

UNIVERSITE OUAGA I
PROFESSEUR JOSEPH KI-ZERBO



.....
École Doctorale Sciences et Technologies

.....
Laboratoire Sols, Matériaux et Environnement (SME)

N° d'ordre

Thèse Présentée

Par MILLOGO Dibi

Pour l'obtention du grade de

Docteur de l'Université Ouaga I Professeur Joseph KI-ZERBO

Option Géoressources

Spécialité : Science des Sols et Environnement

Titre: Pratiques agro-sylvo-pastorales d'adaptation aux changements climatiques : effets et impacts sur les ressources en sols et en eaux dans l'espace de gestion du Nakanbé au Burkina Faso.

Soutenu le devant le jury composé de :

Président :

Membres :

ZOMBRE Nabsanna Prosper, Professeur titulaire, Université Ouaga 1 Pr Joseph KI-ZERBO

(Directeur de thèse)

REMERCIEMENTS

Aucun travail de cette envergure ne peut se faire sans l'appui de personnalités tant morales que physiques. La présente thèse est le fruit d'une collaboration harmonieuse entre différentes entités à l'endroit de qui nous avons un devoir de reconnaissance.

A tout seigneur, tout honneur, je voudrais commencer par témoigner ma gratitude à Son Altesse Raracime le Prince Albert II de Monaco grâce à la fondation de qui nous avons pu bénéficier d'une bourse pour entamer cette étude.

Notre devoir de reconnaissance va également à l'endroit de l'Agence de l'eau du Nakanbé, notre structure d'accueil pour cette thèse. A travers elle, nous voulons remercier l'ensemble du personnel et particulièrement, Mr Ilboudo Adama ; Mr Idani Donatien, Mr Kafando Adolphe ; Mme Sawadogo Fatimata, Mr Compaoré Arsène qui ont été d'un apport inestimable. En fait, eux et l'ensemble des stagiaires (Thiombiano N. Alida, Sawadogo Adama, M. A. Fiedi ; M.Ouoba Guy, M.Bazié Miché, M. Nikiema Abdoul Aziz, M. Issa Pagbo, M. Jean Sanou, Mme Rokiatou Carambiri, M. Zongo Trinita...) qui ont réalisé leur mémoire de DEA et de Master sous cette thématique et que nous appelons affectueusement notre **cerveau collectif** d'équipe de Thèse. Chers collègues, merci pour la fraternité dont vous avez fait preuve. Cette thèse est aussi la vôtre.

Comment puis-je trouver les mots justes pour remercier le Pr Zombré N prospère, notre Directeur de thèse, qui fait tout ce qu'un père peut apporter à un fils pour sa réussite. Merci Professeur de m'avoir poussé à la réussite comme si c'était vous-même qui faisiez votre thèse.

Que dire du Pr Da Dapola Evariste Constant, l'infatigable et méthodique co-directeur de thèse. J'ai été témoin de vos qualités professionnelles et humaines exceptionnelles. Quelle rigueur ! Quelle discipline !

Merci au Pr Jeanne MILLOGO Razoulmidi, ma tante bien aimée qui m'a vivement encouragé à entamer cette thèse.

Comment ne pas dire 1000 fois merci au Pr Sanata MILLOGO, qui m'a toujours encouragé et soutenu à chacune de nos rencontres, et Dieu sait combien elles sont nombreuses, elle ne cessait de me rappeler : et ta thèse, ça avance ? Je peux certainement vous répondre maintenant. Ça n'a pas seulement avancé, ça aboutit, maintenant.

Merci à ma grande sœur Véronique MILLOGO qui est mon professeur de Français depuis maintenant quelques années. Merci grande sœur pour tes corrections avisées.

Je voudrais être reconnaissant à Dr. SOME Léopold, Directeur de Recherche, INERA Burkina Faso, Dr GnankambaryMaitre de recherches Inera ,BURKINA Faso, de M. AMBOUTA Karimou J.M., Professeur Titulaire, Université Abdou Moumouni et de M. YACOUBA actualiser les membres quand on aura arrêté la soutenance

Hamma, Professeur Titulaire , 2iE Burkina Faso tous membres du jury pour leurs pertinentes et précieuses contributions pour l'amélioration de la version finale de la présente thèse. (A mettre après programmation de la soutenance)

Merci à ma tendre épouse et à mes enfants adorés pour avoir supporté mes trop longs moments d'absence. Aujourd'hui, nous pouvons souffler et passer à autre chose.

Feu mon père et ma maman et mes frères et sœurs

Mon frère Fulgence Sanou qui me disait toujours « quoi que tu fasses et où que tu sois et qui que tu sois, fais cette thèse ». Merci d'être mon grand frère. A travers toi, je voudrais remercier tous les autres frères, sœurs, cousins, neveux, nièces qui en tout temps ne cessent de me soutenir. Merci Moussa, Merci Pascal, merci Vinsoun, merci Adama, merci Sekon, merci Awa, merci à toute et à tous

RESUME

L'état du bassin du Nakanbé est préoccupant à tout point de vue et spécifiquement en ce qui concerne les ressources en eau, les sols et la végétation. En effet, l'ensemble des études menées dans le cadre de cette thèse, montrent, une dégradation de la qualité des ressources en eau, des sols et de la végétation. A cela, s'ajoute une diminution de la quantité des ressources en eau.

En effet, de nombreuses dégradations dont les dégradations physiques, chimiques et biologiques des sols, la destruction et la fragilisation du couvert végétal, la dégradation des berges des cours et retenues d'eau, la modification du réseau hydrographique, le ravinement, la sédimentation, la disparition de plusieurs zones humides, l'augmentation des risques d'inondations, la diminution des capacités de mobilisation des ouvrages hydrauliques, la modification de la morphologie du cours d'eau et le glissement du talus sont constatés dans l'espace de gestion du Nakanbé du à l'érosion accentuée par les mauvaises pratiques agro sylvo pastorales.

Les conséquences en termes de perte de terre sont énormes et pour le seul sous bassin de la Nouaho et durant la période de 1998 à 2003, les pertes s'estimaient en moyenne à près de 3,75 tonnes/ha/an et varient suivant l'occupation du sol. Selon les résultats des simulations, les plus grandes pertes en terre sont notées sur les terres agricoles et varient entre 3,13 et 5,52 tonnes/ha/an, tandis que dans les savanes arborées et herbeuses, elles sont entre 0,21 et 1,31 tonnes/ha/an.

Les déplacements de masse de terre ont également des conséquences très néfastes sur les ressources en eau, en ce sens qu'ils sont à l'origine de la sédimentation, et du tarissement précoce des cours et plans d'eau de l'espace de Nakanbé. En outre, cela entraîne une augmentation forte de la turbidité au début du mois d'août et les valeurs des moyennes maximum observées à certains endroits comme c'est le cas à Goinré (764 NTU), à Ziga (496 NTU) et à Bagré (185 NTU).

L'impact se fait ressentir également sur le PH et la conductivité électrique des eaux.

Les trois sous-bassins de l'espace de gestion du Nakanbé étudiés ont été marqués par une baisse de la quantité de précipitations et une diminution notoire des écoulements. Les températures et l'ETP ont tendance à croître. Les conséquences sont grandes sur les écosystèmes aquatiques ainsi que sur les systèmes humains. Les périodes récentes sont marquées par une alternance d'années sèches et humides sur les séries hydro-pluviométriques.

L'utilisation des pesticides aggrave la situation des sols et des ressources en eau, en ce sens que plus de 35% des pesticides rencontrés ne sont pas homologués par le Comité Sahélien des Pesticides (CSP) et que 20% de ces pesticides sont inconnus.

L'analyse multi-chronique, sur 30 années (1982, 1992 et 2011), fait apparaître clairement la diminution des surfaces de végétations et une augmentation de la surface des champs en lien avec la

forte croissance de la population dans l'espace de gestion du Nakanbé. Egalement on note pour la date 2011 une diminution de la surface de sols nus et des affleurements rocheux.

L'évolution de ces indicateurs montre que l'espace de gestion du Nakanbé est très anthropisé et cette anthropisation est dynamique. L'évolution des effets des changements climatiques sont clairement liés à cette évolution de l'occupation des terres qui modifie les facteurs de ruissellement, d'infiltration et d'évapotranspiration dans le bilan hydrique de l'espace de gestion du Nakanbé.

Ils sont inférieurs à 5 % avant 1970 et dépassent parfois 10 % en septembre depuis 1980. Le coefficient d'écoulement moyen annuel indique une augmentation rapide durant les années 1970, puis une stabilisation avec des valeurs plus élevées en 1988 et 1994. Cette augmentation du pouvoir ruisselant s'accompagne d'une augmentation de l'ensablement des plans et cours d'eau, une dégradation des infrastructures, des risques d'inondations, une diminution de la capacité de rétention en eau des sols (WHC) et une diminution de la capacité de stockage des ouvrages de surface.

Les producteurs sont conscients de la dégradation de leurs ressources naturelles. Ils ont de surcroît des appréciations de valeurs sur la base desquelles ils pratiquent des méthodes traditionnelles de lutte, mais qui restent qualitatives parce qu'elles sont basées sur l'observation visuelle des indicateurs externes. En conséquence la perception locale ne permet pas une évaluation quantitative au point de permettre une correction appropriée notamment dans le domaine des sols. Toutefois, à l'instar de la classification traditionnelle, elle pourrait permettre une catégorisation des régions en fonction des niveaux de dégradation, une orientation des projets et de la recherche dans la conception des stratégies d'adaptation diversifiées.

Conscients de la gravité du phénomène de dégradation des ressources naturelles, les producteurs ont désormais recours aux bas-fonds qui étaient jadis des zones à inondation permanente où il n'était possible de cultiver.

En plus de l'utilisation des bas-fonds les producteurs ont adopté plusieurs techniques d'adaptation aux changements globaux et en particulier au changement climatique. Ce sont entre autres :

- la création de bosquets sacrés qui sont des zones mises en défens à proximité des villages pour la pratique des rites culturels et dans le même temps contribue, selon l'avis des producteurs à la préservation de la végétation.

la pratique d'agroforesterie traditionnelle pour une meilleure gestion de la végétation. L'agroforesterie traditionnelle consiste à épargner des pieds d'arbres utiles de nature variée dans les champs pendant les défriches. Les espèces couramment concernées sont *Faidherbia albida*, *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*.

- le surcreusement des puits traditionnels dans les lits des cours d'eau pour assurer les besoins humains et animaux en eau de boisson.
- la Pratique du Zaï, du paillage, de la Jachère, des diguettes enherbées, de l'épandage de la fumure organique dans les champs pour améliorer la productivité des terres.
- le reboisement en utilisant les espèces locales notamment *Acacia nilotica*, et *Acacia raddiana*, délimitation et surveillance de forêts villageoises pour une restauration des ressources forestières.
- la réalisation des forages pour une meilleure couverture des besoins humains en eau. Le nombre de forages varie de 4 à 5 pour les villages de Bouno et de Woro.
- l'utilisation des techniques de conservation des eaux et des sols (Cordons pierreux, Zaï, demi-lune, Scarifiage des sols encroutés), des semences améliorées et des engrais chimiques.
- l'aménagement des cordons pierreux et la pratiques des fosses fumières, la conservation des eaux et des sols, constitution de stocks fourragers (résidus cultureaux, foins, paille).
- la création de cadre de concertation comme le Comité Local de l'eau qui est un exemple de structure fédératrice des acteurs pour la gestion intégrée des ressources naturelle

Mots clés : pratiques Agro- sylvo- pastorales, dégradation, changement climatique, adaptation, GIRE, Nakanbé, Burkina.

ABSTRACT a ameliorer avec un angliciste

Climate change coupled with the strong anthropization of the Nakanbe basin, cause it to undergo numerous physical, chemical and biological degradations.

These degradations are characterized by, inter alia, decreased soil fertility, increased water and wind erosion, destruction and weakening of vegetation cover, degradation of banks and water reservoirs, modification The drainage system, the sedimentation, the gradual disappearance of several wetlands, the increased risk of flooding, the reduction of the capacity of mobilization of hydraulic structures, the modification of the morphology of the watercourse, the slippage The slope, increasing turbidity and water pollution, decreasing electrical conductivity, and so on.

Aware of the seriousness of the phenomenon and acknowledging the important part of the bad agrosylvopastoral practices, the peasants have valued and developed endogenous knowledge and practices (agroforestry, Zai, half-moon, stony cords, reforestation ...) to allow a resumption of the vitality of Natural resources observed in 2011 (thanks to the trichronic study).

However, for sustainability, these actions to conserve water and soil would better be developed in a more structured and coherent physical and organizational framework. Local water committees, which are structures for the management of natural resources, bringing together all the actors (organizational framework) within a hydrographic unit (physical framework), may be an appropriate response for the implementation of actions Adaptation to climate change.

Key words: Agrosylvopastoral practices, degradation, climate change, adaptation, Nakanbé.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	2
RESUME	4
ABSTRACT.....	7
SOMMAIRE	8
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	9
LISTE DES TABLEAUX.....	12
LISTE DES FIGURES	14
LISTE DES CARTES.....	16
LISTE DES PHOTOS.....	17
INTRODUCTION GENERALE	18
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	21
CONCLUSION PARTIELLE	49
PARTIE II : CADRE DE L'ÉTUDE, MATÉRIEL ET MÉTHODE	50
PARTIE III : PRATIQUES AGROSILVOPASTORALES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : CONSÉQUENCES	100
PARTIE IV : EFFETS ET IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES EN EAU ET SOLS : SOLUTIONS.....	
Erreur ! Signet non défini.	
CONCLUSION GENERALE : LA GIR (GESTION INTEGREE DES RESSOURCES) COMME PANACEE.....	259
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	263
TABLES DES MATIERES.....	272
RESUME	281

SIGLES ET ABREVIATIONS

AEN	:	Agence de l'Eau du Nakanbé
AEP	:	Approvisionnement en Eau Potable
AEPS	:	Adduction d'Eau Potable Simplifié
AGRHYMET	:	Centre Régional Agro-Hydro Météorologie
ANAO	:	Association Nabonswendé des Artisans de l'Oubritenga
AUE	:	Association des Usagers de l'Eau
BMC	:	Burkina Mining Compagny
CA	:	Conseil d'Aministration
CB	:	Comité de Bassin
CCNUCC	:	Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CEDEAO	:	Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CEDEAO	:	Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CES	:	Conservation des Eaux et des Sols
CES/DRS	:	Conservation des Eaux et des Sols/Défense et Restauration des Sols
CFE	:	Contribution Financière en matière d'Eau
CGES	:	Comités de Gestion des Equipements Solaires
CGPE	:	Comité de Gestion des Points d'Eau
CH4	:	Méthane
CISE	:	Comité Inter-Servicede l'Eau à l'échelle de région
CIVD	:	Comité Inter-Villageois de Développement
CLE	:	Comité Local de l'Eau
CNEau	:	Conseil National de l'Eau
CNPAR	:	Centre National de Perfectionnement des Artisans Ruraux
	:	
CO ₂	:	Dioxyde de carbone
CPE	:	Comité de Points d'Eau
CTE	:	Comité Technique de l'Eau
CVD	:	Conseil Villageois de Développement
DGAEUE	:	Direction Générale de l'Assainissement des Eaux Usées et Excréta
DGAH	:	Direction Générale des Aménagements Hydrauliques
DGBH	:	Direction Générale des Bassins Hydrographiques
DGESS	:	Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles
DGM	:	Direction Générale de la Météorologie

DGRE	:	Direction Générale des Ressources en Eau
DGRH	:	Direction Générale des Ressources Hydrauliques
DREAHA	:	Direction Régionale de l'Eau, de l'Aménagement Hydraulique et de l'Assainissement
DRS	:	Défense et Restauration des Sols
FAO	:	Food and Agriculture Organisation/Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
GES	:	Gaz à Effets de Serre
GIP	:	Groupement d'Intérêt Public
GIRE	:	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
HFC	:	Hydro- Fluoro-Carbone
INERA	:	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
IRD	:	Institut de Recherche et de Développement
MAHRH	:	Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MCA	:	Millennium Challenge Account
MEAHA	:	Ministère de l'Eau, des Aménagement Hydraulique et de l'Assainissement
MECV	:	Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
MNT	:	Modèle Numérique de Terrain
N ₂ O	:	Protoxyde d'Azote
NEPAD	:	Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique
OCADES	:	Organisation Catholique pour le Développement et la Solidarité
OMC	:	Organisation Mondiale du Commerce
OMD	:	Objectifs du Millénaire pour le Développement
OMM	:	Organisation Mondiale de la Météorologie
ONEA	:	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
ONG	:	Organisation Non Gouvernementale
PAGIRE	:	Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PANA	:	Programme d'Action National d'Adaptation à la Variabilité et aux Changements Climatiques
PASE	:	Projet d'Accès aux Services Energétiques
PERCOMM	:	Promotion des Entreprises Rurales, de Construction Métallique et des

Mécaniciens

PFC	:	Hydrocarbures Per-Fluorés
PIB	:	Produit Intérieur Brut
PMH	:	Pompes à Motricité Humaine
PNUD	:	Programme des Nations Unies pour le Développement
RBCAH	:	Centre de Réhabilitation à Base communautaire des Aveugles et autres Handicapés
SAGE	:	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE	:	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SF6	:	Hexafluorure de soufre
SIAO	:	Salon International de l'Artisanat de Ouagadougou
SONABEL	:	Société Nationale Burkinabé d'Electricité
UE	:	Union Européenne
UEMOA	:	Union Economique Monétaire Ouest Africaine
UNESCO	:	United Nations, Educational, Scientific and Cultural Organization/ Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
WHC	:	Water Hydraulic Capacity/capacité de rétention en eau du sol
ZATE	:	Zones d'Appui Technique en Elevage

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5: Population de l'Espace de gestion de l'AEN selon le sexe et les groupes d'âges.....	33
Tableau 7: Demande en eau dans l'espace de gestion du Nakanbé.....	40
Tableau 9: Sites de prélèvements des eaux.....	69
Tableau 10: Coordonnées géographiques des sites d'études.....	71
Tableau 11: stations météorologiques utilisées.....	78
Tableau 12: Stations synoptiques.....	78
Tableau 13: Signification des couleurs d'une PVA.....	89
Tableau 14: Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance (1982).....	98
Tableau 15: Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance (1992).....	98
Tableau 16: Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance (2011).....	99
Tableau 65: Essai de comparaison des perceptions des différents groupes ethniques.....	113
Tableau 23: Comparaison des critères des différentes classifications paysannes des sols.....	Erreur !
Signet non défini.	
Tableau 24: Essai de corrélation des différentes classifications paysannes	.Erreur ! Signet non défini.
Tableau 49: Synthèse de l'inventaire des équipements agricoles.....	118
Tableau 57: Données de l'exploitation maraichère du barrage de Goinré.....	121
Tableau 58: Situation de la pression agricole sur les berges.....	123
Tableau 62: Synthèse des principales utilisations des ressources génétiques forestières et leur importance.....	124
Tableau 36: Typologie d'érosion dans l'espace de gestion du Nakanbé.....	130
Tableau 37: Evolution de l'occupation des terres du sous bassin entre 1992 et 2002.....	137
Tableau 38: Identification des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique.....	140
Tableau 39: Estimation de la dégradation spécifique du bassin du barrage de Lagdwenda.....	142
Tableau 40: Matrice de synthèse de l'évaluation des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique du sous-bassin versant de Nouaho nord.....	145
Tableau 41: Caractéristiques pédologiques du bassin.....	149
Tableau 42: Valeurs du facteur d'érodibilité.....	150
Tableau 43: Valeurs du facteur de couvert végétal.....	151
Tableau 44: Paramètres les plus sensibles du modèle.....	152
Tableau 45: Valeurs retenues des paramètres de calage.....	153
Tableau 46: Valeurs retenues du Cn2.....	153
Tableau 47: Bilan hydrologique simulé.....	155
Tableau 48: Bilan hydrologique annuel durant la période de validation (2004 – 2007).....	158
Tableau 30: Situation des enquêtés.....	164
Tableau 31: Matériel utilisé par les producteurs.....	165
Tableau 32: Pesticides rencontrés dans le Bassin du Nakanbé.....	165
Tableau 33: Perception paysanne sur l'impact néatif de l'agriculture sur le sol et l'eau.....	167
Tableau 34: Valeurs moyennes des paramètres des caractéristiques générales des eaux des barrages.....	168
Tableau 35: Valeurs moyennes des teneurs en Nitrates, ortho-phosphates et DBO5 dans les barrages de Goinré, Ziga et Bagré.....	168
Tableau 95: Récapitulatif de l'analyse de l'occupation des terres en 1982, 1992 et 2011.....	180
Tableau 96: Récapitulatif des résultats de superficies de trois cartes d'occupation des terres.....	193

Tableau 67: Types de dégradation des berges rencontrés sur le terrain	203
Tableau 68: Fréquence des espèces ligneuses selon l'âge des berges reboisées	214
Tableau 69: Hauteur et de la circonférence des ligneux selon l'âge des berges reboisées	215
Tableau 70: Composition granulométrique des sols des berges reboisées	216
Tableau 71: Caractéristiques chimiques des sols des berges reboisées	217
Tableau 72: Composition granulométrique des sols des demi-lunes.....	219
Tableau 73: Caractéristiques chimiques des sols aménagés en demi-lune	220
Tableau 74: Nombre moyen par m ² de vestiges ou d'individus de la macrofaune dans les parcelles aménagées de demi-lunes.....	221
Tableau 75: Fréquence des espèces ligneuses selon l'âge des demi-lunes.....	223
Tableau 76: Hauteur et de la circonférence des ligneux selon l'âge des demi-lunes	223
Tableau 77: Biomasse et taux de recouvrement des herbacées selon l'âge des demi-lunes.....	224
Tableau 78: Fréquence des espèces herbacées selon l'âge des demi-lunes	225
Tableau 79: Composition granulométrique des sols des cordons pierreux.....	226
Tableau 80: caractéristiques chimiques des sols aménagés en cordons pierreux	227
Tableau 63: Caractéristiques chimiques des sols étudiés	228
Tableau 64: Avenir des sols dans l'espace de gestion du Nakanbé.....	231
Tableau 81: Récapitulatif des activités des CLE de 2008 à 2013 financées par l'AEN.....	246
Tableau 82: Synthèse des impacts positifs des activités des CLE	253

LISTE DES FIGURES

Figure 4: Mode de gisement des eaux souterraines en milieu de socle cristallin au Burkina Faso	56
Figure 5: Site de Somyaga	83
Figure 6: Site de Sampéma	84
Figure 7: Schema conceptuel du modèle GR2M	94
Figure 48: Réponses à la signification du changement climatique à Lalgaye	107
Figure 49: Perception paysanne de la manifestation des changements climatiques à Lalgaye	108
Figure 43: Proportion des superficies exploitées pour le maraichage autour du barrage de Goinré ...	122
Figure 28: Evolution des hauteurs de pluie annuelles à la station de Tenkodogo	132
Figure 29: Relation pluie tombée sur le bassin et les pertes en sol.....	132
Figure 30: Relation entre hauteurs de pluie et pertes en terre.....	133
Figure 31: Evolution de lame de ruissèlement et du coefficient de ruissèlement de la Nouaho à la station de Bittou.	133
Figure 32: Comparaison de l'évolution des pertes en terres et du Kr	134
Figure 33: Corrélation entre les modules décennaux (1961-1975, 1976-1990 et 1991-2005) des pertes en sol et des Kr.....	135
Figure 34: Relation pertes en terre et coefficient de ruissèlement.....	135
Figure 36: Proportion de l'occupation des terres en 1992 et 2002	139
Figure 37: Evolution de la population et des superficies cultivées du sous bassin de Nouaho nord entre 1992 et 2050.....	147
Figure 38: Relation entre l'évolution de la population et des superficies cultivées du bassin de Nouaho nord entre 2008 et 2050	148
Figure 39: Ecoulements journaliers observés et simulés de la période 1998-2003	154
Figure 40: Courbe de corrélation entre les écoulements journaliers observés et simulés de la période 1998-2003	154
Figure 41: Ecoulements journaliers observés et simulés de la période 2004 à 2007.....	157
Figure 42: Courbe de corrélation entre les écoulements journaliers observés et simulés de la période 2004-2007	157
Figure 19: Variation de la teneur en nitrates dans le barrage de Goinré.....	169
Figure 20: Variation de la teneur en nitrates dans le barrage de Ziga	169
Figure 21: Variation de la teneur en nitrates dans le barrage de Bagré	170
Figure 22: Variation de la teneur en Ortho phosphates dans le barrage de Goinré	170
Figure 23: Variation de la teneur en Ortho phosphates dans le barrage de Ziga	170
Figure 24: Variation de la teneur en Ortho phosphates dans le barrage de Bagré.....	171
Figure 25: Variation de la DBO5 dans le barrage de Goinré.....	171
Figure 26: Variation de la DBO5 dans le barrage de Ziga	172
Figure 27: Variation de la DBO5 dans le barrage de Bagré	172
Figure 78: Occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1982	182
Figure 79: Occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1992	183
Figure 80: Occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 2011	185
Figure 81: Evolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992	188
Figure 82: Evolution des superficies d'occupation des terres dans l'espace de gestion du Nakanbé .	194
Figure 83: Evolution de la superficie moyenne de l'occupation des terres	195
Figure 84: Evolution des affleurements rocheux entre 1982, 1992 et 2011	196

Figure 85: Evolution des champs entre 1982, 1992 et 2011	196
Figure 86: Evolution des sols nus entre 1982, 1992 et 2011	197
Figure 87: Evolution de la végétation claire entre 1982, 1992 et 2011	198
Figure 88: Evolution de la végétation dense entre 1982, 1992 et 2011	199
Figure 89: Evolution de la superficie des cours et retenues d'eau dans l'espace de gestion du Nakanbé	200
Figure 57: Schéma simplifié de l'approche de reforestation par le PAGEV	213
Figure 58: Effectif des espèces ligneuses selon l'âge des berges reboisées	214
Figure 59: Effectif des espèces ligneuses selon l'âge des demi-lunes.....	222
Figure 45: Production cumulée du CO2 des sols de 08 ans d'âge d'exploitation	230
Figure 46: Respirométrie des échantillons de sol de 14 ans d'âge d'exploitation.....	230
Figure 47: Respirométrie des échantillons de sol de 24 ans d'âge d'exploitation.....	230
Figure 51: Réponses aux effets et impacts des Changements climatiques sur les systèmes agricoles	235
Figure 52: Perception paysanne des effets des changements climatiques sur l'élevage.....	236
Figure 53: Perceptions paysannes des effets de chngement climatique sur la pratique de la sylviculture.....	236
Figure 60: Activités de CLE de 2008 à 2013.....	248
Figure 61: Plants mis en terre par les CLE en 2008-2013	249
Figure 62: Bilan des cordons pierreux mis en place par les CLE.....	250
Figure 63: Bilan des pistes à petail réalisées par les CLE	252

LISTE DES CARTES

carte 1: Sols de l'espace de gestion du Bassin du Nakanbé.....	27
carte 2: Aires protégées dans l'espace de gestion du Nakanbé.....	30
carte 3: Situation géographique du Burkina Faso par rapport à l'Afrique de l'Ouest	52
carte 4: Espaces de compétence de gestion des ressources en eau du Burkina.....	53
carte 5: Sous bassin versant de l'espace de gestion du Nakanbé.....	54
carte 6 Régions de l'espace de gestion du bassin du Nakanbé	55
carte 7: Géologie de l'espace de gestion du nakanbé (espace du SDAGE).....	57
carte 8: Géomorphologie de la zone d'étude	58
carte 9: Zones climatiques de l'espace de gestion du Nakanbé.....	59
carte 10: Domaines phytogéographiques	61
carte 11: Densités de population au niveau de l'espace de gestion du Nakanbé.....	63
carte 16: Localisation des points de prélèvements des eaux et des sols	70
carte 17: Localisation des sites d'étude.....	71
carte 18: Occupation des terres en 1992 et en 2002 dans le sous bassin Nouaho nord	137
carte 19: Vulnérabilité du sous bassin de Nouaho nord.....	143
carte 20: Densité de la population du sous bassin Nouaho Nord.....	144
carte 21: Unités des sous bassin de la Nouaho nord	144
carte 22: Pertes moyennes en terre sur le bassin versant de la Nouaho durant la période de calage (1998-2003).....	156
carte 23: Manque de représentation spatiale de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1982.....	182
carte 24: Représentation spatiale de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1992.....	184
carte 25: Représentation spatiale de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1992	184
carte 26: Représentation spatiale de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 2011	186
carte 27: Représentation spatiale de l'évolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992	189
carte 23: Espace potentiel CLE dans le bassin Nakanbé	245

LISTE DES PHOTOS

Photo 15 : Labour en billon dans le sens de la pente et labour dans le mauvais sens de la pente	120
Photo 16 : Pratique agriole sur les berges des barrages	122
Photo 17 : Terres dégradées au centre nord	205
Photo 18 : Elargissement des berges de cours d'eau	206
Photo 19 : Sédimentation de cours d'eau.....	206
Photo 20 : Eboulement des talus de berges.....	207
Photo 21 : Ravinement des terres amonts de retenues d'eau	207
Photo 22 : Tranchée sur les berges du barrage de Ziga	208
Photo 23 : Plants mis en terre sur le barrage de Kolguéguéssé	249

Veiller corriger adans le texte

INTRODUCTION GENERALE

L'importance de l'eau n'est plus à démontrer pour l'environnement et la vie humaine et animale. Dans un pays sahélien, comme le Burkina Faso, défavorisé par le climat, l'eau et la terre sont des éléments stratégiques dans une optique de développement durable, de sécurité alimentaire et de croissance. Mais force est de reconnaître que le Burkina Faso, à l'instar des autres pays sahéliens, connaît depuis les années 1970 une phase de sécheresse prolongée qui s'est surtout traduite sur le plan climatique par une baisse de la pluviométrie annuelle avec une descente en latitude des isohyètes interannuelles et une diminution du nombre de jours de pluie (surtout aux mois de juillet et août). Cette phase de sécheresse due à une péjoration climatique s'est accompagnée d'une dégradation des sols, perte de biodiversité, de la disparition de la végétation, de la désertification accélérée par des fortes pressions anthropiques sur les ressources naturelles : extension des surfaces cultivées, techniques culturales inappropriées, durées de mise en jachère de plus en plus courtes, surpâturage, etc.). Au-delà des sécheresses et du climat (faible pluviosité, températures élevées, etc.), l'une des contraintes est la pression croissante (liée à l'augmentation de la population) qui s'exerce sur les sols cultivés et les terres marginales (sols de faible épaisseur, forte pente...) qui font de plus en plus l'objet de nouveaux défrichages (BUNASOLS, 1990). Cette situation est perceptible dans l'ensemble du bassin du Nakanbé qui a une superficie de plus de 60 000 Km² avec une population de plus de 7 000 000 d'habitants en 2010 soit plus de 41% de la population du Burkina. Il représente une zone à forte densité humaine (106 habitant/km²) avec une forte concentration des activités socio-économiques ayant une forte pression sur les ressources naturelles contribuant ainsi à la dégradation de l'eau et l'environnement. En plus de cette pression anthropique, on note celle naturelle liée aux phénomènes de variabilités et changements climatiques, toutes choses qui contribuent à la dégradation des sols, des ressources en eau, des ressources végétales et fauniques. Cette pression est donc à la base d'un déséquilibre au sein de l'écosystème naturel. En effet, au cours des dernières décennies, le climat a connu une perturbation dans sa globalité. Les facteurs principaux caractérisant le climat tels que les précipitations, le vent, la température connaissent une forte variation due aux phénomènes de variabilité et changements climatiques.

