profondeur. Leur fond est colmaté par des sédiments fins apportés¹¹¹ par le

¹⁰⁸ Des mesures ont montré que le KRAM passe de 79 à 51 % des pluies et que l'érosion passe de 6,8 à 2,3 kg/m² grâce au polyter (Karimou Ambouta et Bouzou Moussa, 2004).

¹⁰⁹ Le Polyter coûte entre 5000 et 8000 FCFA/kg et les doses conseillées sont de 20 kg/ha.

¹¹⁰ Cette pratique se développe déjà dans les régions septentrionales du Ghana (ODI, 2003).

¹¹¹ Il est nécessaire de creuser les boulis* en aval des parcelles aménagées avec des cordons pierreux ou un paillage* pour éviter que l'érosion ne les comble trop rapidement. Le ruissellement ne doit cependant pas être totalement stoppé pour permettre leur remplissage (Roose, 1990).

ruissellement et pouvant être récupérés pour faire des briques (Roose, 1990). Ces **citernes** constituent des réserves d'eau destinées à l'abreuvement du bétail après filtration ou à l'irrigation d'appoint des jardins ou des parcelles plus en aval grâce à un système de distribution gravitaire en billons (Roose, 1990).

Les micro-retenues sont des fosses creusées et complétées de diguettes de collecte latérale pour canaliser le ruissellement (Dugué et al., 1988). Elles permettent ensuite de valoriser les eaux grâce à un système d'irrigation par planches.

Une gestion rationnelle des ressources hydriques peut permettre d'envisager une irrigation de complément pour la culture pluviale¹¹² et de pallier ainsi l'insuffisance et l'irrégularité des pluies, notamment en début de cycle végétatif, assurant une levée rapide et homogène des semences (Dembélé, 1994). Des expérimentations menées au Burkina Faso ont démontré que les meilleurs rendements de sorgho, 2142 kg/ha, sont obtenus sur parcelles labourées avec irrigation d'appoint : ils sont majorés de 90 % par rapport au semis direct non irrigué, de 72 % par rapport au semis direct avec irrigation complémentaire, de 46 % par rapport au labour non irrigué et de 30 % par rapport au billonnage* cloisonné (Dugué et al., 1988).

Mais ces résultats démontrent que la seule irrigation ne suffit pas à accroître les rendements sur des sols naturellement pauvres, surtout les années de bonne pluviométrie (Dembélé, 1994).

◆ *Aménagement et économie d'eau sur les zipellés* et les terres encroûtées*

Deux types d'aménagement – le *zai** mécanisé et les demi-lunes* – pourraient permettre de cultiver les terres encroûtées et, à terme, de réhabiliter les *zipellés** tout en économisant les ressources en eau. Ces techniques sont bien adaptées aux régions sahéliennes.

Le *zai** **mécanisé**¹¹³ permet un gain de temps lors de la réalisation des cuvettes : 22 heures au lieu de 300 à 400¹¹⁴ pour la préparation manuelle d'un hectare (Barro et al., 2005). Il s'en suit un accroissement des surfaces aménagées, une extension des terres réhabilitées, donc des terres cultivables et des possibilités de jachère.

De plus, les investissements en temps, en énergie et en capital sont rentabilisés par une hausse des rendements en paille de 50 % et en grains de 30 % (Barro et al., 2005). L'amélioration de

¹¹² La rationalisation implique alors de déterminer la date la plus précoce possible de mise en place des cultures de saison pluviale (Sandwidi et Keita, 1997).

¹¹³ Tandis que Ouedraogo et Kaboré (1996) évoquaient l'impossibilité de mécaniser le *zai**, Barro et ses co-auteurs (2005) en démontrent les bienfaits.

¹¹⁴ Le nombre d'heures de travail est variable d'un auteur à l'autre : Kaboré et ses co-auteurs (1994) confirment une durée d'environ 400 h/ha tandis que Roose (1990) évoque 160 à 250 jours à raison de 80 trous par jour.

la productivité s'explique par les modifications de la structure du sol : le passage croisé de la dent¹¹⁵ crée davantage d'aspérités que la *daba** ce qui favorise l'infiltration des eaux, améliore la profondeur du front d'humectation et les possibilités de la contribution à la recharge des nappes souterraines. Cet aspect mériterait toutefois d'être davantage étudié. Sur le même principe de collecte des eaux de ruissellement que le *zai** traditionnel, il accroît donc la disponibilité en eau pour les cultures.

Par ailleurs, en réduisant la résistance du sol¹¹⁶, la mécanisation facilite la pénétration et le développement racinaire dans les horizons superficiels sur 20 cm.

Les **demi-lunes*** connaissent un développement naissant dans le Nord du Burkina Faso. Elles doivent être encouragées car le dispositif est adapté aux conditions climatiques sahéliennes par sa grande capacité de collecte des eaux de ruissellement.

Les demi-lunes* doivent principalement être creusées sur des glacis sableux¹¹⁷, sablo-limoneux ou limoneux en profondeur mais recouverts d'une couche argileuse de quelques millimètres. Il s'agit de demi-cercles de dimensions variables : 1 à 2,5 mètres de diamètre sur une profondeur de 5 à 20 centimètres d'amont en aval selon Lavigne Delville (1996), 4 mètres de diamètre sur une profondeur de 15 à 30 cm selon Evequoz et Yadjji (1998) et jusqu'à 6 mètres selon Roose (1990). La terre est excavée puis étalée en croissant autour des trous. L'extrémité des bourrelets doit être protégée par trois cailloux pour éviter l'érosion en cas de débordement de l'eau (Roose, 1990).

Les cuvettes sont disposées en courbes de niveau et en écailles de poisson. Elles sont généralement distantes de 2 mètres¹¹⁸ et les rangées sont espacées de 4 mètres ce qui permet d'étendre leur impluvium et de recueillir le maximum des eaux qui ruissellent. Avec cet écartement, chaque millimètre de pluie qui tombe permet ainsi le stockage dans le bassin de 1,9 à 5,7 mm, ce qui accroît la disponibilité pour les végétaux (Evequoz et Yadjji, 1998). Pour que l'efficacité soit maximale, le sol des micro-bassins doit être régulièrement sarclo-biné faute de quoi le colmatage du fond des cuvettes par la charge solide du ruissellement forme une croûte imperméable (Roose, 1990).

¹¹⁵ Le passage de l'attelage bovin pour creuser les trous peut être complété ou non par l'extirpation de la terre des cuvettes sans effet significatif sur les rendements.

¹¹⁶ Les conséquences sur la structure du sol varient selon sa nature et, surtout, selon sa teneur en argile : à taux d'humidité égal, une plus forte teneur en argile augmente la cohésion du sol (Barro et al., 2005).

¹¹⁷ La demi-lune* est mieux adaptée aux sols sableux que le *zai** (Evequoz et Yadjji, 1998).

¹¹⁸ En zone où la pluviométrie est inférieure à 300 mm, l'espacement entre les demi-lunes* doit être porté à 4 mètres pour accroître l'impluvium (Evequoz et Yadjji, 1998). Un bassin reçoit alors 500 mm d'eau avec seulement 200 mm de pluie (Lavigne-Delville, 1996).

Des mesures complémentaires, en conditions réelles et sur parcelles expérimentales, pourraient être effectuées pour déterminer si, outre les conditions pédologiques, les valeurs de pente doivent être prises en compte dans le choix des aménagements et quelles sont les valeurs les mieux adaptées au zaï et aux demi-lunes.

Différentes techniques agricoles permettent donc, notamment lorsqu'elles sont associées entre elles ou avec des aménagements de retenue et de stockage de l'eau, d'accroître les rendements tout en préservant le capital productif car elles amoindrissent le ruissellement. Le ralentissement de la vitesse de circulation des eaux et, de fait, de leur capacité de charge entraîne une diminution de leur pouvoir érosif et une réduction des exportations de particules. Il y a toutefois débat sur la réduction du ruissellement.

Certains conseillent de le stopper avec des techniques comme le mulch ou les cordons pierreux végétalisés dont l'efficacité est jugée maximale lorsqu'ils sont colmatés (Coulibaly, 1993). Valet (2000), quant à lui, reproche à ces techniques de provoquer l'infiltration totale de l'eau en amont des cordons au lieu de maintenir le ruissellement sur les parcelles plus en aval et de favoriser ainsi le report hydrique.

3.3. Les pratiques anti-érosives

Les techniques anti-érosives traditionnelles mises en œuvre (Figure n°4) sont les cordons pierreux dans la zone cotonnière, le Nord du Ghana mais aussi le Centre et l'Est burkinabé où ils coexistent avec le paillage*. Elles restent toutefois assez peu répandues et leur réalisation, mal maîtrisée et peu soignée faute de temps ou de moyens matériels, minimise leurs retombées (cf. *supra* 2.4.).

Les aménagements de lutte contre les mécanismes de ruissellement et d'érosion sont pourtant un préalable indispensable au maintien des caractéristiques physico-chimiques des sols et à la gestion économe des eaux (cf. *supra* 3.2.). A ce titre, ils doivent constituer un autre volet d'un programme global pour la durabilité de l'agriculture. D'après les résultats expérimentaux, les techniques traditionnelles pourraient être améliorées ou complétées, tout en prenant en considération les particularismes locaux – disponibilité en main d'œuvre et en matériaux, possibilités techniques... – et les conditions morpho-pédologiques.

Pour les glacis et les versants non encroûtés, trois types de barrages filtrants, plus élaborés et plus efficaces que ceux qui sont traditionnellement utilisés, pourraient être vulgarisés afin de ralentir le ruissellement, de réduire les pertes en terres à l'échelle des parcelles et de limiter le ravinement à l'échelle du bassin-versant.

◆ *Les techniques de stockage de l'eau*

Le premier type de barrage filtrant repose sur le principe des **cordons pierreux** améliorés grâce à un **sous-solage** et à une disposition plus complexe des pierres¹¹⁹. En effet, si l'alignement simple de moellons sur une seule rangée, est le type de cordons le plus répandu, il a ses limites (cf. *supra* 2.4.).

Après le marquage au sol des courbes de niveau, trois sillons sont creusés grâce au double passage de sous-soleuses à deux dents. De gros moellons sont placés verticalement dans le sillon du milieu puis de petites pierres sont imbriquées en amont des moellons dressés. De grosses pierres plates sont disposées en aval des gros moellons pour assurer leur maintien (Kaboré et al., 1994).

Cette méthode requiert plus de pierres que le système simple mais elle a davantage d'effets bénéfiques:

1 - elle réduit le ruissellement, filtre les résidus organiques desséchés et flottants puis favorise le délestage des particules fines (Roose, 1990),

2 - elle permet aussi un maintien plus durable de la perméabilité du dispositif.

L'accumulation de terre sableuse organique filtrante est favorable à l'implantation d'herbes sauvages le long des cordons.

◆ *Les bandes enherbées*

Le deuxième type de barrages filtrants repose sur le principe des **bandes enherbées** constituées de graminées comme *Andropogon gayanus* dans les zones où la pluviométrie est comprise entre 400 et 800 mm ou comme *Pennisetum purpureum* au-delà de 800 mm de pluie (Lavigne Delville, 1996). Les bandes végétales permettent de limiter le ruissellement en nappe et favorisent la gestion du report hydrique à l'échelle des versants. La canalisation des eaux qui ruissellent vers les parcelles en aval peut permettre de les recueillir à 80 % (Lavigne Delville, 1996), d'où une hausse des rendements de près de 90 % (Valet, 2000). Par ailleurs, elles ont un potentiel de biomasse élevé ce qui les rend intéressantes dans le cadre d'une

¹¹⁹ Certains dispositifs comme le cordon à trois pierres du FEER sont contestés car ils laissent des espaces trop importants entre les pierres d'où la création de rigoles (Somé et al., 2000).

amélioration de la fertilité et de la structure des sols par apport de matière organique (cf. *infra* 3.4.).

◆ *Les diguettes filtrantes*

Enfin, lorsque l'érosion est trop étendue pour être réduite par des cordons pierreux¹²⁰ ou des haies végétales, il est nécessaire d'intervenir à l'échelle du bassin-versant avec des dispositifs de type **diguettes filtrantes**.

Celles-ci sont des entassements de grosses pierres sur une ligne barrant une tête de vallée ou de ravine, dans le lit majeur d'un bas-fond (Somé et al., 2000). Elles ont pour finalité de ralentir les écoulements, à l'origine du ravinement, et d'entraîner la sédimentation de la charge.

Le dispositif, filtrant ou demi-filtrant, doit être choisi en fonction des objectifs à atteindre :

1 - Pour **améliorer l'alimentation en eau de la nappe**, les diguettes filtrantes, retenant peu l'eau malgré un noyau de graviers fins, sont bien adaptées.

2 - En revanche, pour **permettre l'exploitation des bas-fonds** et créer une zone de riziculture, il convient de mettre en place une digue peu filtrante avec un noyau de graviers fins doublé d'un noyau argileux pour favoriser la formation d'une lame d'eau de 10 cm en amont de la digue (Roose, 1990).

