



**CULTURE DES BAS-FONDS DU BASSIN VERSANT DU FLEUVE BANI AU  
MALI : UTILISATION DE SIG POUR LA CARACTERISATION DES  
PRODUCTIONS AGRICOLES**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN  
GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (GIRE)**

présenté et soutenu publiquement le [Date] par

**Soma KONARÉ**

**Travaux dirigés par : Hamma YACOUBA,** Enseignant - Chercheur Chef d'Unité  
UTER GVEA

**Jury d'évaluation du stage :**

Président : Prénom NOM

Membres et correcteurs : Prénom NOM

Prénom NOM

Prénom NOM

**Encadreurs :**

Pierre C. Sibiry TRAORE

M. Bruno BARBIER

**Promotion 2008/2009**



**DEDICACE**

*Par la grâce de Dieu, je dédie ce mémoire à mon défunt père Moussa Diékoro KONARÉ. Qu'Allah le tout Puissant l'accueille dans son paradis éternel.  
AMEN!*

## **REMERCIEMENTS**

Tout d'abord je remercie DIEU le tout Puissant de m'avoir accordé la chance de mener à bien cette spécialisation en Gestion Intégrée des ressources en Eau à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Pour leur générosité, leur amour et leur aide tous azimuts je remercie toute ma famille à travers ma mère Araba DIAKITE pour ses immenses sacrifices consentis à mon égard et mon épouse Ramatou COULIBALY. Je remercie Mr Mamadou DIAWARA, Directeur Général du Bureau Sahélien d'Hydraulique (BSH-sarl), pour m'avoir accepté au sein de sa structure de 2001 à 2008, d'abord pour le stage de fin d'étude à l'École nationale d'Ingénieurs de Bamako et par la suite pour le début de ma carrière professionnelle.

Qu'il me soit également permis de remercier tout le personnel du Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba et particulièrement Dr Abdoulaye HAMADOUN pour m'avoir accepté au sein de sa structure.

Mes sincères remerciements à tous ceux et toutes celles qui, d'une manière ou une autre, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire. En particulier je remercie Mr Pierre Christophe Sibiry TRAORE qui n'a ménagé aucun effort pour le suivi de ce travail, Mr Cheick Hamala DIAKITE Responsable de l'unité SIG et Mr Mamadou DOUMBIA, directeur du Laboratoire Sol-Eau-Plante. Je remercie Mr Jean Emmanuel PATUREL, chercheur à l'IRD.

Je remercie Mr Paul GINIES, Directeur Général du 2iE. Mes remerciements vont également à l'endroit de l'administration et du corps professoral du 2iE. Toute ma gratitude à Mr Bruno BARBIER, chercheur au CIRAD actuellement en poste au 2iE pour avoir apporté les moyens financier et technique qui ont permis la réalisation de ce stage. Je tiens à signaler toute ma gratitude à Mr Hamma YACOUBA qui a bien voulu apporter ses précieux services pour diriger ce travail et aussi à Mr Harouna KARAMBIRI pour tout ce qu'il fait pour la GIRE.

Je remercie la commission de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) qui m'a sélectionné pour bénéficier de son Programme de soutien à la formation et la recherche de l'excellence, édition 2008-2009, lequel soutien m'a permis de mener à bien cette formation.

Je pense à tous mes camarades de classes et à l'Association des Étudiants et Stagiaires Maliens à Ouagadougou (AESMO).

Enfin dans la gerbe de ma reconnaissance, que chacun trouve la part qui lui convient.

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CPCS : Commission de Pédologie et Cartographie des Sols

CPS/SDR : Cellule de Planification et de Statistique / Secteur du Développement Rural

CMDT : Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles.

DEM : Digital Elevation Model

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

DRA : Direction Régionale de l'Agriculture

GDEM : Global Digital Elevation Model

ICRISAT: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

IER : Institut d'Économie Rurale

IRD : Institut de Recherche pour le développement

ISP : Indice Standardisé de Pluie

MNE : Modèle Numérique d'Élévation

NASA : National Aeronautics and Space Administration

PIRL : Projet Inventaire des Ressources Ligneuses

RESSAC : vulnérabilité des Ressources en Eau Superficielle au Sahel aux évolutions Anthropiques et Climatiques à moyen terme

SIG : Système d'Information Géographique

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission.

UMR : Unité Mixte de Recherche

USAID : United States Agency for International Development

WIST : Warehouse Inventory Search Tool

## SOMMAIRE

Liste des Figures.....	7
Liste des tableaux .....	7
Résumé .....	8
I. Introduction.....	9
II. Contexte et justificatif de l'étude .....	12
III. Généralité sur le bassin versant du Bani .....	13
3.1 Situation géographique.....	13
3.2 Démographie.....	14
3.3 Climat et végétation.....	15
3.4 Hydrologie .....	16
3.5 Géologie et relief.....	18
3.6 Les zones agro-écologiques .....	19
IV. Matériels et méthodes utilisées.....	21
4.1 Méthode utilisée .....	21
4.1.1. Méthodologie adoptée.....	21
V. Résultats et discussion .....	31
5.1 Validation de la carte du PIRT désagrégée.....	31
5.2 Potentiel des terres et production agricole.....	34
5.2.1 Disponibilité des terres pour les 5 cercles de référence.....	36
5.2.2 La production agricole par habitant.....	38
VI. Conclusions et perspectives.....	44
BIBLIOGRAPHIE .....	46
ANNEXES.....	48

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'études.....	14
Figure 2 : Situation des stations pluviométriques et graphiques d'évolution des pluies de 1956 à 2003 .....	16
Figure 3 : Le fleuve Bani et ses principaux bras.....	17
Figure 4 : Débits moyens du Bani (en m <sup>3</sup> /seconde) mesurés à la station hydrométrique de Douna - Données calculées sur 48 ans .....	18
Figure 5 : Les principales zones agro-écologiques du Bani au Mali.....	21
Figure 6 : Chronogramme de l'étude.....	22
Figure 7 : Représentation schématique de la toposéquence (Source TRAORE K. et al.).....	28
Figure 8 : La chaîne de traitement pour désagréger la carte de sol du PIRT .....	30
Figure 9 : Extrait de la carte désagrégée du PIRT (Cercle de Koutiala) .....	31
Figure 10 : Comparaison de la carte du PIRT désagrégée avec la carte morphopédologique de Koutiala.....	33
Figure 11 : Superficies cultivables, superficies cultivées et production céréalière.....	38
Figure 12 : Graphique d'évolution des superficies cultivées par spéculation pour le cercle de Kolondiéba.....	39
Figure 13 : Graphique d'évolution des superficies cultivées pour le cercle de Kolondiéba ....	40
Figure 14 : Graphique d'évolution de la production agricole par spéculation pour le cercle de Kolondiéba.....	40
Figure 15 : Répartition spatiale de la densité de bas-fonds par cercle .....	43

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Potentiel d'utilisation arable ou non arable de sol selon le PIRT. ....	34
Tableau 2 : État des disponibilités de terre dans le bassin versant du Bani pour 5 cercles de référence au Mali.....	36
Tableau 3 : Production agricole par habitant pour les 5 cercles .....	38

**RESUME**

## **I. INTRODUCTION**

Dans le cadre du Mastère Spécialisé en Gestion Intégrée des Ressources en Eau, l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) forme chaque année des étudiants déjà diplômés d'une école d'ingénieurs ou d'une université. Ce travail, qui se situe dans le cadre de la mission de fin d'études est pour l'étudiant, un apprentissage à son futur métier. Il constitue à la fois une réelle première expérience professionnelle et le dernier exercice académique.

Une meilleure gouvernance de l'eau est une des clés du développement durable : elle est indispensable pour assurer la vie sur terre, la santé et le progrès de nos sociétés, dans le respect de l'environnement. Ces défis ne peuvent plus désormais s'aborder de façon sectorielle ou localisée, ni séparément. Les solutions passent par une approche globale et concertée, organisée à l'échelle pertinente des bassins versants des fleuves, lacs et aquifères, qu'ils soient locaux, nationaux ou transfrontaliers, et en cohérence avec les schémas d'aménagement et de gestion des territoires correspondants.

Une approche de Gestion Intégrée des Ressources en Eau encourage le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, en vue de maximiser, de manière équitable, le bien-être économique et social qui en résultent sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux (Selon GWP).

Cela comprend le développement et la gestion plus coordonnés :

- des sols et de l'eau,
- de l'eau de surface et de l'eau souterraine,
- du bassin fluvial et de son proche environnement marin et côtier,
- des intérêts amont et aval.

Elle s'appuie sur une panoplie d'outils économiques, techniques, institutionnels, et sur une mobilisation des acteurs, à adapter à chaque situation locale des bassins.

Le SIG est l'un des outils techniques permettant de collecter, de gérer, d'analyser et de restituer des données géographiques. Appliqué à la cartographie des sols, et plus particulièrement à la carte des sols du bassin versant du Bani, il a permis de progresser dans les quatre activités citées : collecte, gestion, analyse et restitution.

La capacité des sols à produire est limitée et est définie par ses caractéristiques intrinsèques, les paramètres agro-écologiques, leur mode d'utilisation et de gestion. Les schémas d'aménagement territorial doivent par conséquent préciser les vocations des terres et orienter

les exploitants agricoles vers les types de production les plus conformes aux potentialités de chaque zone agro-écologique. De ce fait, une meilleure connaissance de cette ressource vitale qu'est le sol permet une exploitation rationnelle et durable.

Des études ont déjà été menées sur d'autres aspects de la culture des bas-fonds dans le bassin versant du Bani. En 2009 les études réalisées par Seydou OUATTARA portèrent sur l'identification des zones favorables à la culture de bas-fonds et ont permis de faire une délimitation des zones de bas-fond et une analyse spatiale de leurs accessibilités.

Notre contribution constitue un complément aux études antérieures et part sur la base de la carte de sol du Projet Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT) pour ressortir les potentialités agricoles des unités de sol de la partie malienne du bassin du Bani.

Le PIRT a été initié en 1978 par le Gouvernement du Mali avec l'appui financier de l'USAID. Le projet a fourni une étude descriptive, quantitative et graphique de la végétation, des terres et des eaux dans la partie du territoire national situé au sud du parallèle 17° 30' (Rapport PIRT). Une carte d'inventaire des sols et de la végétation a été produite à l'échelle 1 :500 000ème comportant des unités associées de sol/végétation au nombre de deux, trois ou plus.

Les données ainsi recueillies sont nécessaires à une bonne planification des ressources naturelles, qui consistera en premier lieu à décider de leur répartition judicieuse entre les différentes spéculations agricoles, et à déterminer les priorités en vues d'atteindre les objectifs de développement projetés.

L'utilisation de cette carte se heurte à deux obstacles majeurs à savoir la position exacte de chaque unité dans le paysage du fait de l'association des unités et l'échelle très réduite pour une utilisation plus locale.

La désagrégation de ces unités composites en fonction de leur position relative dans la toposéquence permettra de ramener ladite carte à une échelle beaucoup plus grande et de faire ressortir les potentialités agricoles par unité de sol.

La comparaison du potentiel de terres agricoles avec les superficies réellement mises en valeur donnera une idée de l'état de saturation de la ressource.

Le présent projet de fin d'études qui s'intitule "Culture des bas-fonds du bassin versant du fleuve Bani au Mali : Utilisation du SIG pour la caractérisation des productions agricoles" se fixe deux principaux objectifs :

- 1. Produire une carte de sol à l'échelle 1 : 200.000<sup>ème</sup> par désagrégation de la carte du PIRT au 1 : 500.000<sup>ème</sup> avec jointure d'informations relatives au potentiel agricole des terres,
- 2. Faire une analyse croisée des informations sur le type de sol avec celles de la production agricole.

Ce travail est structuré autour de quatre points :

- Le premier point traite le contexte et le justificatif de l'étude. Cette partie a mis en évidence la nécessité de l'application du SIG à l'étude des sols dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau.
- Les différents aspects géographique, géomorphologique, pédologique, hydroclimatologique, géologique et hydrogéologique sont abordés. Cette partie, traitant les généralités sur le bassin versant du Bani, a mis en évidence l'importance du potentiel hydrique du bassin.
- La présentation des différents principes et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail font l'objet du troisième point. Cette partie fait un vaste tour d'horizon des méthodes qui interviennent dans la technique de désagrégation des unités composites de sol-végétation, l'utilisation des modèles numériques de terrain et le concept de distribution toposéquentielle des unités de sol.
- Le quatrième point analysera les principaux résultats obtenus. Cette analyse des résultats va consister à leur interprétation qui sera suivie de discussions.

Une conclusion fera la synthèse des principaux résultats obtenus de ce mémoire.

## **II. CONTEXTE ET JUSTIFICATIF DE L'ETUDE**

De graves erreurs de gestion des sols ont été commises au cours du XXe siècle. La priorité, pour la Science du sol naissante, fut de contribuer à nourrir un monde en croissance rapide, puis de contribuer à gérer des environnements qui se dégradèrent. Pour cela, on a dû privilégier des recherches à court terme afin de développer l'utilisation des sols, sans se donner le temps de bien connaître les sols et leurs répartitions. D'où un certain nombre d'erreurs graves par exemple des excès de fertilisation chimique, des techniques agricoles uniformisées qui ont détruit la structure de la surface des sols, des stratégies de mise en valeur qui ont dramatiquement appauvri les sols en matière organique.

De nos jours les politiques prennent de plus en plus conscience de l'importance d'une bonne gestion des sols dans le cadre du développement durable. A ce titre la loi d'orientation agricole du Mali dans son article 88 stipule : « L'État, en rapport avec les Collectivités territoriales, la profession Agricole et les professionnels de l'eau, élabore des normes sur la conception et la gestion des périmètres et des schémas d'aménagement des terroirs, des bassins fluviaux et des aquifères en vue d'assurer une gestion rationnelle et durable des ressources sols/eau ».

Une meilleure utilisation de ces ressources de sol passe donc par une connaissance plus approfondie de leurs propriétés et de leur répartition spatiale à l'échelle de la commune ou de l'exploitation agricole. A cette échelle les variations latérales des sols, souvent importantes, sont mal connues (A. RUELLAN et al. ; AFES).

D'où notre intérêt pour le bassin versant du Bani à disposer d'une carte de sol à l'échelle 1 :200.000<sup>ème</sup>. Laquelle carte servira de support de compréhension et de communication afin de répondre à des problématiques d'exploitation des terres telles que l'estimation de la superficie des différents types de sol et leur distribution spatiale. Combinée avec les données de production agricole et celles de la population, elle sera un outil d'appréciation de l'évolution spatio-temporelle du taux d'exploitation des ressources de sol et de satisfaction des besoins céréaliers.

Ce document constitue le mémoire de fin d'études de la formation de Mastère Spécialisé en Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE), suite à un stage effectué du 1<sup>er</sup> juillet au 30 septembre 2009 au sein l'unité Système d'Information Géographique et télédétection du Laboratoire sol-eau-plante de l'Institut d'Économie Rurale de Bamako. Le présent projet s'inscrit dans le cadre du programme de recherche RESSAC (vulnérabilité des Ressources en

Eau Superficielle au Sahel aux évolutions Anthropiques et Climatiques à moyen terme) financé par l'Agence Nationale de la Recherche. Ce projet associe différents partenaires français que sont les UMRs suivantes:

- HydroSciences Montpellier (pilote du projet),
- Centre de Recherches de Climatologie,
- Espaces géographiques et Sociétés,
- Territoire, Environnement, Télédétection et Information Spatiale
- Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages

Les objectifs du projet sont de définir la vulnérabilité d'un milieu sahélien anthropisé à l'aide de différents indicateurs :

- climatiques : cartographies de variables liées à la pluie et à l'ET ;
- hydrologiques : disponibilité de la ressource, distribution temporelle, débits caractéristiques ;
- géographiques : évolution de l'occupation du territoire, usages agricoles de l'espace (répartition), Capacité de rétention hydrique du sol, Diversité des paysages.