L'évolution pluviométrique au Sahel est caractérisée par deux périodes bien marquées : la période 1950-1969 qui a été marquée par une succession d'années humides et la période 1970-1993 par une persistance d'années sèches (Ali, 2010). La pluviométrie du bassin du Nakanbé connaît une variabilité spatiale et temporelle. Au Sahel, la pluie est de loin la variable climatique la plus déterminante pour la vie des populations ; certains auteurs considèrent qu'elle permet à elle seule de déterminer l'évolution de l'environnement dans cette région du monde (Ali, 2010). La variation pluviométrique induit des conséquences sur le sol, l'eau et la végétation. La baisse de la pluviométrie conduit à une diminution des ressources en eau de surface et souterraine. De même cette baisse pluviométrique influe sur le

développement de la végétation et conduit à augmenter l'aridification des sols. Les événements extrêmes devenant de plus en plus fréquents, ils augmentent l'érosion hydrique et donc la dégradation des terres (Hountondji, 2008). Les phénomènes tels que les inondations causent de graves conséquences sur la stabilité structurale des sols. Elles sont à la base d'une forte érosion des sols qui les conduisent à la perte de fertilité. Les sédiments de cette érosion contribuent à combler les cours d'eau et les retenues d'eau. Ce comblement réduit considérablement la pérennité et la durabilité des ressources en eau de l'espace du Nakanbé.

Ainsi selon Kambou et Zougmoré (1996), dans les zones centre et nord du Burkina Faso à l'image du reste du bassin du Nakanbé la dégradation accentuée du sol du fait des conditions pédoclimatiques actuelles en liaison avec les effets de la pression démographique et du surpâturage a entraîné la dénudation des glacis avec pour conséquence, l'apparition de sols nus, les zipella dont la place devient inquiétante au regard de l'insuffisance des terres cultivables.

Aussi, ce type de terrains seraient en voie d'expansion spatiale (Zombré et Sow, 1989 ; Kabore, 1995). Bien d'autres études révèlent cette forte expansion des sols en zone sahélienne et subsaharienne (Mietton, 1988). Cet auteur étudiant la dégradation des sols à l'aide des images satellitaires de 1975 dans la zone sahélo soudanienne du Burkina évalue l'extension des sols nus entre 10 et 20%.

Cette dégradation continue des sols et l'augmentation rapide de la démographie ont engendré une augmentation de la pression foncière (sur les autres sols utilisables) dans cette région avec pour corollaire, les conflits entre propriétaires terriens et les agriculteurs, conflits, agriculteurs-éleveurs, conflits entre les acteurs de cultures irriguées sur les plaines aménagées et ceux des cultures saisonnières sous pluie qui sont dépossédés de leurs meilleures terres au profit des cultures de rente.

La solution pour freiner cette dégradation continue des ressources naturelles et atténuer les conflits sociaux passe par une approche holistique qui favorise le développement et la gestion coordonnée de l'eau et des ressources connexes à l'intérieur des limites d'un bassin versant en vue d'optimiser, de manière équitable, le bien-être économique et social qui en résulte, sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux. Dans un tel contexte et en vue de donner les moyens d'action à l'Agence de l'Eau basée sur une bonne connaissance scientifique des phénomènes de dégradation des ressources naturelles en lien avec les changements climatiques, a été entreprise depuis 2010 sur le thème « *Pratiques agro-sylvo-pastorales d'adaptation aux changements climatiques: effets et impacts sur les ressources en sols et eaux dans le bassin du Nakanbé au Burkina Faso* ».

La présente étude a pour objectif général, d'étudier la dynamique de la dégradation des sols dans le bassin et son impact sur les ressources en eau en relation avec les pratiques agro-sylvo-pastorales

d'adaptation aux changements climatiques où les problèmes de disponibilité des terres cultivables sont exacerbés par une péjoration climatique et une forte pression foncière et démographique. Elle permet en outre d'évaluer l'impact des techniques de CES sur la restauration de la fertilité des sols et sur la préservation des ressources en eau dans le bassin à travers une étude zone par zone. De façon spécifique, il s'agit de:

- réaliser une analyse multi-chronique des modifications du paysage en vue de mesurer l'ampleur de la dégradation des sols, des écosystèmes et du phénomène d'ensablement (envasement) et ou modification du réseau hydrographique du bassin du Nakanbé.
- évaluer l'évolution des pratiques agro-sylvo-pastorales en liaison avec les changements climatique ou variation climatique.
- analyser la perception paysanne des causes de dégradation des ressources naturelles et les remèdes à apporter en lien avec les changements climatiques.
- Analyser quelques caractéristiques physico-chimiques de l'eau.
- Évaluer l'impact de certaines techniques locales sur la régénération de la végétation herbacée et ligneuse ainsi que sur l'érosion dans les aires sylvo-pastorales dégradées

Les hypothèses de cette étude sont que :

- Une analyse multi-chronique des modifications du paysage permet de mesurer l'ampleur de la dégradation des sols, des écosystèmes et du phénomène d'ensablement (envasement) et ou la modification du réseau hydrographique du bassin du Nakanbé.
- Les pratiques agro-sylvo-pastorales ont évolué avec les changements climatiques ou la variation climatique.
- La perception paysanne des causes de dégradation des ressources naturelles peut aider à une meilleure adaptation aux changements climatiques.
- Les pratiques agrosylvopastorales en cours influent négativement sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

La présente thèse tentera de donner des réponses à ces préoccupations selon le plan suivant :

Une introduction générale qui pose la problématique de gestion des ressources en eau, des sols, et des ressources connexes en relation avec les changements climatiques et annonçant les hypothèses de travail.

Une première partie qui concernera la revue bibliographique et généralités en vue d'appréhender la réalité du terrain en relation avec le thème central

Une deuxième partie qui traitera de la méthodologie et le cadre de l'étude

Puis, une troisième partie qui abordera les pratiques agrosylvopastorales d'adaptation au changement climatique et leurs conséquences

Ensuite, la quatrième partie qui est consacrée aux effets et impacts des changements climatiques sur les ressources en eaux et sols ainsi que les solutions.

Et enfin, une conclusion générale qui posera la grande question de savoir si la GIR (Gestion Intégrée des Ressources) n'est pas panacée ?

PARTIE I :

ETAT DE L'ART

INTRODUCTION PARTIELLE

En Afrique de l'Ouest et particulièrement dans les pays sahéliens, la majorité de la population vit en milieu rural et tire l'essentiel de ses moyens de subsistance de l'exploitation des ressources naturelles (Bilgo, 2005). Le Burkina Faso à l'instar des pays sahéliens, enclavé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, a une économie essentiellement basée sur la production agropastorale. Plus de 77% de la population vit en milieu rural ; les secteurs de l'agriculture et de l'élevage constituent leur première occupation. Ces deux secteurs emploient 86% de la population active, contribuent à 30% au Produit Intérieur Brut (PIB) et cumulent 80% des recettes à l'exportation (Ouattara et al., 2006). Avec un taux de croissance annuel de la population de plus de 3%, il existe de plus en plus une pression importante exercée sur les ressources naturelles. Ce taux de croissance annuel élevé cause de sérieux problèmes de gestion des ressources naturelles et contribue à créer un déséquilibre entre les besoins et la disponibilité en ressources naturelles notamment l'eau et le sol.

Pour la présente étude qui traitera des « *Pratiques agro-sylvo-pastorales d'adaptation aux changements climatiques: effets et impacts sur les ressources en sols et eaux dans le bassin du Nakanbé au Burkina Faso* », il apparaît important de faire une synthèse bibliographique afin de mettre à jour l'état des connaissances y relatives. Cela a l'avantage de savoir ce qui est fait dans ce domaine afin de mieux préciser le champ de notre étude.

Ainsi, cette première partie traitera des sols, des ressources en eau et leur gestion, des changements climatiques ainsi que des systèmes production agricole, pastorale et sylvicole organisée en deux chapitres comme suit :

- Chapitre 1 : les sols et les systèmes de production agricole, sylvicole et pastorale
- Chapitre 2 : les ressources en eau, leur mode de gestion et les changements climatiques dans le bassin du nakanbé.

CHAPITRE I: LES SOLS ET LES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE, SYLVICOLE ET PASTORALE

Les ressources édaphiques sont diversifiées dans l'espace de gestion du Nakanbé. Elles sont caractérisées par les facteurs climatiques et environnementaux. Dans la majorité des systèmes de production rencontrés au Burkina Faso, le sol constitue le support, ce qui lui confère un rôle capital. Quant aux systèmes de production, ils vont de l'extensif à l'intensif et du type traditionnel au type moderne.

1.1 ETAT QUALITATIF DES SOLS

La grande sécheresse des années 1970-1980 qu'a connu le Burkina Faso s'est accompagnée d'une péjoration des ressources édaphiques du pays (Albergel et al., 1993).

La situation de l'espace de gestion du Nakanbé n'est guère reluisante. Les ressources édaphiques y ont été durement affectées. La dégradation du couvert végétal a entraîné une diminution drastique de la diversité biologique réduisant ainsi le capital productif des sols, pourtant considérés comme le principal support d'activités socio-économique d'une population agricole.

Important réservoir d'eau et de nutriment, le sol devrait mieux assurer le ruissellement, l'infiltration et le stockage des eaux de pluies dans l'espace du Nakanbé. Mais l'érosion hydrique a longtemps causé des pertes de sol avec de graves répercussions sur les potentialités agricoles des terres. Les sédiments résultant de l'érosion hydrique provoquent la turbidité de l'eau dans les cours d'eau et les lacs, et l'accumulation de sédiments dans le temps réduit le volume des lacs et des réservoirs. Les éléments nutritifs des végétaux et les pesticides dissous dans les eaux de ruissellement et liés aux particules de sol érodées peuvent polluer les eaux de surface et nuire aux organismes vivants.

L'espace de gestion du Nakanbé étant une zone de transition entre le sahel et la zone forestière, les activités économiques y sont très importantes surtout l'élevage et l'agriculture. Les nombreux travaux réalisés dans la zone du bassin versant supérieur du Nakanbé font apparaître une rapide progression des zones cultivées et l'apparition des sols nus au détriment de la formation végétale naturelle (Borrell, 2000). Cette diminution est le plus souvent irréversible, et les sols se retrouvent sans aucune protection antiérosive sous l'action de l'agressivité climatique. Il s'y développe des croûtes de battances ou des taches d'induration, qui favorisent l'érosion et le ruissellement de ces zones. Cette situation est beaucoup plus cruciale au niveau de la région du Centre-Nord, qui selon Zombre (2003), est caractérisée par un milieu éco pédologique contraignant et une pression démographique élevée. Aussi, le taux de croissance annuelle élevé cause-t-il de sérieux problèmes de gestion des ressources naturelles et contribue à créer un déséquilibre entre les besoins et la disponibilité en terres cultivables.

Ce phénomène se traduit sur le terrain par une érosion des sols et par une dégradation des ressources renouvelables. Face à l'indisponibilité croissante des terres cultivables, la restauration des terres dégradées et la mise au point des systèmes d'utilisation des terres aptes à préserver les écosystèmes deviennent impérieuses (Some et al., 2004). Des fortes pressions sont exercées sur les sols agricoles dans le but d'obtenir de plus grandes récoltes. Cette forte pression sur les ressources du fait de l'intensification de l'agriculture, entraîne toujours une baisse du niveau de fertilité du sol (Sedogo, 1993). A travers l'utilisation excessive d'engrais minéraux et de l'emploi de divers types de produits phytosanitaires, les agriculteurs exploitent de manière intensive leurs champs au détriment de la jachère.

L'absence de couvert végétal consécutive sur les sols du Nakanbé renforce la vitesse de ruissellement. Selon Yacouba et al. (2002), le coefficient de ruissellement dans le Nakanbé peut atteindre 57% avec des pertes de terre de 5,5 T/ha/an.

L'intensification agricole entraîne une baisse du niveau de fertilité du sol. Bacye (1993), affirme que les cultures et surtout les pratiques culturales provoquent de profondes modifications des caractéristiques des sols. Les travaux de Sedego (1993) mettent en évidence la baisse de la matière organique dans les sols sous culture par rapport aux sols en jachère. Seules les différentes fumures organiques appliquées en combinaison à de fortes doses de fumures minérales permettent une croissance de la teneur en matière organique dans les sols sous culture.

Dans l'ensemble les sols sont acides (pHeau <5,63), traduisant des sols dégradés (Zombre, 2003 ; Dutordoir, 2006). L'augmentation de l'acidité avec l'âge de l'aménagement a été aussi observée par Zougmore en 2002. Selon Piéri en 1989, cette acidification serait due au remplacement des bases échangeables par l'aluminium sur le complexe argilo-humique.

1.2 TYPES DE SOLS DE L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE

L'espace de gestion du Nakanbé est caractérisé par une hétérogénéité pédologique due à la longue évolution géomorphologique et à la diversité de la couverture géologique.

La cartographie pédologique à 1/500 000 entreprise en 1966 par l'équipe de l'Orstom, révélait la grande diversité des sols de cette partie du pays ainsi que l'importante influence, non seulement des facteurs climatiques et géologiques, mais aussi de l'héritage géomorphologique et pédologique des climats anciens.

D'une manière générale, l'espace de gestion de l'Agence de l'Eau du Nakanbé dispose d'un potentiel de sols assez variés à vocation agricole qui se caractérisent, dans leur grande majorité par une carence marquée en phosphore limitant leur productivité. Ils peuvent être catégorisés en sept grands groupes selon le système de classification français (CPCS, 1967).

1.2.1 Groupe des sols minéraux bruts : lithosols

Ils représentent l'ensemble des affleurements rocheux et cuirassés. Ce sont des sols squelettiques, très peu épais (<10cm). Leurs surfaces présentent un recouvrement gravillonnaire voilant la cuirasse. La capacité de rétention en eau est quasi nulle sauf au niveau des diacses où peuvent pénétrer les eaux de pluie. Les teneurs en matière organique sont extrêmement faibles. L'érosion hydrique est très active sur les versants en raison des pentes généralement très fortes : 35 à 55% selon Bougère (1976). Il se développe alors une maigre végétation arbustive dont les débris organiques forment une mince litière très mal décomposée. Ils sont rencontrés principalement dans les régions du centre-nord et centre-sud. Leur intérêt agronomique, pastoral et sylvicole est quasi nul.

1.2.2 Groupe des sols peu évolués d'apport alluvial

Ce groupe ne renferme qu'un seul type de sol : les sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes. Ce sont des sols profonds (>120cm), à drainage interne déficient, constitués d'alluvions. La texture est limono-sableuse en surface, argilo-limoneuse en profondeur. C'est principalement dans les régions du centre-nord et du centre-sud que les sols peu évolués sont plus rencontrés.

1.2.3 Groupe des sols bruns eutrophes tropicaux

Ce groupe se compose des sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisés, des sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques et des sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes. Ce sont des sols profonds (>120cm). En surface, la texture est limono-argileuse, argileuse en profondeur. La structure est de type prismatique. Ils présentent une fertilité minérale élevée (capacité d'échange cationique, bases échangeables). La capacité de rétention en eau utile est bonne en raison de la prédominance d'argile gonflante de type montmorillonitique. Cependant, ils accusent des carences en azote et en phosphore.

1.2.4 Groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés

Ce groupe occupant la moitié sud du bassin. Les types de sols qui le composent sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions, les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions et les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés. Ces sols affichent des potentialités agro-sylvo-pastorales assez appréciables.

Les sous groupes :Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions

Ce sont des sols profonds (>120cm). La texture est limono-sableuse en surface, limono-argileuse à argileuse en profondeur. La structure est massive. La charge graveleuse est élevée (60%). La capacité

de rétention en eau est moyenne. Ces sols ont une faible fertilité chimique. En effet, les teneurs en matière organique, en azote, en phosphore et en potassium sont très faibles. Leur sensibilité à l'érosion est forte. Ces sols se retrouvent au nord du bassin, au nord-ouest et dans la région du centre-sud.

Les sous groupes :Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés

Ils se caractérisent par la présence d'une cuirasse ou d'une carapace à des profondeurs variables. On distingue alors :

- les sols ferrugineux lessivés indurés superficiels (0-20cm) ;
- les sols ferrugineux lessivés peu profonds (20-40cm) ;
- les sols ferrugineux lessivés indurés moyennement profonds (40-60cm) ;
- les sols ferrugineux lessivés indurés profonds (>60cm).

Ce sont des sols pauvres en matière organique, en azote phosphore et potassium. La réserve en eau utile est faible.

1.2.5 Groupe des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley

Ce groupe de sol ne renferme que des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface. Les sols hydromorphes évoluent sous l'influence d'un excès d'eau temporaire ou permanent. Ils sont aptes à la riziculture pluviale et irriguée et au maraîchage. Ils sont localisés dans les parties basses du relief généralement dans les bas-fonds et les plaines alluviales. Ce sont des sols profonds, limono-sableux en surface, argileux en profondeur. Le drainage est déficient. La capacité de rétention en eau est bonne. La fertilité chimique est moyenne. Ils sont beaucoup plus rencontrés dans les localités de Zoudwéogo, Yatenga, Sanmatenga, Passoré, Oubritenga, Nahouri, Kouritenga, Ganzourgou, Bulkiemdé, Boulgou, Bam (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

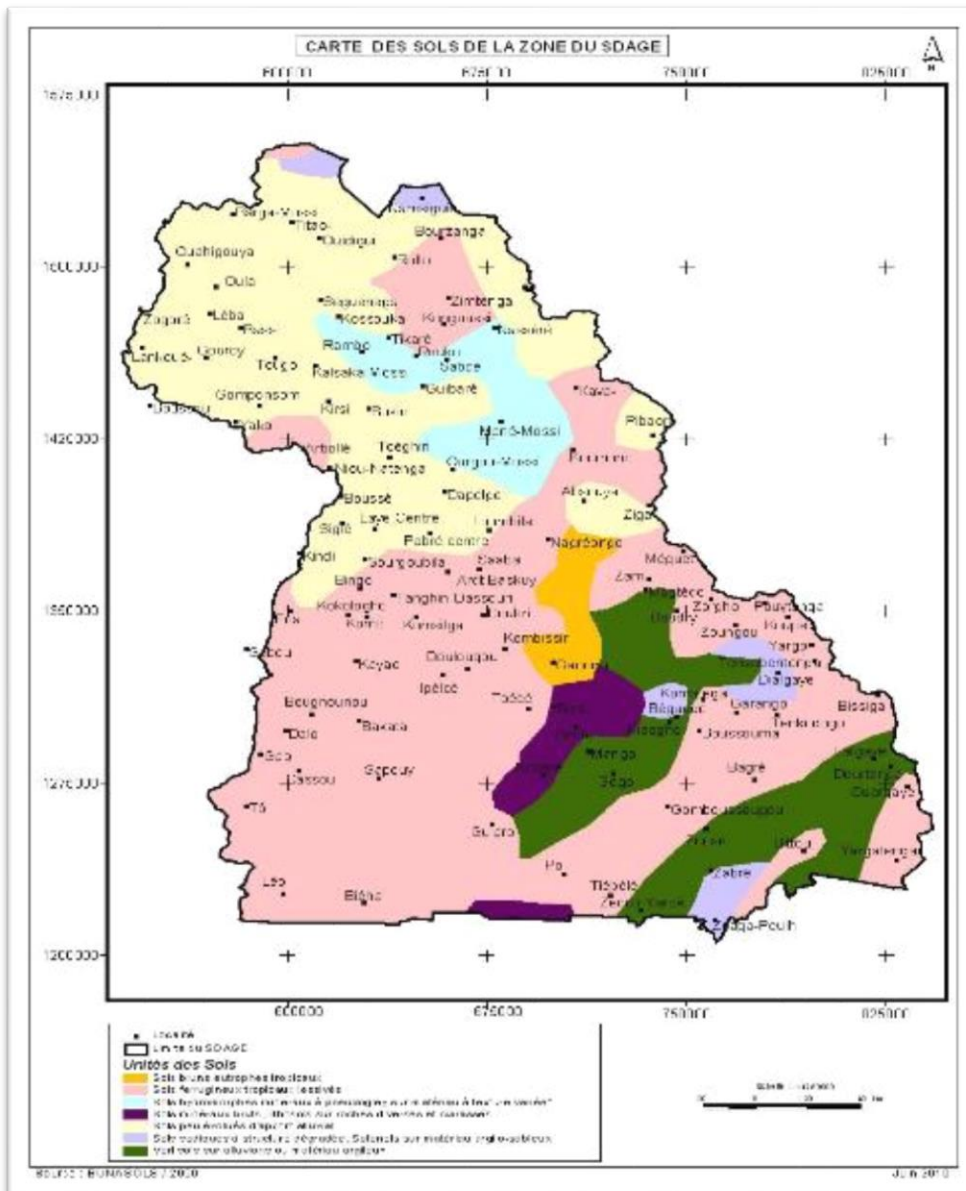
1.2.6 Groupe des vertisols non grumosoliques

Ce sont des vertisols sur alluvions ou matériaux argileux. De très bonne fertilité chimique, ce groupe est localisé dans la partie sud de bassin dans la zone de Manga et au sud de Bagré notamment dans les régions du centre sud et du centre est de l'espace de gestion du Nakanbé (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

1.2.7 Groupe des sols sodiques

Faiblement représentés sur le bassin, ces sols se caractérisent par leur salinité impropre à la culture. On les retrouve dans la zone de Dialgayé, au sud de Zabré et dans la zone de Namsiguia.

Les différents types de sols de l'espace de gestion du Nakanbé sont indiqués sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** suivante.



carte 1: Sols de l'espace de gestion du Bassin du Nakanbé

Les ressources édaphiques disponibles dans l'espace de gestion du Nakanbé font l'objet d'une grande pression au regard de la forte demande due à l'augmentation de la population. En outre, les autres usages comme l'agriculture, l'élevage et la sylviculture, de part les systèmes de production qui sont adoptés, semblent jouer un grand rôle dans la dégradation des ressources édaphique

1.3 CLASSIFICATION DU SYSTEME DE PRODUCTION

Le système de production est l'ensemble structuré des facteurs de production combinés entre eux pour amener une production végétale et/ou animale à satisfaire les objectifs des responsables de la

production. Les objectifs de l'exploitation sont soit la subsistance de la famille et/ou la production commerciale.

Le système de production comprend les sous-systèmes suivants :

- le système d'élevage qui peut être défini comme le « mode d'exploitation des ressources végétales d'un espace donné par des animaux dans des conditions compatibles avec les objectifs de l'agriculteur et les contraintes du milieu.» ;
- le système de culture qui correspond « à un ensemble de parcelles cultivées de façon homogène et se définit par l'ensemble des cultures et leur ordre de succession et l'itinéraire technique. C'est-à-dire la combinaison logique et ordonnée de différentes techniques appliquées à une culture en vue d'atteindre un objectif donné de rendement.»

1.3.1 TYPOLOGIE DU SYSTEME DE PRODUCTION

Le système de production dominant est le système extensif ou traditionnel. Ce système se caractérise par une faible utilisation des équipements modernes de production et des intrants agricoles. Il laisse peu d'espace pour les usages pastoraux et occasionne souvent des conflits entre agriculteurs et éleveurs. Toutefois, le système de production intensif, caractérisé par l'utilisation de la culture attelée et des intrants est pratiqué sur les périmètres irrigués par les coton-culteurs.

1.3.2 LES SYSTEMES DE PRODUCTION PASTORALE DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE

La deuxième activité qui occupe les populations du bassin versant du Nakanbé est l'élevage. Il constitue également une source de revenu des producteurs après l'agriculture. Il est pratiqué en association avec l'agriculture ; ainsi ces deux activités permettent aux populations du bassin versant d'assurer l'essentiel de leurs besoins de base. Les effectifs du cheptel dans le bassin versant sont relativement élevés et sont constitués de bovins, d'ovins, de caprins, de porcins, d'asins et de volailles. Eu égard à la variabilité des conditions écologiques, les systèmes d'élevage du Burkina sont caractérisés par une grande diversité. Cette diversité s'explique aussi par les facteurs sociaux, culturels et économiques. L'état des lieux des ressources en eau du Nakanbé établi en 2010, Par qui ? dresse une typologie des systèmes d'élevage en :

- Le Système extensif transhumant ou pastoral qui concerne l'élevage des bovins et se caractérise par une forte mobilité du troupeau au gré des saisons et de la disponibilité du

pâturage et de l'eau ; Il s'agit d'un système à faible utilisation d'intrants. Les concentrés alimentaires (sous-produits agro-industriels) ne sont pas utilisés ou le sont seulement en période de crise fourragère aiguë pour soutenir les animaux faibles. Le Système agropastoral ou système intégré agriculture-élevage qui se caractérise par la prédominance d'un élevage de type familial basé sur l'exploitation des animaux à cycle court (ovins, caprins, porcins, volailles) en complément à la production végétale qui demeure l'activité principale des acteurs. La spécificité de ce système est basée sur l'exploitation opportuniste des ressources fourragères selon une chaîne de pâturage annuelle combinant judicieusement 5 saisons de pâturage et les différents types de parcours en présence ;

Le Système sédentaire semi intensif ou intensif qui se caractérise par l'orientation de la production vers le marché avec une tendance à la modernisation de l'environnement de production (infrastructures, alimentation, soins vétérinaires, etc.) et il est localisé soit à l'intérieur, soit autour des centres urbains (Kombissiri, Manga, Pô). Les principales espèces concernées par ce type d'élevage sont les bovins (lait et viande), les ovins (viande), les poules (œufs) et les porcs (viande). Le profil des acteurs est de plus en plus diversifié : éleveurs traditionnels, commerçants, fonctionnaires et promoteurs privés.