Ces aménagements permettent de valoriser les fonds plats des vallées qui sont souvent trop détrempés pour être cultivés en sorgho mais pas assez longtemps imbibés pour permettre la culture du riz. Ce faisant, cela pourrait constituer un moyen pour étendre les terres de culture sur les bas-fonds encore sous-exploités et pourtant productifs, tout en limitant les risques d'engorgement. Grâce à un travail communautaire exigeant et lourd, cela pourrait générer une hausse de la production agricole à l'échelle familiale autant que villageoise.

3.4. La matière organique, une solution complète pour l'amélioration durable des aptitudes agronomiques des sols ?

L'insuffisance et la variabilité de la production agricole rendent incertaine, irrégulière dans le temps et variable dans l'espace la satisfaction des besoins alimentaires. Ce problème devrait s'accroître encore avec la surexploitation des sols par la mise en culture intensive et continue et avec la diminution des terres arables.

¹²⁰ Il est néanmoins nécessaire de positionner des moellons de chaque côté du lit du bas-fond (Roose, 1990).

La jachère est une pratique qui tend à disparaître. Seul l'apport de matière organique peut tempérer les méfaits du nombre des années de culture (Cattan et al., 2001) car elle contribue à la stabilité des conditions physiques, chimiques et biologiques des sols.

1 - D'une part, en dynamisant l'activité de la faune qui creuse des galeries favorables à la macro- et à la méso-porosité, elle **améliore la structure des sols** qui sont plus aérés, plus perméables et plus résistants vis-à-vis de l'érosion¹²¹ grâce à l'agrégation des particules fines, particulièrement celles dont la taille est comprise entre 0 à 20 µm (Serpantié et Ouattara, 2001). L'infiltration des eaux de pluie s'en trouve facilitée (Dembélé, 1994) et grâce à une capacité de rétention en eau accrue, l'alimentation hydrique des plantes se trouve améliorée (Ruelle et al., 1990).

2 - D'autre part, la matière organique **augmente les possibilités de stockage des nutriments du sol** comme l'azote, le soufre ou le phosphore et accroît leur disponibilité, leur capacité d'échange et d'absorption. Les apports de pailles ou de fumier stabilisent le complexe argilo-humique (Berger et al., 1988) et corrigent le pH aussi bien en sols acides comme les sols rouges tropicaux ou les sols ferrugineux grâce aux bases (Djiguembé, 1988), qu'en sols basiques tels que les vertisols par l'augmentation de la conductivité électrique CEC (Bertrand et Gigou, 2000).

3 - Par ailleurs, la fumure **renforce les effets des autres techniques** utilisées ou conseillées – intrants minéraux, labour, hydrorétenteurs ou cordons pierreux – dont il est toujours démontré qu'elles donnent des rendements encore meilleurs avec des apports conjoints de matière organique, quelles que soient les quantités apportées¹²². La matière organique préserve ainsi le niveau de fertilité des sols (Segda et al, 1998), assure leur conservation (Société japonaise des ressources vertes, 2001) et les protège durablement contre l'érosion (Veihe, 2000).

Pourtant, à l'exception du Nord ghanéen où l'usage des résidus de culture et de fumier est plus répandu (Karbo et Agyare, 1998), les apports de fumure organique ne sont pas généralisés (cf. *supra* 1.). Plusieurs raisons expliquent le recours insuffisant à une pratique qui peut être bénéfique en terme de productivité et de durabilité de la culture pluviale.

¹²¹ Le rôle anti-érosif de la fumure organique mériterait davantage d'investigations prenant en compte la nature des sols, la quantité de fumure, les techniques culturales et les données pluviométriques – intensité, fréquence, durée, quantité... – .

¹²² Un apport de 20 ou 30 t/ha n'apporte pas de hausse des rendements supérieurs à un apport de 10 tonnes (Dembélé, 1994).

Ce sont principalement:

- 1 - le **manque de disponibilité en matières végétales**¹²³ et la compétition pour leur usage (fourrage animal, construction des maisons, accessoires divers, feux ménagers...),
- 2 - le **manque de déjections animales**¹²⁴,
- 3 - la **mauvaise maîtrise des fosses compostières-fumières**,
- 4 - la **difficulté à transporter la fumure** jusque dans les parcelles, faute de posséder des charrettes
- 5 - et le **poids des traditions**. Les ancêtres qui transmettent les techniques culturelles et les savoirs apportaient traditionnellement peu de fumier puisque l'épuisement des terres était régulièrement compensée par la mise en jachère (Da, 2004).

Une stratégie d'utilisation réaliste du fumier comme moyen d'assurer une production élevée et durable doit répondre à trois conditions :

- 1 - disposer de ressources suffisantes en fourrages et en litière,
- 2 - pouvoir composter le fumier et l'apporter à des doses raisonnables et
- 3 - transporter le fumier au champ et l'y enfouir (Ganry et al., 1998).

◆ *L'accroissement des ressources végétales*

La première solution pour accroître la disponibilité en ressources végétales consiste à pratiquer la **jachère améliorée** c'est-à-dire à enrichir la jachère avec des graminées, des plantes de couverture ou des légumineuses*. L'introduction pendant trois ans d'une simple jachère herbacée avec des plantes annuelles de type *Bracaria* ou d'une prairie pâturée a les mêmes effets qu'un apport direct de fumure sur le maintien de la fertilité et du taux de matière organique (Boyer, 1977).

Les graminées peuvent être remplacées par des légumineuses* (Hien et al., 1994) ou par des plantes couvrantes comme *Mucuna pruriens*, *Calopogonium mucunoïdes*¹²⁵, *Mucuna cochinchinensis*, *Pueraria phaseoloïdes*, *Lablab purpureus*, *Macroptilium atropurpureum*,

¹²³ Karbo et Agyare (1998) estiment que la disponibilité en paille ne couvre que 20 à 30 % des besoins en tout genre.

¹²⁴ Une étude menée au Niger avec des bovins de 200 kg a montré qu'il faut huit têtes de bétail parquées pendant 62,5 nuits, à raison de 9 heures par nuit pour obtenir 10 t/ha d'excréments (Société japonaise des ressources vertes, 2001). Or, peu d'agriculteurs disposent d'un tel cheptel. Une autre étude, également menée au Niger, montre qu'il faut un troupeau de 53 petits ruminants et de 6 bovins et 90 hectares de pâturage pour assurer un apport de fumier de 4,2 t/ha/an, ce qui permet le maintien à 0,6 % du taux de matière organique du sol (Evequoz et Yadi, 1998).

¹²⁵ Des recherches sont menées depuis le milieu des années 1980 sur le rôle du niébé* dans les associations culturales (Dogbe, 1998).

Cajanus cajan... (Segda et al., 1998). Cependant, la production fourragère des jachères ne peut-être améliorée que si les paysans en modifient la gestion, notamment s'ils contrôlent les feux et le pâturage (Ganry et al., 1998).

Les **plantes couvrantes et les légumineuses*** peuvent également être complantées dans les champs avec les cultures pérennes, notamment dans les zones climatiques où la pluviométrie excède 500 mm (Anschütz et al., 1998).

Afin d'éviter la compétition pour l'eau et les nutriments entre les céréales et les légumineuses*, il est conseillé de choisir des variétés à croissance initiale lente et à cycle de six à dix mois comme les mucunes. Elles ont l'avantage de produire une litière abondante¹²⁶ et sèche qui se décompose lentement, protège l'horizon superficiel à plus de 70 % pendant quatre mois, attire les micro-organismes et améliore le bilan hydrique des sols en favorisant l'infiltration et en bloquant l'évaporation¹²⁷ (Segda et al., 1998). Elles améliorent également le bilan minéral en augmentant les teneurs en matière organique, en azote¹²⁸ (IITA, 1992) et, par suite, en carbonate de calcium et en oxyde de magnésium¹²⁹ (Piéri, 1990).

Des variétés hâtives, avec un cycle de 55-60 jours, peuvent néanmoins être utilisées en remplacement des jachères pâturées traditionnelles ou en culture intermédiaire du riz car elles présentent l'intérêt d'étouffer rapidement les adventices (IITA, 1992) et de permettre le maintien de la biodiversité. Semées fin avril pour étaler les prélèvements en eau et en nutriments, ces légumineuses* peuvent être récoltées avant même le semis du riz, la succession assurant une longue couverture protectrice du sol (CPWF, 2006).

Qu'il s'agisse de variétés à cycle court ou long, l'introduction de légumineuses* comme précédent ou comme culture intercalaire se traduit toujours, d'après les mesures réalisées dans le Nord ghanéen, par une hausse des rendements céréaliers en talles productives et en grains (Dogbe, 1998).

Le **zai*** forestier est également une solution intéressante pour reconstituer des jachères ou les parcs à *Acacia albida* et augmenter la disponibilité en bois de chauffe et en branchages pour des usages divers tels que les fascines*.

¹²⁶ La quantité de litière varie de 2,7 à 8 t/ha selon les espèces végétales (Segda et al., 1998).

¹²⁷ Les légumineuses* à grosses graines comme le pois cajan et les mucunes sont celles qui ont une meilleure levée et offre un plus fort taux de couverture du sol dès le deuxième mois (Segda et al., 1998).

¹²⁸ Elles ont une teneur en azote comprise entre 1,65 et 3,95 % d'où une accumulation au niveau du sol, dans des proportions variant de 61 à 650 kg/ha, et une réduction des risques d'acidification (Segda et al., 1998).

¹²⁹ A chaque kilo d'azote déficitaire correspond une perte respective de trois kilos de carbonate de calcium et d'oxyde de magnésium (Piéri, 1990).

Il consiste à préserver, lors des opérations de sarclage et toutes les deux ou trois cuvettes, deux plantules forestières issues de la germination des graines contenues dans les fèces* apportées sous forme de poudrette*. Les plantules bénéficient de la concentration en eau et en éléments nutritifs des cuvettes. Les jeunes arbres sont ensuite préservés lors de la récolte et protégés des chèvres par les tiges de sorgho ou de mil résiduelles (Roose, 1990). Cette mise en défens est nécessaire pour assurer le succès de la revégétalisation des *zipellés**.

Les **demi-lunes* forestières** sont une technique observée au Niger dans certains villages-pilotes comme le village d'Hamdalaye. Elle consiste à réaliser, dans chaque demi-lune*, un poquet* dans lequel est repiqué un plant de gommier. Après deux ou trois ans, lorsque les gommiers ont bien repris, les demi-lunes* sont mises en culture.

Une autre solution pour accroître la disponibilité en fourrage et en matière organique consiste à mettre en place des **haies végétales anti-érosives** plantées en graminées ou en végétaux à forte production de biomasse – *Andropogon gayanus*, *Chromolaena odorata*, *Panicum maximum*, *Dolichos lablab*, *Cajanus cajan*... – (Fening et al., 2001) qui peuvent être complétées par des bandes arbustives – *Ziziphus mauritania*, *Bauhinia rufescens*, *Acacia macrostachya*... – plus résistantes à la pression animale (Valet, 2000) bien que cela ne dispense pas les agriculteurs de mettre en défens les périmètres aménagés.

Enfin, d'après une étude réalisée dans la région cotonnière du Sud du Mali, les ressources fourragères peuvent être accrûes par une **utilisation rationnelle des intrants minéraux et organiques**. L'étude démontre, dans le cas d'un assolement coton-sorgho, l'intérêt d'apporter les engrais azotés et l'urée sur le sorgho plutôt que sur le coton et inversement pour le fumier. Cela permet, sans affecter les rendements cotonniers¹³⁰, d'augmenter d'environ 50 % la production de grains et surtout de pailles, ce qui accroît la disponibilité pour les besoins domestiques et l'élevage (Ganry et al., 1998).

◆ *Le compostage du fumier*

Les végétaux issus des bandes enherbées ou arbustives et des cultures intercalaires ou associées doivent être mélangés à des pailles de riz et à des déjections animales (CPWF, 2006) pour fabriquer du compost, ce qui suppose la création de fosses. Actuellement, dans le

¹³⁰ Les rendements ont été de 1616 kg/ha avec 5 t/ha de fumier contre 1255 kg/ha avec un apport de 45 kg/ha de NPK (Ganry et al., 1998).

cadre des programmes de vulgarisation de la fumure organique dispensés par les organismes gouvernementaux¹³¹, de plus en plus de formations intègrent les **fosses compostières-fumières** (Hauchart, 2005) dont la réalisation suppose de prendre certaines précautions.

Construites en briques de latérite ou en pierres sauvages, les fosses doivent faire environ 3 mètres de côté et de 0,8 à 1,5 mètres de profondeur, avec un petit rebord de banco pour empêcher la pénétration de l'eau pendant la saison des pluies (Société japonaise des ressources vertes, 2001). Elles doivent être implantées si possible à l'ombre, à moins de 500 mètres d'un point d'eau mais aussi près d'un point d'approvisionnement en matières organiques – excréments de bétail et litière, tiges de sorgho, mil ou autre, ordures ménagères et cendre –, à mettre à pourrir (Da, 2003).