### **III. GENERALITE SUR LE BASSIN VERSANT DU BANI**

#### **3.1 Situation géographique**

Le bassin versant du Bani, un affluent du fleuve Niger, avec son exutoire à Sofara dans la région de Mopti au Mali se situe globalement entre 3° et 9° Longitudes Ouest et entre 9° et 15° Latitudes Nord (Figure 1). Il couvre une superficie d'environ 130.150 km<sup>2</sup> répartie entre le Mali (79,2%), la Côte d'Ivoire (15,6%), le Burkina Faso (5%) et la Guinée Conakry (0,2%). Au Mali, le bassin couvre 19 cercles d'une portion des régions administratives de Sikasso, Ségou, Koulikoro et Mopti.

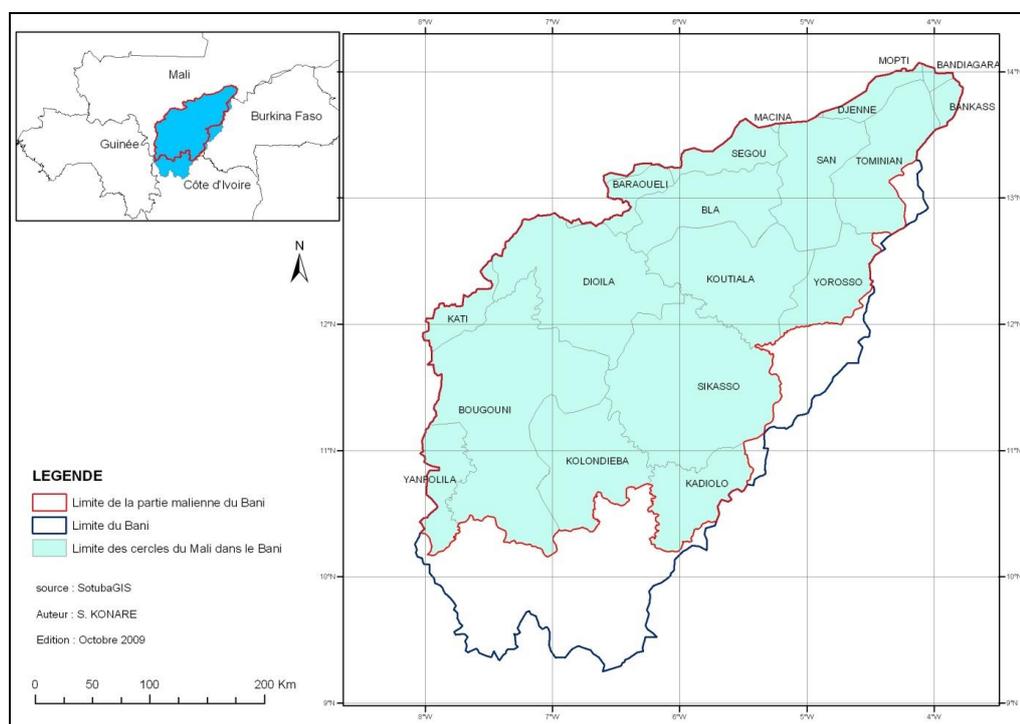


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'études

### 3.2 Démographie

En 1998, la population de la partie malienne du bassin du Bani était estimée à environ 2,8 millions (RGPH, 1998). Avec un taux d'accroissement moyen de la population de 3% cette population serait passée à 3,9 millions d'habitants en 2009 soit une densité d'environ 38 habitants au kilomètre carré.

Cette population, essentiellement rurale, s'active principalement autour de l'agriculture. Destinée généralement à l'autoconsommation, les cultures vivrières sont essentiellement le mil, le maïs, le sorgho, le niébé et le riz. Le coton est la principale culture de rente. Les autres cultures de rentes sont des cultures maraîchères de contre saison (tomates, oignons, aubergines, pomme de terre, etc.) pratiquées dans les bas-fonds. D'autres activités existent à coté de cette agriculture telle l'élevage extensif et le commerce.

Plusieurs ethnies cohabitent dans la zone. On rencontre les Sénoufo au Sud, surtout dans les régions de Sikasso, Kadiolo au Mali et dans les régions de Denguélé et de Savanes en Côte d'Ivoire, et à l'Est. On rencontre les Bambara également dans la partie Sud à Bougouni, Kolondiéba, Dioila et aussi dans la partie Nord. On trouve aussi des peuls sédentarisés à

Yanfolila et Kadiolo dans la partie sud. On rencontre les Minianka dans les secteurs de Koutiala et Yorosso au centre ou au Centre-Nord. Les Bobo à l'Est dans les parties frontalières Mali-Burkina Faso. On rencontre les Dogon et les soninkés dans la partie Nord. (OUATTARA S., 2009)

### **3.3 Climat et végétation**

Le climat de la zone d'étude est de type soudanien au Nord avec une pluviométrie annuelle faible et de type guinéen au sud avec une pluviométrie annuelle parfois plus de 1500 mm (Saad, K. 1970). Il se caractérise par l'alternance de deux saisons contrastées :

- une saison sèche de huit à neuf mois pendant laquelle souffle l'harmattan ;
- une saison humide de mai à octobre pendant laquelle tombe la quasi-totalité des pluies de l'année. Elle est dominée par le flux de la mousson.

Le climat guinéen diffère principalement du climat soudanien par une saison sèche plus courte et moins aride et naturellement par une saison de plus longue.

La pluviométrie sur le bassin du Bani évolue suivant un gradient nord sud. Elle passe de moins de 600 mm au nord à plus de 1500 mm au sud. La représentation graphique des données pluviométriques de trois stations (Dioïla, Douna et Pankourou) de 1956 à 2003 montre une très grande variabilité interannuelle et une tendance générale à la baisse.

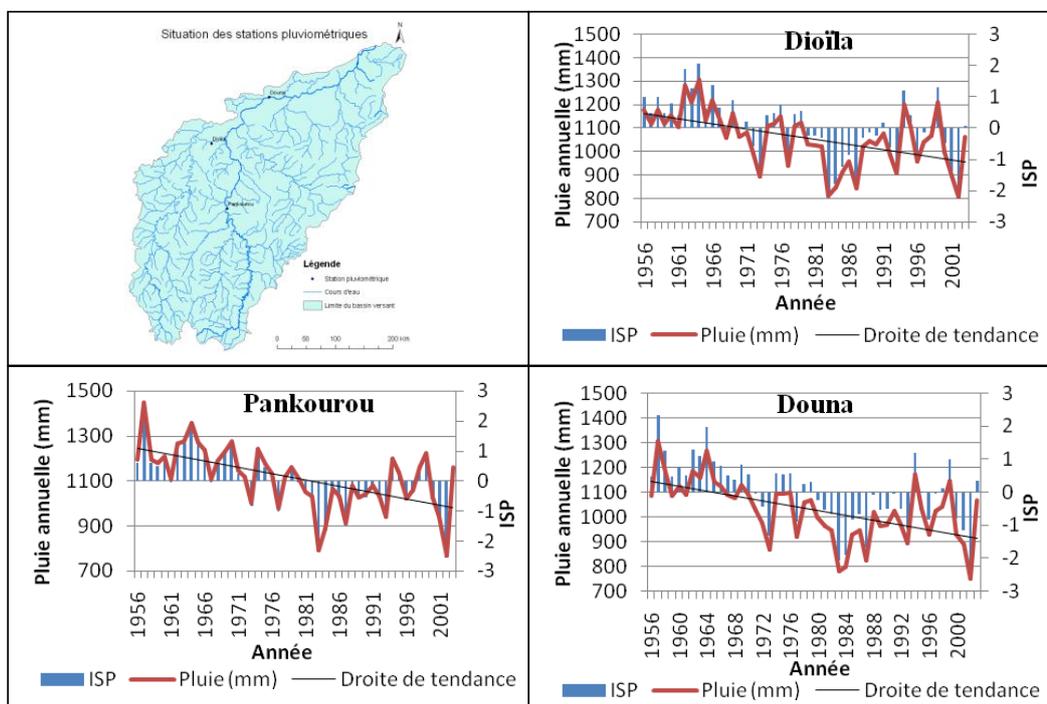


Figure 2 : Situation des stations pluviométriques et graphiques d'évolution des pluies de 1956 à 2003

Les formations végétales varient surtout en fonction du gradient pluviométrique et des conditions édaphiques. La couverture végétale naturelle du Mali-Sud est constituée de formations de type forêt claire, savane arborée, arbustive ou herbeuse (PIRL, 1991), mais on y rencontre de plus en plus de surfaces dégradée et dénudées.

### 3.4 Hydrologie

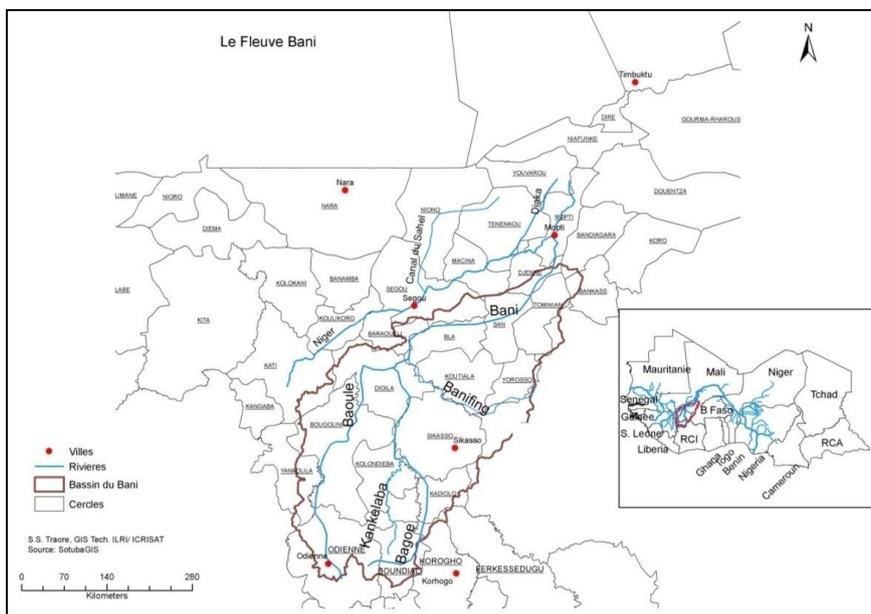
Le Bani est le principal affluent du fleuve Niger. Son réseau hydrographique est constitué par le Baoulé, le Bagoué et la Banifing. De par ses bras le Bani parcourt une distance d'environ 775 km<sup>1</sup> selon le tracé suivant :

- Son bras principal le Baoulé quitte le district d'Odienné (Côte d'Ivoire), traverse les cercles de Bougouni, Yanfolila, Kolondiéba et Dioïla où il est rejoint par le Bagoé.
- Le Bagoé quand à lui quitte le district de Boundiali (Côte d'Ivoire), traverse le district de Korhogo (Côte d'Ivoire), et les cercles de Kadiolo, Sikasso, Kolondiéba et rejoint le Baoulé dans le cercle de Dioïla au Mali.

<sup>1</sup> <http://fr.wikipedia.org/wiki/Bani>

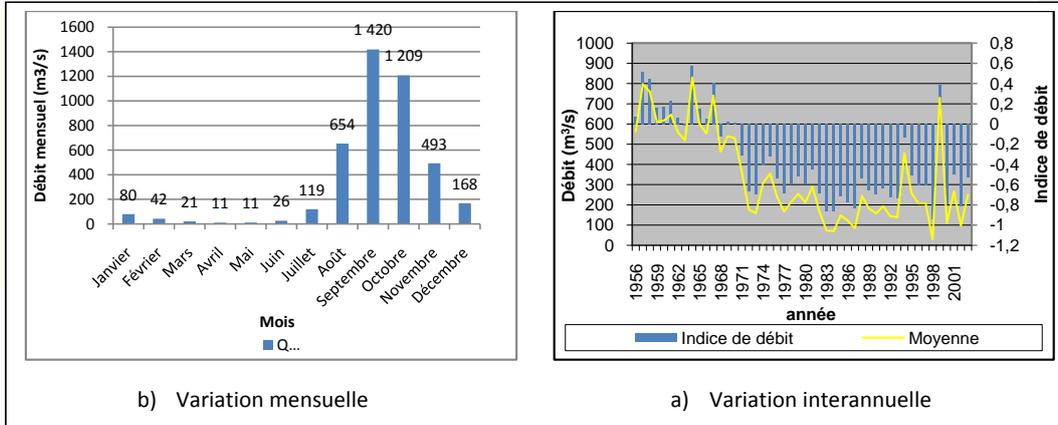
Après cette jonction, la rivière Baoulé parcourt une vingtaine de kilomètre pour être joint par le Banifing.

- Le Banifing quitte le plateau de Banfora au Burkina Faso et draine les cercle de Yorosso, Koutiala, Sikasso et rejoint le Bagoé entre les cercles de Dioila et Bla.
- A la jonction du Boule-Bagoé et du Banifing naît le Bani proprement dit qui commence entre les cercles de Dioila et Bla, en il traverse donc les cercles de San, Djenné et rejoint le Niger aux environs de Mopti.



**Figure 3 : Le fleuve Bani et ses principaux bras**

A Douna, ville située à environ 150 kilomètres du confluent avec le Niger à Mopti, le débit annuel moyen observé sur la période 1956-2003 était de  $342 \text{ m}^3/\text{seconde}$  pour un bassin versant d'environ  $101\,600 \text{ km}^2$ . La lame d'eau écoulee dans le bassin en ce lieu atteint ainsi le chiffre de 106 millimètres par an. Le Bani est un cours d'eau assez abondant, mais il est fort irrégulier et connaît de longues périodes d'étiage. Sur la durée d'observation de 48 ans, le débit mensuel minimal a été de  $0 \text{ m}^3/\text{seconde}$  (rivière complètement à sec), tandis que le débit mensuel maximal s'élevait à  $3.187 \text{ m}^3/\text{seconde}$ .



**Figure 4 : Débits moyens du Bani (en m³/seconde) mesurés à la station hydrométrique de Douna - Données calculées sur 48 ans**

La diminution persistante des pluies depuis 1970 a entraîné des conséquences rapides et durables sur les débits, qui ont baissé de 80 % depuis 1950 (G. MAHE et al. ; 2000).

### 3.5 Géologie et relief

Le relief de la zone d'étude est généralement peu marqué. D'après les données ASTER GDEM à 30 m de résolution, les altitudes au niveau du bassin versant du Bani sont comprises entre 59 et 840 m. Ces altitudes diminuent graduellement du sud au nord. Les pentes sont faibles en général et diminuent dans le même sens que les altitudes avec des valeurs de 0 à 5% au nord. Il en résulte que les parties sud forment les zones principales d'alimentation du réseau hydrographique du bassin du Bani. Des plateaux gréseux aux sommets recouverts de cuirasses latéritiques alternent avec des bas-fonds et des plaines alluviales étirés le long de cours d'eau souvent temporaires.

La zone est subdivisée en deux sous ensembles géologiques selon un axe NW-SE passant à environ 70 km au Sud de la ville de Sikasso. Au dessous de cet axe (zones de Bougouni, Kadiolo, Kolondièba et Yanfolila), on trouve le socle cristallin du craton ouest africain. La partie au dessus de cet axe (zones de Sikasso, Koutiala, Fana et San), située sur la bordure Sud-Est du bassin de Taoudéni, est constituée de dépôts sédimentaires (Bassot et al., 1981 cité par Simpara, 1996).

La couverture sédimentaire du quaternaire est constitué par des formations argilo-latéritiques et des dépôts alluvionnaires.

Les eaux souterraines sont liées à deux types de formations aquifères :

- une nappe aquifère « croûteuse », dans les latérites, les alluvions et la zone altérée en place;
- une nappe aquifère localisée dans les formations gréseuses et cristallines alimentée par des fracturations avec des débits spécifiques, dans les grès, variant de 0,1 à plus de  $1\text{m}^3/\text{h}$  (Simpara et al., 1996).

L'alimentation des nappes souterraines est le fait des infiltrations directes de la lame pluviométrique non ruisselée et non évapotranspirée par la végétation et aux écoulements souterrains des eaux de surface des cours d'eau.