1.3.3 LES SYSTEMES DE PRODUCTION SYLVICOLE

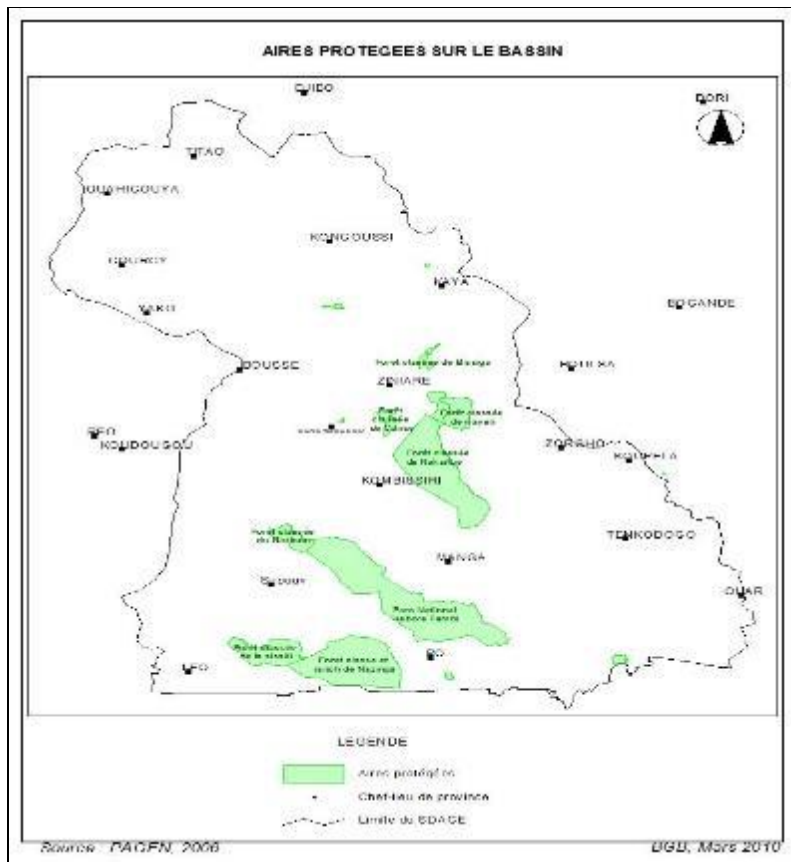
Le système de production sylvicole est régi par le Programme National d'Aménagement des Forêts (1996) dont l'objectif global est l'établissement d'une exploitation équilibrée des ressources forestières du pays dans l'optique d'un développement durable. Il vise entre autres :

- la valorisation des ressources forestières par une exploitation rationnelle, la réhabilitation des ressources forestières dégradées, la génération d'emplois et de revenus en milieu rural, la contribution à l'organisation et à l'exploitation des terroirs villageois

L'espace de gestion du Nakanbé regorge l'exploitation équilibrée nécessite également la création des aires classées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) dont certaines sont aménagées ou sont en aménagement. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** donne la localisation des aires aménagées dans le bassin tandis que le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** donne les informations sur le statut, la superficie, les plans d'aménagement et de gestion, les sources de financement, ...

Selon la DIFOR (2009), en plus de ces aires protégées, de nouveaux aménagements sont prévus dans les Régions du Centre et du Centre-Ouest, dans le cadre du Projet d'Appui au Secteur de l'Energie – Phase de sortie (PASE Ω) financé par le royaume du Danemark. Cette dynamique se poursuivra avec

l'intervention du Projet d'Accès aux Services Énergétiques (PASE)/Composante « Biomasse énergie » financé avec le concours de la Banque Mondiale.



carte 2:Aires protégées dans l'espace de gestion du Nakanbé

L'espace de gestion du Nakanbé abrite de nombreuses pépinières forestières fonctionnelles. L'analyse de la situation faite par la Direction des forêts en 2009 indique que le bassin du Nakanbé abrite 29 pépinières étatiques soit 28% du total national et 1146 pépinières privées soit 64% du total national ce qui témoigne d'un engouement du secteur privé dans la zone pour les actions de production de plants et sans doute pour le reboisement. D'ailleurs on constate que le secteur privé contribue pour 83% au taux de réalisation de la production annuelle en plants. Enfin il convient de signaler qu'en dehors de la région du plateau central, dans les régions du bassin du Nakanbé, la production des plants est très largement en dépassement par rapport aux prévisions donnant un taux de réalisation moyen de 158% qui est supérieur mais assez proche de la moyenne nationale qui est de 152% pour la même période.

Les types de végétation rencontrés sont variables et vont des formations ripicoles notamment les forêts galeries le long du cours d'eau aux différents facies de savanes et les parcs agroforestiers. Comme exemple d'espèces on peut citer au niveau des formations ripicoles *Mitragyna inermis*, *Kaya senegalensis*, *Mimosa pigra* (qui est une espèce envahissante dont la prolifération peut réduire la superficie des plans d'eau accessible aux pêcheurs) et au niveau des savanes on a entre, autres, une

diversité de combrétacées et d'Acacia. Les parcs agroforestiers sont quant à eux composés d'espèces issues des sélections des producteurs pour leurs usages multiples tels que *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata*, *Lannea microcarpa*, ... La strate herbacée terrestre est dominée par les graminées parmi lesquelles *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon shoenanthus*, etc.

Concernant les caractéristiques de la ripisylve des relevés effectués sur les berges du cours d'eau Nakanbé (Lamizana, 2009) ont permis de dénombrer 124 espèces réparties dans 40 familles. Lors de ces relevés, il a été noté les proportions suivantes pour les différentes familles : Poaceae (18%), Fabaceae (11%), Rubiaceae (7%), Mimosaceae (5%), ensemble Asteraceae, Caesalpiniaceae et Malvaceae (4%). L'étude a révélé une préférence de certaines espèces pour l'amont du cours d'eau, telles que *Daniellia oliveri* et *Moghania faginea* tandis que d'autres, telles que *Crateva adansonii*, *Mimosa pigra*, et *Ziziphus spina christi* préfèrent l'aval. Les espèces remarquables des formations ripicoles sont *Crateva adansonii*, *Mitragyna inermis*, *Daniellia oliveri*, *Moghania faginea*, *Ziziphus spina christi*, *Dyschorite perrottetti*, *Glinus lotoides*. L'étude des associations des zones humides amont et aval du Nakanbé (Ouédraogo, 2002) permet de distinguer plusieurs associations et groupements végétaux.

1.4 LA PRESSION DES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES SUR LES RESSOURCES ENVIRONNEMENTALES

En Afrique de l'Ouest et particulièrement dans les pays sahéliens, la majorité de la population vit en milieu rural et tire l'essentiel de ses moyens de subsistance de l'exploitation des ressources naturelles (Bilgo, 2005). Le Burkina Faso à l'instar des pays sahéliens, enclavé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, a une économie essentiellement basée sur la production agropastorale. Plus de 77% de la population vit en milieu rural ; les secteurs de l'agriculture et de l'élevage constituent leur première occupation. Ces deux secteurs emploient 86% de la population active, contribuent à 30% au Produit Intérieur Brut (PIB) et cumulent 80% des recettes à l'exportation (Ouattara *et al.*, 2006). Avec un taux de croissance annuel de la population de plus de 3%, il existe de plus en plus une pression importante exercée sur les ressources naturelles. Ce taux de croissance annuel élevé cause de sérieux problèmes de gestion des ressources naturelles et contribue à créer un déséquilibre entre les besoins et la disponibilité en ressources naturelles notamment l'eau et le sol.

En effet, pour subvenir aux besoins alimentaires de la population qui ne cesse de croître, de fortes pressions sont exercées sur les sols arables dans le but d'obtenir de meilleures productions. L'intensification agricole au Burkina se concentre dans les bassins versants des cours d'eau en particulier ceux du Nakanbé qui sont les lieux propices pour leur développement ainsi que de la pratique de l'élevage. Cette diminution est le plus souvent irréversible, les sols se retrouvent sans aucune protection antiérosive sous l'action de l'agressivité des phénomènes climatiques.

De l'utilisation excessive d'engrais minéraux et de divers types de produits phytosanitaires (pesticides) est faite par les agriculteurs exploitant de manière intensive leurs champs au détriment de la jachère. Cette exploitation n'est pas sans conséquences sur les ressources sol et eau du fait des mauvaises pratiques agricoles. Les sols qui sont surexploités sans des actions de maintien de fertilité se dégradent. La dégradation des sols est due à de nombreux facteurs, dont les phénomènes climatiques extrêmes (la sécheresse, les inondations, les vents forts, la forte température, etc.), et les activités humaines néfastes à leur qualité et leur utilité. Ceci a une incidence négative sur la production agroalimentaire, les moyens de subsistance et la production et la fourniture d'autres biens et services éco systémiques (WHO, 2011).

Plusieurs études réalisées dans les zones cotonnières révèlent une contamination des sols par les pesticides (Topan, 2005 ; Savadogo et *al.*, 2006 ; Nare, 2010). Le développement de l'agriculture irriguée autour des réservoirs dans l'espace de gestion du Nakanbé et les mauvaises pratiques de fertilisation organo-minérale des cultures affectent la qualité physico-chimique des eaux de surface. Les différents travaux réalisés ont mis en évidence la relation entre les pratiques agricoles autour des réservoirs et la présence des nitrates, des phosphates et des sulfates dans des retenues d'eau du Nakanbé (Loumbila et Mogtédo) en période pluvieuse.

Depuis quelques décennies, ces conditions climatiques précaires ont contraint les agriculteurs à développer diverses initiatives de restauration des sols et d'amélioration de la productivité. Ainsi, jadis réservés au culte, à la cueillette et à la pêche, les bas-fonds constituent à ce jour des pôles d'attraction pour la pratique du maraichage et de la riziculture. Des techniques de conservations des eaux et des sols ainsi que l'utilisation des semences améliorées contribuent fortement à l'amélioration de la productivité agricole et de celle du fourrage des animaux.

Sur le terrain, les ressources mobilisables et effectivement mobilisées sont importantes mais globalement insuffisantes pour couvrir l'ensemble des demandes. Les résultats du bilan d'eau au cours des dernières décennies montrent que le Burkina peut être considéré en situation de pénurie chronique selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (Somé et *al.*, 2004). Aussi, la question de l'eau reste t- elle majeure en ce sens que la ressource est un facteur incontournable au niveau des différents secteurs sociaux (santé, culture, habitat) et de production (agriculture, élevage, mines, énergie, tourisme, industrie) qui sou tendent le développement du pays. Ainsi, on assiste à une pression importante sur cette ressource limitée. De ce fait la multiplication de tensions autour de la ressource eau entre pays devient une situation inévitable. Grâce à une prise de conscience internationale sur la valeur de l'eau, les tendances de gestion ont connu des changements. La conférence des nations unies sur l'eau de Mar del Plata en Argentine en Mars 1977 et celle de Dublin sur le développement durable en janvier 1992 en sont entre autres des initiatives d'amélioration et de

valorisation de la gestion de l'eau au niveau de tous les pays. Depuis les années 1990, les autorités burkinabè avec l'appui de ces partenaires au développement s'engagent sur un processus de réforme du cadre institutionnel qui marque une rupture avec la vision sectorielle de l'eau en consacrant la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) comme voie de résolution des questions liées à l'eau. « La gestion intégrée des ressources en eau est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau des terres et des ressources associées en vue de maximiser de manière équitable le bien-être économique et social qui en résulte, sans compromettre la durabilité d'écosystèmes vitaux (Global Water Partnership, 2000) ». Cette réforme d'ensemble du secteur de l'eau participe de la concrétisation de la « politique et stratégie en matière de l'eau » qui comprend entre autre les principes de la décentralisation, de la création de structures de gestion des ressources en eau par bassin versant et le principe de subsidiarité. Elle implique, en effet, l'ensemble des acteurs dans la gestion de la ressource eau : Etat, Collectivités Territoriales (CT), usagers, société civile, Organisation Non Gouvernementale (ONG).

En plus des facteurs naturels, d'autres facteurs interviennent dans la dégradation environnementale (eaux, sols et ressources connexes, notamment l'accroissement de la population et l'urbanisation rapide ; ces facteurs rendent de plus en plus difficile la gestion de la base de ressources naturelles sur laquelle repose l'économie de la région (Hountondji, 2008).

1.5 LA FORTE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE

La population résidente totale de l'ensemble des 7 régions de l'Espace de gestion de l'AEN a été estimée à 7.771.600 habitants en 2006 dont 4.080.315 femmes soit 52,50% de la population résidente totale (RGPH, 2006). La population active est d'environ 50,37% contre une population en charge de 49,63%.

Les caractéristiques démographiques générales de l'Espace de gestion de l'AEN sont synthétisées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 1: Population de l'Espace de gestion de l'AEN selon le sexe et les groupes d'âges

Régions	Population résidente au RGPH 2006							
	Hommes	Femmes	Total	% Femmes	0-14 ans	15-64 ans	65 ans ou +	Age N.D.
Centre	867 010	860 380	1 727 390	49,81	622 516	1 055 939	39 128	9 807

Régions	Population résidente au RGPH 2006							
	Hommes	Femmes	Total	% Femmes	0-14 ans	15-64 ans	65 ans ou +	Age N.D.
Centre-Est	529 333	602 683	1 132 016	53,24	548 249	533 142	45 248	5 377
Centre-Nord	565 986	636 039	1 202 025	52,91	589 095	562 882	42 813	7 235
Centre-Ouest	546 825	639 741	1 186 566	53,92	570 426	561 062	49 836	5 242
Centre-Sud	302 859	338 584	641 443	52,78	300 824	307 863	29 905	2 851
Nord	554 692	631 104	1 185 796	53,22	579 924	546 314	52 794	6 764
Plateau Central	324 588	371 784	696 372	53,39	336 088	326 778	29 617	3 889
Ensemble EC-AEN	3 691 293	4 080 315	7 771 608	52,50	3 547 122	3 893 980	289 341	41 165
Burkina Faso	6 768 739	7 248 523	14 017 262	51,71	6 499 211	6 969 953	473 611	74 487

Source : AEN, 2010

L'effectif total de la population l'Espace de gestion de l'AEN stricto sensus était de 6 131 179 habitants en 2006 contre 7 771 608 personnes pour l'ensemble des 7 régions relevant de l'Espace de gestion de l'AEN. Cette population représente 78,89% de l'ensemble de l'effectif des 7 régions.

Par ordre d'importance, on note que c'est la région du centre qui concentre la plus grande partie de la population de l'espace 28,17%. Cette forte concentration de la population dans la région du centre s'explique par le fait que Ouagadougou, la capitale politique du pays attire de nombreuses populations. La forte concentration de population accroît les besoins en ressources naturelles, notamment les ressources en eau (eau de boisson et eau de service) et forestières (bois énergie, bois de service, PFNL).

Une analyse de l'évolution de la population fait apparaître que le taux d'accroissement moyen annuel de la population de l'Espace de gestion de l'AEN a été de 3,10% sur la période 1996-2006. Il est sensiblement égal au taux national qui est de 3,12% pour la même période.

Suivant les données du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, on note une évolution moyenne de l'ensemble de la population. Toutefois, la dynamique d'accroissement de la région du Centre reste forte entre 2006 et 2012 et devrait se poursuivre jusqu'en 2025. Outre la région du Centre, les régions du Nord, du Centre-Nord et du Centre-Est connaissent une importante augmentation de la population. Cette dynamique de la population aura un impact certain sur l'utilisation des ressources naturelles (terres, végétations, eaux).

La densité moyenne de la population de l'Espace de gestion de l'AEN va croissant entre 2006 et 2012. Cette tendance devrait se poursuivre jusqu'en 2025. La densité de la population dans l'Espace de gestion de l'AEN est supérieure à celle de la population totale du pays. Ce qui traduit une forte concentration de la population du Burkina Faso dans l'Espace de gestion de l'AEN, notamment dans la région du Centre où la densité de population est de 790 habitants au Km². Cela s'explique par le fait que, Ouagadougou attire de nombreuses populations.

Cette forte concentration de population implique une forte demande de satisfaction des besoins primaires (alimentations et boissons), d'où un recours à l'utilisation des ressources naturelles vitales (terres, eau et végétation). En effet, on note une augmentation des zones agricoles si on se réfère aux données de l'occupation des terres qui indiquent que les superficies des zones agricoles sont passées de 3 585 000 ha en 1992 à 3 660 681 ha en 2002 soit une accroissement de 75 681 ha en l'espace de 10 ans. Ainsi, la consommation en eau implique évidemment une politique rigide de la gestion de l'eau dont l'application est rendue extrêmement difficile de par le manque de moyens financiers ainsi que par l'augmentation continue de la demande (Bechler-Carmaux et al., 1999).

Selon les données du rapport sur l'état de l'environnement au Burkina Faso (2007), l'espace de gestion de l'AEN serait confronté à un risque écologique majeur, dans la mesure où la biodiversité et la régénération des sols sont compromises lorsqu'on a une densité de 50 habitants/km². En effet, au-delà de 50 habitants/km², la productivité des forêts sèches ne permet plus de satisfaire les besoins énergétiques des populations, donc la consommation se fait sur les stocks disponibles. Si l'on tient compte de l'évolution des densités de la population, il apparaît que la pression sur les ressources forestières, notamment pour les besoins énergétiques vont s'accroître. De plus, dans nombre de pays de la sous-région ouest africaine, on note une certaine timidité des populations pour passer des systèmes traditionnels à faibles intrants vers des systèmes plus productifs; mais c'est compter sans les faibles potentialités des sols et les avatars climatiques qui imposent également de grandes contraintes à l'intensification agricole (Hountondji, 2008). Ainsi les ressources naturelles telles que les sols, les ressources en eau et les ressources végétales seront négativement affectées par cette pression démographique dans le sens où les besoins de développement vont s'amplifier. Cette pression démographique va aussi contribuer à aiguïser les effets des aléas climatiques sur les ressources

naturelles. Le changement de l'état de surface des terres va contribuer à accroître les risques d'inondations face aux fortes intensités de pluie. La pluie du premier septembre 2009 à Ouagadougou avec une lame d'eau de 300 mm a causé d'énormes dégâts environnementaux (dégradation des sols, rupture de barrages, déstabilisation des berges de cours d'eau) et humains.

Cette croissance incontrôlée de la population de l'espace de gestion du Nakanbé entraîne une croissance des activités socio-économiques dont les répercussions sur l'environnement sont énormes et non négligeables dans un contexte de rareté de la ressource environnementale.

Les systèmes de production agricole, sylvicole et pastorale sont nombreux et diversifiés. La robustesse des systèmes dépend des facteurs de production engagés. Les facteurs diffèrent spatialement et temporellement. Il convient donc de préciser que les perturbations environnementales peuvent être causées par les systèmes de production, la démographie. Ces facteurs influent également sur les changements climatiques et affectent outre les ressources édaphiques, les ressources en eau. L'Homme pour survivre est obligé de s'adapter.

CHAPITRE II: LES RESSOURCES EN EAU, LEUR MODE DE GESTION ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN DU NAKANBE

L'eau est indispensable à la vie, et il est au cœur de tous les secteurs de développement. Par ailleurs plusieurs facteurs compromettent l'accès à l'eau dont entre autres la croissance démographique, la production agricole, la pauvreté, la mauvaise gestion des ressources en eau, les troubles politiques sans occulter les aléas liés aux phénomènes de changements climatiques. Ce chapitre traitera essentiellement des ressources en eau (eau de surface, eau souterraine, eau météoriques...) de leur mode de gestion (notamment la GIRE, ses outils et son cadre Institutionnel) et les changements climatiques en relation avec les concepts et la manière dont ceci affectent l'homme et son milieu.

2.1 LES EAUX DE SURFACE

Le fleuve Nakanbé draine toute la partie centrale et le nord du plateau mossi et ne coule que pendant la saison des pluies. Les premiers écoulements intermittents peuvent se produire en mai, mais ce n'est qu'en juillet - Août que les débits deviennent permanents à la station de Wayen (Bassin versant de 20800 km²) et se renforcent vers l'aval pour atteindre à Bagré (33120 km²). La valeur moyenne des débits à Bagré est de 65,4 m³/s en juillet, 144,5 m³/s en août, 106,7 m³/s en septembre (AEN, 2010). A la sortie du territoire au sud, le Nakanbé conflue avec la Nouhao dont la superficie du bassin est de 4050 km² avec un débit moyen inter annuel de 9,63 m³/s (AEN, 2010).

Le bassin versant du Nakanbé contient un nombre impressionnant d'ouvrages (plus de 500 ouvrages) allant des ouvrages structurants aux retenues d'eau de faible capacité (DGRE, 2011). La capacité

totale de ces ouvrages est estimée à 2,2 milliards de m³. En matière d'eau de surface, les capacités techniques de suivi de l'espace de gestion du bassin du Nakanbé sont relativement correctes. La densité des stations de mesure n'est pas optimale partout mais on dispose tout de même de données assez bonnes sur l'ensemble de l'espace de gestion du bassin du Nakanbé pour évaluer les ressources disponibles. Le suivi des grands barrages est en général assuré correctement, mais en ce qui concerne la multitude des petits barrages, aucun suivi n'est conduit. La multiplication des ouvrages de mobilisation et l'intensification de leurs usages demandent cependant de renforcer le réseau hydrométrique afin d'améliorer le suivi des perturbations des écoulements naturels et des volumes prélevés. La modélisation des écoulements et des usages de l'eau de surface est un outil important pour améliorer l'estimation et le suivi des eaux de surface. Cependant, l'opérationnalité de ces outils pose vraiment problème en termes de ressources humaines disponibles et de pérennisation

2.2 LES EAUX SOUTERRAINES

En ce qui concerne les eaux souterraines, on estime les ressources totales dans le bassin du Nakanbé à environ 59 milliards de m³ dont une part d'eau utile de 6,2 milliards de m³, équivalant à une lame d'eau infiltrée de 102 mm, soit 13,4 % des précipitations moyennes.

Le problème majeur des ressources en eau réside dans la nature géologique des roches de l'espace du bassin du Nakanbé. Il s'agit essentiellement de roches cristallines qui ne sont pas aptes à contenir des aquifères épais, continus et productifs. Il en résulte que ce type de formation ne peut généralement fournir des débits importants (la médiane des débits des forages y est de 1 m³/h), impropres à satisfaire les gros besoins ponctuels, tels que les besoins des centres urbains, les besoins industriels ou les besoins de la grande irrigation.

Le réseau piézométrique national est peu développé et son suivi manque de rigueur. Ses données sont par conséquent peu fiables et peu utilisables. Les piézomètres hors d'usage ne sont pas réparés ou remplacés. Par ailleurs, vu le nombre existant de formations hydrogéologiques, le nombre de piézomètre est insuffisant pour une bonne connaissance de l'évolution des ressources en eau souterraine, en particulier des ressources en eau renouvelables.

De plus, la situation préoccupante des nappes qui ont nettement baissé au cours des dernières décennies impose d'assurer un suivi très rapproché et attentif des aquifères ; le réseau actuel de suivi est sur ce plan tout à fait insuffisant. La mise en place d'un réseau réellement représentatif et correctement exploité est une condition impérative pour la poursuite de l'exploitation des eaux souterraines dans un contexte de pénurie.

2.3 LES EAUX METEORIQUES

L'ensemble du bassin est arrosé par les mêmes précipitations que tout le territoire national. En effet deux (02) saisons pluvieuses alimentent le Burkina Faso :

- Saison des pluies
- Saison sèche

En se référant aux études de Sanou (1999) la région du Centre-Nord reçoit entre 400 et 900 mm d'eau. Fontes et Guinko (1995), en tenant compte de la pluviométrie annuelle (Pa) et du nombre de mois sec (Nms) et recevant moins de 50mm d'eau, ont pu distinguer trois types de climat dans le Centre- Nord :

- le type sahélien sud, Pa=400 à 600 mm et Nms= 7 à 9.
- Le type de transition sahélo-soudanien, Pa=600 à 700mm et Nms= 7 à 8, dans lequel est logé nos sites d'étude les villages de Loaga et Niénéga.
- Le type soudanien nord, Pa=700 à 800mm et Nms=6 à 7. Cependant la pluviométrie est très variable d'une année à l'autre et la tendance générale est à la baisse (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) En effet, l'analyse diachronique des cartes climatiques de Ouattara et al. (2006) montre, qu'il y a une modification profonde du tracé des isohyètes, caractérisée par la disparition des isohyètes 1400 et 1300 mm au sud du pays et l'apparition des isohyètes 400 mm et voire moins au nord. Cela traduit une baisse de la quantité de la pluviométrie. La pluviométrie est caractérisée non seulement par l'irrégularité des quantités d'eau tombée, mais aussi par une mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps. Cela a conduit à des sécheresses récurrentes et à des productions agricoles aléatoires. En plus de leur faible quantité, ces pluies sont à fortes intensités et développent une énergie cinétique, suffisante pour causer des dommages. L'intensité des pluies est le principal facteur du phénomène de ruissellement, entraînant une dégradation rapide de la structures du sol en surface (Micou et al., 1990, Gillobez et Zougmoré , 1990). Adéquation eau et besoin en eau dans le bassin

Globalement selon l'état des lieux des ressources en eau du Nakanbé (AEN, 2010), le principal problème des ressources en eau du bassin du Nakanbé est la pluviosité qui est à la fois faible et aléatoire. Depuis une cinquantaine d'années, la pluviosité a régulièrement baissé, avec des périodes de sécheresse accrue, spécialement dans les années 80. De plus, les précipitations sont souvent inégalement réparties, d'une année à l'autre et au cours d'une même saison des pluies.

De plus les eaux souterraines sont méconnues et limitées. Leur exploitation est plus consacrée à l'eau de boisson. En conséquence, le recours à l'eau de surface constitue le principal moyen de satisfaction des demandes en eau, avec tout ce que cela implique : les risques liés à une eau de mauvaise qualité bactériologique, les coûts élevés de mobilisation (barrages) et d'exploitation de l'eau (conduites, traitements physico-chimiques), la perte énorme d'eau par évaporation dans les barrages, les conflits potentiels avec les pays voisins pour la gestion des bassins partagés. Les volumes d'eaux de surface

moyens annuels disponibles très convoités deviennent de plus en plus insuffisants avec l'accroissement de la demande en eau. Les eaux de surface bien que limitées sont facilement renouvelables avec la pluie. En ce qui concerne les eaux souterraines, on estime les ressources totales dans le bassin du Nakanbé à environ 59 milliards de m³ dont une part d'eau utile de 6,2 milliards de m³, équivalant à une lame d'eau infiltrée de 102 mm, soit 13,4 % des précipitations moyennes.

Le bassin du Nakanbé concentre l'essentiel de la demande hydroélectrique en eau, et la pression de la demande sur les ressources est très forte, proche d'une situation de rupture de l'approvisionnement. La situation est moins grave pour les demandes consommatrices d'eau qui sont nettement moins importantes (eau potable, élevage, industrie et mines, irrigation).

Le document « Politique et stratégies en matière d'eau » adopté en 1998 par le Gouvernement évaluait la disponibilité théorique des ressources renouvelables à 1 750 m³/an/habitant, le seuil de pénurie étant habituellement fixé à 1 000 m³/an/habitant.

La réévaluation des ressources renouvelables faite dans le document d'état des lieux des ressources en eau de 2010 donne le chiffre de 352 m³/an/habitant, ce qui place le bassin du Nakanbé en dessous du seuil de pénurie.