Une fosse produirait entre 3,5 et 4,5 tonnes de fumier par fosse et par saison agricole (Hauchart, 2005) mais, là encore, il s'agit de chiffres théoriques qui mériteraient d'être complétés par des données recueillies en milieu paysan.

La **stabulation saisonnière** peut également permettre la production de fumier composté. Elle est traditionnellement pratiquée dans les parcs d'hivernage, de juin à octobre, et permet, d'après des études menées au Burkina Faso, de produire 6 tonnes de fumier avec 5 unités de bétail et 4 tonnes de tiges de sorgho provenant d'un hectare de culture (Berger, 1996). Cela se traduit par un coefficient de transformation moyen de la paille en fumier de 1,6 et par un rendement en fumier de 1,2 t/UBT (Ganry et al., 1998). Mais cela suppose que les agriculteurs possèdent un gros cheptel car 12 à 15 têtes de bétail sont nécessaires pour apporter 5 t/ha/an de fumier dans une exploitation de trois hectares.

◆ *Le transport et l'enfouissement du fumier*

L'augmentation des ressources végétales et la production de fumier doivent s'accompagner d'un programme de diffusion – planification, encadrement, mise en place de réseaux de distribution, offres de crédits... – des charrettes et des charrues asines ou bovines. Les premières sont nécessaires pour transporter le fumier de la fosse ou de la stabulation jusqu'aux parcelles de culture, parfois éloignées de plusieurs kilomètres du noyau villageois. Les secondes doivent permettre un enfouissement soigné de la main d'œuvre dans les sols de culture au moment du labour.

¹³¹ Une campagne nationale a été lancée au Burkina Faso en 1986 sur le thème "une famille rurale, une compostière" (Ganry et al., 1998).

Conclusion

Le constat alarmant d'une production agricole aujourd'hui insuffisante et dont la durabilité est remise en cause tant par les techniques agricoles que par l'accroissement démographique continu, et la pression foncière qui en résulte, ou par la dégradation environnementale rend nécessaire et urgente une évolution des systèmes de culture.

Le problème est complexe car les pratiques actuelles et leurs conséquences sont le résultat d'une conjonction de facteurs climatiques, pédologiques, économiques, démographiques, culturels, sociétaux, ethniques, fonciers... Il ne peut donc être résolu par des solutions simples, toutes faites et isolées. Ainsi, la diffusion des cordons pierreux qui limitent certes l'érosion et le ruissellement, ne résout pas la contrainte du manque de terres cultivables ou de la baisse de fertilité des sols suite à l'insuffisance des apports de matière organique.

Pour être efficace, une solution suppose une bonne connaissance et une bonne compréhension des situations. C'est à l'échelle des finages que des études pluridisciplinaires doivent être menées pour déterminer les types de sols, la nature de la dégradation, les superficies concernées par la dégradation physico-chimique des sols, les types de culture, les pratiques agricoles mises en œuvre, la disponibilité en terre, le système d'appropriation du sol... c'est-à-dire toutes les données qui interviennent dans le choix des stratégies actuellement adoptées et dans les possibilités de diffusion ou d'acceptation d'autres stratégies.

L'amélioration globale de la productivité agricole et la garantie de sa durabilité passe par des actions spécifiques et localisées répondant aux trois objectifs principaux de limiter l'érosion, d'améliorer la productivité de l'eau et d'accroître la fertilité des sols. Cela implique généralement l'adoption conjointe de plusieurs techniques culturales et/ou aménagements anti-érosifs ayant fait leurs preuves en situation expérimentale.

Conclusion générale

A l'heure où les ressources s'appauvrissent dans les régions subsahariennes et où les réserves foncières s'amenuisent, il est indispensable de connaître les systèmes de production qui y prévalent et de comprendre leurs évolutions, dans une perspective de développement durable d'une agriculture productive. Principale activité économique du Burkina Faso et du Ghana, l'agriculture y reste pratiquée de façon traditionnelle, avec des méthodes peu intensives qui n'offrent que des rendements faibles et aléatoires, d'autant que la contrainte climatique – variabilité interannuelle et intra-saisonnière des totaux pluviométriques, caractère sporadique et discontinu des précipitations – est très forte.

La forte croissance démographique qui entraîne l'accroissement des besoins, d'où une forte pression sur le milieu et l'extension des surfaces dégradées, sont, pour les prochaines décennies, d'incontournables évolutions. Une réflexion sur la productivité et la durabilité des systèmes de culture en zone sahélienne à soudanienne s'impose donc dès à présent.

L'agriculture durable est communément définie comme devant satisfaire les besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins, grâce à la préservation de l'environnement et à une gestion des ressources qui en assure le renouvellement. Or, elle ne peut se limiter, dans des pays comme le Burkina Faso où la population croît de 3 % par an (Parent et al., 2002), au strict renouvellement des ressources et au maintien des niveaux de production actuels. La préservation de l'équilibre agro-écologique doit s'accompagner d'une hausse de la production agricole pour que perdure l'équilibre entre production et besoins. Cette hausse, dont la valeur est déterminée par la croissance démographique, passe par une évolution des systèmes de culture.

Par conséquent, la durabilité de l'agriculture subsaharienne ne peut être définie que sur la base d'un **seuil de production** – correspondant, pour un espace disposant de peu de devises, à l'autosuffisance¹³² alimentaire des populations –, en relation avec la disponibilité foncière, la qualité des sols et un niveau de production réaliste et d'une **échéance** – correspondant au point de rupture entre besoins et capacité de production –. Ceci implique la connaissance et la prise en compte des particularismes locaux.

¹³² Selon la FAO, l'autosuffisance est acquise, dans les pays à vocation agricole, dès lors que la population dispose de 250 kg/personne/an de céréales. Dans les pays à vocation pastorale où la viande prend une place importante dans l'alimentation, les besoins en céréales sont évalués à 200 kg/personne/an.

L'étude des systèmes de culture du bassin de la Volta a permis de distinguer quatre zones agro-géographiques dans lesquelles s'intègre un type spécifique de mise en valeur, celui des périmètres irrigués.

1 - La zone agro-pastorale sahélienne (cf. *supra* 1.1.) se caractérise par des systèmes de culture intégrant l'élevage et reposant sur la culture pluviale de céréales. Les pratiques culturales y sont rudimentaires et, si elles ont peu d'impacts négatifs sur les dynamiques environnementales¹³³, elles sont aussi peu productives (cf. *supra* Graphe n°1). L'insuffisance des ressources alimentaires y est récurrente et le risque de famine latent, les dernières crises datant de 2001 et 2005.

2 - La zone occidentale du Burkina Faso (cf. *supra* 1.2.) se caractérise par des systèmes de culture incluant le coton. Cette culture de rente y a modifié les pratiques culturales. Les techniques modernes y donnent des rendements assez élevés et moins aléatoires que dans la plupart des autres régions (cf. *supra* Graphe n°1). Néanmoins, elles exercent une pression sur le milieu et entraînent une dégradation progressive des terres de cultures par appauvrissement des sols et érosion hydrique.

3 - La zone céréalière sahélo-soudanienne (cf. *supra* 1.3.) se caractérise par des systèmes de culture vivriers reposant sur l'association de céréales et de légumineuses. Les pratiques culturales traditionnelles qui se traduisent par un faible niveau de production n'affectent pas significativement l'environnement, excepté dans quelques sous-espaces comme la région Centre-Est du Burkina Faso.

4 - Les régions méridionales du Burkina Faso et Nord-Ouest du Ghana (cf. *supra* 1.4.) se caractérisent par une complémentarité entre la culture des tubercules et celle du maïs et du sorgho. La pluviométrie élevée permet des rendements assez bons (cf. *supra* Graphe n°1) bien que les techniques culturales soient peu intensives. Le risque de dégradation par érosion hydrique y est fort malgré la mise en œuvre de techniques anti-érosives.

5 - Les périmètres irrigués (cf. *supra* 1.5.) bénéficient de pratiques culturales intensives – recours aux intrants, maîtrise totale de l'irrigation, multiplication des campagnes agricoles – et soignées qui donnent des rendements très élevés sans affecter significativement le substrat.

Dans une analyse de la durabilité de l'agriculture, cette distinction agro-géographique démontre la pluralité des situations qui se traduisent chacune par un niveau de production et





¹³³ Rappelons que certaines techniques de lutte anti-érosive ou de réhabilitation des sols, comme le paillage et le zaï, y sont mises en œuvre.

par une échéance au-delà de laquelle le milieu ne pourra plus répondre aux besoins de la population.

La connaissance des pratiques agricoles, du niveau de production actuel, des potentialités agronomiques et foncières du milieu, de l'ampleur de la dégradation environnementale et de la croissance démographique apparaît donc indispensable pour déterminer l'échéance de la durabilité des systèmes de culture. Pour établir le diagnostic préalable aux choix des actions de préservation des ressources ou d'amélioration des capacités de production, un schéma d'analyse en quatre étapes peut être utilisé. Ce schéma qui comporte une analyse matricielle permet de mettre en évidence les particularités spécifiques locales et de déterminer quelles actions doivent être entreprises.

◆ Première étape

L'analyse matricielle repose sur les indicateurs suivants.

Niveau des rendements (i)	 <ul style="list-style-type: none"> Supérieurs à 900 kg/ha De 700 à 900 kg/ha De 500 à 700 kg/ha Inférieurs à 500 kg/ha
Taux de couverture des besoins alimentaires	 <ul style="list-style-type: none"> Autosuffisance (ii) avec excédent commercialisable Stricte autosuffisance Taux de couverture entre 80 et 100 % Taux de couverture inférieur à 80 %
Taux d'utilisation des terres agricoles (iii)	 <ul style="list-style-type: none"> Moins de 33 % de terres cultivées De 33 % à 50 % de terres cultivées De 50 % à 66 % de terres cultivées Plus de 66 % de terres cultivées
Niveau de dégradation environnementale	 <ul style="list-style-type: none"> Dégradation faible à modérée avec dynamiques actuelles faibles ou nulles Dégradation forte avec dynamiques actuelles faibles ou nulles Dégradation faible à modérée avec dynamiques actuelles actives Dégradation forte avec dynamiques actuelles actives

(i) Classes déterminées sur la base d'un rendement céréalier – mil, sorgho et maïs – moyen de 800 kg/ha observé dans les zones sahéliennes à soudaniennes

(ii) L'autosuffisance correspond à la couverture des besoins alimentaires et des semences pour la campagne suivante

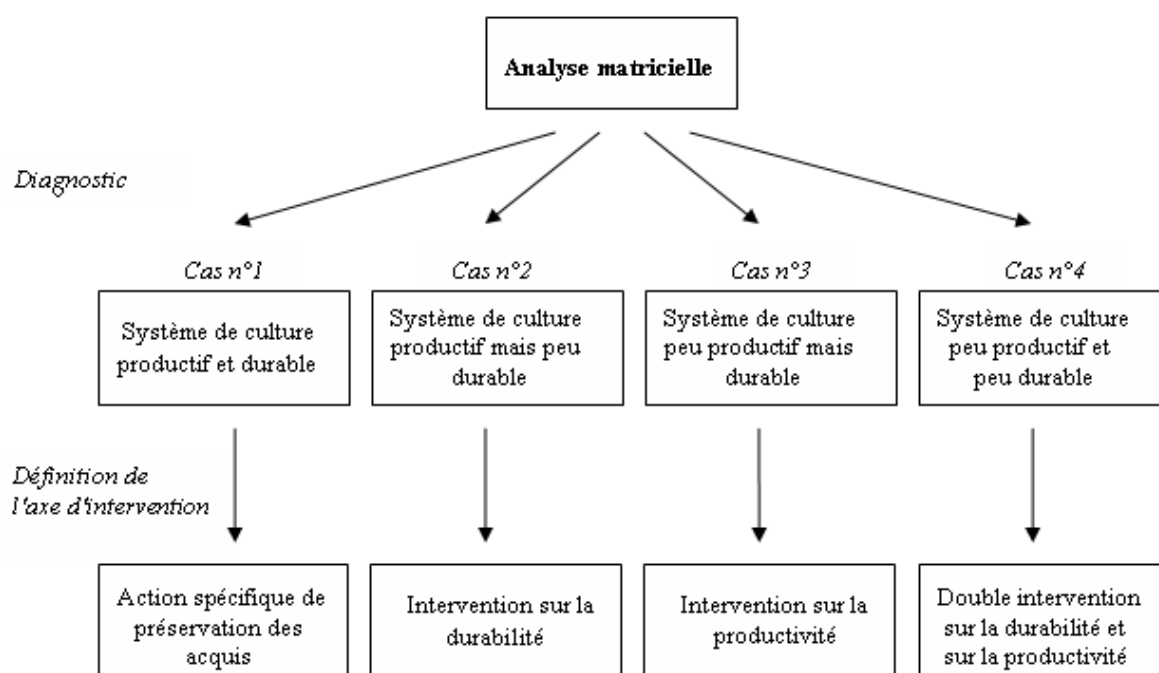
(iii) Classes déterminées en fonction des possibilités de jachère avec :

- Classe 1 : durée de jachère \geq à deux fois la durée de culture (cas idéal)
- Classe 2 : durée de culture \leq durée de jachère \leq à deux fois la durée de culture

- Classe 3 : durée de culture \geq durée de jachère \geq à une demi durée de culture
- Classe 4 : durée de jachère \leq à une demi durée de culture

◆ Deuxième étape

Ayant déterminé un cas de figure, l'analyse matricielle permet d'établir le ou les axes prioritaires d'intervention.