Les sols peuvent être regroupés en trois grandes catégories (KEITA, 1993 ; cité par SIMPARA et al, 1996) :

- les lithosols que l'on rencontre sur les surfaces cuirassées et qui se poursuivent par des colluvions gravillonnaires de 30 à 50 cm d'épaisseur sur les surfaces de dégradation de ces cuirasses ;
- des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sur les versants;
- des sols hydromorphes peu humifères à gley oxydé et acides, dans les bas-fonds.

### **3.6 Les zones agro-écologiques**

En fonction des éléments déterminants comme le climat, la végétation, les densités de peuplement, les habitudes culturelles et les politiques agricoles, des zones agro-écologiques ont été définies dans les zones cotonnières du Mali par la CMDT en 1993 et actualisé en 2008 par SOUMARE. Le découpage a donné neuf zones parmi lesquelles nous nous intéressons aux quatre principales se trouvant dans le bassin du Bani à savoir la zone nord soudano-sahélienne, le vieux bassin cotonnier, la zone hétérogène en équilibre et la zone d'extension du sud. Ces zones constitueront un critère de choix pour les cercles dans l'analyse des productions agricoles.

#### **La zone nord soudano-sahélienne**

C'est dans la bande soudano-sahélienne, à l'extrême nord des zones cotonnières qu'on retrouve les plus fortes densités de population ( $50 \text{ hab./Km}^2$ ) malgré une faible pluviométrie entre 800 et 600 mm de pluie par an. Elle occupe les parties centrales des cercles de San et de Tominian ainsi que les parties nord des cercles de Bla et de Baraouéli.

Les sols sont de types ferrugineux tropicaux à texture majoritairement sableuse avec une part importante d'apports éoliens. C'est le domaine des parcs à *Acacia albida* et de *Parkia bliglobosa* dans les champs cultivés et des arbustes sur les anciennes jachères. Les systèmes de cultures sont dominés par le mil et le sorgho.

### **Le vieux bassin cotonnier**

Ce bassin cotonnier historique se situe pour l'essentiel aux alentours de Koutiala et au nord de Sikasso. Cette zone très densément peuplée (45 habitants au kilomètre-carré) est sans doute celle dans laquelle la complémentarité entre espaces cultivés tous les ans (ager) et aires strictement pâturées (saltus) est la plus marquée. (DUFUMIER, 2005)

Le vieux bassin qui était une zone d'accueil des migrants dans les années 1960 est en passe de devenir une zone d'émigration (humaine et animale) avec la saturation progressive des espaces cultivables et une mise en valeur presque complète des glacis dans ses parties septentrionales. La culture se pratique dans des parcs arborés composés principalement de *Vitellaria paradoxa* (Karité) et de *Parkia biglobosa* (Néré). (SOUMARE, 2008)

### **Les zones d'expansion du sud**

Elle couvre les cercles de Kolondiéba, Yanfolila et Kadiolo. L'instabilité politique pendant la période précoloniale, l'enclavement et les maladies (onchocercose dans le passé) expliquent le faible peuplement des zones sud. L'ancien système agraire avec une alternance entre culture et jachère y prédomine encore. L'introduction de la culture intensive du maïs et du coton n'a pas encore produit de bouleversement dans la structuration et l'utilisation de l'espace.

### **La Zone hétérogène en équilibre**

Avec une densité de population plus faible que dans le vieux bassin cotonnier, cette zone dispose de conditions climatiques très favorables avec plus de 1000 mm de précipitations annuelles en moyenne.

La taille importante des bas-fonds contribue à l'essor de nombreuses cultures spécifiques à cette zone comme les tubercules (pomme de terre, patate douce, igname, etc.) et à la mise en place de vergers conséquents : bananeraies, mangueraies et agrumes. Cette région est en passe de dépasser le vieux bassin dans la production cotonnière actuelle du Mali. Certains paysans cultivent jusqu'à 50% de leur assolement en coton sachant que les bons rendements en céréales permettent de leur consacrer moins de surfaces pour atteindre la sécurité alimentaire de la famille.

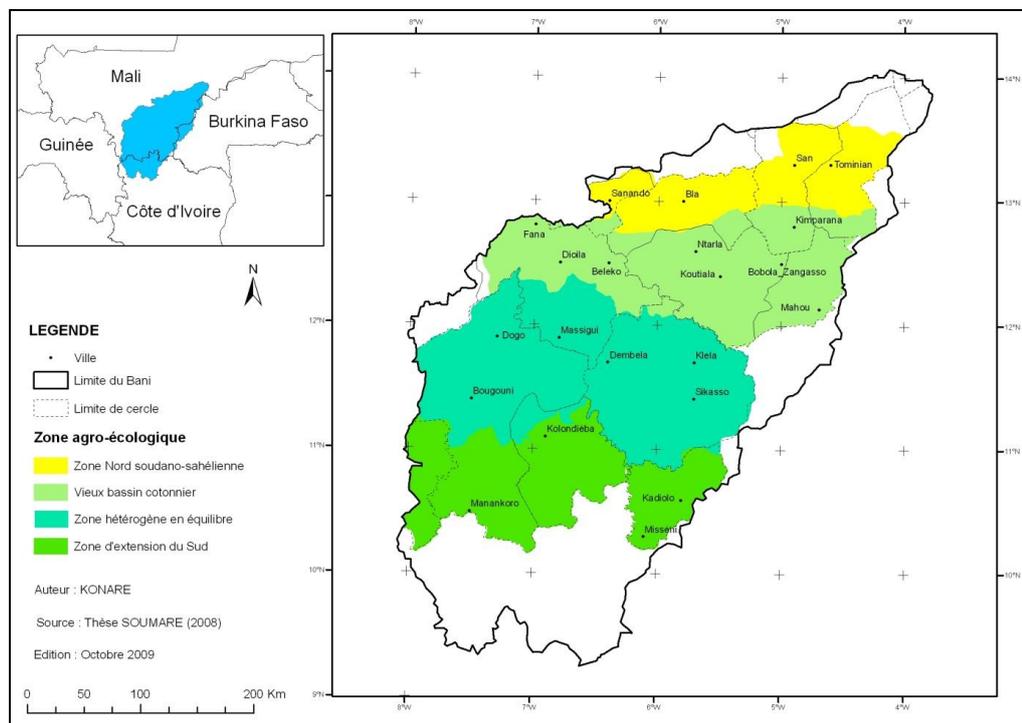


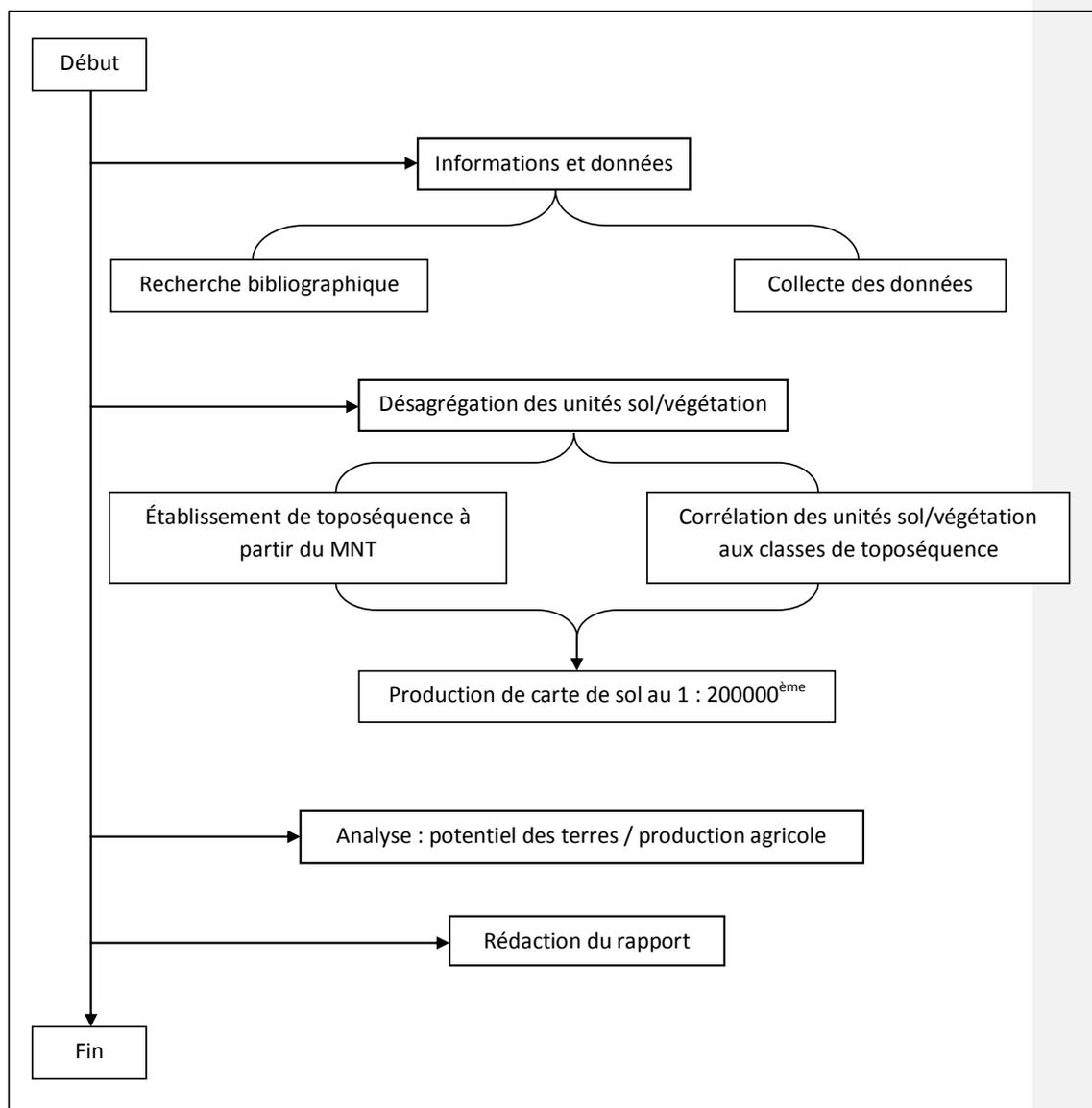
Figure 5 : Les principales zones agro-écologiques du Bani au Mali

#### IV. MATERIELS ET METHODES UTILISEES

##### 4.1 Méthode utilisée

##### 4.1.1. Méthodologie adoptée

Le présent travail, fruit d'une collaboration entre le CIRAD, l'IER et l'ICRISAT, a été réalisé suivant un chronogramme en quatre étapes allant de la recherche des informations et leur analyse en passant par la désagrégation des unités de sol du bassin pour aboutir à une carte morphopédologique à l'échelle 1 : 200.000<sup>ème</sup>. La carte ainsi produite servira d'élément de base pour faire ressortir le potentiel des terres lequel sera mis en relation avec les données de production agricole. La figure 1 présente la démarche suivie pour la réalisation de ce travail.



**Figure 6 : Chronogramme de l'étude**

### **A. Information et données**

#### *A1. Recherche bibliographique*

La revue bibliographique a permis de cerner le sujet à travers les travaux déjà effectués, de définir des hypothèses de travail et d'élaborer des outils de collecte et de traitement des données.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur le concept de distribution toposéquentielle des unités de sols dans le paysage, on citerait les exemples suivants :

- Birmingham D. M. (2003) utilise la typologie de sol des Senufo en zone de la savane guinéenne et celui des Bété en zone équatoriale forestière de la Côte d'Ivoire pour faire une étude comparative des connaissances locales et des techniques modernes vis-à-vis de la distribution des sols, de leur usage et gestion.
- Chappell A. et al. (1997) ont étudié les pertes et gains de sol (érosion) sur une toposéquence typique de la région sud-ouest du Niger en mettant un accent sur leur impact sur l'agriculture.
- Gandah M. et al (2002) ont étudiés les pratiques de gestion des agriculteurs dans les champs de mil situé sur quatre positions topographiques différents (plateau, talus, terrasse vallonné et vallée) dans un village à l'ouest du Niger située à proximité de l'isohyète 600 mm.
- Gobin A. et al. (2000) établissent une relation entre le relief et le type de sol en se basant sur la classification locale et scientifique au Nigeria. Cette étude, réalisée dans la zone agricole de Nsukka (Sud-Est Nigéria), a démontré la variation des sols, de la couverture terrestre, de l'utilisation des terres et des systèmes de culture en fonction du relief et à différentes échelles : macro-toposéquence (complexes de relief), méso-toposéquence (unités de relief) et micro-toposéquence (facettes de relief). Le méso- et micro-toposéquences sont particulièrement aptes à susciter les connaissances locales sur la gestion des ressources en terres et l'utilisation des terres et la compréhension des systèmes de culture.
- SALAKO F.K. et al. (2006) ont fait une description du profil du sol le long de deux toposéquences à Ibadan et à Alabata (à coté d'Ibadan) dans la zone dérivée de savane du sud-ouest Nigeria.
- Stoop (1987) a réalisé au Burkina Faso une étude concernant la distribution du type de sol, de la végétation et du type de culture le long de trois toposéquences (Kamboinsé, Oualaga et Nakomtenga).
- Keita B. et al. (1994) ont réalisé une étude sur les toposéquences typiques du cercle de Koutiala à la suite de laquelle une carte morphopédologique à l'échelle 1:200.000<sup>ème</sup> a été produite.

Pour la désagrégation l'étude de référence est celui de Bui et al. (2001) sur le bassin de Murray–Darling en Australie. En effet les auteurs ont utilisé le descriptif de la légende d'une carte de base pour désagréger des unités composites de sol.

#### *A2. Collecte des données*

Pour produire la carte de sol du bassin versant du Bani à l'échelle 1 :200.000<sup>ème</sup> et caractériser la production agricole, nous avons identifié et employé trois principaux types de données, dont :

1. les données raster du modèle numérique d'élévation (MNE),
2. les données vecteur de la limite du bassin, de la carte PIRT du sol et des limites administratives,
3. les informations de base sur la pluviométrie et la production agricole.

Pour le premier type de données elles concernent les données ASTER GDEM développées conjointement par le Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie du Japon et la NASA. Ces données, couvrant 99% de la surface du globe et ayant une résolution de 30m, ont été gratuitement rendues disponibles en 2009. Ainsi le choix de ces données se justifie aisément par rapport au SRTM qui a une résolution de 90 m. Pour notre zone d'étude, elles ont été téléchargées sur le site WIST de la NASA.

La plus grande partie des données cartographiques ont été fournies par l'unité SIG du laboratoire Sol-Eau-Plante de l'IER. Ce sont essentiellement la carte vectorielle de sol du PIRT, les cartes administratives du Mali, du Burkina Faso et de la Côte d'Ivoire en mode vecteur.

Pour le troisième type de données elles ont été fournies par l'IRD pour les données pluviométriques et la Cellule de planification et de Statistique (CPS) du Ministère de l'Agriculture du Mali pour les productions agricoles du Mali.

### **B. Désagrégation des unités de sol/végétation**

L'évaluation des ressources terrestres et l'estimation des ressources du sol à une échelle plus détaillée que celle de la publication de la carte originale sont rendues possibles avec la technologie SIG. Cela permet d'économiser du temps et de l'argent.

La désagrégation est définie ici comme étant l'opération qui consiste à décomposer des unités composites de sol en des unités élémentaires à partir de leur position relative dans la toposéquence. L'établissement de la toposéquence à partir du modèle numérique d'élévation

(MNE) et la corrélation des unités de sol avec les différentes classes topographiques obtenues ont permis d'agrandir l'échelle de la carte de sol du PIRT en passant du 500.000<sup>ème</sup> au 200.000<sup>ème</sup>.

La carte au 1 :500 00ème d'inventaire des sols et de la végétation comportent des unités associées de sol/végétation au nombre de deux, trois ou plus. Au total 68 unités d'association réparties en dix grands groupes ont été identifiées. Ce sont : les groupes D (dunes), DA (dunes aplanies), PA (plaines à matériaux argileux), PL (plaines à matériaux limoneux fins), PS (plaine à matériaux limoneux sableux), TC (terrains sur cuirasse latéritique), TR (terrains rocheux), TI (terrains inondés), TH (terrains hydromorphes faiblement inondés ou non inondés), X (terrains spéciaux).