En milieu rural, l'AEP se fait grâce à des puits et des forages réalisés par les projets d'hydraulique villageoise. Dans l'espace de gestion du bassin du Nakanbé, on dénombre plus de 13 145 forages équipés destinés. Les facteurs déterminants de la demande en eau potable sont la taille de la population, la consommation moyenne par jour et par individu et la saison. La demande en eau domestique est estimée à 76,4 millions de m³ par an.

- *La demande agricole* : l'essentiel de la demande agricole en eau est satisfait à partir des eaux de surface. L'irrigation se fait autour des barrages et retenues d'eau. L'eau utilisée pour le maraîchage provient souvent de puisards creusés aux abords des cours d'eau. La quantité d'eau utilisée pour l'irrigation est évaluée à 110 millions de m³ par an.
- *La demande pastorale* : comme pour l'irrigation, l'abreuvement du bétail se fait surtout à partir des eaux de surface. En saison sèche, les eaux souterraines assurent l'approvisionnement à travers les puits et forages dont l'équipement n'est pas parfois adapté à cet effet. En plus, les faibles débits des ouvrages ne permettent pas la satisfaction des besoins. En revanche, les ouvrages pastoraux à gros débit engendrent un surpâturage dans leur voisinage dû à l'afflux des troupeaux venus s'y abreuver.

Le volume d'eau nécessaire au bétail est estimé à 49,3 millions de m³ par an.

- *La demande industrielle* : la demande en eau industrielle est globalement faible mais on peut avoir des demandes ponctuelles très importantes qui varient dans le temps selon les types de production.

Elle est évaluée à 2 millions de m³/an. Les sites industriels sont localisés sont concentrés dans la région du Centre et les unités fortement consommatrices d'eau sont : les brasseries BRAKINA et BRAFASO et la tannerie TAN-ALIZ à Ouagadougou.

- *La demande hydroélectrique* : elle est estimée à 924 millions de m³ par an en moyenne : c'est la quantité d'eau turbinée par la centrale de Bagré. La particularité de la demande hydroélectrique est que l'eau turbinée peut être réutilisée à d'autres fins à l'aval, il ne s'agit donc pas d'une consommation au sens strict du terme. Cependant, le stockage des volumes d'eau nécessaires pour cette activité engendre une grande perte par évaporation et peut imposer de fortes contraintes pour les utilisateurs à l'amont afin de garantir le remplissage des barrages.
- *La demande minière* : dans la situation actuelle, les seuls sites miniers (surtout aurifères) en exploitation sont ceux de Kalsaka, Bissa God et de Burkina Mining Compagny (BMC) (Youga) et la demande en eau est significative.
- *Les autres demandes* : il s'agit de la pêche/pisciculture, la sylviculture, les loisirs, le tourisme, etc.

Ces secteurs ont des demandes en eau significatives et non négligeables en termes de prélèvement.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** résume, pour l'espace du bassin du Nakanbé, les estimations des ressources utilisables et des demandes en eau.

Tableau 2: demande en eau dans l'espace de gestion du Nakanbé

En milliards de m ³							
Ressources renouvelables utilisables		Demande consommatrice	% demande consommatrice par rapport aux ressources		Demande non consommatrice	% de la demande non consommatrice par rapport aux ressources	
année moyenne	Année très sèche		Année moyenne	année très sèche		Année moyenne	année très sèche
1,22	0,57	0,24	19,7	42,1	0,924	75,7	162,1

Au niveau international, un indice de pénurie d'eau a été proposé par l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (UNESCO) et l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM). Par rapport à cet indice (qui considère l'ensemble des usages de l'eau, c'est-à-dire y compris

l'usage hydroélectrique), on constate que l'espace du bassin du Nakanbé, avec un taux de 95,4 %, se trouve dans la quatrième classe, avec un indice de stress hydrique élevé ; cette situation résulte principalement des problèmes d'adéquation rencontrés du fait de l'importance de la demande hydroélectrique. Ce problème s'est déjà manifesté concrètement par les difficultés vécues par la Société Nationale Burkinabé d'Electricité (SONABEL) au cours des dernières années pour satisfaire ses besoins de turbinage, avec pour conséquence les périodes de pénurie d'énergie électrique qu'ont connues Ouagadougou et ses villes environnantes.

Face à cette situation, il est donc important d'adopter un mode de gestion conséquent des ressources en eau pour satisfaire durablement les besoins des différents secteurs d'activité.

2.4 LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (GIRE) DANS LE BASSIN DU NAKANBE

La gestion des ressources en eau constitue l'un des premiers éléments sur lequel l'adaptation au changement climatique devrait mettre l'accent (Sadoff et Muller, 2010). Mais cette gestion se veut particulière car la gestion sectorielle de l'eau a montré ses limites. L'environnement constitue un ensemble holistique et un hydro-système dont les composantes sont en interpellations. Gérer l'eau, c'est gérer l'environnement, les sols et la végétation sans quoi l'eau restera menacée. Le mot intégré dans la gestion de l'eau lui donne toute sa valeur et toutes les caractéristiques et fonctions qu'il faut pour assurer la préservation, la protection et la restauration durables des ressources en eau.

La gestion intégrée de ressources en eau est un processus systématique pour le développement durable, l'attribution et le suivi de l'utilisation des ressources en eau dans le contexte des objectifs sociaux, économiques et environnementaux (Cap-Net, 2005). La GIRE se veut la satisfaction des besoins actuels sans porter préjudice à celle des générations futures et est basée principalement sur trois piliers :

2.4.1 L'environnement habitant

Le socle juridique du secteur de l'eau du Burkina Faso a été construit dans la dynamique des réformes entreprises dans le cadre de l'adoption de l'approche GIRE comme voie de résolution des problèmes liés à l'eau.

En effet, c'est dans une perspective d'assumer sa part d'engagement mondial pris à Rio de Janeiro en juin 1992, que le Burkina Faso s'est, dès les années 1995, engagé dans le processus GIRE tant au niveau national que sous régional. Cette forte volonté politique s'est exprimée par le changement d'un contexte marqué par une gestion sectorielle des ressources en eau, un cadre institutionnel insuffisamment adéquat, des ressources humaines largement insuffisantes, des ressources financières

et matérielles limitées, etc. C'est ainsi qu'en 1998, il disposait déjà d'un document de politique et stratégies en matière d'eau. En 1999, il s'engage dans son programme de GIRE qui aboutit entre autres aux résultats suivants :

- *La loi d'orientation relative à la gestion de l'eau*, qui impulse une approche patrimoniale et décentralisée de la gestion de l'eau. Cette loi reconnaît le bassin hydrographique comme cadre le plus approprié de planification et de gestion de la ressource en eau dans lequel la coordination des actions publiques et la concertation s'y inscrivent afin de préparer et de mettre en œuvre, dans les conditions optimales de rationalité, les orientations et les décisions prises dans le domaine de l'eau ;
- un *Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion*, réalisé en mai 2001, qui identifie et analyse les problèmes de toute nature constituant des handicaps pour une gestion durable des ressources en eau ;

Cette réforme participe à la concrétisation du document de "*Politique et stratégies en matière d'eau*" qui comprend entre autres les principes suivants :

- la décentralisation,
- le principe de subsidiarité,
- la mise en œuvre des principes préleveur-payeur et pollueur-payeur, qui implique la création d'une « redevance eau » destinée à financer prioritairement le secteur de l'eau (activités de connaissance, de suivi, de protection, de restauration de la ressource ; etc.),
- la création de structures de gestion des ressources en eau par bassin versant, incluant des représentants de l'Etat, des collectivités locales et des usagers etc.

2.4.2 Le cadre institutionnel

Les acteurs intervenant dans la gestion de l'eau du bassin du Nakanbé peuvent être regroupés en acteurs étatiques et en acteurs non étatiques.

2.4.2.1 Les acteurs étatiques

Au titre des acteurs étatiques, on distingue des acteurs étatiques à envergure nationale (le ministère et ses directions générales et centrales) et des structures de gestion à espace de compétence circonscrit telles les directions régionales en charge de l'eau).

Le Comité Technique de l'Eau

Le Comité Technique de l'Eau (CTE) a été institué par la loi portant Réorganisation Agricole et Foncière au Burkina Faso. Le CTE est un organe de coordination administrative et d'harmonisation des politiques en matière d'eau des différents départements ministériels. Il est chargé de proposer au

gouvernement, les options fondamentales d'aménagement pour une gestion durable des ressources en eau (Décret n° 2004582/PRES/PM/MAHRH/MFB du 15 décembre 2004 portant attributions, composition et fonctionnement du Comité Technique de l'Eau, article 2). Le Comité Technique de l'Eau est composé de hauts fonctionnaires d'une dizaine de ministères concernés par les questions d'eau (Décret n° 2004-582/PRES/PM/MAHRH/MFB du 15 décembre 2004 portant attributions, composition et fonctionnement du Comité Technique de l'Eau, article 4).

2.4.2.2 Les acteurs non étatiques

Le Groupement d'Intérêt Public/Agence de l'Eau du Nakanbé qui est une structure déconcentré de mise en œuvre de la GIRE sur l'espace de gestion des ressources en Eau et comprend un Comité de bassin, un conseil d'administration et des Comités Locaux de l'Eau. A tous les niveaux, ces structures comprennent, les représentants de l'Etat, les représentants des collectivités territoriales et les représentants des usagers

✓ Le Conseil National de l'Eau

Le Conseil National de l'Eau (CNEau) est un organe consultatif créé auprès du ministère chargé de l'eau (Loi d'orientation relative à la gestion de l'eau, art. 12). Sa mission est de donner des avis pour une meilleure définition des objectifs généraux et sur les orientations de la politique nationale tendant à réaliser une gestion durable de l'eau (Décret n°2002-539/PRES/PM/MAHRH du 27 novembre 2002 portant attributions, composition, organisation et fonctionnement du Conseil National de l'Eau, art.2). Il peut, à la demande du ministre chargé de l'eau ou de sa propre initiative, formuler toutes propositions de nature à améliorer ou faciliter la gestion de l'eau (Décret n°2002539/PRES/PM/MAHRH du 27 novembre 2002 portant attributions, composition, organisation et fonctionnement du Conseil National de l'Eau, art.3)

2.4.2.3 Les outils de mise en œuvre de la GIRE

2.4.2.3.1 Les outils juridiques

✚ Politique nationale de l'eau, 1998

Cette œuvre est un document de politiques et stratégies visant l'amélioration de la gestion de l'eau au Burkina Faso. Indiquant la vision gouvernementale en matière de gestion des ressources en eau, elle prône désormais la GIRE comme le mode de gestion de l'eau au Burkina Faso ; par ailleurs les principes clés de cette approche ont été énoncés dans ce document dont les principes de participation, préleveur-payeur, pollueur-payeur. La politique présente le renforcement de la capacité des institutions publiques et du secteur privé comme étant l'un des éléments capitaux pour la mise en œuvre de cette politique. Par le terme de « renforcement de la capacité des institutions publiques et du secteur privé », elle entend offrir aux acteurs les moyens nécessaires à la prise de responsabilité dans

la gestion de l'eau au niveau des régions , des collectivités et des points de concentration de l'exploitation des ressources ; d'où l'idée de la perception des taxes et redevances.

✚ Loi d'orientation relative à la gestion de l'eau de 2001

L'adoption de la loi N° 002-2001/AN du 08/02/2001 portant *Loi d'orientation relative à la gestion de l'eau* entre dans le cadre de la mise oeuvre du document de Politique nationale de l'eau. Cette loi qui est une transcription juridique de la politique contient des dispositions relatives à l'administration et au régime de l'eau, notamment le contrôle et la répartition, les usages et la protection. Elle prend en compte l'évolution du droit national, en y transposant les engagements internationaux souscrits par le Burkina en matière d'eau. Elle met à la disposition des acteurs, des instruments d'ordre institutionnel (le Conseil national de l'Eau et les structures de gestion des bassins) et d'ordre financier (la contribution financière en matière d'eau). Cette loi a également défini des dispositions pénales en matière de réglementation du domaine public de l'eau.

2.4.2.3.2 Les outils économiques et financiers

✚ Loi n°058-2009/AN du 15 décembre 2009 portant institution d'une taxe parafiscale au profit des Agences de l'eau (contenu et champ d'application)

La Loi n° 058-2009/AN du 15 décembre 2009 portant institution d'une taxe parafiscale au profit des Agences de l'eau dénommée « Contribution Financière en matière d'Eau (CFE) a été adoptée pour générer de ressources internes propres à l'eau afin d'assurer une autonomie financière aux Agences de l'eau. Elle comprend (i) la taxe de prélèvement de l'eau brute, (ii) la taxe de modification du régime de l'eau (iii) et la taxe de pollution de l'eau. Cette taxe est due par toute personne physique ou morale en raison du prélèvement d'eau, de la modification du régime de l'eau, ou de la pollution de l'eau. Toutefois, dans le cadre de la satisfaction des besoins élémentaires, les usages domestiques sont exonérés de la contribution financière en matière de prélèvement d'eau brute conformément aux dispositions du décret n°2004-580/PRES/MP/MAHRH/MFB du 15 décembre 2004. Cette loi, en plus du champ d'application de la CFE, contient des dispositions pour (i) la base de taxation au chapitre 2, (ii) la détermination des taux et le recouvrement au chapitre 3 et (iii) les obligations et les sanctions au chapitre 4.

✚ Décret portant détermination des taux et des modalités de recouvrement de la taxe de prélèvement de l'eau brute, 2011 (taux, modalités et sanctions)

Ce décret détermine les taux et les modalités de recouvrement de la taxe de prélèvement de l'eau brute en application des articles 8 et 11 de la loi n° 058-2009/AN du 15 décembre 2009 portant institution d'une taxe parafiscale au profit des agences de l'eau dénommée « Contribution financière en matière d'eau» en abrégé CFE. Cette taxe concerne les usages de production d'eau potable, les

activités minières et industrielles, les travaux de génie civil, et les activités agricoles, pastorales et piscicoles. Si les taux de taxation ont été définis pour les trois premiers usages, il convient de remarquer que cela n'a pas été le cas pour le prélèvement de l'eau brute à des fins de productions agricoles, pastorales et piscicoles qui devrait être fixé ultérieurement.

2.4.2.3.3 Les outils de planification

- L'adoption du *Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau* (PAGIRE) qui se présente comme un vaste chantier d'innovations institutionnelles, techniques et technologiques dont les actions spécifiques structurent la réforme profonde du cadre de gestion des ressources en eau du pays et dont la mise en œuvre constitue le socle permettant d'asseoir à terme, une gestion durable de la ressource eau.

Le SDAGE qui est un document important de planification et de gestion des ressources en eau est en cours d'élaboration.

2.5 LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Une des ressources les plus affectées par les changements climatiques est la ressource eau

Les ressources en eau subissent l'agressivité des changements climatiques. Selon Ali et Amani (2010), l'écoulement annuel des rivières et la disponibilité en eau sont appelés à s'amoinrir de 10 à 30% dans certaines régions sèches des moyennes latitudes et dans les tropiques secs ; il est donc important dans le cadre de notre étude de pouvoir cerner tous les contours liés aux phénomènes de changements climatiques.

2.5.1 Le climat et le temps

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, humidité, ensoleillement, pression, vent, précipitations) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné (Somé *et al.*, 1998).

Le temps est l'état dynamique et variable de l'atmosphère dans une zone donnée et à un moment bien précis.

2.5.2 Les Changements climatiques

La convention cadre des nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) de 1992, définit le changement climatique comme des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. »

Aussi, selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007): « le changement climatique est la variation de l'état du climat, que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus.»

Selon l'entendement scientifique du phénomène, nous percevons le changement climatique comme une variation significative du climat qui dure des décennies ou plus. Il se manifeste généralement par un refroidissement ou un réchauffement.

De manière générale, le changement climatique peut être dû à des causes naturelles ou anthropiques. Des preuves scientifiques ont attesté l'existence du phénomène. Les facteurs et paramètres utilisés par la communauté scientifique pour caractériser le phénomène sont les éléments du climat (Précipitations, Température, Vent, etc.), le Niveau de la mer, les Gaz à Effets de Serre (GES) (Dioxyde de carbone: CO₂, Oxyde nitreux: NO₂, Méthane: CH₄, SF₆: Hexafluorure de soufre, HFC: Hydro-fluoro-carbones, PFC: Hydrocarbures per-fluorés).

2.5.3 Adaptation

L'adaptation est définie comme l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin de limiter les dégâts ou d'exploiter des opportunités bénéfiques. Elle est perçue comme des initiatives et mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des changements climatiques réels ou prévus. On distingue plusieurs sortes d'adaptation : anticipative ou réactive, de caractère privé ou public, autonome ou planifiée, locale. Citons à titre d'exemple l'édification de digues le long des cours d'eau ou des côtes et le remplacement des plantes fragiles par des espèces résistant aux chocs thermiques (GIEC, 2007).

Sur le bassin du Nakanbé, il existe plusieurs formes d'adaptation développées par les populations locales dans le domaine agro-sylvo-pastoral. On peut citer la réalisation des cordons pierreux, des haies vives, des demi-lunes, la mobilisation de l'eau, la combinaison de pratiques (agriculture, élevage, sylviculture), etc.

2.5.4 Bonnes pratiques

Les bonnes pratiques d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques sont définies comme des pratiques permettant de satisfaire les besoins actuels et d'améliorer les moyens d'existence, tout en préservant l'environnement de façon durable dans le contexte actuel de variabilité et des changements climatiques. En d'autres termes, c'est l'utilisation de bonnes techniques agro-

sylvo-pastorales qui minimisent les risques, maximisent la production tout en assurant la sécurité humaine (FAO, 2002 ; INERA/FAO, 2004).

Les bonnes pratiques sont souvent d'origines endogènes. Elles connaissent une amélioration avec l'intervention des institutions de recherche, les universités. Ces pratiques sont très nombreuses et diversifiées. Sont considérées, comme bonnes pratiques dans l'espace de gestion du Nakanbé, les techniques de conservation des eaux et des sols, les techniques simplifiées de mobilisations des eaux, l'utilisation optimale des variétés améliorées et des produits fertilisants, etc.

2.5.5 Mauvaises pratiques

Au contraire des bonnes pratiques, les mauvaises pratiques amplifient les effets néfastes des changements climatiques, contribuent à augmenter le risque de continuité de l'évènement et augmentent les degrés de vulnérabilité de systèmes humains et naturels face aux changements climatiques.

Dans l'espace de gestion du Nakanbé, les mauvaises pratiques autour des ressources en eau sont nombreuses et peuvent être citées la pollution de l'eau par les orpailleurs, le comblement des retenues d'eau par les exploitations anarchiques autour des ressources en eau, la coupe abusive du bois, les rejets des déchets polluants dans les eaux.

2.5.6 Atténuation

L'atténuation caractérise les particularités et les circonstances d'une communauté, d'un système ou d'un bien qui les rendent sensibles aux effets nuisibles d'un aléa.

Selon le rapport du GIEC (2007), elle s'appréhende comme la « Modification et substitution des techniques employées dans le but de réduire les ressources engagées et les émissions par unité de production. Bien que certaines politiques sociales, économiques et technologiques puissent contribuer à réduire les émissions, du point de vue du changement climatique, l'atténuation signifie la mise en œuvre de politiques destinées à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à renforcer les puits.»

Les puits de carbone désignent le processus qui extrait les gaz à effet de serre de l'atmosphère, soit en les détruisant par des procédés chimiques, soit en les stockant sous une autre forme. Nous pouvons citer comme exemple, le dioxyde de carbone qui est souvent stocké dans l'eau des océans, les végétaux ou les sous-sols. Les forêts et les océans absorbent environ la moitié des émissions de carbone. Les océans constituent même un stockage durable pour ce carbone : en effet, tout excès de CO₂ qui s'y dissout est entraîné depuis la surface vers les eaux profondes. Les modèles numériques annoncent qu'il peut y être immobilisé pendant plusieurs siècles. Au contraire, les forêts rejettent dans l'atmosphère le CO₂ qu'elles ont absorbé (photosynthèse) beaucoup plus rapidement : entre 20 et 80 ans selon qu'il s'agit de forêts tempérées, tropicales ou boréales.

2.5.7 Vulnérabilité

Elle représente une mesure ou une situation dans laquelle un système est sensible ou incapable de faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation (GIEC, 2007).

Selon Badolo (2013), on distingue deux catégories de facteurs de vulnérabilité. Les éléments de la première catégorie sont des caractéristiques ou des spécificités du système. Les facteurs de la deuxième catégorie sont des spécificités du contexte du système, qui produisent une vulnérabilité contextuelle. Le contexte du système s'entend ici comme le contexte environnemental, social, humain, technologique, économique, institutionnel et politique.

2.5.8 Résilience

La résilience représente la capacité d'un système social ou écologique à absorber des perturbations tout en conservant sa structure de base et ses modes de fonctionnement, la capacité de s'organiser et la capacité de s'adapter au stress et aux changements.

2.5.9 Notion d'effet néfaste des changements climatiques

On entend par «effets néfastes des changements climatiques» les modifications de l'environnement physique ou des biotes dues à des changements climatiques et qui exercent des effets nocifs significatifs sur la composition, la résistance ou la productivité des écosystèmes naturels et aménagés, sur le fonctionnement des systèmes socio-économiques ou sur la santé et le bien-être de l'homme (Nations Unies, 1992).

2.5.10 Notion d'impact

L'impact constitue les conséquences subites par un système naturel ou humain dans le long terme. On peut avoir des impacts négatifs comme positifs. Dans le cas du changement climatique, on s'intéresse aux impacts négatifs que le phénomène peut induire sur les systèmes naturels et humains afin de les minimiser.

Les changements climatiques sont une réalité et font l'objet de consensus au sein de la communauté scientifique. Ils affectent tous les domaines de la vie et spécifiquement les ressources naturelles que sont les sols, les ressources en eau. Toute stratégie de développement doit inclure et la gestion des ressources en eau, la gestion des sols qui sont le support de toute production et les changements climatiques.

CONCLUSION PARTIELLE

De cette synthèse bibliographique, il ressort que pour subvenir aux besoins alimentaires des populations du bassin du Nakanbé qui ne cesse de croître, de fortes pressions sont exercées sur les sols arables dans le but d'obtenir de meilleures productions. Les sols se trouvent alors de plus en plus dégradés et parfois de façon irréversible faute de protection antiérosive et sous l'action de l'agressivité des phénomènes climatiques.

Les pratiques agrosylvopastorales aggravées par les changements climatiques dont elles sont parfois la cause et la conséquence ont un impact négatif sur les ressources en eau qui se dégrade de jour en jour malgré l'existence d'un système, GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau). Les constats que révèle cette revue bibliographique montre bien la problématique posé par notre thème : « *Pratiques agro-sylvo-pastorales d'adaptation aux changements climatiques: effets et impacts sur les ressources en sols et eaux dans le bassin du Nakanbé au Burkina Faso* ». Mais pour bien la cerner, il est important, de pouvoir circonscrire le cadre dans lequel nous allons travailler, de définir la méthodologie que nous allons adopter, ainsi que le matériel avec lequel nous allons travailler pour aboutir à des résultats pertinents, d'où la deuxième partie de notre étude : **Cadre de l'étude, matériel et méthode**

La première partie peut être titrée /ETAT DES LIEUX CAR FINALEMENT IL Y A BEAUCOUP DE DONNÉES SUR LA ZONE DE L'ÉTUDE

SI ON VEUT GARDER SYNTHÈSE BIBLIO .IL VAUT MIEUX SYNTHÉTISER EN MOITIÉ PAGE ?ENLEVER LES TABLEUX ET LES CARTES POUR L'INTEGRER DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE

PARTIE II :
CADRE DE L'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

INTRODUCTION PARTIELLE

Dans cette deuxième partie de notre étude, nous nous sommes intéressés au (i) cadre de l'étude, au (ii) matériel de l'étude et à la (iii) méthode de l'étude organisée en trois chapitres.

Pour ce qui est du cadre de l'étude, il commence par situer le Burkina Faso au cœur de l'Afrique de l'Ouest, puis, les différents bassins hydrographiques du Burkina Faso dont celui du Nakanbé où se déroule l'étude, et ensuite à l'intérieur du Bassin du Nakanbé se situent des sites spécifiques ayant fait l'objet d'étude particulière et enfin successivement sont abordés, la géomorphologie, le climat, la végétation, les sols, les ressources en eau et ressources connexes, la démographie et les activités socio-économiques du bassin du Nakanbé

Le chapitre traitant du matériel décrit de façon claire et concise les différents matériels que nous avons utilisés au cours de cette étude qui sont entre autres : le matériel de génie civil, le matériel hydrologique, cartographique, informatique, pédologique, **d'entretien ?**, de traitement, etc. Les ressources naturelles telles le sol, l'eau ont été utilisées. Certains matériels ont été construits pour effectuer la collecte de données brutes et d'autres ont été acquis et utilisés directement.

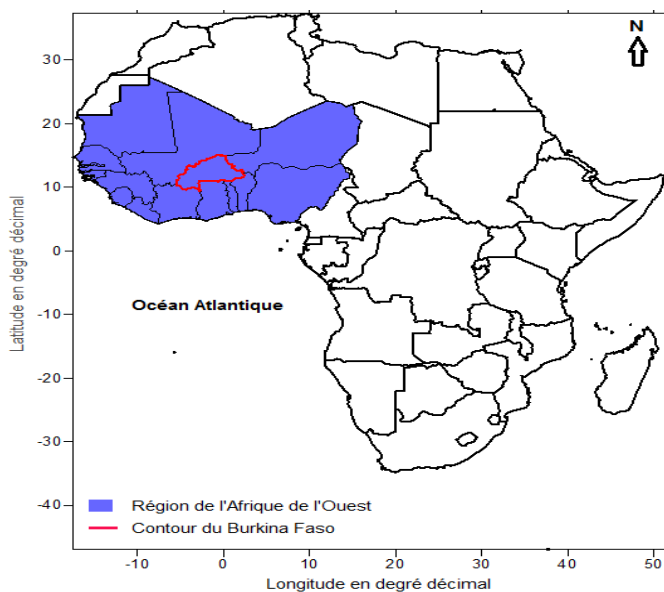
Pour ce qui est de la méthodologie, dépendant de l'hypothèse à vérifier, une méthodologie spécifique a été mise en place, mais globalement, l'approche participative, interactive et itérative a été celle qui a prévalu tout au long de cette étude.

CHAPITRE III : LE CADRE DE L'ETUDE

Le titre de la présente étude : « *Pratiques agro-sylvo-pastorales d'adaptation aux changements climatiques: effets et impacts sur les ressources en sols et eaux dans le bassin du Nakanbé au Burkina Faso* » définit clairement l'espace du Nakanbé au Burkina Faso comme espace de l'étude. Si le Nakanbé représente un espace de gestion des ressources en eau au Burkina Faso où l'Etat est en train de mettre en œuvre la Gestion intégrée des ressources en eau, cela pourrait ne pas paraître suffisamment clair pour tout acteur ou tout scientifique même du domaine de l'eau qui n'a pas une connaissance suffisante de l'Afrique en particulier l'Afrique de l'ouest et plus particulièrement le Burkina Faso. C'est en cela que nous pensons qu'il faille situer le cadre de l'étude dans le contexte de l'Afrique, puis de l'Afrique de l'ouest et ensuite du Burkina Faso et enfin le contexte géologique géomorphologique, climatique, et socio-économique.