Dans le cadre du bassin de la Volta, le cas n°1 est illustré par les périmètres irrigués, le cas n°2 par la zone cotonnière, le cas n°3 par la zone agro-pastorale et le cas n°4 par certaines sous-régions de la zone céréalière centrale.

◆ Troisième étape

A ce stade, et avant de définir les domaines d'action, il est nécessaire de prendre en compte la contrainte climatique à l'échelle de l'espace d'analyse puisqu'elle :

- 1 - conditionne le niveau et la stabilité des **rendements**
- 2 - détermine les **mécanismes de dégradation environnementale** : érosion hydrique et/ou éolienne.

Ainsi, les régions sahéliennes impliqueront plutôt des actions pour valoriser les ressources en eau – dans le cas d'une recherche de productivité –, pour réhabiliter les *zipellés** et lutter contre l'érosion éolienne – dans le cas d'une recherche de durabilité –.

Les régions sahélo-soudaniennes et soudaniennes impliqueront, quant à elles, des actions pour intensifier les pratiques culturales – dans le cas d'une recherche de productivité –, pour réhabiliter les surfaces dégradées et lutter contre l'érosion hydrique – dans le cas d'une recherche de durabilité –.

◆ *Quatrième étape*

Les actions à mener sur le terrain et les techniques à mettre en œuvre sont ensuite déterminées en fonction :

1 - de paramètres stationnels : type de dégradation observée – ruissellement, pertes en terres, appauvrissement des sols, induration de surface –, données climatiques locales, nature des sols, disponibilité en matériaux

2 - de facteurs socio-économiques : disponibilité en main d'œuvre, usage courant des matériaux, disponibilité foncière¹³⁴, pratiques traditionnelles¹³⁵, adaptabilité des populations, possibilité de formation des agriculteurs, densité de population.

Les techniques pour accroître les rendements, pour limiter l'érosion des sols ou pour optimiser les ressources en eau ne manquent pas (Tableau n°2) mais, sur le terrain, elles sont très peu mises en pratique. Les raisons de leur faible adoption sont nombreuses : blocage culturel, manque de formation professionnelle, manque de matériaux, coût et/ou rentabilité... Il est donc nécessaire, pour que les solutions soient réalisables, rationnelles et efficaces, de les adapter aux particularismes locaux, de prendre en compte leurs conditions spécifiques de réalisation et de ne pas sous-estimer les obstacles à leur réalisation (Tableau n°2).

A titre d'illustration, dans la zone cotonnière occidentale où il est aisé de se procurer des blocs de cuirasse pour édifier des cordons pierreux et où la plupart des exploitants possèdent quelques têtes de bétail, les efforts doivent porter sur la préservation et la restauration environnementale grâce à l'apport de matière organique et à la mise en place d'aménagements anti-érosifs, ceci afin de maintenir à moyen et long terme les niveaux de production actuels.

A titre d'exemple encore, dans la zone agro-pastorale sahélienne où il subsiste des réserves foncières et où le bétail permet la production de fumier, l'amélioration du niveau de production peut reposer sur une extension des terres de culture et/ou sur une intensification des pratiques culturales susceptible d'engendrer une hausse des rendements grâce à la

¹³⁴ La jachère améliorée ne peut être adoptée que dans les régions disposant encore de réserves foncières suffisantes pour pratiquer un assolement incluant une jachère longue.

¹³⁵ Il est préférable de diffuser le *zai** mécanisé ou le *zai** forestier dans des régions comme le Yatenga où le *zai** simple est une technique ancestrale parfaitement maîtrisée.

	Pratiques	Points positifs	Points négatifs	Conditions de réalisation	Obstacles à la réalisation
Techniques d'économie et de gestion de l'eau	Labour en sec* à la dent	- temps de travail réduit - réduction du ruissellement en nappe et augmentation de l'infiltration - augmentation des rendements	- déstructuration des horizons superficiels sur 8 à 12 cm		- lourd investissement en matériel et en bétail
	Labour cloisonné	- réduction du ruissellement et augmentation de l'infiltration - augmentation des rendements	- risque d'engorgement temporaire	- adapté aux sols ayant une bonne rétention en eau	- lourd investissement en énergie, en temps, en matériel et en bétail - indispensable formation professionnelle des exploitants
	Zai*	- piégeage du ruissellement et augmentation de l'infiltration - création de micro-environnement enrichi et humide - augmentation des rendements	- risque de débordement et de ruissellement en cas de fortes pentes ou de pluies intenses - risque de comblement des cuvettes	- adapté aux sols encroûtés de type zipellé	- lourd investissement en énergie et en temps - indispensable formation professionnelle des exploitants
	Zai* mécanisé	- gain de temps par rapport au zai traditionnel - augmentation de l'infiltration et de la disponibilité en eau - augmentation des rendements	- ruissellement en cas de fortes pentes ou de pluies intenses - risque de comblement des cuvettes	- adapté aux sols encroûtés de type zipellé	- nécessité de posséder une charrue et une paire de bœufs - indispensable formation professionnelle des exploitants
	Zai* forestier	- revégétalisation des terres et possibilité de restaurer les jachères - augmentation du fourrage, du bois de chauffage et des branchages pour les fascines		- adapté aux sols encroûtés de type zipellé	- lourd investissement en temps et en capital - nécessité de mettre en place conjointement des pépinières - indispensable formation professionnelle des exploitants
	Demi-lune*	- augmentation de la disponibilité en eau pour les végétaux - augmentation des rendements	- risque de colmatage du fond sauf si sarclage régulier - risque de débordement et d'érosion aux extrémités des demi-lunes	- adapté aux sols limoneux ou sableux	- lourd investissement en énergie et en temps - indispensable formation professionnelle des exploitants
Techniques de stockage de l'eau	Boulis*	- solution pour l'abreuvement du bétail - ressources en eau pour une irrigation d'appoint - grande capacité de rétention en eau d'où réduction du ruissellement - augmentation de la réserve utile pour les végétaux - augmentation des rendements	- risque de comblement progressif suite au transport et au dépôt de particules - risque d'éboulement du bord	- réalisable à l'aval de parcelles pentues sur lesquelles le ruissellement est fort ou en tête de ravines - adapté aux sols encroûtés	- nécessité de mettre en place un système pour la distribution de l'eau - coût élevé des produits - nécessité de respecter les quantités - nécessité de posséder une charrue et une paire de bœufs - faible rentabilité sauf sur les cultures commerciales
	Hydrorétenteur				

Techniques mécaniques anti-érosives	Fascine	<ul style="list-style-type: none"> - temps de travail réduit - utilisation de matériaux disponibles localement - réduction du nuissellement 	<ul style="list-style-type: none"> - risque de dégradation par les termites - aménagement temporaire, rapidement déplacé par le nuissellement ou le passage des animaux 	- inadapté aux fortes pentes	
	Cordon pierreux avec sous-solage	<ul style="list-style-type: none"> - réduction du nuissellement, des pertes en sol et en résidus organiques - durabilité du dispositif 		- adapté aux hauts de versants	<ul style="list-style-type: none"> - nécessité de diffuser les charrettes - lourd investissement en temps et en énergie - nécessité de disposer de moellons en quantité importante - indispensable formation professionnelle des exploitants - nécessité de mise en défens
Techniques biologiques anti-érosives	Haie végétale	<ul style="list-style-type: none"> - réduction du nuissellement et des pertes en terre - augmentation des rendements - accroissement des ressources fourragères 	- risque de dépérissement pendant la saison sèche	- adapté aux têtes de petits vallons	
	Bande enherbée	<ul style="list-style-type: none"> - réduction du nuissellement et des pertes en terre - augmentation des rendements - potentiel de biomasse assez élevé 	- risque de dépérissement pendant la saison sèche		- nécessité de mise en défens
Fumure	Fumier	<ul style="list-style-type: none"> - amélioration de la structure du sol - augmentation de l'infiltration - correction du pH - efficacité accrue des intrants minéraux, le cas échéant - augmentation des rendements 			<ul style="list-style-type: none"> - manque de ressources végétales - nécessité de disposer de charrettes - poids des traditions - rareté des fosses compostières - indispensable formation professionnelle des exploitants pour la maîtrise des fosses
Jachère	Jachère améliorée	<ul style="list-style-type: none"> - récupération de terres - apports en matière organique - production de litière protectrice - forte production de biomasse 			<ul style="list-style-type: none"> - nécessité de disposer de réserves foncières suffisantes pour intégrer la jachère dans l'assolement
Sélection variétale	Variété hâtive	<ul style="list-style-type: none"> - rendements plus élevés et plus stables - récoltes plus précoces - besoins en eau réduits 	- perte de la diversité génétique	- adapté à une courte saison des pluies et à un faible total pluviométrique	<ul style="list-style-type: none"> - nécessité de mettre en place simultanément des mesures anti-érosives

Tableau n°2 : Avantages, inconvénients et limites des principales techniques de gestion conservatoire des eaux et des sols

diffusion de la mécanisation et au recours aux intrants minéraux et organiques. Les principales contraintes de cette zone étant la brièveté de la saison des pluies, l'insuffisance des totaux pluviométriques et le caractère sporadique des précipitations, la **mise en culture progressive** sur parcelles fumées et aménagées avec des cordons pierreux apparaît comme une solution réaliste et prometteuse. Elle consiste à délimiter, par des cordons pierreux isohythes qui ralentiront le ruissellement, des bandes larges d'environ 30 mètres. Dans ces bandes, la mise en culture se fait en trois temps pour gérer les prélèvements en eau par les plantes, limiter les risques de mauvaises récoltes et étaler les travaux dans le temps, ce qui permet d'y apporter plus de soins. Pour chaque bande, le tiers le plus en aval est préparé, si possible par un labour attelé, et fumé. Un semis en sec y est effectué. Les deux tiers supérieurs jouent le rôle d'impluvium pour pallier l'insuffisance et la discontinuité des pluies. Un mois plus tard, lorsque la saison des pluies est bien installée, le tiers supérieur est à son tour préparé et mis en culture. Les besoins des jeunes plants sont couverts par l'eau de pluie tandis que les besoins accrus plants déjà grands du tiers inférieur sont satisfaits par le ruissellement sur le tiers intermédiaire laissé nu. Deux semaines après, ce tiers intermédiaire est mis en culture (Evequoz et Yadjji, 1998). Cette technique offre en outre la possibilité de semer plusieurs céréales et légumineuses ou de recourir à des cultivars différents, avec des cycles végétatifs plus ou moins longs.

◆ *Applicabilité de ce schéma d'analyse*

Ce schéma permet de déterminer d'une part, si les systèmes de culture qui prévalent dans un espace d'étude sont suffisamment productifs et, d'autre part, s'ils permettent le maintien des conditions de production pour les populations à venir. Les indicateurs – rendements, satisfaction des besoins, disponibilité foncière et dégradation environnementale – sur lesquels il repose le rendent applicable à des entités spatiales d'échelle variable mais présentant une certaine cohérence : une zone agro-géographique, caractérisée par un système de production associant ou non différentes activités agricoles, une région, une province ou un département, présentant une unité dans leur logique de mise en valeur, ou encore un finage. Pour chacun de ses espaces peuvent ensuite être renseignés les données climatiques, les paramètres stationnels et les facteurs socio-économiques à prendre en considération dans l'élaboration du diagnostic et la proposition d'axes d'intervention puis de solutions au cas par cas.

S'il semble pertinent à des échelles d'analyse fines, ce schéma permet-il d'apporter un éclairage dans l'approche de la durabilité à l'échelle d'un Etat susceptible de présenter une

grande variété climatique et pédologique, une richesse culturelle, une diversité des situations socio-économiques et, de fait, une pluralité des systèmes de production ? L'analyse de la durabilité des systèmes de production à l'échelle nationale, particulièrement en Afrique subsaharienne, permet de prendre toute la mesure de la dynamique démographique.

Les flux céréaliers possibles entre des zones de production excédentaire et des zones en déficit alimentaire chronique peuvent amoindrir la contrainte démographique dans une analyse de la durabilité à l'échelle régionale ou locale.

A l'échelle nationale, le manque de devises rend difficile la mise en place de flux céréaliers internationaux et l'importation des ressources manquantes, sauf à placer les pays du Sud dans une situation de dépendance économique voire alimentaire. La durabilité y implique donc l'autosuffisance pour les populations actuelles et à venir, le seuil de production à atteindre et la courbe qu'il doit suivre pour que se maintienne un relatif équilibre devant être déterminés par la dynamique démographique.