Les cartes indiquent également les pourcentages de chaque unité sol/végétation figurant sur l'unité cartographique si cette unité occupe 10% ou plus de cette zone (Rapport du PIRT, Vol. 2).

Le découpage de la carte du PIRT selon le contour du bassin versant du Bani nous donne 111 unités cartographiques (polygones composites) formés de 28 unités de sol/végétation réparties entre huit groupes (les groupes D et PA ne figurant pas).

La description des différents groupes d'unités de sol se trouvant dans le bassin du Bani, selon le volume II du rapport du PIRT, est la suivante :

Le groupe DA : Composé de dunes et d'interdunes, avec des plaines sableuses occasionnelles dérivées de matériaux d'érosion des dunes, ce groupe se rencontre dans les régions arides et semi-arides du pays. Les dunes ont été aplanies et stabilisées ; les pentes vont en général de douce à faibles. Invariablement profonds, les sols ont une texture modérément grossière et sont bien drainés.

Le groupe PL : Les unités de ce groupe occupent des plaines allant de plates à doucement inclinées. Les sols sont profonds et ont souvent une surface sableuse et, en-dessous de la surface, des textures modérément fines. Ils ont en général une structure modérément bonne et friable. Le drainage va de bon à parfait. Du point de vue de la physiographie et des propriétés du sol, ce groupe contient certains des meilleurs sols du Mali pour la culture traditionnelle. Il comporte les seuls sols de la classe I et la plupart de ceux de la classe II de la région étudiée par le PIRT. (Les définitions des classes de capacités se trouvent dans la partie C). Ce groupe va cependant de la zone aride à la zone humide du pays. Les unités qu'on trouve au nord ont

leur potentiel sévèrement limité par le climat et ne sont pas cultivées. Les unités les plus méridionales, par contre, sont beaucoup plus favorisées sur le plan de l'environnement et sont très cultivées, fournissant la plus grande partie des terres du Mali où se pratique une agriculture permanente.

Le groupe PS : Ce groupe d'unités se trouve sur les plaines sableuses plates à légèrement ondulées des zones arides et semi-arides du sud. Les sols sont profonds, à texture moyenne à modérément fine, et à réaction fortement acide. Malgré des similarités apparentes de climat et de sols, la végétation des unités PS1 et PS2 fait un contraste marqué avec celle du PS3. Les deux premières servent surtout au pâturage.

Le groupe TC : Les unités de ce groupe occupent de vieilles surfaces latéritisées qu'on peut trouver à diverses altitudes dans toute la région étudiée. Il semble qu'une grande partie de ces vieilles surfaces reposent à une certaine profondeur sur de la latérite qui affleure de façon intermittente ou se rapproche de la surface là où se trouvent les unités TC. Ces superficies augmentent d'importance du nord au sud. Normalement les surfaces à latérite sont quelque peu surélevées, ce qui, allié au fait qu'on trouve de la latérite imperméable à faible profondeur, laisse le sol sensible à l'érosion chaque fois qu'il y a une légère inclinaison. Bien que la latérite affleure parfois à la surface, elle est généralement couverte par un manteau de matériaux qui sont le produit de l'altération de la latérite ou représentent un dépôt colluvial ou alluvial plus récent. Ce manteau peut avoir une épaisseur variable, à la suite de dépôts ou d'érosion, mais les sols ne sont d'ordinaire que peu profonds ou modérément profonds (moins de 100 cm) avant de rencontrer la latérite. Ils se caractérisent par un gravier, au moins dans leur profil inférieur, et par de fortes réactions acides ; le drainage est bon et parfois quelque peu excessif.

Le groupe TH : Les unités de ce groupe sont associées sur la base du drainage, qui va d'imparfait à mauvais. Bien que les unités ne soient pas normalement inondées, même de façon saisonnière, le drainage est affecté par un rapport d'eau venant des régions avoisines et/ou par la faible profondeur de la surface libre. Ce groupe, qui n'est pas associé à une zone climatique particulière, se retrouve dans toute la région étudiée mais se présente surtout dans la zone semi-aride et dans le delta intérieur. Du point de vue physiographique, toutes les unités occupent des plaines alluviales ou dépressions, avec une topographie de plate à légèrement inclinée. Toutes ont un drainage limité, et leurs sols sont profonds avec une texture modérément fine.

Le groupe TI : Ce groupe d'unités est associé à des inondations saisonnières et n'est lié à aucune zone climatique particulière. La hauteur et la durée de l'inondation varient selon les unités. Toutes les unités occupent des plaines et des cuvettes alluviales de plates à presque plates, surtout dans le delta, mais aussi dans certaines vallées à fond plat. Les sols sont profonds et ont normalement une texture modérément fine à fine, bien que les caractéristiques détaillées des sols varient quelque peu selon l'origine des alluvions. Le drainage est mauvais, comme en témoignent les couleurs de faible saturation et les marbrures hydromorphes.

Le groupe TR : Les unités de ce groupe reposent toutes sur des roches. L'assise rocheuse peut être proche de la surface, ou y affleurer, dans de nombreux endroits du pays ; on peut donc trouver des unités de ce groupe dans n'importe quelle zone climatique. Les sols sont peu profonds à modérément profonds jusqu'au contact lithique. Les pentes vont de faibles à fortes. Des roches, des pierres et des graviers encombrant souvent la surface, bien que le profil du sol, sous la surface, soit souvent libre de gravier ou ne devienne gravillonnaire qu'à l'approche du contact lithique. Normalement, le drainage est bon.

Ces unités reposent sur toute une série de types de roches, dont les grès, la dolérite et l'argilite. Les caractéristiques du sol sont étroitement associées au type de roche, ainsi qu'aux particularités des sites avec lesquels chaque unité est associée.

Le groupe X : Ce groupe se compose de terrains spéciaux, dont la plupart sont des zones sans couverture de sol (graviers désertiques, accumulation récentes de sable, roches nues, masses d'eau dégagées) ou qui ont subi une forte érosion ; ils n'ont tous que peu ou pas de végétation et n'ont, pour le moment, aucune utilité pour l'agriculture. L'exception à cette règle est celle de l'unité X1, qui a un sol, une végétation et sert de vieux lits de lacs, et le caractère singulier du matériel parental à diatomées, en font une unité spéciale qui ne s'intègre pas bien dans les autres groupes.

Notre approche de la désagrégation repose sur l'éclatement des associations de sols à partir des descriptifs d'unité sol/végétation donnés dans les volumes I et II du rapport du PIRT. En effet, le rapport du PIRT décrit les caractéristiques des ces unités, leur physiographie (position dans la toposéquence) et leur aptitude culturale entre autre.

Et il ressort de plusieurs travaux antérieurs qu'il existe une relation entre la toposéquence, le type de sol et le type de culture (cf. revue bibliographique). La figure suivante illustre une toposéquence typique en zone Mali-sud et la distribution des types de sol et de culture.

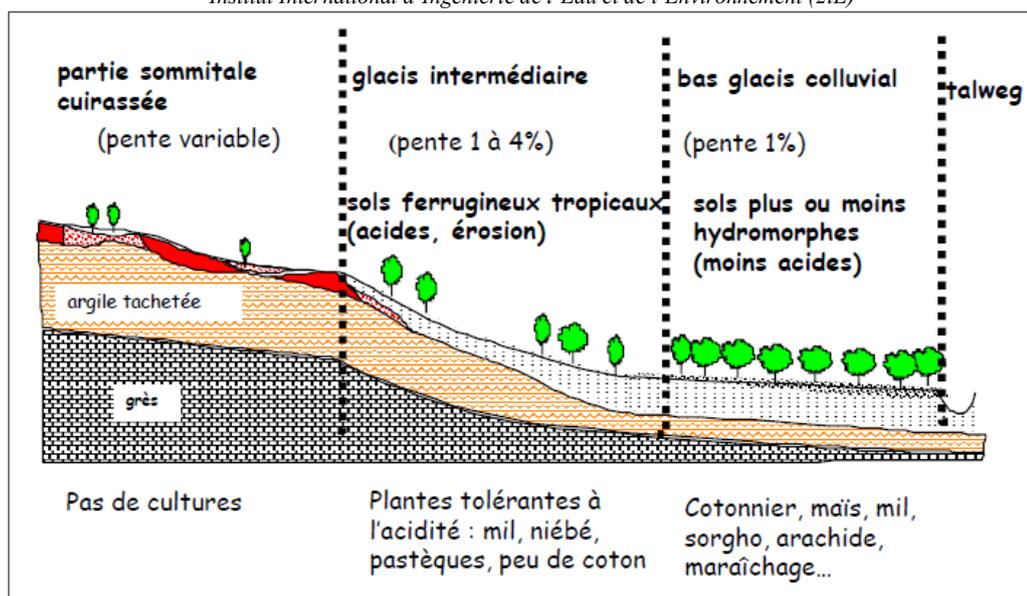


Figure 7 : Représentation schématique de la toposéquence (Source TRAORE K. et al.)

Une autre étude menée en 2001 sur l'évaluation économique de l'impact de la recherche sur le coton au Mali classe les sols de la zone Mali-sud en deux types :

- sols ferrugineux tropicaux lessivés, occupant les bas-glacis et plaines alluviales; ils sont généralement fertiles mais souvent sujets à l'érosion.
- sols ferralitiques et sols peu évolués sur les hauts et moyens glacis ; ce sont des terres souvent fragiles. Ces sols supportent une diversité de cultures.

De ce fait, les différentes unités cartographiques pourraient être désagrégées en sous-unités par corrélation des classes de toposéquence avec les unités de sol/végétation sur la base leurs descriptifs.

L'ensemble des opérations de désagrégation a été effectué par unité cartographique, représentée par des polygones, pour un traitement plus aisé et pour être conforme aux classes de sol qui diffèrent d'une unité cartographique à une autre. Ainsi, les polygones ont été extraits individuellement et des zones tampons de 5 km leur ont été appliquées.

### B1. Établissement des classes de toposéquence

Pour retrouver la position de chaque unité de sol à l'intérieur des polygones le MNE de résolution 30m a été utilisé. Les calculs ont été effectués sous ArcView à partir de l'extension "Topographic Position Index" (TPI) créée par Jenness (2005) d'après les travaux de Weiss (2001). Pour chaque cellule du MNE, l'application calcule un indice correspondant à la

différence entre l'altitude de la cellule et la moyenne d'altitude des cellules voisines (comprises dans un périmètre dont la forme et l'étendue sont déterminées par l'utilisateur) :

$$[TPI \langle \text{scale factor} \rangle = \text{int} ((DEM - \text{focal mean} (DEM, \text{circular}, \text{radius})) + 0,5) ]$$

Un indice négatif signifie que la cellule est placée plus bas que ses voisines (dépression), un indice positif expose la situation inverse (sommets) et un indice proche de 0 implique soit que l'ensemble des cellules est à la même hauteur, soit que la cellule considérée est localisée sur un versant (Germaine et al., 2006).

Pour notre étude, après plusieurs tests, un voisinage de 133 cellules (environ 4 km) a été adopté. Un large rayon de voisinage étant plus adapté pour extraire les limites des vallées dans leur ensemble (Germaine et al., 2006).

Les valeurs de TPI calculées ont été enregistrées en format raster pour leur classification sous ArcGIS. Pour cela deux outils ont été utilisés : "Slice" pour éclater le polygone raster de TPI en des classes à superficie égale et "Reclassify" pour former de nouvelles classes conformément au nombre d'unités du polygone et à leur pourcentage.

## **B2. Corrélation des unités de sol avec les classes de toposéquence**

Le format raster des valeurs de TPI classifiées a été converti en mode vecteur et la table attributaire mise à jour en ajoutant un champ pour le type de sol. Les classes de toposéquence sont remplacées par les classes d'unité de sol correspondant.

On admet que, pour être lisible, une unité cartographique doit couvrir sur la carte définitive une surface au moins égale à 4 mm<sup>2</sup>, ce qui correspond sur le terrain à 16 ha pour une échelle de 1 : 200.000<sup>ème</sup> (B. DABIN et al. 1979). Alors, les unités de moins de 16 ha ont été sélectionnés par requête puis supprimés. Sous ArcGIS, l'application ET-G-Tool a permis d'associer les vides laissés par ces unités aux unités voisines partageant le plus de superficie.

## **B3. Production de carte de sol au 1 : 20000<sup>ème</sup>**

Un assemblage de toutes les unités cartographiques ainsi désagrégées a été effectué sous ArcGIS. Les vides au niveau des zones de suture des polygones ont été corrigés à l'aide de la topologie. Pour être plus proche des préoccupations des utilisateurs que sont les agriculteurs et les planificateurs la carte ainsi produite a été mise à jour en intégrant des informations sur l'utilisation des terres et le potentiel de production.

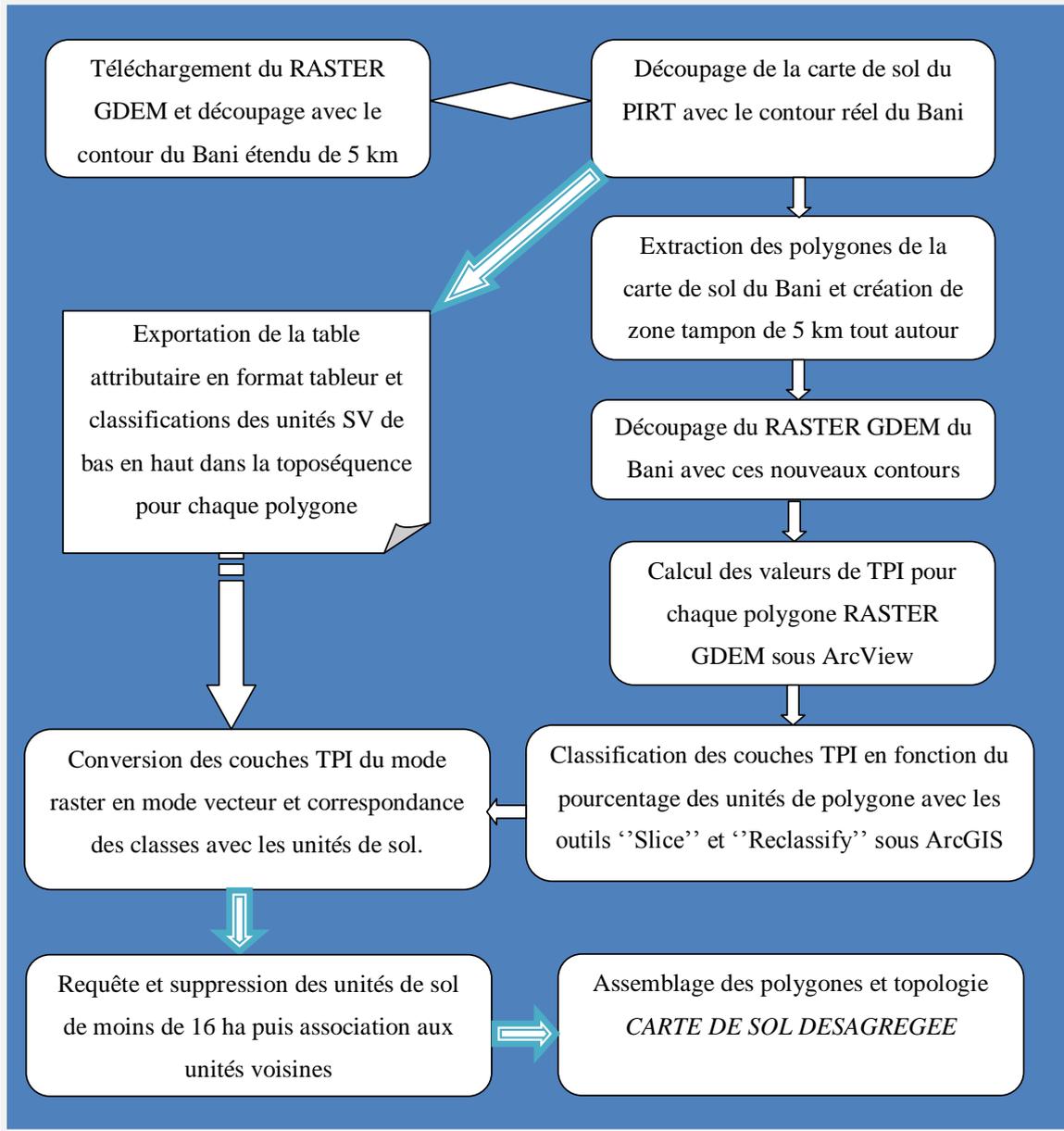
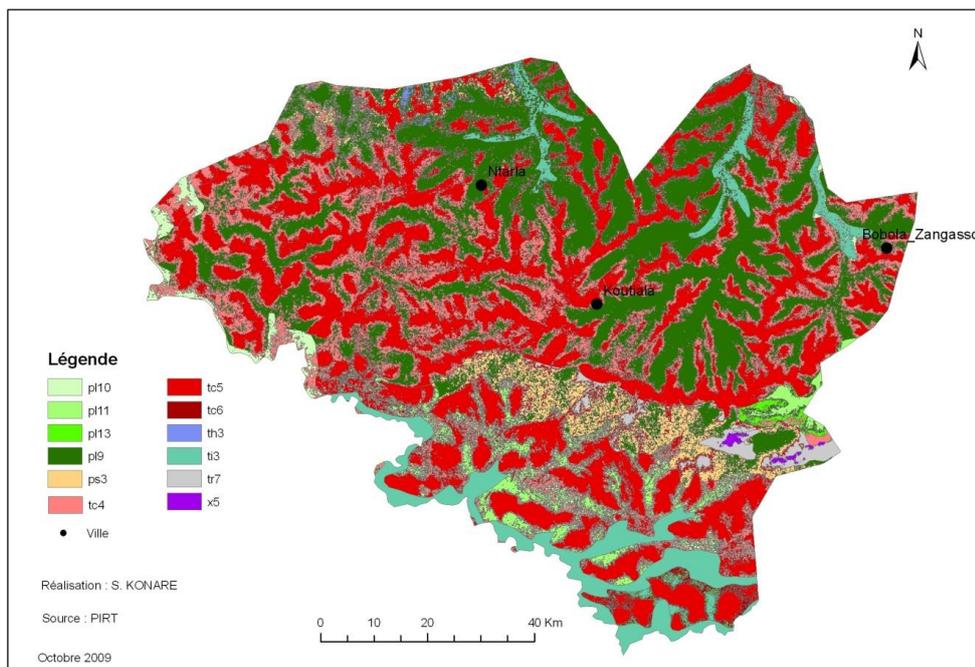