3.1 LE BASSIN DU NAKANBE ET SA LOCALISATION

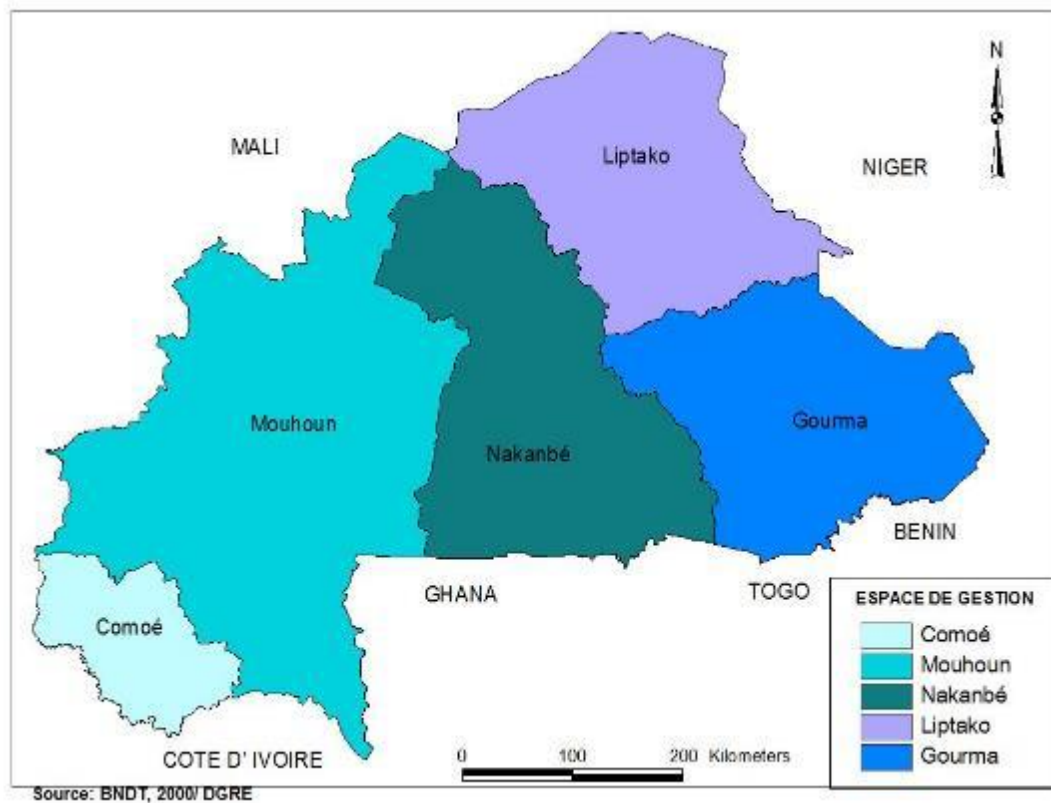
Le Burkina Faso, pays enclavé, est situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest et fait frontière avec la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin, le Niger et le Mali. Cette région Ouest Africaine (zone bleue sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) est limitée au Sud et à l'Ouest par l'Océan Atlantique, au Nord par le désert du Sahara et à l'Est par le Tchad et le Cameroun. Elle couvre une surface de plus de 7,9 millions de km² avec une population principalement agricole estimée à 315 millions d'habitants en 2007 (Atlas régional de l'Afrique de l'Ouest, 2009). Les régimes hydrologiques et le fonctionnement des hydro-systèmes dépendent principalement de la saison des pluies dont la pluviosité est régie par le système de la mousson ouest-africaine.



carte 3: Situation géographique du Burkina Faso par rapport à l'Afrique de l'Ouest

Le Burkina Faso, en effet couvre une superficie de 274 200 km² et a une population d'environ 14 millions d'habitants (INSD, 2006). Le découpage administratif du pays donne 45 provinces.

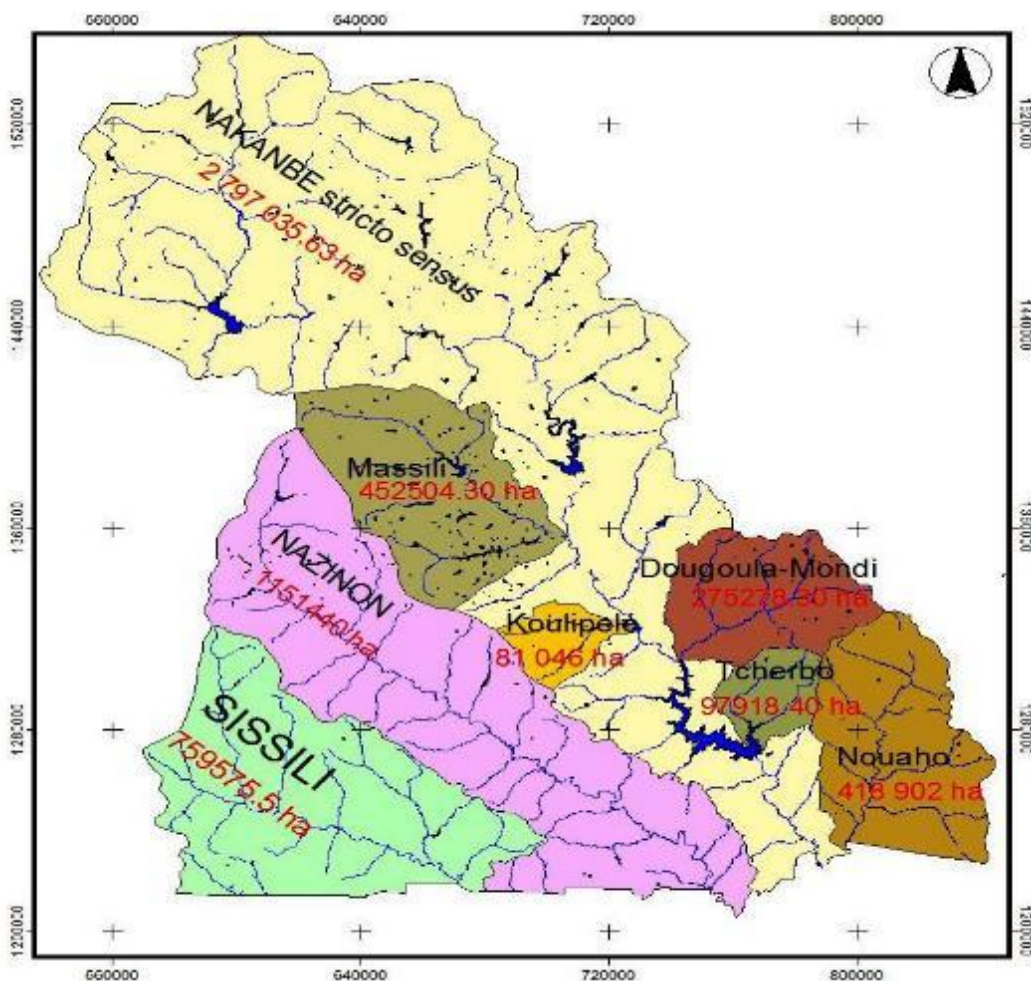
Dans le document « politique et stratégie en matière d'eau » adopté en 1998 par le gouvernement du Burkina Faso, il a été retenu que le bassin hydrographique est le cadre approprié pour la planification, la mobilisation, la gestion et la protection des ressources en eau au Burkina Faso. A la suite de ce document, la loi d'orientation relative à la gestion des ressources en eau, en son article 19 a divisé le territoire national en quatre (04) bassins nationaux ; l'article 3 du décret n° 2003–286/PRES/PM/MAHRH du 9 juin 2003, portant détermination des espaces de compétence des structures de gestion des ressources en eau, a subdivisé les 4 bassins nationaux en 5 espaces de compétence (Nakanbé, Mouhoun, Cascades, Gourma et Liptako). La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les espaces de compétences de gestion des ressources en eau au Burkina Faso.



carte 4:Espaces de compétence de gestion des ressources en eau du Burkina

L'espace de gestion des ressources en eau du Nakanbé (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) comprend les sous-bassins suivants : le sous bassin du Nakanbé, le sous bassin du Nazinon et le sous bassin de la Sissili. Le sous bassin du Nakanbé est composé de 6 grandes unités de bassins versants dont le Nakanbé stricto sensus, le Massili, la Nouaho, le Dougoula-Mondi, le Koulipelé et le Tcherbo.

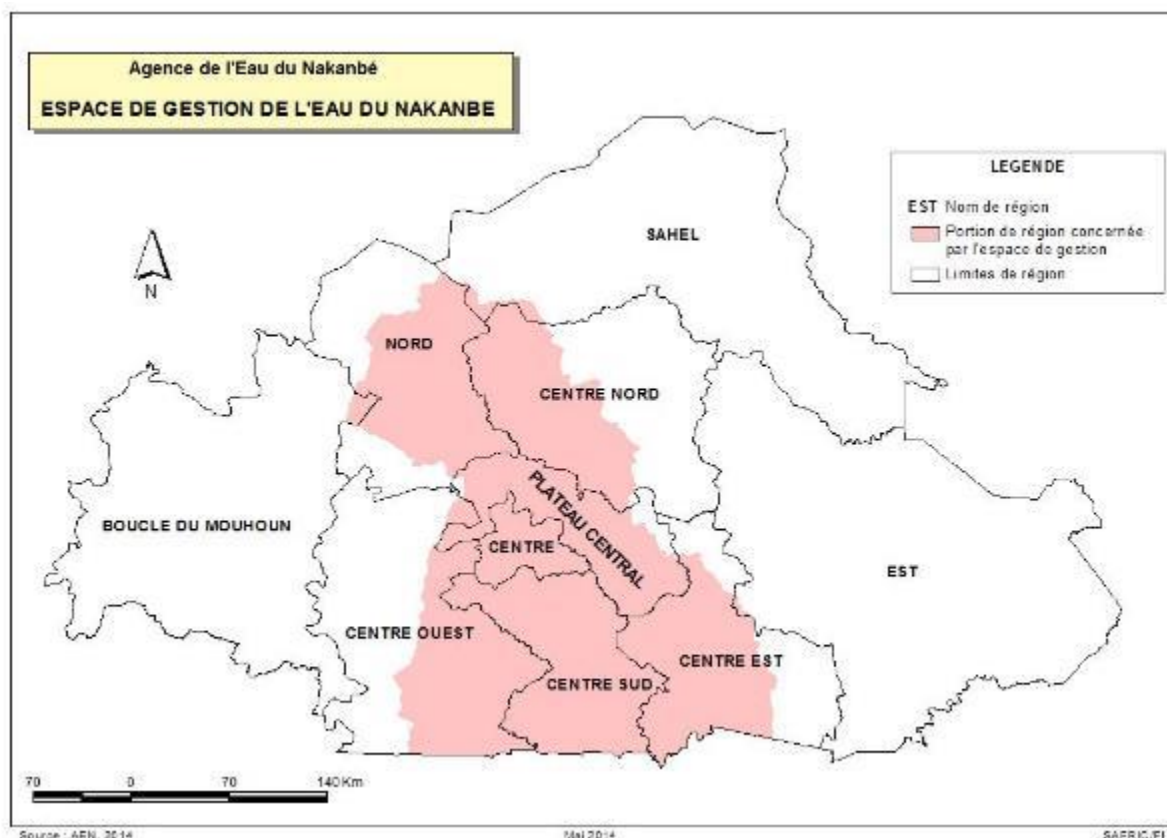
La superficie totale de l'espace de gestion du Nakanbé est de 60 337 km² soit 22.02 % de la superficie du pays.



carte 5:sous bassin versant de l'espace de gestion du Nakanbé

Les superficies des différents sous bassin sont estimées comme suit : Le sous bassin du Nakanbé stricto sensus occupe une superficie de 41 408 km² soit 68.62 % de la superficie de l'espace de gestion du Nakanbé. Le sous bassin du Nazinon occupe une superficie de 11 370 km² dont 18.84 % de la superficie de l'espace de gestion du Nakanbé. Enfin le sous bassin de la Sissili avec une superficie de 7 559 km² occupe 12.52 % de la superficie de l'espace de gestion du Nakanbé.

L'espace de gestion de l'Agence de l'Eau du Nakanbé couvre en partie ou en totalité sept régions : Centre, Centre-Est, Centre-Nord, Centre-Ouest, Centre-Sud, Nord, Plateau-Central (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le centre et le centre sud sont entièrement couverts par l'espace de gestion du Nakanbé. Par contre les régions du Nord, du Centre Ouest, du Plateau Central et du Centre Nord sont partiellement rattachées.



carte 6: régions de l'espace de gestion du bassin du Nakanbé

3.1.1 GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE

La conception ancienne de l'Afrique en un vaste bouclier pérenne pendant toute l'histoire des temps précambriens a été remplacée par celle de cratons multiples séparés par des ceintures orogéniques plissées qualifiées de ceintures mobiles. La succession des orogènes a eu pour effet d'aboutir à une cratonisation progressive du continent à partir de noyaux primitifs. Ces noyaux primitifs résultent eux-mêmes d'orogènes d'âge archéen (2500-2800 millions d'années) et catarchéens (3000 millions d'années). Les études ultérieures, et en particulier les mesures de géochronologie, ont conduit à insister sur l'importance de l'événement thermotectonique panafricain' de Kennedy (1964) qui allait très vite être considéré comme un véritable cycle orogénique avec sédimentation, métamorphisme et granitisation (Black, 1966, 1967) aboutissant à une véritable chaîne panafricaine. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les différentes formations hydrogéologiques rencontrées dans le socle cristallin au Burkina Faso. L'examen de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que le profil lithologique fait ressortir les alluvions, les cuirasses latéritiques, les argiles latéritiques, les arènes, la roche verte fracturée, les arènes grenues et roches fracturées, le granite et la roche verte.

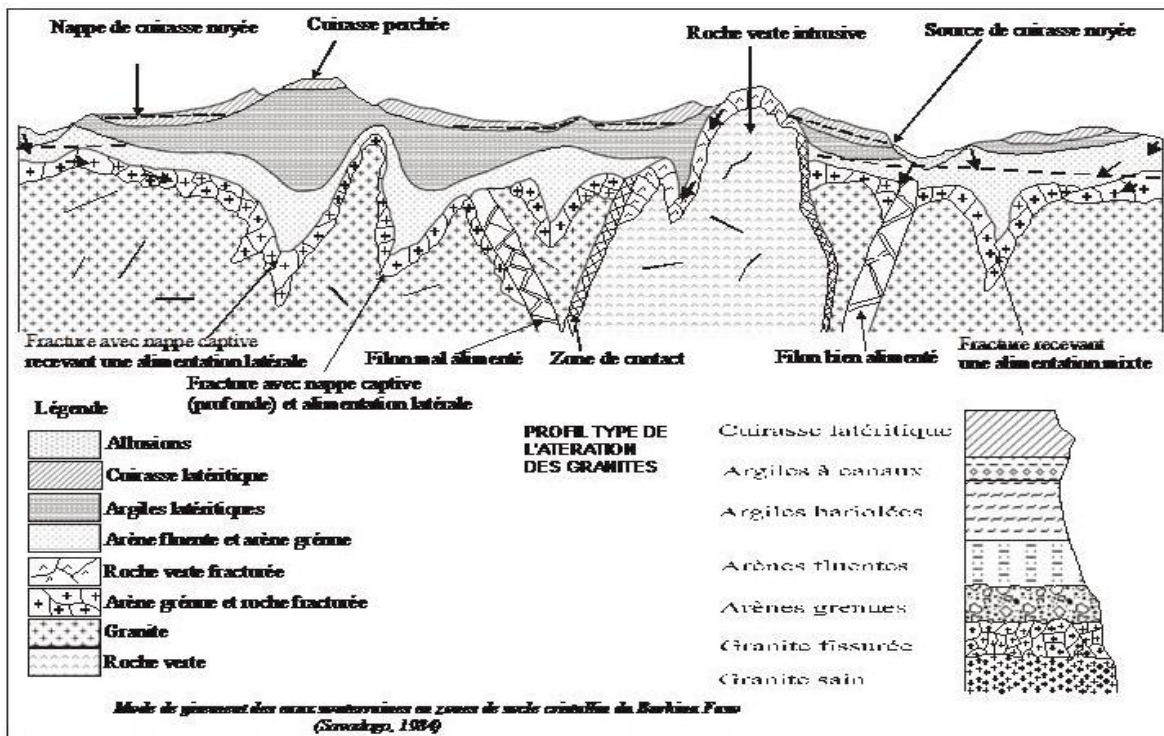
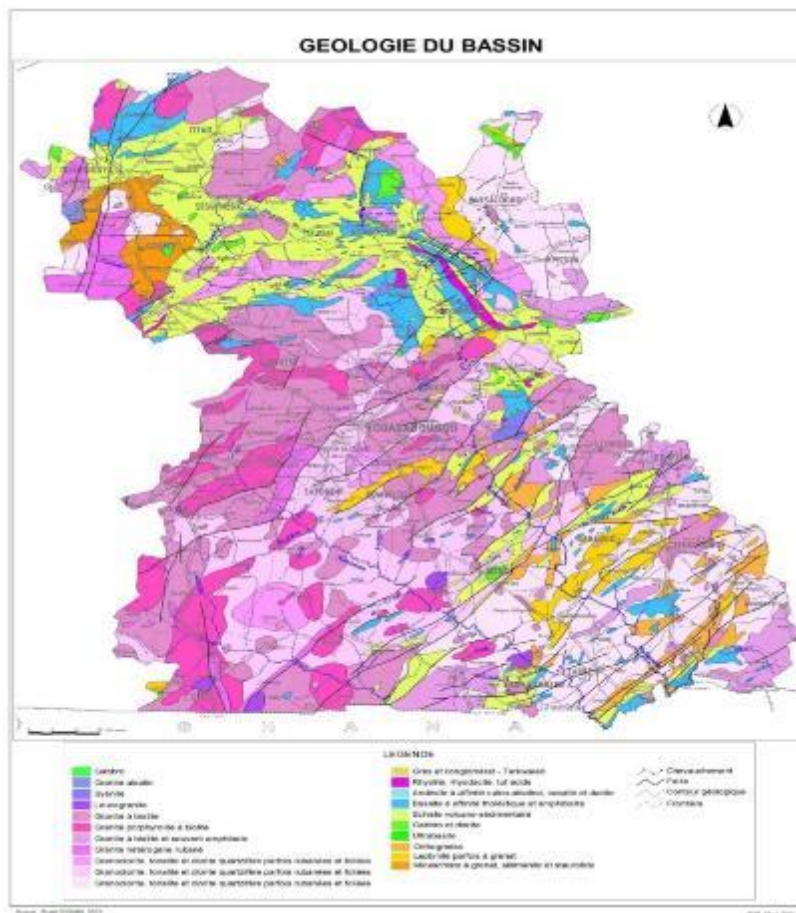


Figure 1: Mode de gisement des eaux souterraines en milieu de socle cristallin au Burkina Faso

Le Burkina Faso fait partie du craton ouest-africain qui comprend deux domaines précambriens : Le Domaine de la Reguibat au Nord et le Domaine de Man ou Leo au Sud, séparés par le récent bassin Protérozoïque à Paléozoïque de Taoudéni. Ces deux domaines présentent une organisation similaire avec des terrains Archéens (3.5-2.7GA) situés à l'Ouest et les roches palaeoproterozoique (2.2-2.0GA) à l'Est (Bessoles, 1977 ; Cahen et al., 1984 ; Camil, 1984).



carte 7:Géologie de l'espace de gestion du nakanbé (espace du SDAGE)

Les synthèses des données sur la géologie ont été faites à partir de la carte géologique du Burkina dressée par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) à l'échelle 1/1000 000 en 1967.

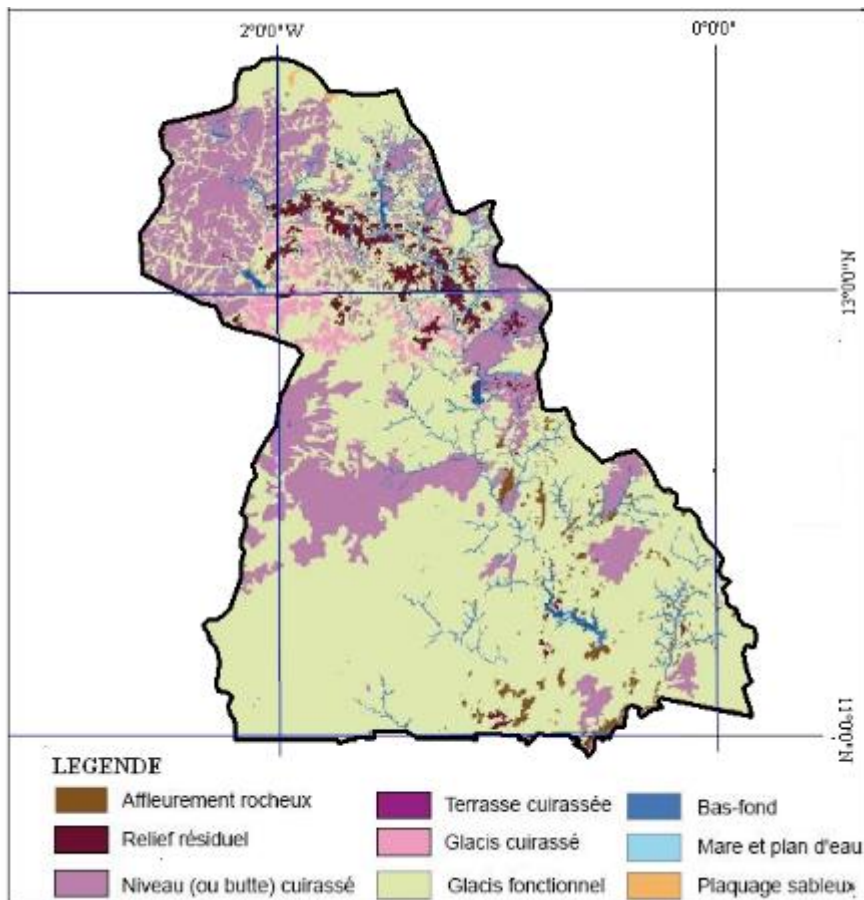
Le bassin du Nakanbé présente deux grands ensembles géologiques bien distincts qui sont :

- le précambrien D (Archéen) constitué de granitoïdes, de migmatites, de granites indifférenciés et de gneiss ;
- le précambrien C (protorozoïque inférieur) apparaît sous forme de vastes bandes allongées, remplies de matériel volcanique, volcano-sédimentaire et sédimentaire. Ces bandes représentent les sillons birimiens appelés " ceintures de roches vertes. Cet ensemble contient l'essentiel des ressources minérales du Burkina Faso.

3.1.2 Géomorphologie

Les formations géomorphologiques rencontrées dans l'espace de gestion de l'eau du Nakanbé sont assez variées. Elles peuvent être regroupées en deux ensembles, un ensemble plutonique et un ensemble volcano-sédimentaire. Ces formations sont d'âge eburnéen. Les divers types de modelés ou

unités géomorphologiques sont hérités des formations géologiques et de la nature du matériau sur lequel agit l'érosion. Dans l'espace de gestion du Nakanbé, on en distingue deux principaux types, à savoir le modelé des zones volcano-sédimentaires et le modelé des zones granitiques.



carte 8: géomorphologie de la zone d'étude

(traiter les SOLS ICI)

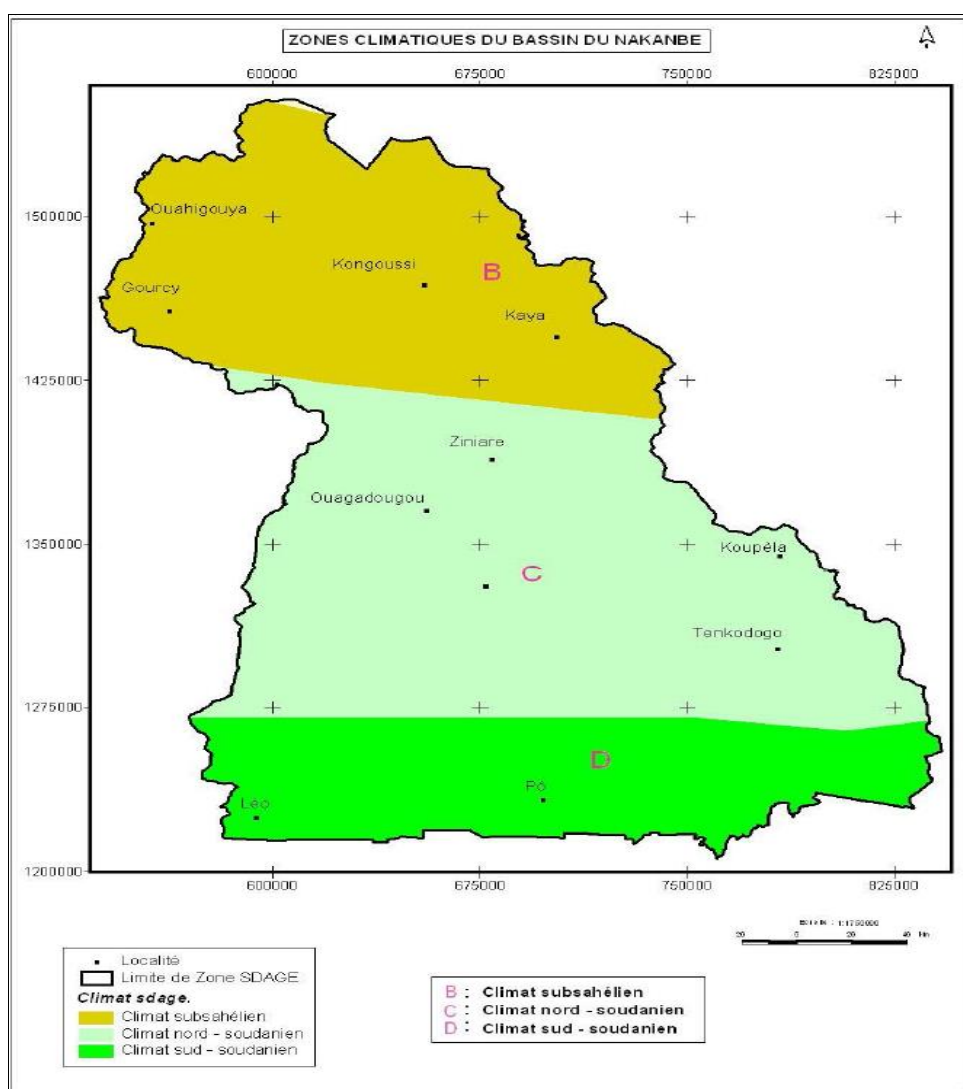
3.1.3 LE CLIMAT

Le climat est de type sud-sahélien au nord, soudanien dans la partie médiane et sud-soudanien à l'extrême sud (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les observations de la Direction Nationale de la climatologie (1999) indique que :

- la pluviosité moyenne annuelle décroît du sud au nord, allant de 1.100 mm à moins de 600 mm avec un nombre de jours pluvieux variant respectivement de 80 jours à 40 jours. Elle est soumise à une très forte variabilité interannuelle. Les maxima de précipitations sont généralement observés en Août ou Septembre.
- les températures présentent de grandes variations saisonnières et de fortes amplitudes diurnes. Les températures moyennes atteignent leurs fortes valeurs en mars, avril puis en octobre ; leurs faibles valeurs (au-dessus de 25°C) en novembre, décembre, janvier et février. Les

températures maximales ont une évolution annuelle similaire à celle des moyennes, mais restent comprises entre 28°C et 42°C. 80) Les températures minimales moyennes sont comprises entre 16°C et 27° C.

- les plus faibles valeurs mensuelles de l'humidité de l'air se situent entre novembre et février, tandis que les plus fortes valeurs se rencontrent entre mai et septembre avec un pic en août. Mais globalement l'humidité de l'air reste supérieure à 10% toute l'année.
- les valeurs mensuelles de l'évapotranspiration Potentielle (ETP) restent très élevées toute l'année se situant au-dessus de 100 mm. Les valeurs les plus fortes sont observées entre Février et Mars, mois au cours desquels elles atteignent 200 mm et les plus faibles en Juillet, Août et Septembre.
- les vents : Les vents sont relativement faibles (2 m/s) sauf en début et en fin de saison de pluies où ils peuvent atteindre des vitesses de 120 km/h lors des manifestations pluvieuses.