Prenons l'exemple du Burkina Faso dont nous avons montré la diversité des systèmes de cultures, certains étant très productifs et durables – les périmètres irrigués –, d'autres l'étant moins – ceux du Plateau central ou des régions du Sud-Ouest – pour évaluer l'applicabilité du schéma d'analyse à l'échelle nationale.

Le niveau moyen des rendements céréaliers est, à l'échelle nationale, de 855 kg, compte-tenu de la place respective accordée au sorgho, au mil et au maïs.

Le taux de couverture des besoins, sur la base de 250 kg/tête/an, est actuellement de 85 %¹³⁶.

43 % des terres cultivables sont mises en culture, ce qui rend actuellement possible la pratique de la jachère et permet encore, dans le futur, un doublement des surfaces cultivées.

L'analyse diachronique de l'érosion des sols du Burkina Faso, réalisée par Guillobez, Lompo et De Noni (2000), met en évidence que la dégradation est forte et qu'elle tend à s'étendre et à s'amplifier.

Le Burkina Faso ne satisfait donc pas ses besoins malgré des rendements relativement élevés pour la zone. Toutefois, une augmentation des rendements est-elle encore envisageable alors que leur taux de croissance moyen annuel, à l'échelle nationale, tend actuellement à s'essouffler¹³⁷ ? Pourrait-elle être suffisante pour suivre la croissance démographique ? La

¹³⁶ Pourcentage établi d'après la production moyenne de maïs, de sorgho et de mil au cours des 5 dernières années et de la population actuelle, 13,9 millions d'habitants.

¹³⁷ D'après les chiffres de la DGPSA, les rendements céréaliers du Burkina Faso ont augmenté au taux moyen annuel de 1,5 % au cours des 20 dernières années, avec un taux de 2 % par an pour la première décennie et de 1,1 % pour la seconde. Mais il existe des différences spatiales : le taux de croissance moyen annuel des

mise en culture des terres encore inexploitées et des efforts de restauration ou de préservation des ressources sont, quant à eux, incontournables pour permettre une croissance exponentielle de la production céréalière.

Les projections de population pour les décennies à venir et la superficie des terres cultivables à l'échelle nationale permettent de déterminer le point de rupture de l'équilibre entre production et besoins, dès lors que le niveau des rendements exigé devient irréaliste.

La projection de population (Tableau n°3) jusqu'au début des années 2050 a été réalisée sur la base :

- 1 - d'une poursuite de la baisse du **niveau de mortalité**, avec une hausse de l'espérance de vie à la naissance de 0,5 an/an,
- 2 - du maintien du **taux de migration** nette actuelle,
- 3 - et de **trois hypothèses de fécondité** : fécondité constante, 6,8 enfants par femme, fécondité en légère baisse, 4,6 enfants par femme, fécondité en forte baisse, 3 enfants par femme.

	Hypothèse d'un indice de fécondité constant (6,8 enf. par fem.)		Hypothèse d'un indice de fécondité en légère baisse (4,6 enf. par fem.)		Hypothèse d'un indice de fécondité en forte baisse (3,0 enf. par fem.)	
	Population en milliers	Rendement nécessaire en kg/ha	Population en milliers	Rendement nécessaire en kg/ha	Population en milliers	Rendement nécessaire en kg/ha
2011	16888	454,0	16701	449,0	16599	446,2
2021	23970	644,3	22942	616,7	22380	601,6
2031	34391	924,5	30961	832,3	29123	782,9
2041	49983	1343,6	41085	1104,4	36441	979,6
2051	73153	1966,5	53526	1438,9	43804	1177,5

Tableau n°3 : Projection de population et évolution nécessaire des rendements jusqu'en 2051

Les rendements nécessaires pour maintenir un équilibre entre production et besoins ont été calculés (Tableau n°3) en considérant que toutes les terres cultivables, 9 300 000 hectares, étaient mises en valeur. Or, la mise en valeur de l'ensemble des terres arables implique une

rendements céréaliers du Sud-Ouest a été, depuis 1985, de 2,5 % tandis que les rendements moyens stagnent dans d'autres régions, voire diminuent comme c'est le cas sur le Plateau central, avec un taux de - 0,5 % sur la période.

gestion conservatoire des eaux et des sols, avec des apports en fumure organique et des techniques culturales soignées pour pallier l'impossibilité de pratiquer la jachère. L'augmentation des rendements passe, quant à elle, par une modernisation des systèmes de culture.

Il apparaît qu'en 2031, les rendements moyens nécessaires pour assurer l'autosuffisance alimentaire, sont encore réalistes, quel que soit l'indice de fécondité mais qu'en 2041, ils ne le sont plus avec des indices de fécondité de 6,8 et 4,6 enfants par femme et tout juste avec un indice de fécondité de 3 enfants par femme. Le point de rupture de l'équilibre entre production et besoins se situe donc au cours des années 2030, quel que soit l'indice de fécondité et ce même au prix d'une extension maximale des terres cultivées, d'une hausse des rendements moyens céréaliers de 150 kg/ha et de l'aménagement de l'ensemble des périmètres irrigables. En effet, la mise en valeur des 160 000 hectares de terres irrigables n'apporterait qu'un piètre complément alimentaire en riz, même avec des rendements très élevés sur deux campagnes annuelles (Tableau n°4).

	Complément de riz si IF = 6,8 enf. / fem. en kg/tête/an	Complément de riz si IF = 4,6 enf. / fem. en kg/tête/an	Complément de riz si IF = 3 enf. / fem. en kg/tête/an
Rendements de 3 t/ha	5,7	7,8	9,5
Rendements de 3,56 t/ha (i)	6,8	9,2	11,3
Rendements de 4 t/ha	7,6	10,4	12,7
Rendements de 5 t/ha	9,5	13,0	15,9
Rendements de 6 t/ha	11,4	15,6	19,0
Rendements de 7 t/ha	13,3	18,2	22,2

(i) Rendements actuels au Burkina Faso selon la DGPSA

Tableau n°4 : Complément alimentaire de riz selon les niveaux de rendements et les indices de fécondité en 2051

Le schéma d'analyse de la durabilité de l'agriculture appliqué à l'échelle du Burkina Faso est donc pertinent car il met en évidence la gravité et l'urgence de la situation. Il permet :

- 1- d'identifier les **objectifs** à atteindre et les **axes d'intervention** prioritaires,

2 - de définir des **domaines d'action** d'envergure nationale : diminution de l'indice de fécondité, programme de formation des exploitants, diffusion de matériel et intensification des pratiques culturelles.

En revanche, pour la définition de certains **domaines d'action** – extension des emblavures, ce qui implique des moyens techniques et de la main d'œuvre, gestion conservatoire des eaux et des sols, préservation du potentiel de terres cultivables – et le choix stratégique de **solutions** efficaces et réalistes, il est nécessaire de revenir à une application du schéma à une échelle plus fine, l'échelle d'une zone agro-géographique, d'une région, d'un département voire d'un village. Ces sous-espaces présentent en effet une relative unité pédo-climatique, une identité socio-culturelle, les mêmes logiques foncières et une similitude des cultures et des pratiques agricoles qui permettent de déterminer et de mettre en œuvre les solutions les mieux adaptées – d'un point de vue technique, environnemental, économique, social – pour réhabiliter les terres dégradées, préserver les ressources ou accroître les rendements.

Bibliographie

- ALBERGEL J, CARBONNEL JP et GROUZIS M, 1984. *Pluies, eaux de surfaces, productions végétales en Haute-Volta, 1920-1983*, Office de la recherche scientifique et technique d'Outre-Mer, Ouagadougou, 58 p.
- ALHASSAN WS, 2004. *Plant breeding and biotechnology capacity survey (Ghana)*, Report, 9 p.
- AMBOUTA JMK, MOUSSA IB et DAOUDA SO, 2000. Réhabilitation de jachère dégradée par les techniques du paillage et du zaï au Sahel, pp 122-143, In FLORET C et PONTANIER R (eds.), *La jachère en Afrique tropicale : rôle, aménagement, alternative*, Actes du Séminaire International de Dakar, 13-16 avril 1999, IRD, Montrouge.
- ANSCHUTZ J, KOME A, NEDERLOF M, DE NEEF R et VAN DE VEN T, 1998. *La collecte de l'eau et la rétention de l'humidité du sol*, AGRODOK 13, 96 p.
- ATENGDEM PB et DERY AB, 1999. Evolution instead a revolution, *LEISA magazine*, ILEIA Collaborative Research Programme, Ghana, 1-2 : 38-39.
- AVV, 1986. *Périmètres maraîchers de Lanfiéra*, Rapport de mission, Ouagadougou, 56 p. + annexes.
- BADO BV, SEDOGO MP, CESCAS MP, LOMPO F et BATIONO A, 1997. Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso, *Cahiers d'études et de recherche francophones / Agricultures*, vol. 6, n°6, pp 571-575.
- BALDY C, 1986. *Agrométéorologie et développement des régions arides et semi-arides*. INRA, Paris, 115 p.
- BALME-DEBIONNE M, 2004. *Analyse du régime pluviométrique sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil*, Thèse de Doctorat de l'INGP, Grenoble, 162 p.
- BARRO A, ZOUGMORE R et SIBIRI TAONDA JB, 2005. Mécanisation de la technique du zaï manuel en zone semi-aride, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 14, 6 : 549-559.
- BELEM PC, 1986. *Programme de recherche sur les systèmes de production de la zone cotonnière de l'Ouest burkinabé 1986-1990*, INERA, Station de Farako-Ba, Programme Coton, 7 p.
- BERGER M, BELEM PC, DAKOUO D et HIEN V, 1988. Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage, pp 67-84, in CNRST, *Revue trimestrielle de la recherche au Burkina Faso*, vol. 18, n°1.
- BERTRAND R et GIGOU J, 2000. *La fertilité des sols tropicaux*, Edition Maisonneuve et Larose, Coll. Le technicien d'agriculture tropicale, n°40, 397 p.
- BIELDERS C, MICHELS K, SCHLECHT E et MAHLER F, 1995. Intérêt de la fumure organique et du paillage pour l'intensification de la production agricole sur terres dégradées, *Actes du Colloque international sur l'intensification agricole au Sahel : mythe ou réalité ?*, Bamako, 28 nov.- 02 déc. 1995, 40 p.
- BIELDERS CL, RAJOT JL et MICHELS K, 2004. L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte, *Science et changements planétaires / Sécheresse*, vol. 15, 1 : 19-32.
- BOBOBEE EYH, 1999. Role of draft animal power in Ghanaian agriculture, in KAUMBUTHO PG and SIMALENGA TE (eds), *Conservation tillage with animal traction. A resource book of the animal traction network for Eastern and Southern Africa (ATNESA)*, Harare, Zimbabwe.

BOBOBEE EYH, 2001. Increasing the productivity of animal-drawn implements (ploughs) through the development of durable ploughshares (Ghana), *SADAOC*, vol. 5, 1-2.

BOKONON G, 1996. Stratégies d'adaptation aux contraintes pédo-climatiques en terroir loupka (Nord-Ouest du Bénin), pp 151-169, in *Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Actes du colloque SPP/E du 14 au 15 décembre 1995 "Agriculture en mutation"*.

BOLI Z, BEP AZIEM B et ROOSE E, 1991. Enquête sur l'érosion pluviale sous rotation intensive coton/céréales dans la région de Tchollire (SE de Benoue), Nord Cameroun, *Réseau Erosion Bulletin*, n°11, ORSTOM, France, pp 127-138.

BOLI Z, ROOSE E, BEP AZIEM B, SANON K et WAECHTER F, 1993. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne Nord-Cameroun, *Cahier ORSTOM, Série Pédologie*, vol. 28, n°2, pp 309-325.

BOSMA RH, DEMBELE A et KANTE I, 1997. Contribution de la stabulation des bovins à la durabilité du système de production agricole de la zone semi-aride du Mali Sud, *Science et changements planétaires, Sécheresse*, vol. 12, 4 : 219-226.

BOYER J, 1977. *Incidence de la mécanisation sur quelques propriétés des sols tropicaux*, Séminaire sur la mécanisation des exploitations individuelles des pays chauds, 28/02-01/03 1977, Paris, 13 p.

BRAIMOH AK and VLEK PLG, 2006. Soil quality and other factors influencing maize yield in northern Ghana, *Soil use and management*, 22 : 165-171.

BRUCKLER L, 2000. Dégradation des sols : premiers résultats et perspectives de recherches, pp 377-381, in LEGOUPIL JC, DANCETTE C, GODON P, MAIGA IM et NDIAYE KM (eds), *Pour un développement durable de l'agriculture irriguée dans la zone soudano-sahélienne : synthèse des résultats du pôle régional de recherche sur les systèmes irrigués (PSI / CORAF)*, WECARD-CORAF, 456 p.