Figure 8 : La chaîne de traitement pour désagréger la carte de sol du PIRT

## V. RESULTATS ET DISCUSSION

La désagrégation de la carte du PIRT a conduit à la production d'une carte de sol détaillée pour l'ensemble de la partie malienne du bassin versant du Bani. Un extrait de ladite carte est présenté par la figure 9.



**Figure 9 : Extrait de la carte désagrégée du PIRT (Cercle de Koutiala)**

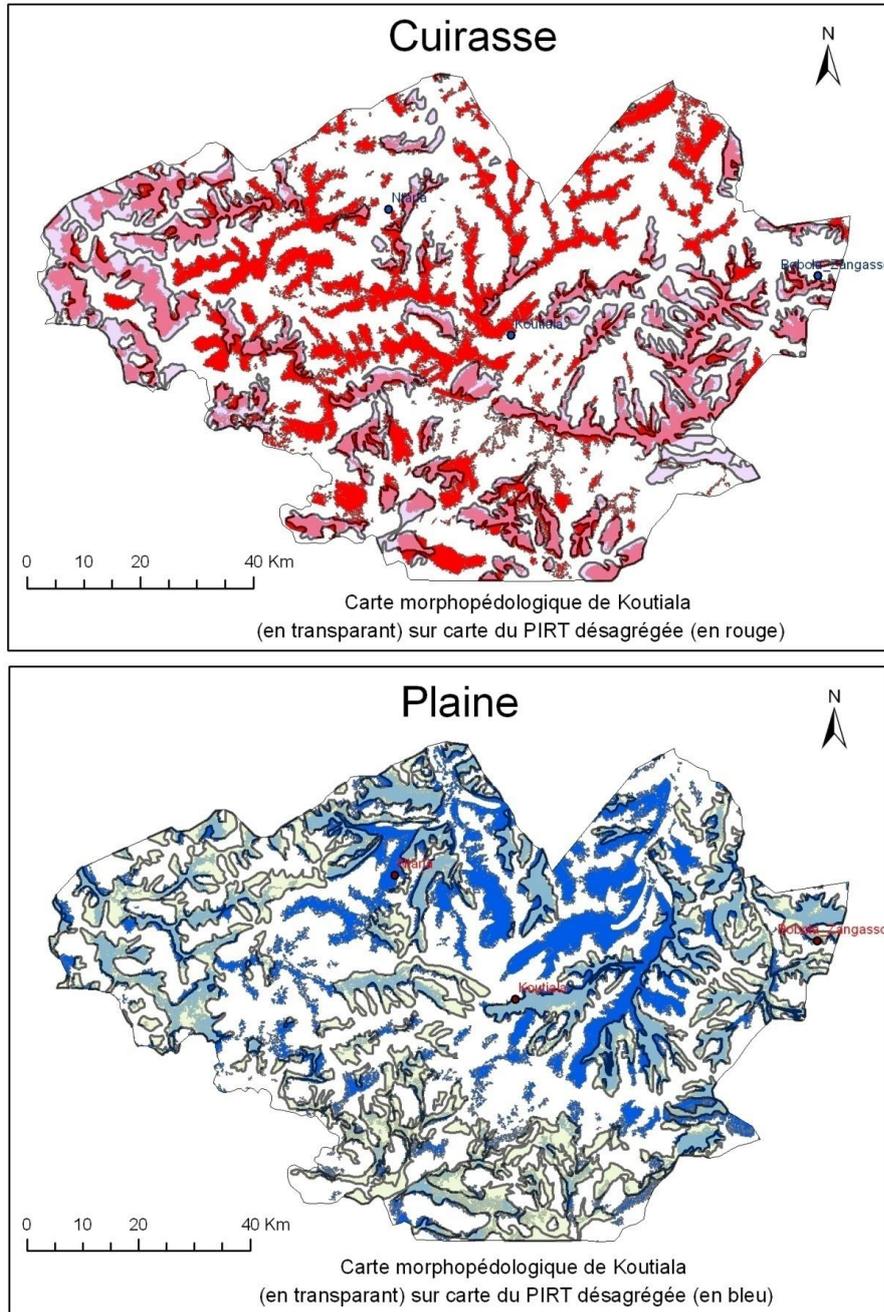
### 5.1 Validation de la carte du PIRT désagrégée

Le cercle de Koutiala dispose d'une carte morphopédologique à l'échelle 1 : 200.000<sup>ème</sup>. Cette carte servira d'élément d'appréciation du résultat de la désagrégation. Sans calcul statistique comparatif de cette carte avec celle désagrégée du PIRT, la comparaison s'est limitée à une appréciation de la conformité de deux grands ensembles morpho-pédologiques à savoir les plaines et les cuirasse.

Ainsi, les unités des matériaux colluviaux sur plaine à pente faible de la carte de Koutiala ont été comparées aux unités du groupe des plaines à matériaux limoneux fins (PL) de la carte désagrégée que sont les unités p19, p10, p11 et p13. En outre, les dalles de cuirasse sur

plateau de la carte de Koutiala ont été comparées à l'unité tc5 (groupe des terrains sur cuirasse latéritique).

La superposition de ces différentes couches d'information (figure 3) laisse apparaître que les unités de la carte de Koutiala sont dessinées d'une manière générale sur la carte désagrégée du PIRT. On note tout de même des unités de la carte du PIRT, aussi bien pour les plaines que pour les cuirasses, qui ne se retrouvent pas sur la carte de Koutiala. Ainsi, les superficies calculées diffèrent. Pour les plaines, la carte de Koutiala donne 254.848 ha contre 268.939 ha sur la carte du PIRT soit un écart de 6%. L'écart est de 46% pour les cuirasses avec une superficie de 184.898 ha sur la carte de Koutiala et de 270.184 ha sur la carte du PIRT.



**Figure 10 : Comparaison de la carte du PIRT désagrégée avec la carte morphopédologique de Koutiala**

## 5.2 Potentiel des terres et production agricole

En terme d'aménagement, les aptitudes culturales d'une zone donnée ne sont pas limitées aux seules caractéristiques de la fertilité des sols; elles dépendent très largement aussi de leur distribution (situation dans le paysage, surface minimale exploitable). Ces contraintes font qu'il est parfois difficile pour un utilisateur non averti de se servir des cartes pédologiques (B. DABIN et al. 1979). Il devient donc important d'associer à la carte de sols des informations sur l'utilisation des terres conformément à leur répartition spatiale. La classe d'aptitude des terres indiquant les diverses possibilités et restriction des utilisations, agricoles ou autres sera le référentiel pour mener la présente étude.

Dans l'analyse du PIRT, les unités d'aptitude servant à l'évaluation des terres cherchent de préférence à classer les terres en fonction des cadres généraux de référence, tels que les catégories d'utilisation (terres arables, terres non arables) et des intensités générales de limitation (légère à très sévère), au lieu d'indiquer des utilisations agricoles particulières (sorgho de préférence au maïs). Cela s'explique par les superficies très vastes des terres mises en valeur et le manque d'éléments qui sont indispensables à une évaluation systématique des terres à savoir le système de classification (difficulté d'adaptation au contexte local), les mesures bien définies de conservation ou pratiques correctives de gestion, les rapports mesurés des coefficients de production et l'analyse des bénéfices/coûts.

Le système d'évaluation des aptitudes du PIRT est une adaptation du système de classification des aptitudes des terres (Land Capability Classification System) de la U.S National Cooperative Soil Survey. Les différentes unités de sol sont regroupées en huit classes d'aptitude des terres dont quatre classes pour les terres arables et quatre autre pour les terres non arables avec des limitations spécifiques. Le potentiel de production de biomasse végétale par les sols (cultures, pâturages, bois, dans un cadre national qualitatif) est aussi évalué par classe d'aptitude des terres.

**Tableau 1 : Potentiel d'utilisation arable ou non arable de sol selon le PIRT.**

Terres arables			Terres non arables		
Classe	Limitation	Potentiel de production	Classe	Limitation	Potentiel de production
I	Légère	Très élevé	V	Légère	Variable
II	Modérée	Élevée	VI	Modérée	Faible
III	Sévère	Modérément élevé	VII	Sévère	Très faible
IV	Très sévère	Modéré	VIII	Très sévère	Aucun

Les sous-classes représentent des limitations ou des améliorations compensatoires analogues qui atténuent leurs limitations et leurs dangers.

Quatre limitations ou dangers généraux ont été distingués à savoir le climat (c), le sol de la zone radriculaire (s), l'humidité (w) et l'érosion (e). Les mesures de compensation sont l'irrigation (i) et le drainage (d).

A partir des classes et sous-classes sus définies nous distinguons deux types de terres arables qui sont : les terres ordinairement arables et les terres qui ne sont arables qu'avec l'application des mesures compensatoires (l'irrigation et le drainage). La combinaison de ces deux types constitue le potentiel des terres agricoles.

Sur la base de la carte du PIRT désagrégée en unités simples de sol, ce potentiel a été évalué à 7,28 millions d'hectares de terres cultivables pour la partie malienne du bassin versant du Bani, soit environ 70,61% de la superficie ~~de la zone concernée~~ [du bassin au Mali](#). Sans mesures compensatoires, cette superficie est de 6,36 millions d'hectares. On constate donc qu'avec l'irrigation et le drainage, la superficie des terres arables connaît un accroissement de 14,5%.

A ce potentiel cultivable il faut ajouter quelques 2,64 millions d'hectares de pâturage favorable au développement de l'élevage. Cet élevage pastoral extensif est d'ailleurs pratiquement la seule façon de valoriser les zones arides et semi arides. Il constitue une ressource considérable pour les pays, moyennant des adaptations, représente encore une voie d'avenir pour les productions animales, avec des coûts de production très faibles (Blein et al., 2008).

La présente analyse s'efforce de comparer les superficies cultivables aux superficies réellement cultivées et de voir l'évolution des productions agricoles. Elle nous permettra donc d'apprécier la répartition spatio-temporelle de ces paramètres.

Pour la répartition spatiale cinq cercles de référence ont été sélectionnés, à savoir Kolondiéba, Koutiala, Sikasso, Bla et San. Le choix de ces cercles se justifie par le fait qu'ils sont entièrement contenus dans le bassin facilitant ainsi la comparaison de l'évolution des superficies cultivées avec celle de la production. En outre, ils correspondent à des dynamiques de population différentes et ceux-ci relativement aux zones agro-écologiques définies précédemment à savoir la zone d'expansion pour le cercle de Kolondiéba, sikasso pour la zone hétérogène en équilibre, Koutiala pour le vieux bassin cotonnier, San et Bla pour la zone nord soudano-sahélienne.

L'évolution de la production agricole a été évaluée sur les cinq dernières campagnes agricoles uniquement pour le cercle de Kolondiéba en raison d'une part de l'absence de données pour tous les cercles du bassin et d'autre part de sa situation dans la zone d'expansion du sud. Ainsi l'évolution des superficies cultivées dans ce cercle permettra d'appréhender l'état actuel du zonage défini par la CMDT en 1993 et actualisé en 2008 par SOUMARE.

### 5.2.1 Disponibilité des terres pour les 5 cercles de référence

Le découpage de la carte de sol désagrégée selon le contour des 5 cercles de référence nous donne une superficie de 2,63 millions d'hectare de terre arable sans mesure compensatoire. Ce potentiel de terre cultivable passe à une superficie de 3,09 millions d'hectares avec l'irrigation et le drainage.

Selon le recensement général de l'agriculture pour la campagne agricole 2004-2005, 345.356 ha ont été mis en valeur dans les 5 cercles pour la production céréalière, soit 11,18% du potentiel. Cette proportion, ne prenant pas en compte les autres cultures, est tout de même très proche de celle obtenue par Blein et al dans l'étude des potentialités de l'Afrique de l'Ouest (évaluée à 10% pour le Mali).

De manière générale, la pression sur les ressources foncières est encore modérée d'autant plus que les terres non cultivées constituent encore 88% du potentiel cultivable pour les 5 cercles.

Malgré l'apparente saturation locale de l'espace, le Mali dispose de réserves de terres importantes. Les valeurs sont consignées dans le tableau suivant :

**Tableau 2 : État des disponibilités de terre dans le bassin versant du Bani pour 5 cercles de référence au Mali**

Cercle	Terres cultivables sans mesure compensatoire - ha	Terres cultivables avec mesure compensatoire (A) - ha	Terres cultivées en 2005 (B) - ha	% des terres cultivables (B/A)	Production céréalière en 2005 - Tonne
Kolondiéba	637 189	647 885	41 268	6,37	69 505
Koutiala	514 690	575 311	99 601	17,31	104 193
Sikasso	878 968	994 924	50 549	5,08	54 749
Bla	311 980	431 513	88 841	20,59	84 754
San	288 114	439 849	65 097	14,80	48 580
<b>Total</b>	<b>2 630 941</b>	<b>3 089 482</b>	<b>345 356</b>	<b>11,18</b>	<b>361781</b>

A ces informations, les données de la production céréalière pour la campagne agricole 2004-2005 ont été ajoutées pour produire une carte permettant ainsi de faire une analyse croisée du potentiel des terres agricoles et de la production.

L'importance à faire recours à l'irrigation et/ou au drainage dans un secteur pourra être évaluée par le ratio des deux types de terres cultivables (avec ou sans mesure compensatoire).