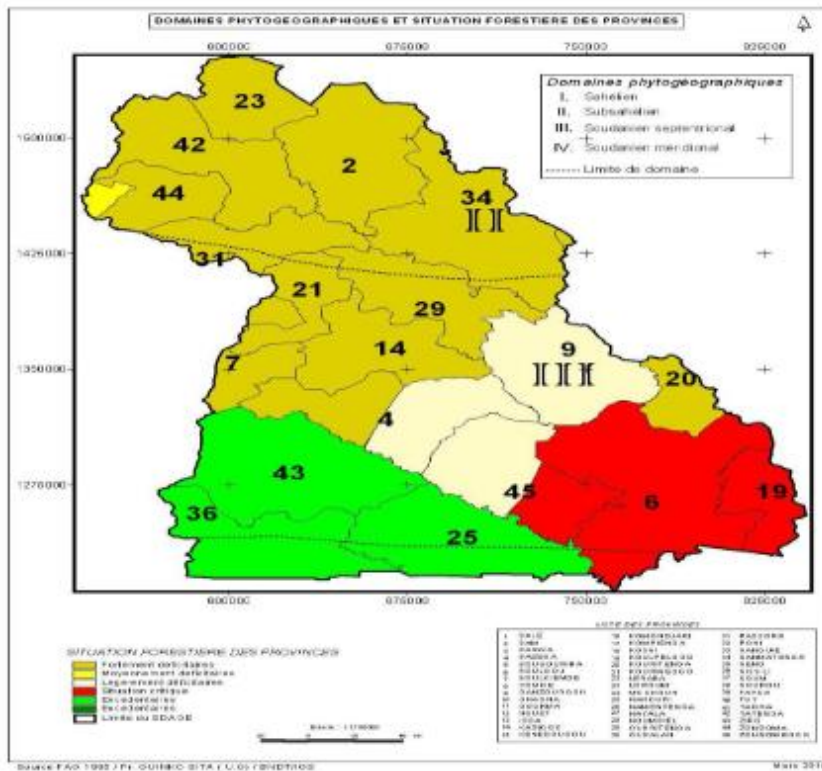
carte 9:Zones climatiques de l'espace de gestion du Nakanbé

Source : Guinko, 1984

3.1.4 LA VEGETATION

L'espace de gestion Nakanbé s'étale essentiellement sur les territoires phytogéographiques Sud-Sahélien et Nord-Soudanien et dans une moindre mesure sur le Sud-soudanien (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les types de végétations rencontrées sont variables et vont des formations ripicoles notamment les forêts galerie le long du cours d'eau aux différents facies de savanes et les parcs agroforestiers.

Comme exemple d'espèces on peut citer au niveau des formations ripicoles *Mitragyna inermis*, *Kaya senegalensis*, *Mimosa pigra* (qui est une espèce envahissante dont la prolifération peut réduire la superficie des plans d'eau accessible aux pêcheurs) et au niveau des savanes on a entre autres une diversité de combrétacées et d'Acacia. Les parcs agroforestiers sont quant à eux composés d'espèces issues des sélections des producteurs pour leurs usages multiples tels que *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Adansonia digitata*, *Lannea microcarpa*... La strate herbacée terrestre est dominée par les graminées parmi lesquelles on peut citer *Andropogon pseudapricus*, l'*Andropogon gayanus*, le *Cymbopogon shoenanthus*. La dégradation du couvert végétal favorise l'érosion des sols qui contribue à l'ensablement des plans d'eau. Concernant les caractéristiques de la ripisylve des relevés effectués sur les berges du cours d'eau du Nakanbé (Lamizana, 2009) ont permis de dénombrer 124 espèces réparties dans 40 familles. Lors de ces relevés, il a été noté les proportions suivantes pour les différentes familles : Poaceae (18%), Fabaceae (11%), Rubiaceae (7%), Mimosaceae (5%), ensemble Asteraceae, Caesalpinaceae et Malvaceae (4%). L'étude a révélé une préférence de certaines espèces pour l'amont du cours d'eau, telles que *Daniellia oliveri* et *Moghania faginea* tandis que d'autres, telles que *Crateva adansonii*, *Mimosa pigra*, et *Ziziphus spina christi* préfèrent l'aval. Les espèces remarquables des formations ripicoles sont *Crateva adansonii*, *Mitragyna inermis*, *Daniellia oliveri*, *Moghania faginea*, *Ziziphus spina christi*, *Dyschorite perrottetti*, *Glinus lotoides*. L'étude des associations des zones humides amont et aval du Nakanbé (Ouédraogo, 2002) permet de distinguer plusieurs associations et groupements végétaux.



illisible legende

carte 10:domaines phytogéographiques

3.1.5 LES SOLS ET LES RESSOURCES CONNEXES

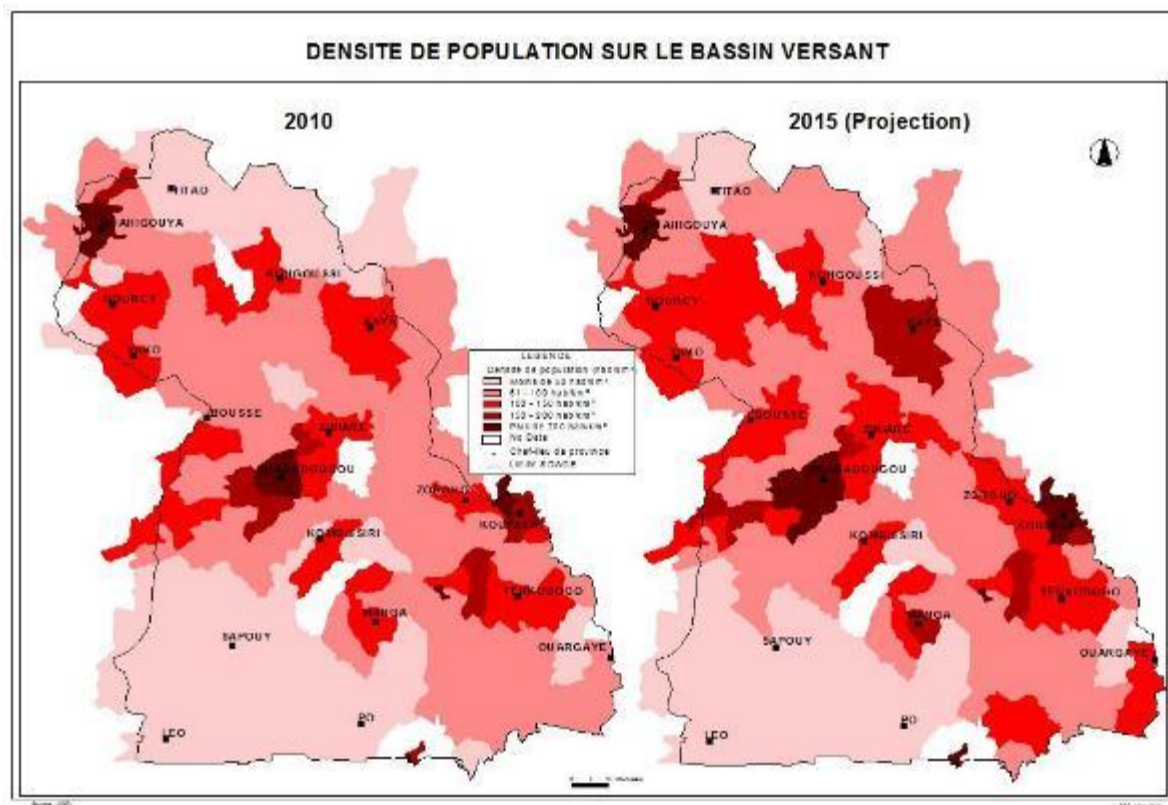
La dégradation des sols est appréciée de manière évolutive par certains producteurs du bassin. Sur la base du vécu quotidien, les agriculteurs disent avoir observé des changements au niveau de la surface du sol sur lesquels ils fondent leur jugement. Pour eux, les rigoles et les ravines remarquées en bas de pente et dans une moindre mesure en haut de pente, sont des indicateurs de la dégradation. La présence de certaines mauvaises herbes, la vigueur des tiges et la sensibilité des cultures aux poches de sécheresse sont autant d'indicateurs de la dégradation des sols constatés par les agriculteurs. Du reste les sols ont été décrits au chapitre I de la Première partie du présent document.

3.1.6 LES RESSOURCES EN EAU

Globalement, le principal problème des ressources en eau de l'espace du bassin du Nakanbé est la pluviosité qui est à la fois faible et aléatoire. Depuis une cinquantaine d'années, la pluviosité a régulièrement baissé, avec des périodes de sécheresse accrue, spécialement dans les années 80. De plus, les précipitations sont souvent inégalement réparties, d'une année à l'autre et au cours d'une même saison des pluies. Les ressources en eau constituent les eaux météoriques, les eaux de surface et les eaux souterraines. Elles sont décrites au chapitre II de la première partie du présent document.

3.1.7 LA DEMOGRAPHIE

Suivant les données du recensement de 2006, l'espace de gestion du Nakanbé compte 6 197 403 habitants dont 52,34% de femmes La région du centre est la plus peuplée (1 782 549), elle est suivie par celle du Nord (973 735). Le centre ouest (494 325) est la moins peuplée des 7 régions. Sur la base de projections faites avec un taux de croissance de 3,24%, la population du Bassin versant est de 6 397 579 habitants en 2010 et atteindra 7 430 788 habitants en 2015. En 2010, la région du centre regroupe à elle seule près du tiers de la population (28%). Le centre ouest demeure la région comportant la plus faible proportion de la population du Bassin Versant (8%). La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre la densité de la population dans l'espace de gestion du Nakanbé. L'analyse de la carte montre que la population est plus dense dans les chefs-lieux de régions. Dans tout l'espace d'étude, la région du centre est plus dense que les autres régions.



carte 11:denistés de population au niveau de l'espace de illisible legendegestion du Nakanbé

3.1.8 ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES

3.1.8.1 Agriculture

La principale activité lucrative de la population du Bassin du Nakanbé est l'agriculture. Elle est pratiquée essentiellement pour des raisons de subsistance. Le système extensif ou traditionnel est le type de production le plus pratiqué dans cette zone d'étude. C'est un système qui est caractérisé par une faible utilisation des matériels modernes de production et des intrants agricoles. Cette agriculture traditionnelle occupe beaucoup plus de place au détriment des usages pastoraux et est souvent source de conflits entre agriculteurs et éleveurs. Néanmoins, nous observons quelques rares productions de système intensif dont l'utilisation de la culture attelée et des intrants, est pratiquée sur les périmètres irrigués par les coton-culteurs. Le bassin du Nakanbé produit principalement les spéculations que sont les cultures vivrières, les cultures de rente et les cultures maraichères. Elles sont pratiquées en général en saison pluvieuse qu'en saison sèche. L'agriculture de l'espace de gestion est essentiellement pluviale. La pratique du maraichage se fait en saison sèche à l'aide des eaux de barrages et ressources en eau souterraines. Les productions agricoles varient différemment d'une région à une autre en fonction de plusieurs facteurs.

3.1.8.2 Elevage

L'élevage représente la deuxième activité qui occupe la plupart des populations du bassin du Nakanbé. Il est la deuxième source de revenu des producteurs après l'agriculture. L'agriculture et l'élevage sont des activités allant de pair car ce sont les mêmes acteurs qui les pratiquent. Elles constituent de ce fait les principales sources pour assurer les besoins de base de la population du bassin du Nakanbé. Les animaux les plus élevés sont essentiellement les bovins, les ovins, les caprins, les porcins, les asins et la volaille.

Le mode d'élevage rencontré est de type traditionnel extensif. Cependant, on peut distinguer trois principaux systèmes :

- Le Système extensif transhumant ou pastoral : il s'agit de l'élevage des bovins et se remarque par un fort déplacement du bétail suivant les saisons et de la disponibilité du pâturage et de l'eau ;
- Le Système agropastoral ou système intégré agriculture-élevage : ce deuxième système se démarque par la prédominance d'un élevage de type familial basé sur l'exploitation des animaux à cycle court (ovins, caprins, porcins, volailles) en complément à la production végétale qui demeure l'activité principale des acteurs ;
- Le Système sédentaire semi intensif ou intensif : ce dernier est caractérisé par l'orientation de la production vers le marché avec une tendance à la modernisation de l'environnement de production (infrastructures, alimentation, soins vétérinaires, etc.) et il est localisé soit à l'intérieur, soit autour des centres urbains (Kombissiri, Manga, Pô). Les principales espèces concernées par ce type d'élevage sont les bovins (lait et viande), les ovins (viande), les poules (Œufs) et les porcs (viande). Le profil des acteurs est de plus en plus diversifié : éleveurs traditionnels, commerçants, fonctionnaires, promoteurs privés.

3.1.8.3 L'artisanat

L'artisanat est l'une des activités pratiquée dans l'espace du bassin et ayant des liens étroits avec l'eau. En effet de la fabrication du beurre de karité, à la petite restauration en passant par la préparation du dolo, l'artisanat est une source importante d'eau d'une part et une source de pollution de l'eau d'autre part.

Par ailleurs, l'environnement dans l'espace du bassin est perturbé par les artisans qui y prélèvent le bois, qui pour la sculpture, qui pour les objets d'utilité. Tout comme les autres secteurs de soutien à la production, la situation de l'artisanat dans l'espace du Bassin versant varie en fonction des régions. C'est ainsi que dans la région du Centre-Sud, l'artisanat est assez varié. On y distingue deux types : l'artisanat de production et l'artisanat de service.

L'artisanat de production englobe les activités produisant des biens d'usage courant, qui, tout en n'ayant pas de caractère artistique particulier, vise une fonction utilitaire principale ou exclusive. Il regroupe des activités comme la menuiserie (bois ou métallique), la tapisserie, la couture, la forge, le tissage, la vannerie, la sculpture, etc. Les principales productions artisanales restent le chapeau de Saponé dont la renommée va au-delà des frontières du Burkina, les poteries de Dagouma au Bazèga, le tissage et la broderie de la mission Catholique de Manga, etc.

L'artisanat de service regroupe toutes les activités fournissant un service d'entretien ou de réparation telles que la mécanique, la maçonnerie, le blanchissage, etc. L'artisanat de service se rencontre surtout dans les chefs-lieux de province et parfois dans les chefs-lieux des communes. A côté de ces principales variantes se trouvent des activités de transformation artisanale exercées surtout par les femmes en saison sèche. Elles constituent une source de revenus pour cette frange de la population. Les activités recensées sont constituées de la fabrication de beurre de karité, la fabrication de savon, la production de soumbala, la préparation du dolo, le décorticage de riz, la production de farines de céréales, la petite restauration.

3.1.8.4 Pêche

Les ressources halieutiques étant intimement liées à la disponibilité de la ressource en eau, on peut convenir qu'avec son réseau hydrographique actuel, l'espace de gestion du Nakanbé est potentiellement riche en ressources halieutiques. Il abrite d'ailleurs 3 des plus grands lacs de barrage du pays : Bagré (21000 à 25000 ha), Dourou /Kanazoé (8000 ha), Ziga (8000 à 10000 ha) (DGRH, 2007). Mais on note une baisse de la production comme l'illustre la situation du PAIE de Bagré donnée dans la figure ci-après. Cette figure met en relief une fluctuation de la production d'une année à l'autre. On note également une tendance générale à la réduction de la production. En 2008 une évaluation de la contribution de la pêche au budget national a donné 7 455 750 FCFA pour l'ensemble du bassin versant, Contre 32 898 250 FCFA pour la totalité des 13 régions soit un taux de 23%. Une étude économique de la filière pêche réalisée

sous l'égide de la FAO en 1997 dans les deux plus grandes pêcheries du pays, à savoir Kompienga et Bagré a permis de mesurer les revenus nets mensuels des différents acteurs de la filière.

3.1.8.5 Mines

Parmi les activités les plus pratiquées dans l'espace de gestion du Nakanbé et qui utilisent d'importantes quantités d'eau, il y a l'extraction minière. Qu'elle soit artisanale ou moderne, l'extraction minière est consommatrice d'eau. De même, cette activité est source de pollution non seulement par les rejets qu'elle occasionne mais aussi par les déchets produits par les populations rassemblées sur les différents sites. La situation des ressources minières dans l'espace de gestion du Nakanbé varie suivant des localités.

En effet, dans la région du Centre Sud le secteur des mines et carrières est peu développé. L'extraction artisanale de l'or sur quelques 6 sites d'orpaillage fonctionnels (site aurifère de Nagrigré et l'embryon de Toula dans le Zoundwéogo, sites d'orpaillage de Boungou, Kassiri, Yelélylya et de Tiébébé dans le Nahouri) constitue la seule activité minière de la région. L'exploitation des agrégats (sables, graviers, moellons) est très répandue surtout dans la province du Zoundwéogo. La région constitue une des sources d'approvisionnement en agrégats de construction. Son exploitation anarchique cause cependant des dégâts sur l'environnement et sur les routes.

Dans le Plateau Central, la situation est similaire à celle du Centre-Sud. On note la présence de sites d'orpaillage et du cobalt dans la province du Ganzourgou (Mogtédou, Boudry et à Wayen). Toutefois, l'inorganisation du secteur et l'inexistence de structures étatiques de proximité dans le domaine constituent une contrainte majeure.

Dans la région du Centre, les activités minières se limitent à l'exploitation inorganisée de carrières, matériaux de construction tels que le sable, le gravillon et les moellons... La région du Centre, et surtout son chef-lieu, abrite par contre d'importants services de promotion du secteur minier national.

Quant à la région du Centre-Est, elle dispose de certains atouts en termes de potentiel minier. Elle compte 8 types de minerais répartis sur 12 sites. Ces minerais sont : le cuivre, l'or, le manganèse, le plomb, le disthène, le talc, l'arsenic et la graphite. Cette richesse minière connaît une répartition spatiale discriminée sur toute l'étendue du territoire régional. En effet, la province du Boulgou abrite 85% de ces minerais. 10% et 5% sont respectivement dans les provinces du Kourittenga et du Koulpelgo. Les minerais sont quasi inexploités. La mine d'or de Dassoui dans le département de Dialgayé est l'objet d'une exploitation artisanale tandis

que celle de Youga dans le département de Zabré connaît une exploitation industrielle. Il est donc à noter le faible niveau d'exploitation minière dans la région.

La région du Centre-Ouest dispose de ressources minières qui sont dans la plupart des cas, localisées dans les provinces du Boulkiemdé et du Sanguié.

Dans la région du Centre-Nord le secteur minier se caractérise par l'existence de minerais tels que l'or (dans toute la région), d'indice de diamant (à Barsalogo), du fer (à Bourzanga). Il existe également des schistes bitumeux et argile à Boussouma, de la bauxite et du kaolin à Sabcé.

Trois permis de recherche géologique et minière, ont été accordés à des sociétés minières (GEP, Cluff Mining, Orezone) à Alga, Zankom-Bissa etc.

Parmi les autres sites en activités, on peut citer outre les dizaines de sites d'orpaillage à travers toute la région, les exploitations minières artisanales semi mécanisées de Alga et de Guibaré au Bam. La région regorge de sites d'orpaillage disséminés dans les provinces. Les plus importants recensés sont les sites de Karentenga, Alga, Sabcé, Tikaré, Bonia, Boualé, Dadogo, Bouroum, et Gouenga.

La région du Nord est caractérisée par des indices variés, notamment l'or, le manganèse, le molybdène, le cuivre, les magnétites titanifères et vanadifères, ainsi que les substances utiles tels que le kaolin et les argiles, les matériaux de construction (latérites)...

Les sites en exploitation sont, le site d'orpaillage de Bouda, les sites de Kéra, de Roba, de Margo, de Youba, de Rounga, de Watinoma, de Kalo, de Gambo, de Toulfé, de Sissamba, de Kalsaka.

Par ailleurs des gîtes d'or ont été identifiés à Thiou, Goulagou, Nongofaïré, Margo, Tourouba, Séguénéga, Gambo-Bakou, Bouboulou, Koupèla Nagséné, Bouda, Kalsaka.

L'espace de gestion du Nakanbé comprend d'énormes ressources environnementales qui subissent des pressions diverses. L'évolution des ressources en eau, des sols et de la végétation dans un espace aussi démographique entraîne leur dégradation. De plus le climat connaît une certaine précarité au cours des dernières décennies. Les secteurs de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage sont très sensibles à la dégradation des ressources naturelles telles que le sol, les ressources en eau et l'agriculture. La mise en œuvre du processus GIRE a renforcé le cadre organisationnel, de planification afin de mieux s'adapter et de faire face aux effets des changements climatiques surtout dans les domaines agro-sylvo-pastorales.

PARTIE II

CADRE DE LE ETUDE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

chapitre iv ;Approche méthodologique globale

Alimenter ce chapitre avec la justification du choix des sites pour les différentes analyses.

CHAPITRE IV : Matériels et Méthodes

Le contexte de notre étude nous a amené à utiliser du matériel de génie civil, du matériel hydrologique, cartographique, informatique, pédologique, d'entretien, de traitement, etc. Les ressources naturelles telles le sol, l'eau ont été utilisées. Certains matériels ont été construits pour effectuer la collecte de données brutes et d'autres ont été acquis et utilisés directement.

4.1 MATERIEL PEDOLOGIQUE

- Sols du périmètre de Goinré, Ziga et du périmètre rizicole de Bagré

Les sols sur lesquels l'étude s'est réalisée sont des sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes (BUNASOLS, 1990). Ces sols profonds ont la texture limono-sableuse en surface et argilo-sableuse en profondeur. La réaction du sol (pH) est très favorable à la culture du riz et leur taux de matière organique est moyen (varie entre 1 à 2%). Les eaux du barrage de Bagré et celles des barrages de Goinré, de Ziga ont également fait l'objet de prélèvement **(Erreur ! Source du renvoi introuvable. et Erreur ! Source du renvoi introuvable.)**.

Les sols du périmètre rizicole de Bagré sont de plusieurs types. On a les lithosols, les sols peu évolués, les sols ferrugineux tropicaux, les sols hydromorphes et les sols brunifiés. Les sols sur lesquels l'étude s'est réalisée sont des sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes (BUNASOLS, 1990). Ces sols sont profonds dont la texture est limono-sableuse en surface et argilo-sableuse en profondeur. La réaction du sol (pH) est très favorable à la culture du riz et leur taux de matière organique est moyen (varie entre 1 à 2%).

- Les sites de prélèvement d'eau

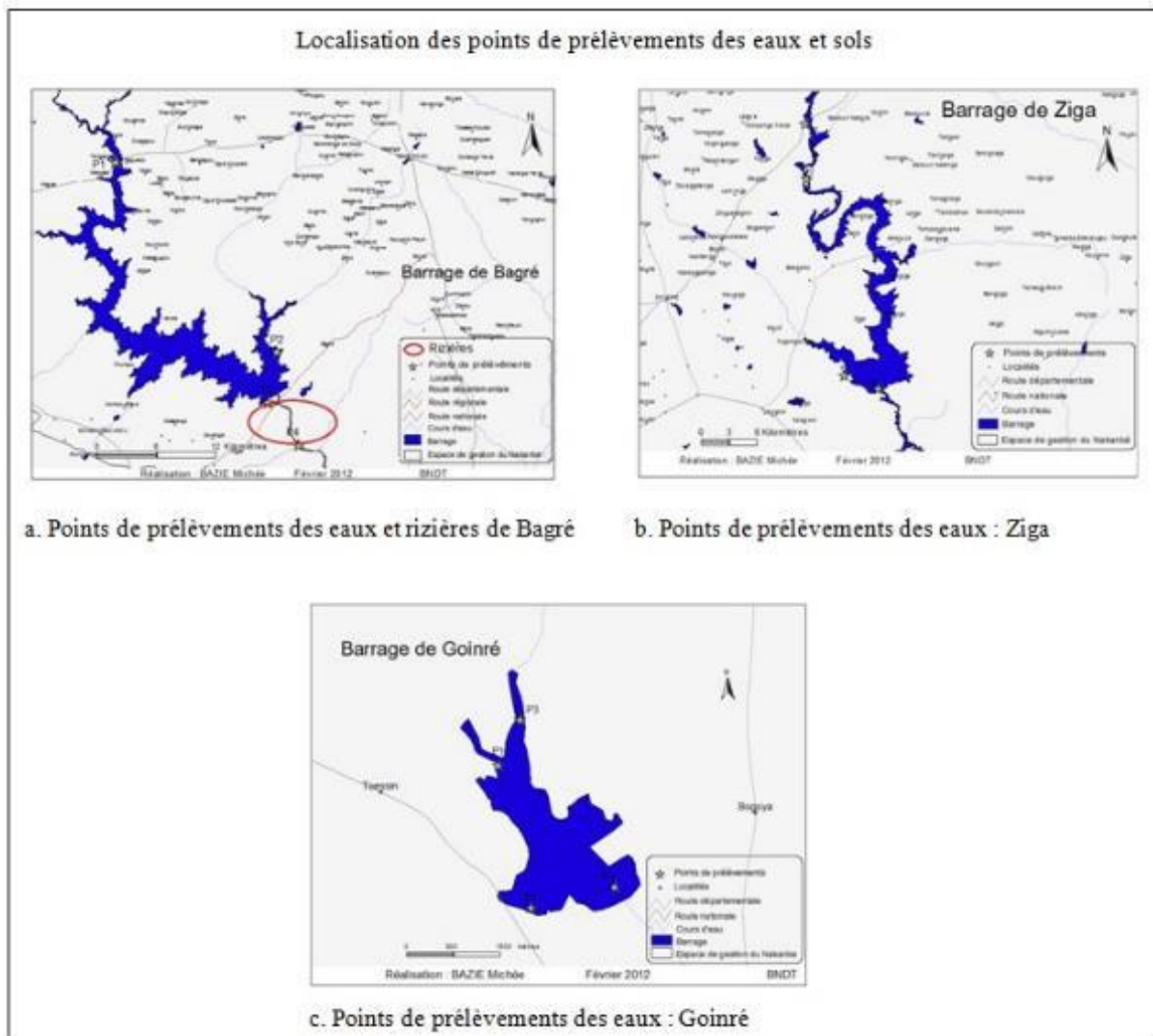
Le tableau 9 montre les sites de prélèvement d'eau dans le bassin du Nakanbé

Tableau 3: sites de prélèvements des eaux

Nom barrage	Longitude	Latitude	Capacité maximale
Goinré	2°27'54'' et 2°26'23'' O	13°37'10'' et 13°39'35'' N	1,9 million de m ³

Ziga	1°11' et 1°02' O	12°29' et 12°46' N	200 million de m ³
Bagré	0°14' et 0°50' O	11°12' et 11°53' N	1 700 million de m ³

Arranger mieux le tableau



carte 12:Localisation des points de prélèvements des eaux et des sols montrez bien ces points

4.2 MATERIEL ETHNOPEDOLOGIQUE

Prospection ethnopédologique

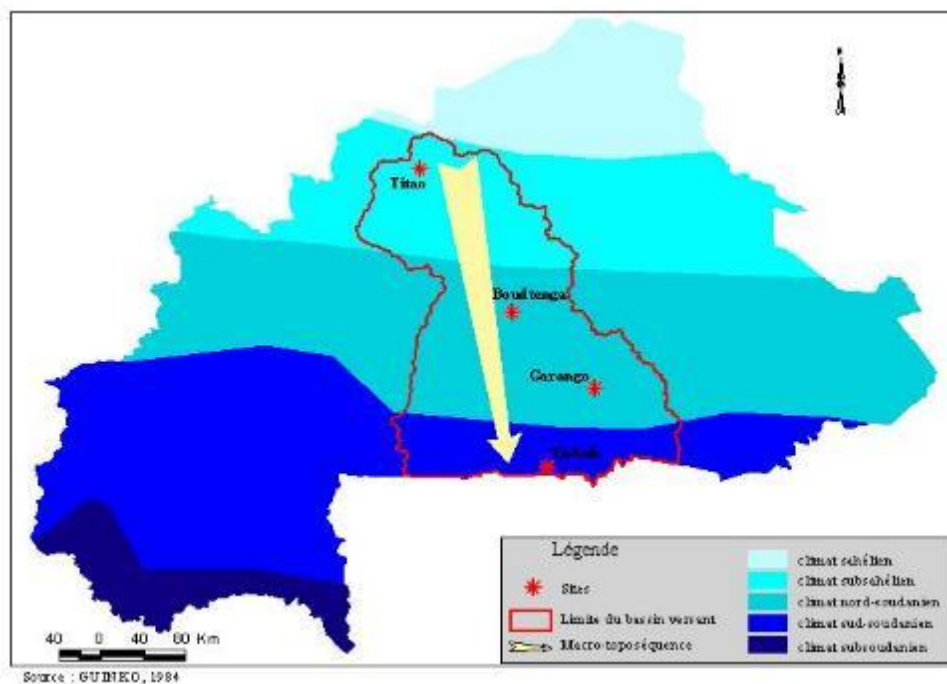
- Contexte géologique des sites

La distinction des sites d'étude a été réalisée à l'aide de la carte géologique. Chaque site d'étude est uniforme concernant le matériau parental (acide ou basique). Un premier groupe

de sites se situe sur des milieux acides constitués de formation à migmatites leptyniques, les villages concernés sont : Bourtenga 1, Kampala, Sago, Woro. Un deuxième groupe est situé sur un milieu basique appartenant à des formations migmatites à biotite et à des roches volcano-sédimentaires. IL s'agit respectivement des villages de Bouna, Bourtenga 2 et Tanguéra pour la première et Mationgo pour la deuxième. Le micro-bassin versant type de chaque site est déterminé à partir des cartes morphopédologiques et des cartes topographiques.