BUNASOLS, 1998. *Etat de dégradation des terres du Burkina Faso*, Ministère de l'Agriculture, Ouagadougou, 28 p.

CASENAVE A et VALENTIN C, 1989. *Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration*, ORSTOM, Institut français de Recherche scientifique pour le Développement en Coopération, 229p.

CATTAN P, LETOUMY P, ZAGRE B, MINOUGOU A et CAMPAORE E, 2001. Rendement de l'arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 10, 3 : 159-172.

CESAR J et COULIBALY Z, 1990. Le rôle des jachères et des cultures fourragères dans le maintien de la fertilité des terres, pp 271-287, in Ministère de la coopération et du développement, *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, actes de rencontres internationales, Montpellier, 10-14 décembre 1990.

CHAOUCHE A, 1988. *Structure de la saison des pluies en Afrique soudano-sahélienne*, Thèse de Doctorat, Ecole nationale Supérieure des Mines, Paris, 263 p.

CHARRIERE G, 1984. La culture attelée : un progrès dangereux, *Cahiers ORSTOM, Série Sciences Humaines*, vol. 20, n°3-4, pp 647-656.

CIEH, 1981. *Les aménagements hydroagricoles dans les pays membres et les pays observateurs du CIEH*, Compte-rendu de la réunion interrégionale des Nations-Unies des organisations internationales de fleuve et lac, Dakar, 20-29 janvier 1981, 13 p.

CIEH, IBRAZ et IRAT, 1985. *Stratégies paysannes d'implantation et d'entretien des cultures pluviales en zone soudano-sahélienne : valorisation de l'eau et de la force de travail (enquête dans le Yatenga)*, Ouagadougou, 87 p.

COMPAORE A, 2000. Contraintes biophysiques, techniques et socio-économiques de l'aménagement et la mise en valeur des bas-fonds, pp 27-35, in THIOMBIANO L, SANDWINI JP et KABORE O (eds), *Les bas-fonds du Burkina Faso : contraintes et potentialités pour une mise en valeur durable*, Actes du Séminaire national de Bobo-Dioulasso, 21-24 octobre 1997.

COULIBALY T, 1980. *Culture de l'igname*, ORD de la Bougouriba, rapport de stage, Université de Ouagadougou, 44 p.

COULIBALY E, 1993. *Fonctionnement hydraulique des cordons pierreux isohypses : cas de Bidi, province du Yatenga, BF*, Mémoire de fin d'études, ORSTOM, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 72p.

CPWF, 2006. *Empowering farming communities in Northern Ghana with strategic innovations and productive resources in dryland farming*, www.waterandfood.org, 17 p.

CRETENET M, MOHTAR RH et MOUSSA AA, 2006. L'aléa pluviométrique dans la prise de décisions en culture cotonnière pluviale, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 15, 1 : 109-115.

CTA, 1998. Intégrer la mécanisation dans les stratégies de développement durable de l'agriculture, Synthèse et recommandations du Séminaire du 24-29 novembre 1997, Ouagadougou, 27 p.

DA DEC, 2003. Communication orale, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

DA DEC, 2004. *Evolution des milieux au Sahel central sur les marges subtropicales du Burkina Faso*, Habilitation à diriger des recherches, Université de Reims.

DABRE M, 1997. *Etude du système de production de l'Est du Burkina Faso : potentialités et contraintes du développement agricole*, INERA, Ouagadougou, 81 p.

DAKOUO D et KOULIBALY B, 1994. *La fertilisation du coton dans les systèmes de culture : incidence sur les autres cultures dans les rotations*, INERA, station de Farako Ba, Bobo-Dioulasso, 15 p.

DAKOUO D, 1998. *Dégradation de la fertilité dans les zones cotonnières d'Afrique au Sud du Sahara*, Communication Dakar 26-29 janvier 1998, INERA, 10p.

DEMBELE Y, 1994. Conditionnement des sols sableux par la matière organique en riziculture pluviale, pp 235-261, in REYNIERS FN et NETOYOLO L (eds), *Bilan hydrique et sécheresse en Afrique tropicale*, John Libbey Eurotext, Paris.

DEMBELE Y, KAMBIRE H et SIE M, 2005. Gestion de l'eau et de l'azote en riziculture irriguée au Burkina Faso, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 14, 6 : 569-572.

DEMBELE Y, SOME L, ZOMBOUDRE G et DIABRI S, 1999. Irrigation de complément du riz pluvial sur des sols sableux conditionnés avec de la matière organique au Sud-Ouest du Burkina Faso, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 10, 2 : 143.

DIOMA KS, DOUAMBA TD, KAMBOU NF, NOMBRE A et TRAORE T, 2003. *Stratégie nationale de développement durable de l'irrigation au Burkina Faso*, Rapport provisoire, Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique et des ressources halieutiques, Ouagadougou, 125 p + annexes.

DJIGUEMDE A, 1988. *Les conditions agricoles du Plateau Mossi ou les vicissitudes d'une production alimentaire*, Rijksuniversiteit, Groningen, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, 68 p.

DOAMBA JB, 2006. Communication orale, Cabinet de consultation en agronomie, Ouagadougou, Burkina Faso.

DOGBE W, 1998. Green-manure crops for sustainable agriculture in the inland valleys of northern Ghana, in BUCKLES D, ETEKA A, OSINAME O, GALIBA M et GALIANO N (eds), *Plantes de couverture en Afrique de l'Ouest : une contribution à l'agriculture durable*, IDRC, Ottawa.

DRABO I, 2000. Migration agricole et insécurité foncière en pays Bwa du Burkina Faso, *Espace-Populations-Sociétés*, Villeneuve d'Ascq, France, n°1, pp 43-55.

DRISSA H, 2000. Analyse de la stabilité du rendement de variétés de maïs pour les zones sèches du Burkina Faso, *Science et changements planétaires, Sécheresse*, vol. 3, n°3 : 189-193.

DUCHAUFOUR P, 1991. *Pédologie : sol, végétation, environnement*, Masson, 3^{ème} édition, 289p.

DUGUE P, 1998. Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de cultures vivrières en zone soudano-sahélienne : le cas du Yatenga (Burkina Faso), *Documentation systèmes agraires n°9*, CIRAD, Montpellier, 267 p. + annexes.

DUGUE P, FRAMOND H et PIATON H, 1988. *Economie et valorisation agricole de l'eau : comptes-rendus expérimentaux*, CIEH, CTFT et INERA/IRAT, Ouagadougou, 71 p.

DUPRIEZ H et DE LEENER P, 1990. *Les chemins de l'eau : ruissellement, irrigation et drainage*, L'Harmattan, 380 p.

DURAND JH, 1983. Les sols irrigables, Collection Techniques vivantes, PUF, 339 p.

EKBOIR J, BOA K and DANKYI AA, 2002. *Impacts of no-till technologies in Ghana*, Mexico DF : CIMMYT, 33 p.

EVEQUOZ M et YADJI G, 1998. *Durabilité écologique du système de production agricole nord sahélien*, ETH, Zurich, 119 p.

FAO, 2002. *FAO/WFP crop and food supply assessment mission to Northern Ghana*, Special report, FAO Corporate Document Repository.

FENING JO, YEBOAH E and AMPONTUAH EO, 2001. Characterization of organic matter sources for effective soils fertility management and sustainable crop production in Ghana, *SADAOC*, vol. 5, 1-2.

FOK M et RAYMOND G, 1999. Relancer le rôle économique de la production cotonnière dans un marché défavorable : quel appui pour la recherche ?, *Agriculture et développement*, n°22, Cirad-Ca, pp 4-17.

FOURNIER J, SERPANTIE G, DELHOUME JP et GATHELIER R, 2000. Rôle des jachères sur les écoulements de surface et l'érosion en zone soudanienne du Burkina Faso : application à l'aménagement des versants, pp 179-188, In FLORET C et PONTANIER R (eds.), *La jachère en Afrique tropicale : rôle, aménagement, alternative*, Actes du Séminaire International de Dakar, 13-16 avril 1999, IRD, Montrouge.

FRANQUIN P et COCHEME J, 1967. Une étude d'agroclimatologie de l'Afrique sèche au sud du Sahara en Afrique Occidentale. Rome, FAO/UNESCO/WMO, 136 p.

GANRY F, SANOGO Z, GIGOU J et OLIVER R, 1998. La durabilité du système cotonnier-sorgho au Mali-Sud fondée sur le fumier et la gestion optimale de la fertilisation, pp 89-95, in DUGUE P (ed.), *Fertilité et relation agriculture-élevage en zone de savane*, Actes de l'atelier sur les flux de biomasse et la gestion de la fertilité à l'échelle des terroirs, Cirad, 5-6 mai 1998, Montpellier.

GBIKPI P, 1996. *L'agriculture burkinabé*, Document de la coopération française en appui au Ministère de l'agriculture et des ressources animales (MARA), Ouagadougou, 48 p.

GIGOU J, TRAORE K, GIRAUDY F, COULIBALY H, SOGOBA B et DOUMBIA M, 2006. Aménagement paysan des terres et réduction du ruissellement dans les savanes africaines, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 15, 1 : 116-122.

GROOT JJR, KONE D et De WILLIGEN P, 1995. L'engrais chimique pour l'intensification en zone soudano-sahélienne, *Actes du Colloque international sur l'intensification agricole au Sahel : mythe ou réalité ?*, Bamako, 28 nov.- 02 déc. 1995, 40 p.

GROUZIS M et ALBERGEL J, 1988. *Environnement et production agricole : cas du Burkina Faso*, Colloque international « La crise de l'agriculture africaine », Dakar, 19-23 décembre 1998, ORSTOM, 13 p.

GUILLOBEZ S, LOMPO F et DE NONI G, 2000. Le suivi de l'érosion pluviale et hydrique au Burkina Faso. Utilisation d'un modèle cartographique, *Sciences et changements planétaires, Sécheresse*, vol. 11, n°3, pp 163-172.

GYASI EA, 1995. Farming in Northern Ghana, *ILEIA Newsletter*, vol. 11, 4 : 23-24.

HARTOG T, 1985. Culture cotonnière et stratégies agraires dans l'Ouest voltaïque, *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, vol. 62, n°4, pp 285-298, France.

HAUCHART V, 2005. *Culture du coton et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat en géographie, Université de Reims-Champagne-Ardenne, Laboratoire du GEGENA, non publiée, 2005 ; 428p.

HIEN V, 1990. *Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso*, Thèse de Doctorat, Sciences agronomiques, Institut national polytechnique de Lorraine, Ecole nationale Supérieure d'agronomie et des industries alimentaires, 149 p.

HIEN V, SEDOGO PM et LOMPO F, 1994. Gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. Bilan et perspectives pour la promotion de systèmes agricoles durables dans la zone soudano-sahélienne, pp 47-59, in BENOIT-CATTIN B et DE GRANDI GC (eds), *Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*, FAO, CTA et CIRAD.

HIL K, MOLLEMA A et TOPPER E, 1985. *La défense des sols contre l'érosion dans les Tropiques*, CTA, Agrodok série n°11, Wageningen, 61 p.

INERA, 1994. *Les systèmes de production agricole dans la zone ouest du Burkina Faso : potentialités, contraintes, bilan et perspectives de recherches*, INERA, Ouagadougou, 48 p.

International Institut of Tropical Agriculture, 1992. *Sustainable food production in sub-Saharan Africa*, IITA's contribution, IITA, Ibadan, Nigeria. 208 p.

JACOB JP, 1998. Pourquoi les Winye ont-ils cessé de cultiver leurs champs permanents en 1986 (Burkina Faso) ?, *Autrepart*, n°7, pp 111-124 et 182-187, France.

KABORE PC, KABORE TS, MAATMAN A, OUEDRAOGO AA, RUIJS A, SAWADOGO H et SCHWEIGMAN C, 1995. *Analyses des stratégies paysannes dans les régions centre et Nord-Ouest du Burkina Faso : approche et quelques résultats*, réseau SADAOC, Université de Groningen, Université de Ouagadougou, INERA, Ouagadougou, 49 p.

KABORE D, KAMBOU F, DICKEY J et LOWENBERG-DEBOER J, 1994. Economie des cordons pierreux, du paillage et du zaï dans le nord du plateau central du Burkina Faso, une perspective préliminaire, pp 72-89, in LOWENBERG-DEBOER J, BOFFA JM, DICKEY J et ROBINS E (eds), *Recherche intégrée en production agricole et en gestion des ressources naturelles : projet d'appui à la recherche et à la formation agricole (ARTS)*, Burkina Faso, Purdue University.

KAMBOU NF, 1996. *Contribution à la restauration et à la réhabilitation des sols ferrugineux superficiellement encroûtés (zipellés) du plateau central du Burkina Faso*, Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 142 p.

KARBO N et AGYARE WA, 1998. Crop-livestock systems in Northern Ghana, pp 112-126, in IITA, Improving crop-livestock systems in West and Central Africa, IITA's publication.