Le cercle de Bla observe le ratio le plus élevé. Cela pourra expliquer l'intérêt qu'a accordé l'état malien pour la réalisation du barrage de Talo inauguré en 2006. L'objectif visé par ce projet est de rétablir des conditions de débordement par le rehaussement du niveau du Bani, afin de dominer les plaines grâce à la construction d'un seuil, de maintenir un débit permanent en saison sèche capable de satisfaire aux besoins des usagers en aval dans les cercles de San et Djenné et aménager à terme une superficie de 20.000 hectares. Ce projet, de par sa prise en compte des intérêts amont et aval, respecte les règles de gestion intégrée des ressources en eau.

Le cercle de Sikasso observe le ratio le plus faible et regorge la plus grande superficie de potentiel agricole. Malgré ces bons indicateurs pour le cercle la superficie des terres mises en valeur reste faible.

D'une manière générale les productions agricoles sont faiblement corrélées aux superficies cultivées (coefficient de corrélation de 0,6).

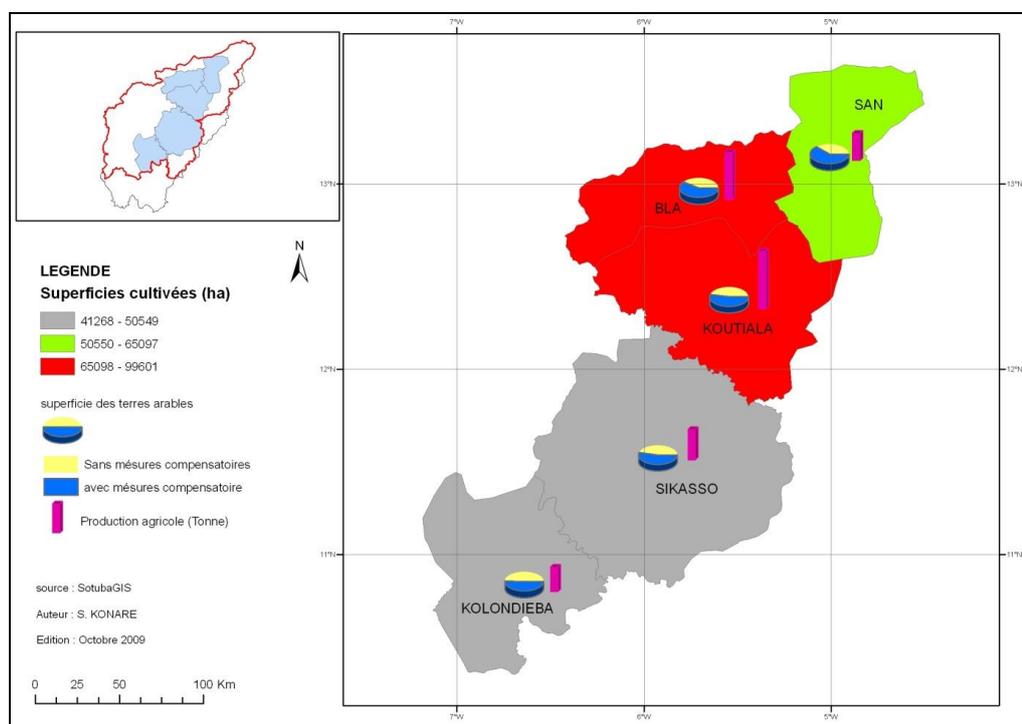


Figure 11 : Superficies cultivables, superficies cultivées et production céréalière

### 5.2.2 La production agricole par habitant

Selon la FAO, la sécurité alimentaire existe lorsque « tous les habitants, à tout moment, ont accès aux aliments nécessaires pour mener une vie saine et active ». La production agricole par habitant constitue un bon indicateur de performance pour la sécurité alimentaire. Pour les 5 cercles étudiés la moyenne calculée sur la campagne agricole 2004-2005 est de 1230 kg/habitant et par an. Ce chiffre est largement supérieur à la norme FAO qui est de 250 kg/habitant et par an. Les excédents céréaliers sont commercialisés.

Tableau 3 : Production agricole par habitant pour les 5 cercles

Cercle	Population 2005 (habitant)	Production 2005 (Tonne)	Production par habitant (Tonne/habitant)
Kolondjéba	26 057	44 124	1,69
Koutiala	70 229	104 193	1,48
Sikasso	94 549	54 749	0,58
Bla	37 157	84 754	2,28
San	46 029	48 580	1,06
<b>Total</b>	<b>274 021</b>	<b>336 400</b>	<b>1,23</b>

### 5.2.2 Évolution des superficies cultivées

Cette analyse porte uniquement sur le cercle de Kolondiéba pour lequel les données des cultures céréalières et commerciales sont disponibles. La représentation graphique des superficies cultivées pour 5 campagnes agricoles montre une baisse remarquable pour le coton. Le maïs a aussi connu une baisse des superficies cultivées pour la dernière campagne agricole. Toutes les autres spéculations connaissent un accroissement des superficies cultivées.

La moyenne des superficies cultivées pour les 5 années est de 95.520 ha soit 14,74% du potentiel des terres cultivables estimé à 647.885 ha.

Au cours des cinq dernières campagnes agricoles ces superficies ont connu une légère croissance. Cela est conforme au zonage agro-écologique, dans lequel le cercle de Kolondiéba se situe dans la zone d'expansion du sud.

L'analyse des graphiques d'évolution des superficies cultivées et de la production agricole montre un l'intérêt de plus en plus croissant des producteurs pour la culture vivrière.

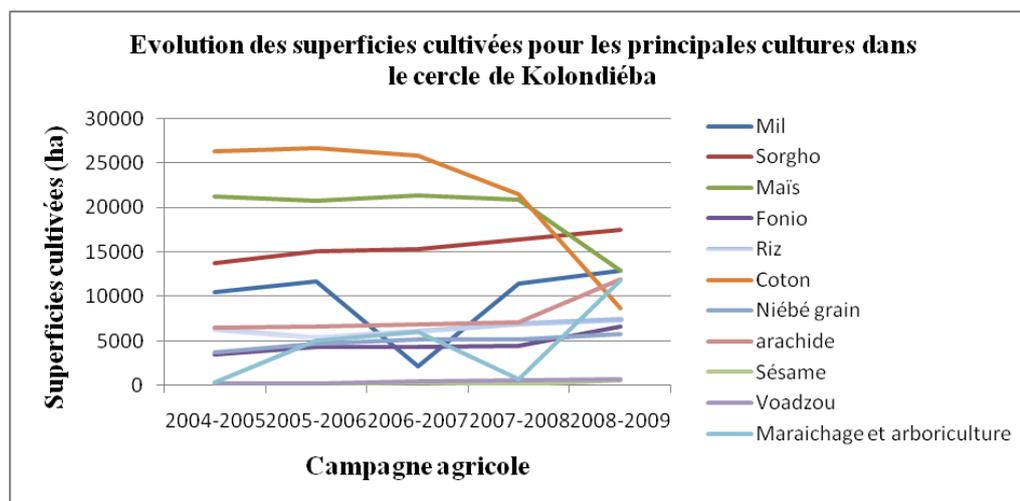


Figure 12 : Graphique d'évolution des superficies cultivées par spéculation pour le cercle de Kolondiéba

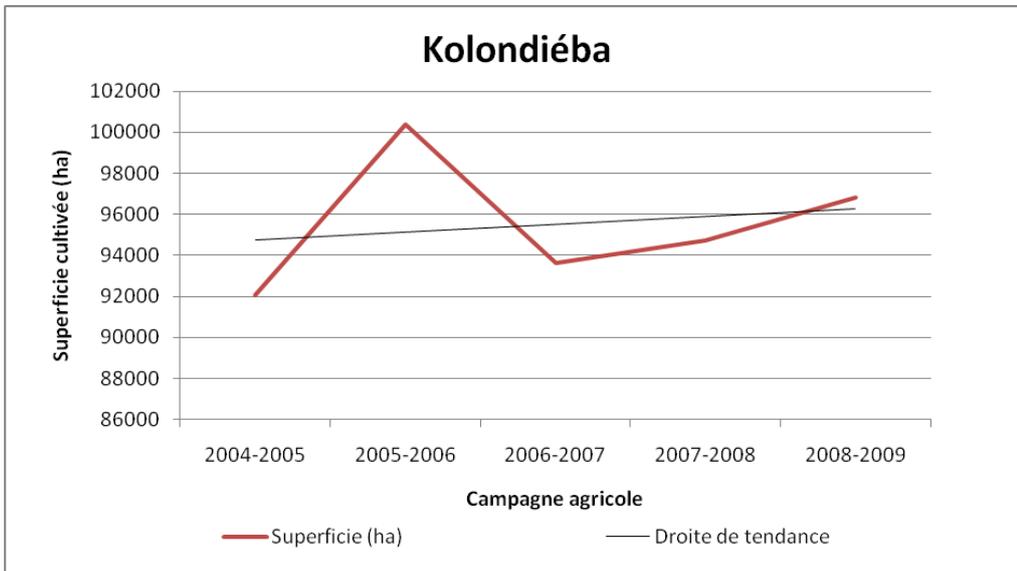


Figure 13 : Graphique d'évolution des superficies cultivées pour le cercle de Kolondiéba

### 5.2.3 Evolution de la production agricole

La production agricole a enregistré une croissance pour la plupart des spéculations à part le coton et le maïs qui ont connu une regression. L'évolution des redements fait remarquer une augmentation considérable pour le riz, une importante baisse pour le coton et une légère variation à la hausse pour les autres spéculations.

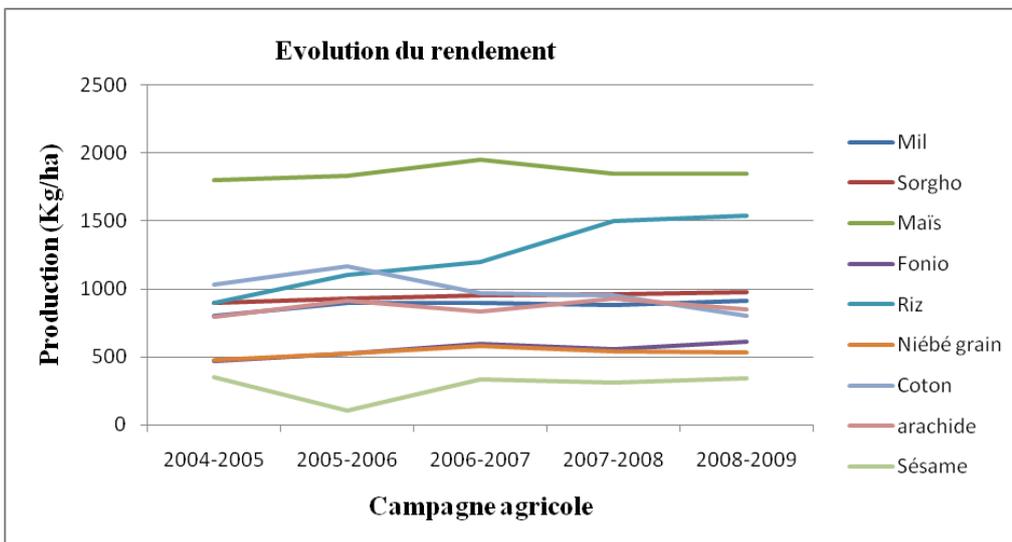


Figure 14 : Graphique d'évolution de la production agricole par spéculation pour le cercle de Kolondiéba

Malgré que Kolondiéba soit situé dans la zone agro-écologique d'expansion du sud, la superficie, la production et le rendement du coton sont en baisse. Cette situation est générale pour toute la région de production cotonnière au Mali.

Les changements climatiques, la fertilité des sols et le prix d'achat du coton graine sont les principales raisons évoquées par les auteurs pour expliquer cette baisse.

Le prix d'achat est un facteur important dans l'explication des choix des agriculteurs. Ce prix est lié en partie aux cours mondiaux du coton qui ont été historiquement bas ces dernières années.

De façon générale, la problématique de la satisfaction des besoins en milieu rural se résume en deux équations : produire suffisamment pour couvrir les besoins alimentaires et assurer, en même temps, une source de revenu monétaire à partir des cultures commerciales ou des excédents commercialisés des cultures vivrières. Les paysans font évoluer leurs pratiques en fonction des opportunités et des contraintes des environnements écologique, économique et social.

#### **5.2.4 La mise en valeur des bas-fonds**

Nous appelons « bas-fonds », en région intertropicale, les fonds plats ou concaves des vallons, petites vallées et gouttières d'écoulement *inondables* qui constituent les axes de drainage élémentaires emboîtés dans les épaisses altérations des socles cristallins « pénéplanisés ». Les bas-fonds représentent des « unités de milieu » spécifiques et essentielles au sein des paysages tropicaux. Ce sont les axes de convergence préférentielle des eaux de surface, des écoulements hypodermiques et des nappes phréatiques contenues dans l'épais manteau d'altération et alimentées par les pluies. Leurs sols sont engorgés ou submergés pendant une période plus ou moins longue de l'année par une nappe d'eau correspondant à des affleurements de nappe phréatique et à des apports par ruissellement (Raunet, 1985). Ces sols hydromorphes, du fait de leur potentialité hydrique, constituent dans un contexte de pluviosité limitée le lieu d'une agriculture sécurisée où les risques de stress hydriques pour les cultures sont plus faibles que sur les hautes terres. Ainsi ils offrent des possibilités élevées d'intensification des cultures moyennant souvent des aménagements.

Dans les bassins-versants, les sols hydromorphes peuvent être localisés soit en situation de bas-fonds, soit en haut de topographie en situation de plateau, ou en situation de versant (Arousseau et al.). Pour la détermination des unités de sol appartenant aux bas-fonds nous sommes intéressés à celles qui sont hydromorphes, [appartenant au groupe des terrains](#)

hydromorphes (th) et à celui des terrains inondés (ti). Dans le bassin du Bani au Mali les unités de ces deux groupes sont ~~donc~~ les unités th1, th3, th6, th7, ti1, ti2 et ti3 (Cf. Tableau A2 en Annexe). L'unité th6 occupe de vieux bourrelets et de vieilles terrasses du Niger et du Bani (Rapport du PIRT, Vol. 2). Elle ne peut donc pas être classée parmi les sols de bas-fond.

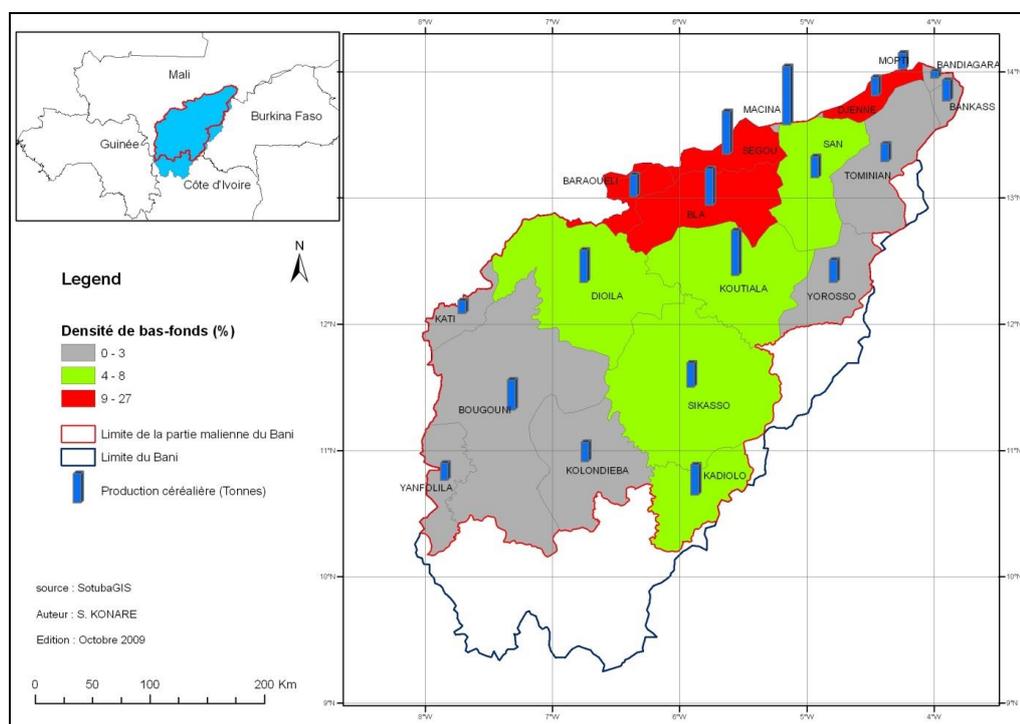
Les sols de bas-fonds du Bani au Mali correspondant aux unités th1, th3, th7, ti1, ti2 et ti3 occupent une superficie évaluée à 670.538640-000 ha selon la carte de sol désagrégée du PIRT. Ce potentiel de terre très fertile pourrait être utilisé pour plusieurs types de cultures à haute valeur. Il est sollicité pour la riziculture, l'arboriculture (bananiers, manguiers, agrumes, goyaviers, anacardiens) et le maraîchage (tomates, oignons, salades, aubergines, piments, pommes de terre, pois sucré).