- Localisation des sites

La prospection éthno-pédologique a été menée le long d'une macro-toposéquence qui traverse l'espace de gestion de Nakanbé du nord au sud. Au total huit sites représentatifs de cette macrotoposéquence ont été retenus : Bouna, Woro (zone sud-sahélienne) Bourtenga1, Bourtenga2, Sago, Tangaré (zone nord-soudanienne), Kampala, Mationgo (zone sud-soudanienne) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



carte 13:localiasation des sites d'étude

Tableau 4: coordonnées géographiques des sites d'études

Sites	Bouna	Bourtenga	Kampala	Mationgo	Sago	Tangaré	Woro
		1					

Coordonnées	Y :	Y:30P138	Y :	Y :	Y:	Y :	Y :
	30P1523	0527.3	30P1239	30P123805	30P131531	30P130295	30P153180
	868.7		047.9	7.2	3.0	9.4	1.8
	X:	X :690850	X :71850	X :	X :	X :	X :
	609780.1	.2	9.8	724108.9	771307.0	769542.3	0596011.0

- Tracé des transects

Les topo-séquences ont été identifiées sur des micro-bassin-versants représentatifs des sites d'études à partir des cartes morpho-pédologiques élaborées à partir des photographies aériennes interprétées. Les transects partent généralement des points les plus hauts du bassin versant (relief résiduel) aux points les plus bas (vallon ou plaine).

Les coordonnées des sites et des topo-séquences ont été repérées à partir des fonds de cartes topographiques à l'aide de l'outil SIG (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ces coordonnées ont ensuite été enregistrées dans un GPS. Au total 8 transects ont été définis dans l'ensemble des sites retenues sur la macrotopo-séquence : Woro et Bouna (zone climatique sud-sahélienne) ; Bourtenga1, Bourtenga2, Pagou, Sago (zone climatique nord-soudanienne) ; Kampala, Mationgo (zone climatique sud-soudanienne).

Leur répartition est de deux (2) par zone climatique à l'exception de la zone nord-soudanienne qui en comporte 4 en raison de la présence de deux communautés ethniques importantes (mossi et bisssa).

4.3 MATERIEL PHYTOECOLOGIQUE préciser lieu de mesures

- Prospection phytoécologique

En vue d'observer les différents faciès du milieu et d'apprécier l'homogénéité et la représentativité des types de formations, il est nécessaire de faire une prospection. Et la méthode phyto-sociologique de BRAUN-BLANQUET, modifiée par Sharma (1988) est retenue pour notre étude. C'est une démarche analytique qui s'effectue en deux phases :

- Une phase de reconnaissance préliminaire des combinaisons d'espèces et de leur délimitation.
- Une phase de réalisation des relevés sur des surfaces au moins égales à l'aire minimale.

- Une démarche synthétique qui consiste en la comparaison des relevés par les méthodes des tableaux.

L'inventaire des ligneux a consisté à identifier les différentes espèces, leur effectif, à mesurer le diamètre du tronc à la base et la hauteur totale du plant.

- Aire minimale

L'aire minimale se définit selon Gounot (1969), Roland et Guinko (1984) comme la surface à partir de laquelle, il y a plus ou presque pas d'espèces nouvelles. La détermination de l'aire minimale se fera par la méthode du carré GOUNOT qui s'effectue de la manière suivante :

- Considérer un cadre d'un mètre carré (1 m²) dans un endroit quelconque du groupement considéré.
- Dresser ensuite, une liste des espèces présentes sur la surface délimitée.
- Doubler, à chaque fois la surface à l'aide d'une ficelle et de piquets pour recenser les nouvelles espèces.
- Au fur et à mesure que la surface est doublée le nombre d'espèces nouvelles diminue et devient nul par la suite.

- Relevés phytosociologiques

Dressez un relevé phytosociologique consiste à établir la liste floristique aussi complète que possible de la forêt étudiée.

Pour la suite du travail, l'on effectue des relevés à l'intérieur des placettes de surfaces au moins égale à l'aire minimale. Pour obtenir le maximum d'informations en un temps relativement court, il convient de disposer dans chaque individu d'association, un nombre de relevés suffisamment représentatifs des espèces étudiées.

Selon Sharma (1988) la réalisation de plusieurs relevés de surface égale à l'aire minimale est nécessaire. Pour chaque relevé, il faut dresser la liste des espèces et récapituler les données dans un tableau. Mais la forêt que nous avons prospecté était entrecoupée de champs, et nous n'avons pu dresser que trois relevés. Dans le premier relevé, la présence des espèces est notée par le signe (+). Par la suite l'absence d'une espèce dans les relevés est notée par le signes (-). Dans chaque relevé le total cumulé du nombre d'espèces est égale à la somme des signe (+) et (-) qui y seront attribués.

On trace par la suite un graphique avec en abscisse le nombre et en ordonnées le total cumulé du nombre d'espèces. La courbe ainsi obtenue présentera une pente minimale qui

correspondra au nombre minimum de relevés à réaliser. Une fois le nombre obtenu, il sera majoré pour être plus sûr de recenser un maximum d'espèces.

4.4 MATERIEL CARTOGRAPHIQUE ET IMAGES SATELLITALES

Le matériel cartographique utilisé comprend :

- une carte d'occupation des terres (BDOT 1992 et 2002) au 1/500 000 ;
- une carte de densité de populations au 1/200 000 ;
- Modèle numérique de terrain (MNT) de 30 m de résolution ;
- une carte géomorphologique du BUNASOLS (1992) au 1/200 000 ;
- une carte pédologique du BUNASOLS (1992) au 1/200 000 ;
- une carte pédologique de reconnaissance de la Haute Volta (ORSTOM, 1977) ;
- une carte topographique de l'IGB au 1/200 000 ;
- une carte climatique du Burkina (Direction de la Météorologie Nationale, 1999) ;
- une carte phytogéographique (Guinko, 1998) ;
- des cartes géologiques élaborées en 1967 par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) à l'échelle 1/200 000 ;
- des cartes morpho-pédologiques des provinces de : Boulgou, Loroum, Nahouri, Bazèga et Oubritenga (BUNASOLS, 1989 ; 1996 ; 2004) ;
- des images satellitales : des images satellitales de types LANDSAT TM de 1982, 1993, et de 2011 avec une résolution de 30 m ont été utilisées pour collecter des données sur l'occupation des terres dans la zone d'étude. Pour couvrir toute la superficie du bassin versant du Nakanbé, il a fallu totalement ou partiellement une combinaison de 07 images distinctes et pour chacune des dates ci-dessus indiquées. Ces images portent les indications suivantes : Image 1 : Path=194 ; Row=51, Image 2 : Path=194 ; Row=52, Image 3 : Path=195 ; Row=50, Image 4 : Path=195 ; Row=51, Image 5 : Path=195 ; Row=52, Image 6 : Path=196 ; Row=50, Image 7 : Path=196 ; Row=51. Pour l'ensemble des trois dates, ce sont des images du mois de septembre qui ont été utilisées du fait que le mois de septembre est une période favorable pour suivre l'évolution des terres cultivées et des cours d'eau car correspondant à l'hivernage.

4.5 MATERIEL DE COLLECTE DE DONNEES DE TERRAIN

Le matériel de collecte de données comprend :

- des fiches d'enquête qui sont des guides d'entretien : pour faciliter la collecte des données sur le terrain, des fiches d'enquêtes et guides d'entretien ont été élaborés. Ces fiches nous ont servi d'outils de base à l'entretien avec des usagers directs de la ressource eau (maraichers, pêcheurs, éleveurs), des comités locaux de l'eau, et des personnes ressources telles que les autorités administratives et communales, les services techniques, et les autorités coutumières et religieuses, etc...). Elles nous ont permis après traitement de comprendre la perception des différentes catégories d'acteurs sur le phénomène de changements climatiques, à travers notamment leurs causes, leurs manifestations et leurs conséquences ; de connaître les modes d'exploitation et de gestion des ressources naturelles (eau, sol, végétation) ; et de mettre en évidence les stratégies locales d'adaptation aux changements climatiques mises en œuvre par populations de la localité ;
- des fiches de relevés terrain : Cette étape consiste à l'identification des indicateurs de dégradation à partir de la carte des points à sonder. Ces relevés de terrain appuyés par les cartes d'occupation des terres, les cartes pédologiques, les cartes topographiques, le MNT permettra de subdiviser le bassin versant en sous-bassins versants en fonction du niveau de dégradation. Elles ont été utilisées également en complément. Des fiches d'enquêtes et du GPS. Elles ont permis d'attribuer des caractéristiques aux différentes entités spatiales géo-localisées sur le terrain et de fixer des indicateurs de dégradation ;
- des questionnaires de collecte de données ;
- des fiches de relevés terrain ;
- un GPS de marque Garmin : Tout au long de la campagne de collecte des données, le GPS a été cet important outil qui s'est prêté aux travaux de positionnement, d'observations, de relevés et de navigation de terrain ;
- un décamètre ;
- Un appareil photo numérique a été utilisé pour les prises de vues sur le terrain.

Des pioches, marteaux, décamètre et couteaux ont été utilisés pour le prélèvement d'échantillons.

4.6 MATERIELS DE MESURE SOL/EAU

- Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre WTW INOLAB PH 730 selon la norme française NF T 90-008.

- La conductivité électrique a été déterminée par un conductimètre CDM 83 de marque Radiometer et équipé d'une cellule de mesure de type à immersion CDC 304 comportant une électrode.
- La turbidité a été mesurée par la méthode quantitative faisant appel à un turbidimètre optique WTW TURB 550.
- Les teneurs en nitrate et en ortho phosphate ont été déterminées à l'aide d'un spectromètre UV-VIS Shimadzu UV-160A selon la norme française NF T 90-023.
- La DBO5 est la quantité d'oxygène, exprimée en mg, qui est consommée dans les conditions de l'essai (incubation durant 5 jours à 20 °C et à l'obscurité) par certaines matières présentes dans 1 litre d'eau, notamment pour assurer leur dégradation par voie biologique. La mesure de la DBO5 avec le système Oxitop est basée sur le principe de la pression (mesure par différence). La mesure est faite à l'aide d'une sonde de pression électronique piézo-résistante. L'incubation s'effectue pendant 5 jours à l'obscurité dans une enceinte à 20 +/- 1°C. La mesure de la quantité d'oxygène consommé permet la détermination de l'oxygène dissous.

4.7 MATERIEL DE TRAITEMENT DES DONNEES

Le matériel de traitement de données comprend :

- un Ordinateur munit du système Windows XP ;
- des logiciels: Word 2007, Excel 2007; Arcview3.2; Arc GIS 9.3 ;
- le compact office à travers ses applications de traitement de texte (Microsoft Word) et tableur (Microsoft Excel) et un logiciel de traitement de texte: Word 2007 ;
- le logiciel GPS Expert qui a permis de transférer les données du GPS à l'ordinateur ;
- un logiciel de traitement d'images satellitaires ;
- des logiciels SIG (Arcview3.2; Arc GIS 9.3) qui ont servi aussi bien à l'analyse qu'à la conception cartographique ;
- les données collectées auprès des structures techniques intervenant dans la zone, les données terrain sur le milieu biophysique et les données issues des enquêtes socio-économiques ont été traitées et analysées à l'aide des matrices de Léopold et de Fecteau (PNUE, 2002) et des logiciels Arcview et Arc GIS (pour les données cartographiques) et à l'aide de Excel 2007 pour les données numériques.

4.8 MATERIEL POUR L'ANALYSE STATISTIQUE DE LA VARIABILITE HYDRO-CLIMATIQUE

Les séries de données hydrologiques et météorologiques mensuelles ont été utilisées tout au long de l'étude. Les données hydrologiques reconstituées ont été collectées auprès de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) et les données météorologiques (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ont été collectées auprès de la Direction Générale de la Météorologie (DGM). Des couches de bases cartographiques (la carte des bassins versants du continent 1Km x 1Km et les cartes d'occupation du sol et de la nature des sols) et un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'Afrique (la carte numérique de terrain présentant le relief du continent), établies par l'USGS d'une part et par la FAO d'autre part, ont été acquises auprès du centre régional Agro-Hydro Météorologie (AGRHYMET). La carte du bassin versant de l'espace de gestion du Nakanbé a été extraite à partir de la carte des bassins versants de l'Afrique. Les caractéristiques physiques du bassin ont été déterminées à partir des Modèles Numériques de Terrain (MNT) présentant le relief de l'Afrique. La carte d'occupation du sol et celle de la nature des sols, issues de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et incorporées dans le logiciel GeoSFM, ont été utilisées. Nous avons utilisé quelques logiciels pour les différentes opérations de l'étude. Il s'agit de Microsoft Excel pour le traitement des données quantitatives, de Khronostat pour la détection des dates de rupture dans les séries chronologiques, de Surfer pour l'interpolation des pluies et la cartographie, de Arcview pour la cartographie et du modèle GeoSFM pour l'extraction de bassin versant et la détermination des caractéristiques de bassin, du modèle GR2M pour la modélisation pluie-débit et de Microsoft Word pour la rédaction du rapport. Les données de vingt-deux (22) stations météorologiques et celles de trois (3) stations hydrométriques ont été utilisées pour l'étude. Les paramètres climatiques sont la pluie, l'évapotranspiration et la température. Les caractéristiques des sols (capacité de rétention en eau du sol ou WHC) ont été extraites par GeoSFM et utilisées dans le modèle GR2M.

resumer le point sur les traitements et analyses stastiques de donnees obtenues

Tableau 5: stations météorologiques utilisées

Sous bassin	Stations	Longitude	Latitude	Période de la série			
				pluie	Température	ETP	débit
Sissili à Nebbou	Leo	-2.1000	11.1000	1950-2004			1961-2005
	Gao	-2.1833	11.6500	1965-2005			
	Sapouy	-1.7667	11.5500	1959-2005			
Nazinon à Ziou	Pô	-1.1500	11.1667	1950 -2005	1982-2005	1984-2005	1963-2005
	Betare	-1.3667	11.4333	1965-2005			
	Kindi	-2.0333	12.4333	1963-2005			
	Kokolgho	-1.8833	12.1833	1965- 2005			
	Sapone	-1.6000	12.0500	1957-2005			
	Tiebelle	-0.9667	11.1000	1961-2005			
	Tanghin dass	-1.7167	12.2667	1969-2005			
Nakanbé à Bissiga	bam	-1.5000	13.3333	1950-2005			1961-2005
	Ouahougouya	-2.4333	13.5833	1950-2005	1950-2004	1961-2005	
	Titao	-2.0667	13.7667	1963-2005			
	Gourcy	-2.3500	13.2000	1956-2005			
	Yako	-2.2667	12.9667	1950-2005			
	Bourzanga	-1.5500	13.6833	1963-2005			
	Seneguega	-1.9667	13.4333	1956-2005			
	Tikare	-1.7333	13.2833	1959-2005			
	Mane	-1.3333	12.9833	1962-2005			
	Tema	-1.7667	13.0500	1962-2005			
	Kaya	-1.0833	13.1000	1950-2005			
	Korsimoro	-1.0667	12.8167	1964-2005			
Nakanbé	Ouaga aero			1952-2005		1961-2005	

Tableau 6: Stations synoptiques

sous bassin	station ETP	Période
Sissili	Pô	1984-2005
Nazinon	Pô	1984-2005
	Ouagadougou	1961-2005
Nakanbé	Ouahougouya	1961-2005
	Ouagadougou	1961-2005

Le chapitre a montré une diversité de matériel employé pour l'étude. Le paquet de matériel et technique utilisé se démarque sur le domaine et le contexte dans lequel l'étude est menée. Les domaines abordés sont par l'étude ont entre autres l'agriculture, la sylviculture et l'élevage, l'hydrologie. Les concepts nouveaux et émergents tels que la GIRE et le changement climatique ont été développés dans cette étude. La qualité du matériel influence fortement les résultats qui seront obtenus avec les méthodes utilisées.

CHAPITRE V : METHODOLOGIE

RESUME LES METHODES DANS LE TEXTE ET METTRE DETAIL SOUS FORME DE TABLEAU EXPLICATIF EN ANNEXS

L'étude sur les pratiques agro-sylvo-pastorales d'adaptation aux changements climatiques : effets et impacts sur les ressources en sols et en eau dans l'espace de gestion du Nakanbé au Burkina Faso est une étude menée dans une approche participative ayant impliqué des acteurs diversifiés de la gestion des sols, des eaux et des ressources connexes. Elle a fait appel à plusieurs méthodes avec la collaboration de plusieurs étudiants d'Universités et de disciplines diverses (dans le cadre de leur DEA ou master 2).. Les méthodes globales employées sont résumées au Choix zone d'étude, à la prospection pédologique, la prospection ethnopédologique, l'échantillonnage du sol, l'échantillonnage des végétaux, l'échantillonnage des eaux, l'estimation des pertes de terres, l'analyse pédologique, l'analyse des eaux, le traitement et l'analyse statistique des données, l'analyse de sensibilité, la photo-interprétation, le calage préliminaire et ajustement du bilan hydrique, l'analyse statistique des données hydro-climatiques, l'analyse multi chronique de l'occupation des terres à l'aide des images satellitales, l'évaluation de la régénération de la végétation, l'évaluation de la régénération de la végétation, la validation de la classification par la matrice de confusion

5.1 CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE (mettre cette partie au niveau du chapitre 4)

L'espace de gestion du Nakanbé étant une zone de transition entre le sahel et la zone forestière, les activités économiques y sont très importantes surtout l'élevage et l'agriculture. Les nombreux travaux réalisés dans la zone du bassin versant supérieur du Nakanbé font apparaître une rapide progression des zones cultivées et l'apparition des sols nus au détriment de la formation végétale naturelle (Manchall, 1993, Kanziemo, 1999, Soulé, 1999, Borrell, 2000). Cette diminution est le plus souvent irréversible, les sols se retrouvent sans aucune

protection antiérosive sous l'action de l'agressivité climatique. Il s'y développe des croûtes de battances ou des tâches d'induration, qui favorisent l'érosion et le ruissellement de ces zones. Cette dégradation a également des répercussions très dommageables sur les ressources en eau et sur les ressources renouvelables de manière plus générale. Le développement social, économique se trouve alors affecté. Cela est d'autant plus sérieux que les plus grandes agglomérations du pays y compris la Capitale s'y trouvent. C'est entre autre pour cette raison que la première Agence de l'eau, chargée de la gestion intégrée des ressources en eau a été créée. Le choix de l'espace de gestion du Nakanbé est donc un choix guidé par le souci d'apporter notre contribution au développement de notre pays, en s'attaquant à une problématique aussi cruciale dans ledit bassin que celle de la dégradation des terres, des ressources en eau et des ressources connexes. Le choix du bassin du Nakanbé se justifie également par le fait que c'est un espace pionnier dans la mise en œuvre de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau.

Mettre ce point au niveau du chapitre4

5.2 METHODE DE PROSPECTION

5.2.1 Prospection pédologique

La méthode de prospection pédologique utilisée est celle de la topo-séquence. L'échelle de l'étude est le 1/10000. Quatre sites représentatifs ont été retenus dont la superficie totale est de 128 ha. Sur chaque site, un minimum de dix (10) fosses pédologiques ont été ouvertes selon deux topo-séquences. L'ensemble des sites (bas-fonds) a été couvert par quarante-deux (42) fosses pédologiques. Les profils ont été décrits selon les directives FAO (1994) et classés selon la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols CPCS (1967). Les couleurs de sols ont été déterminées à l'aide du code Munsell). Le dixième (1/10^e) des profils représentatifs a été prélevé soit au total 12 échantillons provenant de quatre (4) fosses. Les analyses physiques et chimiques ont été effectuées au laboratoire du Bureau National des Sols (BUNASOLS).

5.2.2 Prospection éthno-pédologique

La prospection éthno-pédologique s'est basée sur la technique des transecs. Au total, huit transecs ont été définis. Leur répartition est de deux par zone agro-climatique à l'exception de la zone nord-soudanienne qui en comporte quatre. L'enquête sur la nomenclature paysanne et la perception locale de la dégradation des ressources a été réalisée auprès de cinq producteurs environ par terroir. La tranche d'âge de ces producteurs est supérieure à 30 ans.

La description paysanne des sols ainsi que les indicateurs de la dégradation selon la perception locale a été réalisée sur le terrain en cheminant du sommet vers le bas de la toposéquence. Chaque fois après la description paysanne des sols et des indicateurs de dégradation des ressources, les profils pédologiques sont ouverts et décrits en raison d'un profil par catégorie de sol

5.3 COLLECTE DES DONNEES

Avant d'entamer les différentes prospections sur le terrain, une sortie de reconnaissance de terrain a d'abord été effectuée sur le site d'étude. Elle a consisté à prendre contact avec la population et les autorités administratives locales et apprécier la complexité du terrain. La phase enquête a permis d'avoir des entretiens individuels avec les exploitants de chaque bas-fond. Elle a aussi concerné les personnes âgées dont l'âge est supérieur ou égal à **harmoniser les ages** en vue de faire ressortir l'évolution de l'utilisation des bas-fonds depuis les périodes de grandes sécheresses. La méthode d'enquête utilisée est la méthode semi-directe, qui donne la possibilité aux interlocuteurs de poser des questions à l'enquêteur. Les guides d'entretien ont été élaborés et administrés. L'entretien centré ou focus interview a été privilégié afin de laisser la latitude aux interviewés de nous fournir le maximum d'informations tout en demeurant dans le sujet de l'étude. L'entretien a l'avantage aussi d'obtenir des informations auxquelles on n'aurait pas pensé auparavant ou de procéder à certaines reformulations surtout si les réponses méritent d'être approfondies.

L'enquête socio-économique se focalise sur le recensement auprès des populations des méthodes de conservation des eaux et des sols issues du savoir local ou vulgarisées par les services techniques, les projets et ONG afin d'identifier avec ces populations celles qui pourraient mieux s'adapter au contexte des changements climatiques.

Le groupe cible comprend les organisations de producteurs agricoles, d'éleveurs, les groupements de gestion forestière, le Comité Local de l'Eau (CLE) du bassin du barrage de Lagdwenda et les personnes ressources.

Les données collectées auprès des structures techniques intervenant dans la zone, les données terrain sur le milieu biophysique et les données issues des enquêtes socio-économiques ont été traitées et analysées à l'aide des matrices de Léopold et de Fecteau (PNUE, 2002) et des logiciels Arcview et ArcGIS (pour les données cartographiques) et à l'aide de Excel 2007 pour les données numériques.

Les données collectées sur les transects sont :

- les noms locaux des sols, les méthodes de description, les perceptions locales du changement climatique et de la dégradation des ressources naturelles, les méthodes de conservation des eaux et des sols ;
- la caractérisation scientifique des sols identifiés par les paysans et la corrélation entre la classification locale et la classification scientifique. La méthode de prospection suivie est la méthode topo-séquentielle (BUNASOLS, 1989). La profondeur des profils varie de moins 20 cm à 120 cm en fonction de la présence ou non d'une induration. Les profils de sol ont été décrits selon les directives FAO (1994) et classés selon le système de classification française des sols (CPCS, 1967). Les couleurs ont été déterminées à partir du code Munsell. La densité des profils qui varie de 3 à 7 est fonction des types de sols locaux rencontrés sur la topo-séquence ;
- les prélèvements d'échantillons effectués sur les 20 premiers centimètres en raison d'un échantillon par profil. Au total 29 échantillons ont été prélevés pour les analyses au laboratoire.

Des données complémentaires et la perception du changement climatique ont été obtenues à travers les enquêtes en groupe. Les travaux de terrain ont également consisté en la détermination de la morphologie des bas-fonds et en une prospection pédologique dans chaque bas-fond. Cette caractérisation morpho-pédologique des bas-fonds a été précédée d'une phase enquête menée auprès de la population locale.

5.4 ECHANTILLONNAGE

5.4.1 Echantillonnage du sol

Dans le but d'analyser la fertilité des parcelles aménagées en cordons pierreux, quatre prélèvements ont été effectués à l'aide d'une tarière suivant la diagonale de chaque placette et en fonction des profondeurs 0-10, 10-20, 20-30 cm. Des quatre prélèvements de même profondeur suivant la diagonale, nous avons fait un mélange pour obtenir un échantillon composite, dont trois échantillons composites par placette. Les échantillons ont été séchés à l'ombre pendant 14 jours.

Les parcelles sur lesquelles l'étude a été menée ont été choisies sur la base de leur âge d'exploitation. Les plus vieilles parcelles, sur lesquelles le projet pilote de Bagré a été effectué depuis 1987, sont toujours en exploitation. Les plus jeunes parcelles de 2003 qui sont en exploitation intensive. Et les parcelles d'âge intermédiaire dont les premières exploitations étaient en 1998. Une parcelle témoin a été identifiée. Les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une tarière aux profondeurs 0-20 cm et 20-40 cm en cinq points repartis sur la

parcelle et mélangés pour en faire un échantillon composite. Ces échantillons ont été séchés à l'ombre, tamisés à 0,5 et 2 mm puis conservés à température ambiante. Les grosses mottes de terres des échantillons prélevés, ont été brisées et séchées à l'air ambiant ou dans une étuve à 37 °C jusqu'à ce que l'échantillon soit sec en cinq jours (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2009). Après le séchage, les roches et les débris végétaux ont été enlevés et les agrégats réduits à l'aide d'un broyeur ou d'un mortier et tamisés à 2 mm.

- Le positionnement des placettes

Les parcelles ont d'abord été délimitées selon leur âge et identifier le point le plus élevé des sites à l'aide du GPS. Et grâce à un ordinateur, nous avons ensuite matérialisé les transects et tracé les placettes. Quatre transects orientés selon les points cardinaux ont été mis en place. Sur le site de Somyaga (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), nous avons pris une termitière comme centre des transects. Les placettes d'échantillonnage ont des dimensions de 50 m x 30 m. Une placette a été positionnée dans un bosquet naturel, non aménagé pour servir de témoin positif dans l'étude des cordons pierreux et des demi-lunes. Une autre placette a été positionnée dans un zipellé pour servir de témoin négatif.

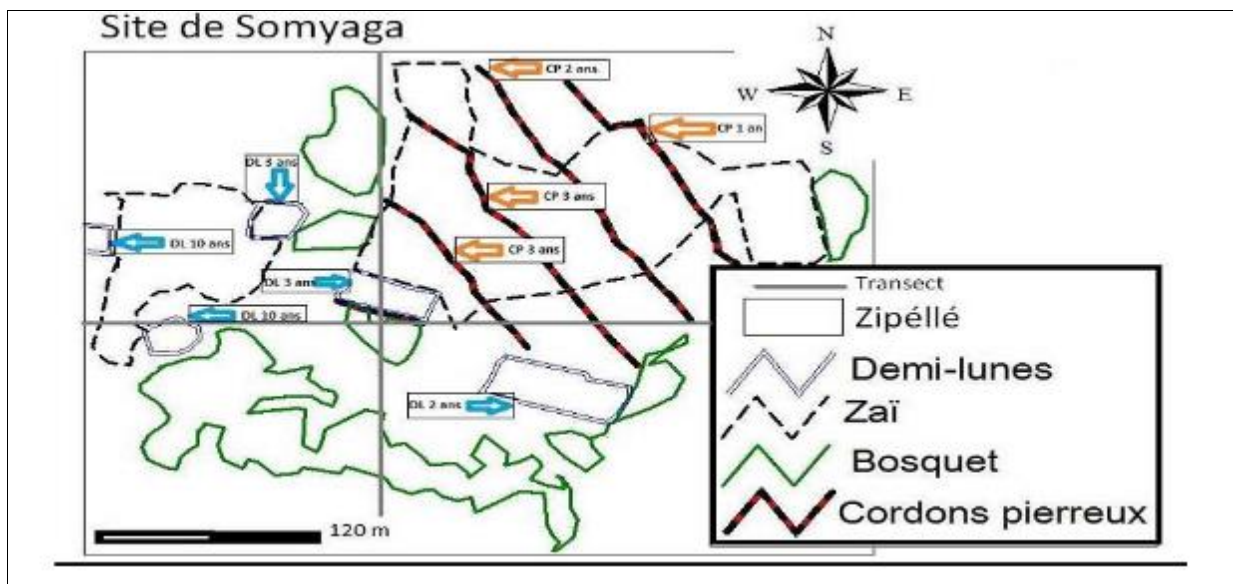


Figure 2: Site de Somyaga

Sur le site de Sampéma (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), le centre des transects est une butte situé à mi-chemin entre les berges reboisées de 6 ans et celles de 3 ans. Nous avons initialement fait des blocs, suivant le cours d'eau de 75mx30m. Les blocs 1 ; 2 et 3 sont respectivement âgés de 6 ; 4 et 3 ans. A l'intérieur de chaque bloc, nous avons procédé au tracé de trois placettes suivant la pente de la berge. Pour chaque bloc, la première placette (en haut de pente) de 10 m x 20m est reboisée en *Azadirachta indica*, la seconde (moyenne

penne) de 30 m x 20 m en *Mangifera indica* et la dernière (bas de penne) de 35 m x 20 m en *Sarcocephalus latifolia*.