KARIMOU AMBOUTA JM et BOUZOU MOUSSA I, 2004. Expériences de récupération de sols sahéliens dégradés grâce à l'incorporation de doses variables de fumier et d'un hydrotéteur fertilisant, *Science et changements planétaires / Sécheresse*, vol.15, 1 : 49-55.

KASEI CN et RUDAT H, 1994. Assessment of climatic resources for the cropping potential in Northern Ghana, pp 49-56, in REYNIERS FN et NETOYOLO L (eds), *Bilan Hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*, John Libbey Eurotext, Paris.

KEBE D, 1994. Relation agro-sylvo-pastorales dans un contexte d'agriculture durable au Sahel, pp 85-107, in BENOIT-CATTIN B et DE GRANDI GC (eds), *Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*, FAO, CTA et CIRAD.

KRANJAC-BERISAVLJEVIC G, 2000. Some features of rice production in Ghana, pp 2-7, in ODI and UDS, *National workshop on rice production in Ghana*.

KRANJAC-BERISAVLJEVIC G, BLENCH RM, BAYORBOR TB, ABDULAI AS, OBENG F, TURTON CN, BOYD C, TRENCH P et DRAKE E, 1998. *La conservation des sols et de l'eau au Nord du Ghana*, Rapport de la Faculté d'agriculture de Tamale et de l'ODI de Londres, 72 p.

LAMACHERE JM et SERPANTIE G, 1991. Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne, Burkina Faso, province du Yatenga, région de Bidi, *Bulletin Réseau Erosion*, n°11, ORSTOM, pp 88-104.

LANDAIS E et LHOSTE P, 1993. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 2, 1 : 9-25.

LAVIGNE DELVILLE P, 1996. *Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel*, Coll. Le point sur, GRET, 397 p.

LAVIGNE DELVILLE P et CAMPHUIS N, 1998. *Aménagement des bas-fonds dans les pays du Sahel*, Coll. Le point sur, GRET, Ministère de la coopération français et CTA, 526 p.

LEMAITRE H, 1987. *Petits périmètres irrigués en milieu rural. Bilan de 2 années d'activité : projet Fara-Poura, Burkina Faso*, CNEARC et CIRAD, Montpellier, 105 p.

MAATMAN A et SCHWEIGMAN C, 1995. *Etude des systèmes de production agricole du plateau central au Burkina Faso : application de la programmation linéaire*, Réseau SADAOC, Université de Ouagadougou, 271 p.

MARCHAL JY, 1977. Système agraire et évolution de l'occupation de l'espace au Yatenga (Haute-Volta), *Cahiers ORSTOM, Série Sciences humaines*, vol. XIV, 2 : 141-149.

MARCHAL JY, 1982. L'option pour l'extensif : l'évolution de l'agriculture mossi (Haute-Volta), *Economie rurale*, 147-148 : 63-67.

MARCHAL JY, 1983. *Yatenga, la dynamique d'un espace rural soudano-sahélien*, Thèse de Doctorat, Paris, La Sorbonne, ORSTOM, 842p.

MARCHAL JY, 1984. Lorsque l'outil ne compte plus. Techniques agraires entités sociales au Yatenga. Les instruments aratoires en Afrique tropicale : la fonction et le signe, *Cahiers ORSTOM, Série Sciences Humaines*, vol. 20, 3-4 : 461-469.

MARCHAL JY, 1985. La déroute du système vivrier au Burkina : agriculture extensive et baisse de production, *Etudes rurales*, Economies des vivres, 99-100 : 265-280.

MERCER-QUARSHIE H, 2000. The lowland rice development project, pp 29-33, in ODI and UDS, *National workshop on rice production in Ghana*.

MIETTON M, 1986. Les données de l'érosion sur les bassins-versants au Burkina Faso (ex-Haute-Volta), *Revue de Géographie Alpine*, vol. 74, 1-2 : 119-127, France.

MIETTON M, 1986. Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso, *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, vol. 22, 2 : 181-196.

MIETTON M, 1986. Ruissellement et érosion sur petits bassins versants au Burkina Faso, *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, 60 : 187-204, Allemagne.

MIETTON M, 1988. *Dynamique de l'interface lithosphère atmosphère au Burkina Faso. L'érosion en zone de savane*, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 2 vol., 511p.

MIETTON M, 1988. Pluies et épisodes pluvieux de fréquence rare au Burkina Faso : risques de crues et d'érosion, *Colloque de l'Association française de Géographie physique*, Paris, France, pp 79-88.

MILLEVILLE P et SERPANTIE G, 1994. Intensification et durabilité des systèmes agricoles en Afrique soudano-sahélienne, pp 33-45, in BENOIT-CATTIN B et DE GRANDI GC (eds), *Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*, FAO, CTA et CIRAD.

Ministère de l'environnement et de l'eau, Direction de l'hydraulique, 2001. *Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion*, Ouagadougou, 243 p.

MOUSTIER P et DAVID O, 2001. *Le maraîchage périurbain dans quelques situations africaines*, CIRAD – FAO, Montpellier, 41 p.

NEBOIT R, 1991. *L'homme et l'érosion : l'érosion des sols dans le monde*, Faculté des Lettes et Sciences Humaines, Université Blaise Pascal, 2^{ème} éd., 269p.

NIANOGO-SERPANTIE I, 2000. Une approche juridique de la jachère : exemple de l'Ouest burkinabé, pp 43-51, In FLORET C et PONTANIER R, *La jachère en Afrique tropicale*, John Libbey Eurotext.

NICOU R, 1986. Labour et aménagement du sol en vue d'accroître le rendement des cultures vivrières dans les régions semi-arides d'Afrique subsaharienne, pp 511-524 in MENYONGA JM, BEZUNEH T et YOUNDEOWE A (Eds), *Food grain production in semi-arid Africa*, Proceeding of an international drought symposium held at the Kenyatta Conference Centre, Nairobi, 19th to 23rd may 1986, OAU/STRC-SAFGRAD.

NICOU R et LEMOIGNE M, 1990. Efficacité agronomique de la mécanisation des opérations culturales, pp 475-506, in Ministère de la coopération et du développement, *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, Actes de rencontres internationales, Montpellier, 10-14 décembre 1990.

OBODAÏ EA and TEYE G, 2001. Integrated bird-pig-fish in the Tolon-Kumungu district, Northern Ghana, *SADAOC*, vol. 15, 1-2.

ODI, 2003. Description of rice production in Ghana, Multi-agency partnerships in West Africa, 5 p.

OUADBA JM, 2000. Importance des études d'impacts environnementaux pour la mise en valeur des bas-fonds, pp 64-73, in THIOMBIANO L, SANDWINI JP et KABORE O (eds), *Les bas-fonds du Burkina Faso : contraintes et potentialités pour une mise en valeur durable*, Actes du Séminaire national de Bobo-Dioulasso, 21-24 octobre 1997.

OUATTARA B, SEDOGO MP, ASSA A, LOMPO F et OUATTARA K, 1998. Modifications de la porosité du sol après trente-trois années de labour et d'enfouissement du fumier au Burkina Faso, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 7, 1.

OUATTARA B, SEDOGO MP, LOMPO F et OUATTARA K, 1994. Effets des techniques culturales sur l'alimentation hydrique du sorgho et le bilan minéral du sol dans le plateau central du Burkina Faso, pp 91-101, in REYNNERS FN et NETOYOLO L (eds), *Bilan hydrique et sécheresse en Afrique tropicale*, John Libbey Eurotext, Paris.

OUATTARA K, 1994. La politique de développement de l'irrigation au Burkina Faso, pp 23-32, in POUYA AM et SALLY H (eds), *Les actes de l'atelier sur les objectifs et les performances des petits périmètres irrigués autour des barrages*, 08-10 juin 1994, Ouagadougou, IIMI.

OUATTARA M, 1997. La variabilité des petits périmètres irrigués, pp 69-88, in SALLY H (ed), *Améliorer la performance des périmètres irrigués*, Ministère de l'Environnement et de l'Eau, IIMI, Les actes du séminaire régional du projet management de l'irrigation au Burkina Faso, 24-26 juillet 1996, Ouagadougou.

OUATTARA S, 1994. Quelques éléments agronomiques d'évaluation des performances des aménagements hydrauliques agricoles en aval des barrages, pp 89-114, in POUYA AM et SALLY H (eds), *Les actes de l'atelier*

sur les objectifs et les performances des petits périmètres irrigués autour des barrages, 08-10 juin 1994, Ouagadougou, IIMI.

OUATTARA S, DEMBELE Y et ZIDA Z, 1997. Les pratiques culturales dans les petits périmètres irrigués, pp 171-196, in SALLY H (ed), *Améliorer la performance des périmètres irrigués*, Ministère de l'Environnement et de l'Eau, IIMI, Les actes du séminaire régional du projet management de l'irrigation au Burkina Faso, 24-26 juillet 1996, Ouagadougou.

OUEDRAOGO M et KABORE V, 1996. Le zaï, technique traditionnelle de réhabilitation des terres dégradées au Yatenga (Burkina Faso), pp 19-125, in REIJ C, SCOONES T et TOULMIN C (eds), *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, Karthala, Paris.

PADI FK, 2003. Correlation and path coefficient analyses of yield and yield components in *Pigeonpea*, *Pakistan journal of biological sciences*, vol. 6, 19 : 1689-1694.

PALE FOK, 1980. *Connaissance du milieu et développement durable au Sud Ouest de la Haute Volta : les problèmes d'intégration du paysan lobi dans l'agriculture moderne*, Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 208 p.

PARENT G, PODA JN, ZAGRE NM, DE PLAEN R et COURADE G, 2002. Irrigation, santé et sécurité alimentaire en Afrique : quels liens ?, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 11, 1 : 9-15.

PARENT G, ZAGRE NM, OUEDRAOGO A et GUIGUEMBE TR, 2002. Les grands hydro-aménagements au Burkina Faso contribuent-ils à l'amélioration des situations nutritionnelles des enfants ?, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 11, 1 : 51-57.

PDA-HB, 1987. *Enquêtes de suivi*, Ministère de l'Agriculture, Bobo-Dioulasso, 128 p.

PELTRE-WURTZ J, 1984. La charrue, le travail, l'arbre, *Cahiers ORSTOM, Série Sciences Humaines*, vol. 20, n°3-4, pp 633-646.

PIERI C, 1990. Les bases agronomiques de l'amélioration et du maintien de la fertilité des terres de savane au Sud du Sahara, pp 43-74, in Ministère de la coopération et du développement, *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?*, Actes de rencontres internationales, Montpellier, 10-14 décembre 1990.

PIRAUX M, BOCK L, BULDGEN A, LEFORT E, STEYAERT P et DIAGNE A, 1997. Influence des conditions climatiques, topographiques et d'intensification sur la fertilité physique et chimique des sols ferrugineux en région sahélo-soudanienne, *Science et changements planétaires, Sécheresse*, vol. 8, n°4, pp 247-256.

POURTIER L, 2003. Les savanes africaines entre local et global : milieux, sociétés, espaces, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 12, 4 : 213-218.

PRUDENCIO YC, 1986. Quelques mécanismes d'ajustement des systèmes de production agricole au Burkina Faso : implication pour la recherche et le développement agricole, pp 581-593 in MENYONGA JM, BEZUNEH T et YOUNDEOWE A (eds), *Food grain production in semi-arid Africa*, proceeding of an international drought symposium held at the Kenyatta Conference Centre, Nairobi, 19th to 23rd may 1986, OAU/STRC-SAFGRAD.

REIJ C, TAPPAN G et BELEMVIRE A, 2005. Changing land management practices and vegetation on the Central Plateau of Burkina Faso (1968-2002), *Journal of Arid Environments*, Elsevier, 63 : 642-659.

RIGOURD C, HERMITEAU I, NEPVEU DE VILLEMARCEAU et VIDAL A, 2002. La riziculture irriguée en Afrique sahélienne : rompre avec le pessimisme, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 11, 1 : 59-64.

ROBINS E, 1994. La gestion de l'arbre dans les systèmes de production agricoles dans le village de Thiougou sur le Plateau Central, Burkina Faso in le bouquin tout foutu de l'INERA, pp 239-249, in LOWENBERG-DEBOER J, BOFFA JM, DICKEY J et ROBINS E (eds), *Recherche intégrée en production agricole et en*

gestion des ressources naturelles : projet d'appui à la recherche et à la formation agricole (ARTS), Burkina Faso, Purdue University.

ROOSE E, 1985. Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux, *Le machinisme agricole tropical*, n°87, pp 24-35.

ROOSE E, 1990. Méthodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique occidentale soudano-sahélienne : définitions, fonctionnements, limites et améliorations possibles, *Communication à la 6ème réunion du Réseau Erosion*, Montpellier, septembre 1989, pp 98-107.

ROOSE E, 2004. Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive. Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), *Science et changements planétaires / Sécheresse*, vol. 15, 1 : 9-18.

ROOSE E, 1992. Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale, *Compte-rendu de séminaire*, ORSTOM, Montpellier, pp 233-244.

ROOSE E, 2004. La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols : une stratégie nouvelle de la lutte anti-érosive pour le développement durable, *Science et changements planétaires / Sécheresse*, vol. 15, 1 : 5-7.