La densité des bas-fonds (qui est le rapport de la superficie occupée par les bas-fonds dans un cercle sur la superficie du cercle) est plus élevée au Nord du Bassin dans les cercles de Baraouli, Ségou, Bla et Djenné. Ainsi, le potentiel agricole est plus élevé au nord qu'au sud du bassin.

D'une manière générale dans la zone sud le relief est dominé par des plateaux gréseux aux sommets recouverts de cuirasses latéritiques alternant avec des bas-fonds et des plaines alluviales étirés le long de cours d'eau souvent temporaires. (SIMPARA, 1996). Ce qui limiterait les basses terres laissant place à de hautes terres qui sont tout de même utilisées pour la culture pluviale en raison de la bonne pluviométrie enregistrée au sud. Les basses terres de bas-fonds sont réservées surtout au maraichage, l'arboriculture et la riziculture. Cependant l'étroitesse de la plupart des bas fonds ne permet pas une exploitation économiquement rentable (KEITA B. et al., 1994)

La zone nord est par contre caractérisée par un relief relativement plat avec de grandes plaines alluviales. La faible pluviométrie dans cette zone fait que ces basses terres sont utilisées, en plus de la riziculture, pour la culture du mil et du sorgho afin de limiter les risques de stress hydrique.

Ainsi, la superposition de la couche de densité des bas-fonds sur celle de la production agricole de l'année 2005 montre que les cercles à haut potentiel de bas-fond ne correspondent pas à des zones de grande production céréalière.



**Figure 15 : Répartition spatiale de la densité de bas-fonds par cercle**

Il est à noter qu’il ressort de l’étude réalisée par OUATTARA (2009) une densité de bas-fonds plus élevée au Sud qu’au Nord du bassin contrairement au résultat obtenu par la désagrégation de la carte du PIRT. En effet le PIRT a été réalisé dans un cadre national, l’élaboration de la carte a été faite sur la base d’un pourcentage minimum d’occupation des unités de sol dans une unité cartographique de 10%. Ainsi les plus petites unités de sol de bas-fonds, abondantes au Sud en raison du relief accidenté et économiquement moins rentables, ne seront pas prises en compte.

### 5.2.5 Aménagement des bas-fonds

L’estimation de la superficie des bas-fonds, faite sur la base de la carte du PIRT désagrégée, a donné [670.538640-000](#) ha. L’aménagement de ce potentiel de terre est profitable pour une grande partie de la population rurale. Une étude réalisée par SIMPARA (1996) montra que plus de 90% de la totalité des villages de la zone Mali-Sud participerait à la mise en valeur des 43 000 ha de sites aménageables identifiés. Ce type d’irrigation est relativement peu coûteux (généralement de l’ordre de 500 000 à 1 000 000 FCFA/ha) mais les rendements restent assez faibles (allant d’environ 1,6 t/ha de paddy en bas-fonds non aménagés à 2,5 t/ha

pour les bas-fonds aménagés) du fait d'une mauvaise organisation de la mise en valeur (problèmes d'accès aux facteurs de production). (Kébé et al., 2004)

## VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Une meilleure connaissance des bas-fonds nécessite une cartographie de sol beaucoup plus détaillée. Dans cette optique, le présent travail a permis de produire une carte d'unité simplifiée de sol, pour la partie malienne du bassin versant du Bani, à partir d'une carte de base à l'échelle 1:500.000<sup>ème</sup> par désagrégation des unités composites. La carte produite à une échelle plus grande a été mise à jour par intégration des informations sur le potentiel des terres et la production agricole. Ainsi différents thèmes spatiaux, présentés sous formes de cartes numériques, ont été réalisés. L'identification des mesures compensatoires pour la productivité des terres à savoir l'irrigation et le drainage a permis de déterminer les zones intéressantes pour l'investissement dans les aménagements hydro-agricoles. Il aura permis d'évaluer la superficie des bas-fonds à partir des unités de sols typiques à ce milieu (sols hydromorphes) et de faire une analyse spatiale de leur répartition par cercle. Il a permis aussi de faire une analyse spatiale de l'état de saturation des ressources de terres cultivables à partir des superficies réellement mises en valeur au cours de la campagne agricole 2004-2005.

Cette étude montre que les cercles de San et Bla situés au nord du bassin ont un ratio des deux types de terres arables (avec ou sans mesure compensatoire) plus élevé. Cela a permis de comprendre l'opportunité des grands investissements en matière d'aménagement hydro-agricole comme le barrage de Talo. Malgré l'apparente saturation locale de l'espace, cette étude montre que la pression sur les ressources foncières est encore modérée d'autant plus que les terres non cultivées constituent encore 88% du potentiel cultivable pour 5 cercles de référence du bassin. Elle a aussi évalué la superficie des bas-fonds à [670.538640-000](#) ha avec une densité plus élevée au nord qu'au sud. Les zones à forte densité de bas-fonds ne correspondent pas forcément à des zones de grande production agricole.

Le système d'information géographique (SIG) a été utilisé comme outil adapté à la problématique. Bien que la validité de la carte produite par désagrégation de la carte du PIRT datant de 1983 soit sujette à discussion, la méthode apporte une aide importante aux décideurs et aux aménageurs pour planifier les investissements hydro-agricoles.

La présente étude pourrait être complétée par :

- Un calage de la méthode de désagrégation avec des images satellitaires de haute résolution,

**Commentaire [PCST1]:** Voilà un point fondamental qui doit être soigneusement vérifié, interprété et mis en avant. Malgré l'apparente saturation locale de l'espace, le Mali dispose de réserves de terres importantes.

- Des réalités de terrain pour la mise à jour des propriétés de sol évoluant dans le temps et la vérification par secteur géologique des unités de sol dégagées par la désagrégation,
- La prise en compte de l'occupation des sols dans la détermination des terres cultivables.

La mise en place d'un système d'information sur l'eau (SIE) à l'échelle du bassin versant du Bani permettra une meilleure compilation des données existantes et par conséquent de répondre aux besoins des parties prenantes en matière d'information environnementale publique dans le domaine des ressources en eau.

## **BIBLIOGRAPHIE**

AUROUSSEAU, P., SQUIVIDANT, H., Rôle environnemental et identification cartographique des sols hydromorphes de bas-fonds, E.N.S.A.R.

Site Internet : <http://viviane.roazhon.inra.fr/spanum/publica/zhbf/zhbf.htm#intro>

BIRMINGHAM, D., M., 2003, Connaissance locale des sols : Le cas de contraste en Côte d'Ivoire, ELSEVIER, GEODERMA. Disponible en ligne à [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

BLEIN, R., SOULÉ, B-G., DUPAIGRE, B-F., YÉRIMA, B., 2008. Les potentiels agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). Fondation pour l'Agriculture et la ruralité,

BUI, E. N., MORAN, C.J., 2001. La désagrégation des polygones de la géologie des formations superficielles et cartes des sols en utilisant la modélisation spatiale et les données héritées. CSIRO Terre et Eau, Canberra, ACT, Australie.

CHAPPELL, A., WARREN, A., TAYLOR, N., CHARLTON, M., 1997, Flux du sol (perte et gain) au sud-ouest du Niger et leur impact sur l'agriculture. LAND DEGRADATION & DEVELOPMENT.

DABIN, B., MAIGNIEN, R., 1979. Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leur potentialité agricole. Cahier ORSTOM, Série Pedol., vol. XVII, n° 4.

DUFUMIER M, 2005. Étude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali. Projet « caractérisation des systèmes agraires », Institut National Agronomique Paris-Grignon, 83p.

GERMAINE, M-A., PUISSANT, A., LESPEZ, L., BALLOUCHE, A., 2006. Analyse spatiale et typologie des petites vallées bas-normandes. SAGEO, Strasbourg, France.

GOBIN, A., CAMPLING, P., DECKERS, J. FEYEN, J., 2000, Analyses toposéquentielles intégrées pour combiner les systèmes de connaissance locale et scientifique. ELSEVIER, GEODERMA.

JENNESS, J., 2005. Documentation "Topographic Position Index". Site Internet : <http://jennessent.com>, 42 p

KÉBÉ, D., KEÏTA, M. S., BÉLIÈRES, J-F., 2004. Stratégies d'investissement dans l'irrigation et coûts de production de quelques systèmes irrigués au Mali. IER, Mali.

KEITA, B., BITCHIBALY, K., DIONI, L. DIARRA, Z., VLOT, J., 1994. Étude sur les toposéquences typiques - Cercle de Koutiala - Rapport général. IER, Mali, réédition 1998.

RAUNET, M., 1985. Bas-fonds et riziculture en Afrique : Approche structurale comparative.  
Site Internet : <http://agroecologie.cirad.fr>

SAAD, K., 1970. Etude hydrogéologique du sud du Mali (Niger supérieur et Bani).  
UNESCO, Paris

SALAKO, F.K. TIAN, G., KIRCHHOF, G., AKINBOLA, G., E., 2006. Particules du sol dans  
les paysages d'une savane dérivée dans le sud-ouest du Nigeria et les implications pour les  
propriétés de sol sélectionnées. ELSEVIER, GEODERMA.

SIMPARA, M., LIDON, B., LANGELLIER P., GRELLET, G., 1996. Caractérisation agro-  
écologique de reconnaissance des bas-fonds de la zone Mali Sud, IER/CRRA, Sikasso, 30p.

SOUMARE, M., 2008. Dynamique et durabilité des systèmes agraires à base de coton au  
mali. Thèse, Université de Paris X Nanterre

STOOP, W., A., 1987. Variations des propriétés de sol le long de trois toposéquences au  
Burkina Faso et leurs implications pour le développement de cultures améliorées. ELSEVIER

**ANNEXES**

Annexe 1 : Les différentes unités cartographiques du Bani .....	49
Annexe 2 : Les unités de sol de la partie malienne du bassin versant du Bani selon la carte PIRT.....	52
Annexe 3 : Évolution des superficies cultivées et de la production pour le cercle de Kolondiéba.....	55
Annexe 4 : Superficies cultivées (en ha) pour les cultures céréalières de 5 cercles du Bani (Mali) – Campagne agricole 2004-2005.....	56
Annexe 5 : Répartition des productions de céréale (en Tonne) de 5 cercles du Bani (Mali) – Campagne agricole 2004-2005. ....	56

**Annexe 1 : Les différentes unités cartographiques du Bani**

<b>FID</b>	<b>Unité SV1</b>	<b>% SV1</b>	<b>Unité SV2</b>	<b>% SV2</b>	<b>Unité SV3</b>	<b>% SV3</b>	<b>Unité SV4</b>	<b>% SV4</b>	<b>Unité SV5</b>	<b>% SV5</b>	<b>Ordre de succession du haut vers le bas</b>
0	x5	50	tr2	30	pl9	20					x5, tr2, pl9
1	tr2	50	tc2	15	ps3	35					tc2, tr2, ps3
2	th6	55	ti1	15	ti2	15	ti3	15			th6, ti3, ti1, ti2
3	da5	60	tr2	40							da5, tr2
4	ti1	75	ti3	15							ti3, ti1
5	ps3	60	tc2	30							tc2, ps3
6	ps3	60	tc2	30	da5	10					da5, tc2, ps3
7	tr2	30	ps3	30	pl9	20	x5	20			x5, tr2, ps3, pl9
8	pl9	50	tc3	50							tc3, pl9
9	ti1	75	ti3	15							ti3, ti1
10	da5	40	pl9	30	ti2	20					da5, pl9, ti2
11	ps2	40	tc4	20	da5	15	tr2	15			da5, tc4, tr2, ps2
12	pl7	60	ps3	20							ps3, pl7
13	th6	70	ti3	15	th3	10					th3, th6, ti3
14	ps3	45	pl9	20	pl7	15					ps3, pl9, pl7
15	th3	45	da5	30	th6	15					da5, th3, th6
16	ps3	45	pl9	20	pl7	15					ps3, pl9, pl7
17	ps2	40	tc4	20	tc3	20					tc3, tc4, ps2
18	da5	40	tc3	30	ps3	15	pl9	15			da5, tc3, ps3, pl9
19	tr2	50	x5	20	ps3	15	tc3	10			x5, tr2, tc3, ps3
20	tc3	30	ps3	30	pl9	20	tr2	10			tr2, tc3, ps3, pl9
21	pl7	60	th3	20							pl7, th3
22	ti3	60	ti1	35							ti3, ti1
23	ti4	60	ti3	15	x6	15					ti3, ti4, x6
24	th3	60	pl7	20	ps3	10					ps3, pl7, th3
25	pl7	60	th3	20							pl7, th3
26	ps2	30	tc3	30	tr2	20	pl8	20			tr2, tc3, ps2, pl8
27	pl7	60	th3	20							pl7, th3
28	ti3	60	ti1	20	th7	20					th7, ti1, ti3
29	tc3	30	tc4	25	da5	20	ps3	15			da5, tc3, tc4, ps3
30	th3	70	ps3	15							ps3, th3
31	ti3	50	th1	20	pl9	10	tc3	10			tc3, pl9, th1, ti3
32	tc4	40	pl9	30	tc5	15	ps3	15			tc5, tc4, ps3, pl9
33	ti3	50	th1	20	pl9	10	tc3	10			tc3, pl9, th1, ti3
34	ps3	50	pl9	20	tc3	15	tr2	10			tr2, tc3, ps3, pl9
35	tc4	30	th3	20	tc3	20	ps3	15			tc3, tc4, ps3, th3
36	ps3	40	pl9	20	tc3	15	th7	15			tc3, ps3, pl9, th7

37	tc4	50	tc5	20	pl11	15	pl10	10			tc5,tc4,pl10,pl11
----	-----	----	-----	----	------	----	------	----	--	--	-------------------