ROOSE E, DUGUE P et RODRIGUEZ L, 1992. La GCES : une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso, *Bois et Forêts des Tropiques*, France, n°233, pp 194-202.

ROOSE E, KABORE V et GUENAT C, 1999. Le zaï : fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la production des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso), *Echos du COTA*, Belgique, n°83, pp 3-12.

ROOSE E, KABORE V et GUENAT C, 1999. Zaï practice : a West African traditional rehabilitation system for semiarid degraded lands : a case study in Burkina Faso, *Arid Soil Research and Rehabilitation*, USA, vol. 13, n°4, pp 343-355.

RUELLE P, SENE M, JUNCKER E, DIATTA M et PEREZ P, 1990. *Défense et restauration des sols*, Collection Fiches Techniques, ISRA-Cirad, vol. 1, 1.

SALLY H, 1994. La performance des petits périmètres irrigués autour des barrages : vue d'ensemble, pp 33-58, in POUYA AM et SALLY H, *Les actes de l'atelier sur les objectifs et les performances des petits périmètres irrigués autour des barrages*, 08-10 juin 1994, Ouagadougou, IIMI.

SANDWIDI JP et KEITA A, 1997. La gestion de l'eau et des infrastructures des petits périmètres irrigués, pp 89-120, in SALLY H (ed), *Améliorer la performance des périmètres irrigués*, Ministère de l'Environnement et de l'Eau, IIMI, Les actes du séminaire régional du projet management de l'irrigation au Burkina Faso, 24-26 juillet 1996, Ouagadougou.

SANGARE M, FERNANDEZ-RIVERA S, BATIONO A, HIERNAUX P et PANDEY VS, 2001. Effets des différents types d'amendements sur le rendement du mil et la fertilité du sol au Sahel, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures*, vol. 10, 5 : 319-325.

SAVONNET G, 1978. *Logique paysanne et espaces agraires africains*, ORSTOM, Ouagadougou, 9 p.

SCHILLING R, 1996. *L'arachide en Afrique tropicale*, Le technicien d'agriculture tropicale n°37, Maisonneuve et Larose, Paris, 174 p.

SCHWARTZ A, 1991. *L'exploitation agricole dans l'aire cotonnière burkinabé : caractéristiques sociologiques, démographiques et économiques*, ORSTOM, Ouagadougou, 88 p.

SCHWARTZ A, 1999. *Culture du coton, sécurité alimentaire et développement durable dans les savanes de l'Afrique subsaharienne. L'exemple du Burkina Faso*, Colloque du 02 décembre 1999 « Sécurité alimentaire et développement durable », édition Tec & Doc, pp 189-198.

SEDOGO MP, 1981. *Contribution à la valorisation des résidus cultureux en sols ferrugineux et sous climat tropical semi-aride*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et industries Alimentaires, Nancy, 195 p.

SEGDA Z, HIEN V, LOMPO F et BECKER M, 1998. Gestion améliorée de la jachère par l'utilisation de légumineuses de couverture, in BUCKLES D, ETEKA A, OSINAME O, GALIBA M et GALIANO N (eds), *Plantes de couverture en Afrique de l'Ouest : une contribution à l'agriculture durable*, IDRC, Ottawa.

SEMENT G, 1986. *Le cotonnier en Afrique tropicale*, Edition Maisonneuve-Larose, Paris, Coll. Le technicien d'agriculture tropicale, n°5, 133p.

SERPANTIE G et OUATTARA B, 2001. Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest, pp 21-83, in FLORET C et PONTANIER R, *La jachère en Afrique tropicale*, John Libbey Eurotext.

SILVIE P, DELVARE G, ABERLENC HP et SOGNIGBE B, 1993. Contribution to the inventory on insects on cotton plants in Togo with the view to integrated control, *Coton Fibre Tropical*, Vol. 48, n°3, pp 313-326.

SINARE I, 2000. Caractéristiques des bas-fonds : typologie et aptitudes, pp 9-26, in THIOMBIANO L, SANDWINI JP et KABORE O (eds), *Les bas-fonds du Burkina Faso : contraintes et potentialités pour une mise en valeur durable*, Actes du Séminaire national de Bobo-Dioulasso, 21-24 octobre 1997.

SLINGERLAND M et MASDEWEL M, 1996. Le paillage sur le plateau central du Burkina Faso, pp 127-132, in REIJ C, SCOONES T et TOULMIN C (eds), *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, Karthala, Paris.

Société japonaise des ressources vertes, 2001. *Guide technique de l'agriculture : des plaines d'inondation aux plateaux pour une mise en valeur intégrale des ressources*, Documentation technique de la JGRC, vol. 6, 123 p.

SOMDA ZC, 1979. *Etude comparée des techniques culturales dans la zone d'encadrement de Tiankoura*, Rapport de stage, Institut Supérieur Polytechnique, Ouagadougou, 34 p.

SOME D, ZOMBRE PN, ZOMBRE G et MACAULEY RH, 2004. Impact de la technique du zaï sur la production de niébé et sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols très dégradés (zipellés) du Burkina Faso, *Sciences et changements planétaires / Sécheresse*, vol.15, 3 : 263-269.

SOME L, 1982. *Gestion de l'eau et intensification des cultures vivrières (Nord Yatenga)*, Mémoire de fin d'études, Université de Ouagadougou, 128 p.

SOME L, 1989. *Diagnostic agropédoclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures du sorgho, du mil et du maïs*, Thèse de Doctorat, Montpellier III, 337 p.

SOME L et OUATTARA B, 1991. Etude de l'effet du ruissellement et de l'érosion à la parcelle sur le bilan hydrique et les rendements d'une culture de sorgho à Saria (Burkina Faso), *Réseau Erosion Bulletin*, n°11, ORSTOM, France, pp 139-155.

SOME L, KAMBOU F, TRAORE S et OUERDAOGO B, 2000. Techniques de conservation des eaux et des sols dans la moitié Nord du Burkina Faso, *Sciences et changements planétaires / Sécheresse*, vol.11, 4 : 267-274.

SOUMANA I et CHANDRA KR, 1987. La recherche sur la culture associée au Niger, pp 21.1-21.12, in OUATTAR S et FEYEN J (eds), *Management of water and natural resources to increase food production in Africa*, IFS, Stockholm.

SULTAN B, 2002. *Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection. Application à la sensibilité des rendements agricoles*, Thèse de Doctorat, Paris 7, 283 p.

TADJOSTI A, 2006. Communication orale, Ambassade du Maroc, Ouagadougou, Burkina Faso.

TALLET B, 1989. *Connaître les exploitations agricoles : un outil pour les politiques de développement rural au Burkina Faso*. Florilège offert à P Pelissier et G Sautier, ORSTOM, Coll. Didactique, France, pp 241-248.

TERSIGUEL P, 1995. *Le pari du tracteur. La modernisation de l'agriculture cotonnière au Burkina Faso*, ORSTOM, Coll. A Travers Champs, Paris, France, 280p.

TRAORE A, 1991. *Erosion et lutte anti-érosive sur parcelles de culture dans la région de Bidi (Burkina Faso)*, Mémoire de maîtrise, Université de Ouagadougou, 130 p.

TRIBOULET JP, 1986. *Petits barrages en terre au Burkina Faso*, CIEH, UNESCO et EIER, Ouagadougou, 180 p + annexes.

TSIGBEY FK, BRANDENBURG RL and CLOTTEY VA, 2002. *Peanut productions methods in Northern Ghana and some disease perspectives*, SARI, Tamale, 9 p.

VALET S, 2000. Nouvelle stratégie d'éco-développement durable par la gestion et la valorisation du report hydrique, *Science et changements planétaires / Sécheresse*, vol. 11, 4 : 239-247.

VEIHE A, 2000. Sustainable farming practices : ghanaiian farmers' perception of erosion and their use of conservation measures, *Environmental management*, vol. 25, 4 : 393-402.

VERMAAT JJ, 2004. *Etude de préparation d'un ouvrage d'aménagement des bas-fonds dans le Sud-Ouest du Burkina Faso*, CPSA, Ouagadougou, 69 p.

WRIGHT P, 1985. *La gestion des eaux de ruissellement*, OXFAM, Ouagadougou, 38 p.

ZAN CE, 2006. Communication orale, Direction générale de l'autorité de la mise en valeur de la vallée du Sourou, AMVS, Ministère de l'Agriculture, Ouagadougou, Burkina Faso.

ZAONGO C, 1983. *Influence du billonnage cloisonné et du paillage sur le rendement de sorgho et de petit mil et mise au point d'un dispositif simple de mesure du ruissellement et de l'érosion*, Mémoire de fin d'études, Université de Ouagadougou, 116 p.

ZIDA Z, DEMBELE Y et OUATTARA S, 1997. Les systèmes de culture dans les petits périmètres irrigués, pp 137-170, in SALLY H (ed), *Améliorer la performance des périmètres irrigués*, Ministère de l'Environnement et de l'Eau, IIMI, Les actes du séminaire régional du projet management de l'irrigation au Burkina Faso, 24-26 juillet 1996, Ouagadougou.

ZOUGMORE R, KAMBOUN F, OUATTARA K et GUILLOBEZ S, 1998. L'association culturale sorgho-niébé pour prévenir le ruissellement et l'érosion dans le Sahel au Burkina Faso, in BUCKLES D, ETEKA A, OSINAME O, GALIBA M et GALIANO N (eds), *Plantes de couverture en Afrique de l'Ouest : une contribution à l'agriculture durable*, IDRC, Ottawa.

ZOUGMORE R, OUATTARA K, MANDO A et OUATTARA B, 2004. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso, *Sciences et changements planétaires / Sécheresse*, vol.15, 1 : 41-48.

ZOUNGRANA PT, OUEDRAOGO FC et NANA E, 1996. Adaptation paysanne à l'approche gestion des terroirs dans la plaine centrale du Burkina Faso, pp 213-232, in Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, *Actes du colloque SPP/E du 14 au 15 décembre 1995 "Agriculture en mutation"*.

ANNEXE 1

Usages et intérêts économiques des principaux arbres utiles

Adansonia digitata ou **baobab** :

Le baobab porte de gros fruits ovoïdes à subsphériques appelés « *pains de singe* » mûrs vers octobre. La chair et les graines sont comestibles : elles sont réduites en poudre pour préparer une boisson rafraîchissante. Les feuilles, riches en fer (Poda, 1998), entrent dans la composition de préparations médicamenteuses pour lutter contre les fièvres, les infections et les difficultés respiratoires. L'écorce, quant à elle, fournit des cordages tandis que l'arbre constitue un engrais efficace lorsqu'il est abattu.

Vitellaria paradoxa ou **karité** :

Les fruits sont mûrs de juin à août. La chair de ces drupes est consommée mais c'est surtout la graine, ou noix de karité, qui est valorisée. Les amandes contenues dans les noix servent à la fabrication du beurre de karité, consommé par les populations locales, utilisé comme produit de beauté, vendu sur les marchés locaux mais également exporté. Le karité a donc un rôle économique considérable.

Acacia albida ou *Faidherbia albida* communément appelé **kad(e)** :

Ce sont surtout les qualités agronomiques de cet arbre qui sont appréciées car ses racines permettent d'améliorer le taux d'azote et la fertilité des sols. De plus, ses feuilles tombent au moment des travaux de préparation aux semis et permettent d'enrichir le sol en matière organique. En saison sèche, les fruits et les feuilles sont très appréciés par le bétail. Préparée en décoction, l'écorce constitue un remède contre les nausées et les vomissements.

Khaya senegalensis ou **caïlcédrat** :

Le caïlcédrat doit essentiellement sa valeur à son bois d'œuvre mais c'est également une source de fourrage.

Lannea microcarpa ou **raisinier** :

Le raisinier donne des grappes de drupes consommables en mai et juin et très appréciées ; elles sont autoconsommées ou vendues sur les marchés. Les feuilles servent de fourrage et sont également utilisées par les Peuls qui les trempent dans du lait pour élaborer un soin contre les brûlures.

Parkia biglobosa ou **nééré** :

Chaque fleur de ce mimosa pourpre donne, vers les mois de mai-juin, une longue gousse qui contient une poudre comestible jaune et sucrée ainsi que des graines semblables à des haricots. Ces dernières sont mises à fermenter pour préparer le "*soumbala*" qui sert à parfumer la sauce du traditionnel "*tô**". Le "*Soumbala*" est consommé ou vendu sur les marchés locaux. Les services de santé en recommandent la consommation pour ses vertus régulatrices de tension.

Tamarindus indica ou **tamarinier** :

Le feuillage est apprécié par le bétail. Les fruits, mûrs en décembre, contiennent une pulpe acidulée qui est mise à fermenter avec les graines pour préparer une boisson aux vertus laxatives. Le jus et le sirop sont produits et conditionnés par la SAVANA de Bobo-Dioulasso et constituent une ressource financière complémentaire pour les familles qui récoltent les fruits.