**Annexe 1 : Les différentes unités cartographiques du Bani (suite)**

FID	Unité SV1	% SV1	Unité SV2	% SV2	Unité SV3	% SV3	Unité SV4	% SV4	Unité SV5	% SV5	Ordre de succession du haut vers le bas
38	th3	80									th3
39	pl9	40	ti3	30	tc5	20					tc5,pl9,ti3
40	ps3	30	tc4	30	pl9	15	tc5	15			tc5,tc4,ps3,pl9
41	pl9	30	tc5	25	ps3	20	th3	15			tc5,ps3,pl9,th3
42	tc5	50	pl9	30	ps3	20					tc5,ps3,pl9
43	pl10	40	pl11	30	tc5	20	tc4	10			tc5,tc4,pl10,pl11
44	ti3	60	pl9	40							pl9,ti3
45	tc5	70	tc4	20	pl9	10					tc5,tc4,pl9
46	tc4	30	tr7	30	x5	20					x5,tr7,tc4
47	pl9	60	tc5	30	tc4	10					tc5,tc4,pl9
48	tc5	60	pl9	40							tc5,pl9
49	tc4	40	pl10	40	tc5	20					tc5,tc4,pl10
50	pl9	30	pl13	20	ps3	20	tc4	20	tc5	10	tc5,tc4,ps3,pl13,pl9
51	ti3	60	pl9	40							pl9,ti3
52	pl11	30	pl9	20	pl13	20	ps3	20	ti3	10	ps3,pl13,pl9,pl11,ti3
53	pl9	50	tc4	30	tc5	20					tc5,tc4,pl9
54	pl9	70	tc5	20	ps3	10					tc5,ps3,pl9
55	ti3	70	pl9	30							pl9,ti3
56	ti3	70	pl10	30							pl10,ti3
57	tc4	40	tr7	40	x5	20					x5,tr7,tc4
58	th7	50	pl9	20	tc4	15					tc4,pl9,th7
59	pl9	50	tc4	30	tc5	20					tc5,tc4,pl9
60	tc5	50	tc4	30	pl9	20					tc5,tc4,pl9
61	tc5	50	pl9	20	tc4	20	pl11	10			tc5,tc4,pl9,pl11
62	pl9	50	tc4	30	tc5	20					tc5,tc4,pl9
63	tr9	40	tc4	40	pl11	20					tr9,tc4,pl11
64	tc5	50	pl9	20	tc4	20	pl11	10			tc5,tc4,pl9,pl11
65	tc6	50	pl9	20	pl11	15	tc5	15			tc5,tc6,pl9,pl11
66	tc5	50	pl9	20	pl11	20					tc5,pl9,pl11
67	ti2	100									ti2
68	th7	50	ti3	20	pl9	20					pl9, th7,ti3
69	ti2	100									ti2
70	tc5	50	pl9	20	tc4	20	pl11	10			tc5,tc4,pl9,pl11
71	tc5	50	tc4	30	pl10	10	pl11	10			tc5,tc4,pl10,pl11
72	tc5	40	pl11	30	tc4	20	pl9	10			tc5,tc4,pl9,pl11
73	pl11	50	pl9	20	pl13	20	tc4	10			tc4,pl13,pl9,pl11
74	tc5	50	tc4	30	pl10	10	pl11	10			tc5,tc4,pl10,pl11

75	p19	60	p111	40								p19,p111
----	-----	----	------	----	--	--	--	--	--	--	--	----------

**Annexe 1 : Les différentes unités cartographiques du Bani (suite)**

FID	Unité SV1	% SV1	Unité SV2	% SV2	Unité SV3	% SV3	Unité SV4	% SV4	Unité SV5	% SV5	Ordre de succession du haut vers le bas
76	ps3	40	p19	30	tc5	20	tr7	10			tr7,tc5ps3,p19
77	ti3	100									ti3
78	tc6	60	p111	20	tc5	20					tc5,tc6,p111
79	tc6	50	tc5	20	p111	20	tc7	10			tc5,tc6,tc7,p111
80	tr7	80	x5	20							x5,tr7
81	tr7	80	x5	20							x5,tr7
82	tr7	80	x5	20							x5,tr7
83	tc5	50	tc6	30	p111	20					tc5,tc6,p111
84	tc5	50	tc6	30	p111	20					tc5,tc6,p111
85	tc5	60	tc6	20	p113	10	ti3	10			tc5,tc6,p113,ti3
86	tc6	50	tc5	30	p113	20					tc5,tc6,p113
87	p111	40	tc6	30	tc5	20					tc5,tc6,p111
88	tc5	60	tc6	20	p113	10	ti3	10			tc5,tc6,p113,ti3
89	ti3	100									ti3
90	tc5	50	p19	30	p111	20					tc5,p19,p111
91	tc6	30	tc7	30	p111	20	tc5	20			tc5,tc6,tc7,p111
92	tc6	50	tc5	30	p113	20					tc5,tc6,p113
93	tc6	40	tc5	30	p113	20					tc5,tc6,p113
94	tc5	50	p19	20	p111	20					tc5,p19,p111
95	tc6	30	tr9	20	p111	20	tc5	20			tr9,tc5,tc6,p111
96	tc6	30	p111	30	tc5	20	tc7	10			tc5,tc6,tc7,p111
97	ti3	80									ti3
98	tc6	30	p111	30	tc5	20	tc7	10			tc5,tc6,tc7,p111
99	tc7	40	tc6	40	tc5	20					tc5,tc6,tc7
100	tc5	40	tc6	20	p111	20	tc7	20			tc5,tc6,tc7,p111
101	tc6	40	tc5	20	p111	30					tc5,tc6,p111
102	tc6	40	tc7	20	tc5	20	p111	20			tc5,tc6,tc7,p111
103	ti3	80									ti3
104	ti3	70	th7	20							th7,ti3
105	tc6	30	tc5	20	p111	20	tr9	20			tr9,tc5,tc6,p111
106	tc6	40	tc5	20	tc7	20	p111	20			tc5,tc6,tc7,p111
107	tc7	40	tc6	40	tc5	20					tc5,tc6,tc7
108	tc6	40	tc5	20	tc7	20	p111	20			tc5,tc6,tc7,p111
109	tc6	35	tc5	25	p111	20	tc7	15			tc5,tc6,tc7,p111
110	tc6	35	tc5	25	p111	20	tc7	15			tc5,tc6,tc7,p111

Source : PIRT

**Annexe 2 : Les unités de sol de la partie malienne du bassin versant du Bani selon la carte PIRT**

Unité	Sup. (ha)	%	Système CPCS français	Utilisation des terres	Classe/sous-classe d'aptitude des terres	Potentiel de production sans/avec mesures compensatoires	Utilisation sans/avec mesure compensatoire
da5	67 591	0,66	Sols ferrugineux peu lessivés	Pâturage et culture (mil)	IVc	Modéré	Arable
pl10	138 941	1,35	Sols ferrugineux lessivés à pseudogley ou tâches et concrétions	Agriculture permanente ou régime d'assolement rapide	IIw/Id	Elevé / Très élevé	Arable
pl11	1 206 973	11,75	Sols ferrugineux lessivés à concrétion	Riziculture continue ou de brève durée (on trouve un assolement à longue période dans le Haut Bani/Niger)	I/Ii	Très élevé	Arable
pl13	122 677	1,19	Sols ferrallitiques faiblement dessaturés	Agriculture à longue période de jachère	IIc	Elevé	Arable
pl7	247 143	2,41	Sols bruns eutrophes tropicaux à pseudogley	Pâturages, rarement cultures	VIcw/IIIci	Faible / Modérément élevé	Non arable / Arable
pl8	3 490	0,03	Sols ferrugineux tropicaux appauvris	Culture du mil et du sorgho, et pâturage	IVec/IIIei	Modéré / Modérément élevé	Arable
pl9	1 090 623	10,62	Sols ferrugineux lessivés à pseudogley ou tâches et concrétions	Culture permanente ou culture avec courte jachère	IIw/Id	Elevé / Très élevé	Arable
ps2	35 311	0,34	Sols brun-rouges subaridiques	Pâturage	IVc	Modéré	Arable
ps3	474 711	4,62	Sols ferrugineux lessivés	Culture, en régime d'assolement court, de mil, sorgho, coton, arachide	IVc	Modéré	Arable

**Annexe 2 : Les unités de sol de la partie malienne du bassin versant du Bani selon la carte PIRT (suite)**

Unité	Sup. (ha)	%	Système CPCS français	Utilisation des terres	Classe/sous-classe d'aptitude des terres	Potentiel de production sans/avec mesures compensatoires	Utilisation sans/avec mesure compensatoire
tc2	8 335	0,08	Sols peu évolués d'apport sur cuirasse	Pâturage	VIIsc	Très faible	Non arable
tc3	180 700	1,76	Sols peu évolués d'érosion sur cuirasse, regosolique	Pâturage	VIsc	Faible	Non arable
tc4	698 437	6,80	Sols peu évolués d'érosion sur cuirasse, regosolique	Culture du mil, du sorgho et des arachides ; pâturages	IVsc	Modéré	Arable
tc5	2 341 242	22,79	Sols minéraux bruts d'érosion sur cuirasse	Pâturage	VIIse	Très faible	Non arable
tc6	1 724 574	16,79	Sols peu évolués d'érosion sur cuirasse, regosolique	Culture du mil, du sorgho et des arachides ; pâturages	IIIse	Modérément élevé	Arable
tc7	796 266	7,75	sols ferrugineux lessivés de colluvion sur cuirasse	Culture du sorgho, du maïs et des arachides ; pâturages	IIse	Elevé	Arable
th1	21 996	0,21	Sols peu évolués à pseudogley	Cueillette (des graines de panicum laetum aux fins de consommation humaine) et pâturage	VIIc/VIci	Très faible / Faible	Non arable
th3	164 601	1,60	Sols hydromorphes à gley	Surtout pâturage, bien qu'on puisse y pratiquer une agriculture pluviale (sorgho, mil) et quand l'eau est retenue, la riziculture	VIcw/IVwi	Faible / Modéré	Non arable / Arable
th6	25 867	0,25	Sols hydromorphes à gley de profondeur	pâturage	VIcw/IVci	Faible / Modéré	Non arable / Arable
th7	61 231	0,60	Sols hydromorphes à gley et concrétions	Pâturage et quelques cultures	VIcw/IVci	Faible / Modéré	Non arable / Arable

**Annexe 2 : Les unités de sol de la partie malienne du bassin versant du Bani selon la carte PIRT (suite)**

Unité	Sup. (ha)	%	Système CPCS français	Utilisation des terres	Classe/sous-classe d'aptitude des terres	Potentiel de production sans/avec mesures compensatoires	Utilisation sans/avec mesure compensatoire
ti1	23 208	0,23	Sols hydromorphes à gley à tendance vertique	Surtout pâturage, bien que la riziculture soit aussi importante. Le sol est ordinairement saturé trop longtemps pour permettre une agriculture de décrue bien que les années de sécheresse, cette agriculture puisse être parfois possible sur certains terrain	Vw/IIIwi	Variable / Modérément élevé	Non arable / Arable
ti2	15 587	0,15	Sols hydromorphes à gley	Riziculture permanente	Vw/IIwi	Variable / Elevé	Non arable / Arable
ti3	383 915	3,74	Sols hydromorphes à gley à tendance vertique	Pâturage et culture du riz, du sorgho et parfois de légumes	Vw/IIIwi	Variable / Modérément élevé	Non arable / Arable
ti4	48 162	0,47	Sols peu évolués d'apport fluvial, gléyifiés	Pâturage	VIIws	Très faible	Non arable
tr2	104 997	1,02	Sols peu évolués d'apport colluvial sur grès et quartzite	Pâturage avec culture localisée de mil	VIsc	Faible	Non arable
tr7	68 705	0,67	Sols peu évolués d'apport colluvial sur grès et quartzite	Pâturage avec cultures occasionnelles	VIsc	Faible	Non arable
tr9	112 197	1,09	Sols peu évolués d'apport colluvial sur grès et quartzite	Cultures, pâturages	VIIse	Très faible	Non arable
x5	88 711	0,86	-	-	VIIIsc	Aucun	Non arable
x6	17 064	0,17	-	-	VIIIw	Aucun	Non arable
<b>Total</b>	<b>10 273 254</b>	<b>100</b>					

Source : PIRT

**Annexe 3 : Évolution des superficies cultivées et de la production pour le cercle de Kolondiéba**

Culture	2004-2005			2005-2006			2006-2007			2007-2008			2008-2009		
	Sup. (ha)	Rdt. (Kg/ha)	Pdt. (Tonne)	Sup. (ha)	Rdt. (Kg/ha)	Pdt. (Tonne)	Sup. (ha)	Rdt. (Kg/ha)	Pdt. (Tonne)	Sup. (ha)	Rdt. (Kg/ha)	Pdt. (Tonne)	Sup. (ha)	Rdt. (Kg/ha)	Pdt. (Tonne)
Mil	10472	800	8373	11673	897	10471	2111	5159	10891	11385	885	10076	12870	915	11776
Sorgho	13694	900	12325	15070	927	13970	15259	950	14496	16350	960	15696	17510	975	17072
Maïs	21209	1800	38176	20724	1835	38029	21295	195	4152	20820	1850	38517	12935	1850	23930
Fonio	3450	465	1604	4321	520	2247	4307	600	2584	4410	560	2470	6650	615	4090
Riz	6294	896	5642	5376	1100	5913	6113	1200	7336	6885	1500	10328	7465	1537	11473
Niébé grain	3684	480	1768	4618	527	2433,7	5096	580	2956	5130	545	2796	5720	534	3054,5
Coton	26295	1027	27000	26616	1165	31008	25819	964	24897	21394	947	20260	8629	800	6903,2
Arachide	6504	793	5158	6615	915	6052,7	6868	835	5735	7120	930	6621,6	11920	850	10132
Sésame	6,75	350	2,36	110,25	103	11,35	400	330	132	110	309	33,99	620	340	210,8
Voadzou	162	599	97	221	605	133,7	407	501	204	485	0		660	550	363
Patate douce	18	6500	117	43	10500	451,5	71	19000	1349	188	0		175	19000	3325
Igname	270	5900	1593	279	12000	3348	310	23752	7363	378	0		395	24000	9480
Manioc	5	4000	20	42	11000	462	65	11523	749	76	0		80	12500	1000
Gingembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pois sucré	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oranger	-	-	-	158	15000	2370	185	15000	2775	-	-	-	260	140000	36400
Citronier	-	-	-	55	6500	357,5	55	6427	353,5	-	-	-	55	15000	825
Bananier	-	-	-	50	20000	1000	55	23636	1300	-	-	-	4750	1000	4750
Anacardier	-	-	-	3850	2500	9625	3900	1000	3900	-	-	-	4750	1000	4750
Manguier	-	-	-	500	15000	7500	1250	23500	29375	-	-	-	1260	25000	31500
Oignon	-	-	-	7,75	23000	178,25	10,25	22000	225,5	-	-	-	14	22500	315
Echalope	-	-	-	5,75	20000	115	8	20000	160	-	-	-	10,5	21000	220,5
Tomate	-	-	-	5,5	12000	66	5,5	12000	66	-	-	-	12	14000	168
Laitue	-	-	-	12,5	6500	81,25	15,5	6000	93	-	-	-	21,5	8000	172
Pomme de terre	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-	6,25	10000	62,5
Aubergine	-	-	-	9	9000	81	7	9000	63	-	-	-	9,5	10000	95
Chou	-	-	-	8,75	13000	113,75	12	13000	156	-	-	-	16	13000	208
Piment	-	-	-	4,75	6000	28,5	4,75	6000	28,5	-	-	-	6,75	6000	40,5
Total Maraichage	293	5 904	1 730	5 031	5 124	25 778	5 954	8 055	47 957	642	0	0	11 822	7 893	93 312

Sup. : Superficie Rdt. : Rendement Pdt. : Production

Source : DRA/Sikasso

**Annexe 4 : Superficies cultivées (en ha) pour les cultures céréalières de 5 cercles du Bani (Mali) – Campagne agricole 2004-2005.**

Régions	Cercles	Mil	Sorgho	Mais	Riz	Fonio	Total
Sikasso	Sikasso	14 873	11 887	22 178	1 506	105	<b>50 549</b>
	Kolondiéba	9 352	7 831	19 842	2 090	2 153	<b>41 268</b>
	Koutiala	42 702	36 256	19 758	877	8	<b>99 601</b>
Ségou	Bla	54 026	23 250	11 548	-	17	<b>87 724</b>
	San	43 659	15 407	3 711	1 237	1 083	<b>63 021</b>
<b>Total</b>		<b>164 612</b>	<b>94 631</b>	<b>77 037</b>	<b>5 710</b>	<b>3 366</b>	<b>342 163</b>

Source : CPS/SDR

**Annexe 5 : Répartition des productions de céréale (en Tonne) de 5 cercles du Bani (Mali) – Campagne agricole 2004-2005.**

Régions	Cercles	Mil	Sorgho	Mais	Riz	Fonio	Total
Sikasso	Sikasso	12 121	9 854	30 800	1 860	114	<b>54 749</b>
	Kolondiéba	6 375	6 104	28 491	1 726	1 428	<b>44 124</b>
	Koutiala	40 763	34 446	27 754	1 230	-	<b>104 193</b>
Ségou	Bla	46 646	20 596	17 512	-	-	<b>84 754</b>
	San	29 475	11 483	5 412	1 347	863	<b>48 580</b>
<b>Total</b>		<b>135 380</b>	<b>82 483</b>	<b>109 969</b>	<b>6 163</b>	<b>2 405</b>	<b>336 400</b>

Source : CPS/SDR