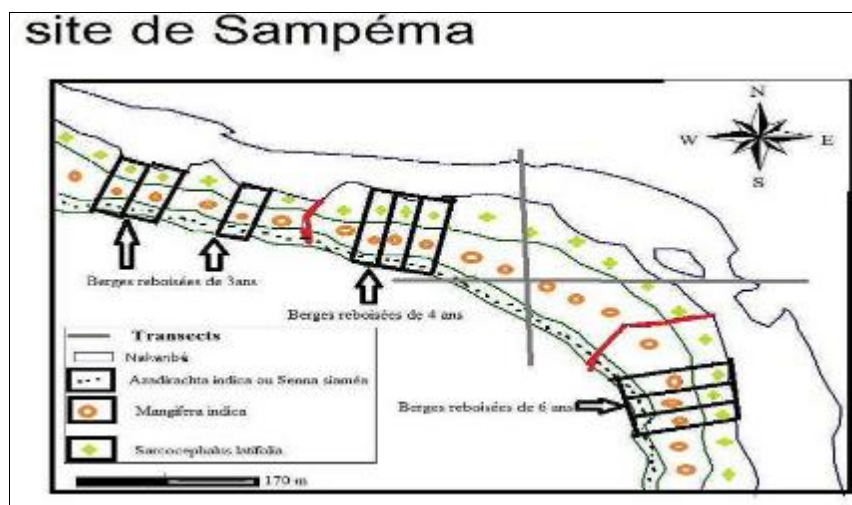


Figure 3: site de Sampéma carte illisible

5.4.2 Echantillonnage des végétaux

- Inventaire des herbacées

L'inventaire des herbacées a consisté au prélèvement des parties épigées des herbes au moyen de ciseaux. Pour ce faire, les herbacées de trois surfaces d'un mètre-carré installées sur les diagonales de chacune des placettes ont été prélevées et mises dans un sac plastique étiqueté selon la provenance. Au laboratoire, nous avons procédé à l'identification des espèces herbacées de chaque placette. Le poids sec est mesuré après séchage à l'étuve pendant 3 jours à 65°C afin de déterminer la biomasse sèche des herbacées par placette. Le taux de recouvrement a été déterminé par la méthode d'observation visuelle.

- Inventaire des ligneux

L'inventaire des ligneux a consisté à identifier dans les placettes, les différentes espèces, leur effectif, à mesurer la circonférence du tronc à la base et/ou la circonférence à hauteur de poitrine DHP (1,30 m du sol) et la hauteur totale du plant.

5.4.3 Echantillonnage des eaux

Sur chaque barrage, quatre (04) points de prélèvements ont été retenus en fonction de :

- l'entrée des eaux dans le plan d'eau en provenance des zones de forte production maraichère en saison sèche et céréalière en saison pluvieuse;
- l'entrée des eaux dans le cours d'eau, résultante des excédents du périmètre irrigué.
- au déversoir ou zone de convergence des eaux du réservoir.

- au niveau de chaque point, deux (02) litres d'eau sont prélevés à environ 30 cm de profondeur (pour éviter l'effet de la surface) et un peu en profondeur sur le plan d'eau (pour éviter l'effet rivage). Les échantillons d'eau sont prélevés en trois (03) périodes différentes et recueillis dans des bouteilles en polyéthylène stérile.

Dès que les échantillons d'eaux sont prélevés, ils sont conservés au froid et acheminés au laboratoire dans les heures suivantes.

5.5 ESTIMATION DES PERTES DE TERRES

Les estimations en pertes de terres ont été effectuées par les formules mathématiques ci-dessous décrites.

- Longueur du rectangle équivalent du sous bassin de Nouaho Nord

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$$

Avec :

P= périmètre du bassin en km

S= surface du bassin km²

- Indice de pente global du sous bassin de Nouaho nord

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$$

Avec

L= Longueur du rectangle équivalent

H5% = altitude du bassin à 5% de la surface cumulée

H95% = altitude du bassin à 95% de la surface cumulée

- Formule de GOTTSCHALK : Estimation du taux de comblement de barrage

$$D = 260 \times S^{-0,1}$$

Avec :

S= surface du bassin versant en km²

D= dégradation spécifique annuelle en m³/km/an

- Formule du CIEH-EIER (GRESILLON) : Estimation du taux de comblement de barrage

$$D = 700 \left(\frac{Pm}{500} \right)^{-2,2} \times S^{-0,1}$$

Avec :

Pm = pluviométrie moyenne annuelle en mm

S= surface du bassin versant en km²

5.6 ANALYSES

5.6.1 Analyse pédologiques

Les analyses chimiques des sols ont été réalisées au laboratoire d'analyse des sols du BUNASOLS. Quant au test respirométrique, il a été effectué au laboratoire de pédologie de l'Institut de Recherche et de Développement (IRD).

- Le pH eau a été mesuré au pH-mètre par la méthode électrométrique. Le rapport sol/eau est de 1/ 2,5 (P/V = 1/2,5).
- La conductivité électrique a été mesurée par un conductimètre dans un rapport terre sèche/eau égal à 1/5 ou de 2/5 (M/M).
- Le carbone a été dosé par la méthode de Walkey- Black (1934) et la matière organique a été calculée en multipliant la valeur de la teneur en carbone par un coefficient égal à 1,724.
- % M.O =% C x 1,7240.
- Les teneurs en azote et phosphore totaux ont été déterminés par attaque des échantillons de sol par la méthode Kjeddahl suivie de dosages à l'auto-analyseur SKALAR (colorimétrie automatique).
- Le test de respirométrie a été réalisé pour apprécier : sur l'impact de l'intensification du travail du sol, sur la macrofaune et l'impact de l'utilisation excessive des intrants agricoles (engrais minéral et les pesticides) sur l'activité des microorganismes du sol.

Au laboratoire, les analyses ont porté sur une prise d'essai de 2g de terre fine tamisées à 2 mm et humidifiées au 2/3 de leur capacité maximale de rétention. Trois prises d'essai sont effectuées sur chaque échantillon de sol de l'horizon 0-20 cm. La terre est placée dans des

tubes et fermée hermétiquement. Une première mesure du dégagement du CO₂ a été effectuée au bout de 4h d'incubation à l'aide d'un transmetteur POLYTRON IR CO₂. Les autres mesures se feront pendant trois semaines avec des intervalles de deux jours d'incubation. Les mesures du dégagement du CO₂ ont été effectuées à l'aide d'un transmetteur POLYTRON IR CO₂. L'analyse granulométrique a été effectuée à partir de la méthode de pipetage 3-fractions. Par le fractionnement physique de la matière organique par la méthode décrite par Feller (1979). Les analyses physico-chimiques concernant : le pH, le Carbone organique, l'Azote total, le Phosphore total, la matière organique.

- le PH: Méthode électronique au PH-mètre ;
- la matière organique: par la méthode de Walkey et Black ;
- l'azote total par la méthode KJELDAHL ;
- le dosage du phosphore assimilable sera réalisé par la méthode BRAY1 ;
- le dosage de potassium assuré par la photométrie flamme après minéralisation.

L'extraction du potassium (K) disponible se fait dans une solution d'acide oxalique (H₂C₂O₄) 0.4 N et d'acide chlorhydrique (HCl) 0,1 N. Le dosage du potassium se fait en spectrométrie d'émission de flamme.

5.6.2 Analyse des eaux

Les analyses ont été réalisées au laboratoire d'analyse des eaux de l'ONEA selon leur protocole et comparées avec les normes OMS 2004 pour les eaux de boissons.

- Le Ph est mesuré à l'aide d'un pH-mètre WTW INOLAB PH 730 selon le principe de la norme française NF T 90-008.
- La conductivité électrique est une mesure du courant conduit par les ions présents dans l'eau. Sa détermination directe s'est effectuée par un conductimètre CDM 83 de marque Radiometer et équipé d'une cellule de mesure de type à immersion CDC 304 comportant une électrode.
- La turbidité : la méthode de détermination est la méthode quantitative faisant appel à un turbidimètre optique WTW TURB 550. Elle est basée sur le mesurage de la lumière diffusée.
- La teneur en nitrate a été réalisée par un spectrophotomètre. Le protocole d'analyse est analogue à la méthode 8039 du manuel d'utilisation des spectrophotomètres.

- Le dosage de l'ortho phosphate : le dosage s'effectue selon la norme française NF T 90-023. Elle est basée sur la formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium ; et sa réduction par l'acide ascorbique. La mesure de l'absorbance du complexe formé à la longueur d'onde de 880 nm se fait à l'aide d'un spectromètre UV-VIS Shimadzu UV-160A.
- La DBO₅ est la quantité d'oxygène, exprimée en mg, qui est consommé dans les conditions de l'essai (incubation durant 5 jours à 20°C et à l'obscurité) par certaines matières présentes dans 1 litre d'eau, notamment pour assurer leur dégradation par voie biologique. La mesure de la DBO₅ avec le système Oxitop est basée sur le principe de la pression (mesure par différence). La mesure est faite à l'aide d'une sonde de pression électronique piézo-résistante. L'incubation s'effectue pendant 5 jours à l'obscurité dans une enceinte à 20 +/- 1°C. La mesure de la quantité d'oxygène consommé permet la détermination de l'oxygène dissous.

5.7 Traitement et analyse statistique des données

Les données collectées ont été saisies à l'aide du tableur Excel. L'analyse de la variance a été faite à l'aide du logiciel GenStat 4. La comparaison des moyennes a été faite avec le test de Student Newman Keuls au seuil d'erreur de 5 %. Les analyses statistiques des données collectées ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT-Pro (version 7.5.2). Le seuil d'erreur de 5 % a été utilisé pour les comparaisons des moyennes avec le test de Student Newman-Keuls (SNK).PRECISER QUELS DONNEES ONT FAIT LK OBJET DE CETTE ANALYSE !!!

5.7.1 Analyse de sensibilité

La méthode d'analyse de sensibilité appliquée dans SWAT est appelée "Latin Hypercube One-factor-At-a-Time" (LH-OAT), conçue et proposée par Morris (1991). Il s'agit en réalité de deux méthodes combinées à savoir : le "Latin hypercube" et le "One-factor-At-a-Time". Le «Latin hypercube» (LH) est un moyen perfectionné pour effectuer des analyses de Monte Carlo. L'analyse de Monte Carlo la plus simple implique un échantillonnage aléatoire à partir des distributions (uniforme, normale, etc...) d'entrées indiquées par l'utilisateur. Il permet l'analyse des changements dans les prédictions du modèle en raison des changements à

l'entrée du modèle. Le «Latin hypercube» (McKay et al, 1979) utilise une approche d'échantillonnage stratifié avec moins d'échantillons. En ce qui concerne l'analyse par le LH, chaque paramètre du modèle est distribué en m classes, chacune avec une probabilité d'occurrence égale à 1/m. Ensuite, des valeurs aléatoires sont générées pour les paramètres tout en s'assurant que chaque classe est échantillonnée une seule fois. Ainsi, le modèle est exécuté une fois avec une combinaison aléatoire de paramètres. Les résultats du modèle sont ensuite analysés par la méthode de régression linéaire multi variée (Christiaens et Feyen, 2002). Toutefois, du fait que tous les paramètres sont modifiés simultanément, on ne saurait dire de façon spécifique lequel a induit le changement observé dans les résultats du modèle, ce qui montre l'insuffisance de la méthode, d'où son association avec celle du "One-factor-At-a-Time". L'analyse de la sensibilité avec le "One-factor-At-a-Time" implique un changement séquentiel en partant d'un vecteur initial de paramètres, de dimension n (x_1, \dots, x_n). L'avantage de cette méthode est que seul un paramètre est changé pour chaque simulation et les changements observés dans les résultats peuvent être attribués au changement de ce paramètre. Son désavantage est que le résultat obtenu est local et partiel. Mais il faut souligner que la combinaison de ces deux méthodes (LH-OAT) permet de faire disparaître ces différents désavantages observés d'une méthode à l'autre. L'analyse de sensibilité a été utilisée pour la détermination des paramètres sensibles au modèle pour faciliter la phase de calibration.

5.7.2 Photo-interprétation

Pour l'interprétation des PVA de la zone d'étude, nous avons procédé à une analyse visuelle des prises de vues aériennes basées sur des critères tels que la forme, la taille, la texture, la structure et la tonalité (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 7: Signification des couleurs d'une PVA

0	1	2	3	4	5
Blanc	Gris très clair	Gris clair	Gris foncé	Gris très foncé	Noir
Soleil réfléchi : eau, neige, nuage	Sable clair, affleurement rocheux	Sable clair, végétation sèche	Ombre dense, eaux profonde	Prairies humides, arbres foncé (résineuse)	Eau profonde, goudron

			s		
--	--	--	---	--	--

5.8 Calage préliminaire et ajustement du bilan hydrique

Les simulations hydrologiques peuvent désormais être réalisées. En vue de permettre une meilleure concordance entre les variables simulées et observées, il est impératif d'adapter certains paramètres du modèle. Cette phase s'appelle le calage.

Elle consiste dans un premier temps à ajuster le bilan hydrique qui contrôle l'ensemble des processus hydrologiques sur le bassin. Cet ajustement ne peut se faire sans une modification des paramètres de sol et d'occupation qui ont une incidence essentielle sur le bilan hydrique. La première variable à corrélérer concerne les débits à l'exutoire du cours d'eau, au pas de temps journalier. Puis dans un second temps, les flux de sédiments devront être calibrés.

Les mesures de débit observées qui seront utilisées pour le calage proviennent des mesures effectuées par le limnigraphe dont est équipé l'exutoire du bassin versant. Deux indicateurs de performances ont permis d'apprécier la corrélation entre les variables simulées et les variables observées. Il s'agit dans un premier temps du coefficient de corrélation. Sa formule s'écrit :

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{[\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2]^{0,5} [\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2]^{0,5}} \right)^2$$

Où : O_i représente les valeurs observées, P_i les valeurs simulées, \bar{O} les valeurs moyennes observées, \bar{P} les valeurs moyennes simulées, et N le nombre de valeurs comparées.

Cet outil d'analyse permet de mesurer la relation existant entre deux séries de données.

Le second est le critère d'efficacité de Nash. Cet indice offre une évaluation plus précise de l'efficacité quant au respect des volumes écoulés et des écarts absolus. Il s'écrit :

$$Na = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$$

Où : O_i représente les valeurs observées, P_i les valeurs simulées, \bar{O} les valeurs moyennes observées, et N le nombre de valeurs comparées.

Le critère de Nash varie de $-\infty$ pour un ajustement très mauvais à 1. Une valeur proche de 1 traduit une forte conformité entre les observations et les simulations.

Nash = 1 : modèle «parfait»,

Nash = 0 : le modèle «moyenne» est aussi bon,

Nash <0 : le modèle est moins bon que le modèle «moyenne».

Pour l'ajustement du bilan hydrique, deux critères sont pris en compte pour calibrer les flux d'eau. On considère d'abord le niveau de corrélation entre les débits mesurés et les débits observés à l'exutoire, puis on estime la concordance concernant la répartition des volumes d'eaux écoulés entre écoulement de surface et écoulement souterrain. Pour estimer ces contributions respectives sur le bassin, le programme base flow mis en place par Arnold et al., (1999) a été utilisé. Il consiste à créer un fichier présentant les débits journaliers à l'exutoire, puis le programme estime la contribution des écoulements souterrains et de surface. Après l'estimation des différentes contributions, le calage se déroule en deux étapes. La première étape consiste à ajuster le ruissellement de surface jusqu'à ce qu'il soit en adéquation avec la valeur estimée par le programme Base flow. Lorsque le ruissellement est acceptable, la contribution de l'écoulement souterrain doit alors être ajustée. L'estimation des pertes en terre a été effectuée, après calage du bilan hydrologique, à l'aide de la version modifiée de l'Equation Universelle des Pertes de Terre. La version modifiée de l'Equation Universelle des Pertes de Terre prévoit la moyenne annuelle des pertes en terre en fonction du ruissellement.

CETTE PARTIE PEUT ETRE RESUMEE

5.9 Analyse statistique des données hydro-climatiques

Le comblement des données (pluies, ETP, température) a été effectué par les méthodes de corrélation, de régression et des moyennes arithmétiques (approche station/station). Un contrôle des données observées et reconstituées a permis de vérifier leur fiabilité et leur homogénéité. La méthode de l'indice standardisé et celle des doubles cumuls ont été utilisées pour le contrôle des données. L'indice standardisé permet de cerner les tendances des

différents phénomènes hydrologiques et climatiques. Quant à la méthode des doubles cumuls, elle permet de percevoir d'éventuels changements entre les stations d'observations voisines.

L'approche statistique par l'application de tests de détection de rupture a été utilisée pour analyser les séries chronologiques des différents paramètres hydro-climatiques. Une rupture dans une série chronologique peut être assimilée à un changement dans la loi de probabilité de la série à un instant donné, le plus souvent inconnu (N'Dia, 2010). Khronostat (1998) est un logiciel d'analyses statistiques de séries chronologiques développé par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Il propose plusieurs tests statistiques de détection des dates de rupture telles que la méthode non paramétrique de Pettitt (1979), la méthode Bayésienne de Lee et Heghinian (1977), la statistique U de Buishand et la segmentation de Hubert (1989).

Pour la caractérisation de la variabilité hydro-climatique, nous avons fait recours à l'indice standardisé qui s'applique à tous les paramètres possibles (pluie, débits, température, ETP, etc.). L'évolution interannuelle de toutes ces grandeurs est analysée à travers son indice. A l'instar de la pluviosité (Begou, 2009), l'indice de débit ou de température est calculé comme à l'aide de la formule :

$$IS = \frac{m_i - \bar{m}}{\sigma_m}$$

Où: IS représente l'indice standardisé d'un paramètre, m_i le module annuel de l'année i , \bar{m} le module interannuel de la période considérée et σ_m son écart-type.

La variation de moyenne employée par Ardoin-Bardin (2004) a permis de percevoir les variations avant et après rupture dans les séries chronologiques. La formule utilisée est la suivante :

$$\frac{X_j}{X_i} - 1.$$

Avec X_j moyenne sur la période après rupture ;

X_i : moyenne sur la période avant rupture.

Le modèle GR2M (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) a été utilisé pour la modélisation pluie débit. Ce modèle a été élaboré au CEMAGREF sur un ensemble de bassins français (Makhlouf, 1994). La particularité de ce modèle réside dans sa simplicité, ainsi que dans le nombre relativement faible de ses paramètres. Ce modèle « conceptuel global » de

simulation de débits fonctionne au pas de temps mensuel et comporte deux paramètres X1 et X2 dont les valeurs sont déduites d'une période d'apprentissage durant laquelle sont comparés les débits observés et ceux calculés par le modèle grâce à la seule connaissance de la pluie et de l'évapotranspiration potentielle de chaque mois.

Les paramètres du modèle ont été optimisés à travers la définition d'une fonction caractérisant l'erreur du modèle, c'est-à-dire l'écart entre les débits observés et ceux simulés. Le critère de Nash, défini par Nash et Sutcliffe (1970), permet de mesurer la qualité des ajustements réalisés par le modèle. Ce critère est défini par l'équation suivante :

$$\text{NASH (\%)} = 100 * \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{simul,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \right].$$

Où $Q_{obs,i}$ est le débit observé au pas de temps i , $Q_{simul,i}$ est le débit simulé au pas de temps i , $\overline{Q_{obs}}$ est le débit moyen observé, n est le nombre total de pas de temps de la période de simulation.

Le critère de Nash varie de $-\infty$ à 1. Le modèle ajusté est d'autant meilleur que cette fonction est proche de 1. Ardoin-Bardin (2004) considère qu'un critère de Nash inférieur à 0,6 est l'indication comme un modèle défaillant sur le bassin versant étudié.

Les modèles requièrent une phase de spécification des paramètres qui doit se faire sur des séries de données suffisamment longues pour lesquelles il faut supposer qu'il n'y a pas eu de changement dans les caractéristiques hydrologiques ou physiographiques du bassin versant (Bodian et al., 2012). Le choix des périodes de calage devient alors primordial pour la spécification des paramètres du modèle.

Pour le calage et la validation de notre modèle, nous avons défini des périodes allant d'intervalle varié de 3 à 10 ans pour les différents tests possibles. Egalement les paramètres X1 et X2 variant de 0 à 1 ont été croisés pour permettre de rechercher, les meilleures valeurs de NASH. Le WHC a été varié en fonction de la variation des autres paramètres puis a été fixé pour chaque sous bassin. Selon Bodian et al. (2012), cette validation croisée du modèle permet de voir quels sont les paramètres qui valident au mieux les autres périodes et qui traduisent le plus correctement la relation pluie-débit. Ensuite, ces paramètres seront appliqués à l'ensemble de la série pour la simulation des écoulements.

Le modèle utilise les pluies et débits moyens mensuels de sous bassins étudiés. Le calcul de la pluie moyenne par sous bassin a été fait par la méthode d'interpolation de Surfer 8 avec des grilles de 0.1°*0.1° soit 11km*11km. Le modèle est peu sensible à la variation de l'ETP. De plus l'ETP varie très peu dans l'espace de gestion du Nakanbé d'une zone climatique à une autre. L'estimation de l'ETP moyenne a été faite par la moyenne arithmétique.

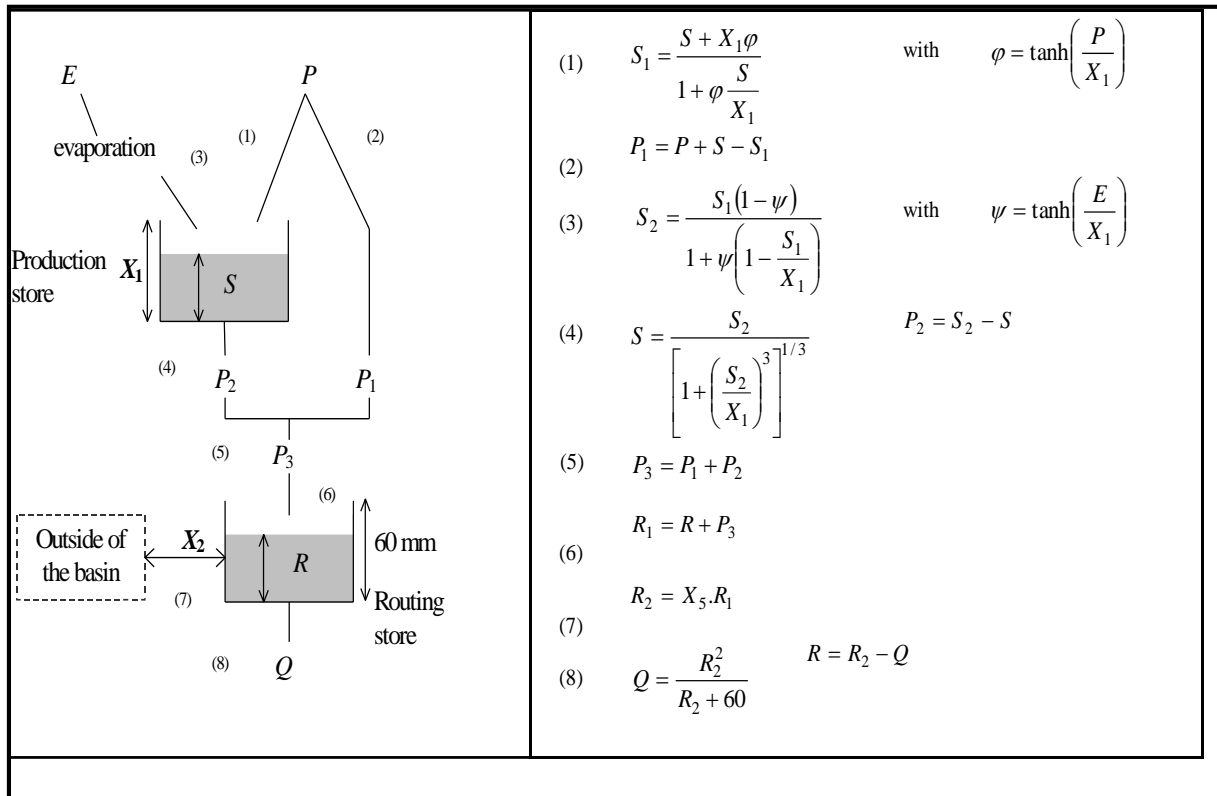


Figure 4: schema conceptuel du modèle GR2M

5.10 Analyse multi chronique de l'occupation des terres à l'aide des images satellitales

5.10.1 Définition et utilisation des SIG

Un Système d'Information Géographique (SIG) est défini par Thériault (1996) comme étant « un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiales utilisé pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, stimuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique ». Il s'agit donc d'un outil informatique qui stocke et gère des informations ayant une référence au territoire.

Les fonctions les plus importantes des SIG sont :

- l'archivage, c'est-à-dire le stockage des données au moyen de la saisie de l'information sous forme numérique ;

- l'analyse des données spatiales et thématiques qui fait des SIG un puissant outil d'aide à la décision ;
- la visualisation des résultats des analyses sous forme de cartes thématiques.

5.10.2 Evaluation de la régénération de la végétation

Elle a été obtenue par le biais du traitement des images satellitaires par le logiciel de télédétection Erdas. Deux principales grandes étapes ont caractérisé cette opération ; ce sont les étapes de prétraitement des images et celle du traitement proprement dit.

- Le prétraitement

Le prétraitement a commencé par la correction géométrique des images avec ERDAS Imagine. L'image LANDSAT ETM+ de 2011 a été géométriquement rectifiée à l'aide de points de calages géo référencés en WGS 84 UTM zone 30 ensuite, on a procédé à une registration afin de corriger et géo référencer les images LANDSAT TM de 1992 et de 1982. Cette registration permet de faire la comparaison entre les pixels de différentes scènes à des fins de comparaison (Hakdaoui M., 2005 cité par Zoungrana, 2009). La correction géométrique a été suivie par le calibrage des images dans le but de corriger les effets atmosphériques. Cette action permet de transformer les comptes numériques en réflectance apparente. La dernière étape du prétraitement consiste au choix de la composition colorée. A ce niveau après plusieurs essais, nous avons retenus la composition 5/4/3 (moyen infrarouge, proche infrarouge, rouge) car, elle offre plus de contraste entre les différentes unités d'occupation des terres.

- Le traitement des images proprement dit

Cette phase consiste au choix des sites d'entraînement correspondant aux unités d'occupations des terres identifiées sur le terrain puis à la classification supervisée de l'image avec l'algorithme du maximum de vraisemblance. Après la classification, nous avons procédé au transfert des images traitées sur le logiciel ARCGIS 10.1 pour la vectorisation et le traitement cartographique.

5.10.3 Validation de la classification par la matrice de confusion ????

La matrice de confusion dans la classification permet de vérifier la qualité de l'apprentissage (sites d'entraînement) et donne une estimation de la validité de la classification. En d'autres termes, c'est un tableau qui présente les erreurs de commission dues aux confusions entre les

unités d'occupation des terres et les erreurs d'omission lors de la classification. On constate également les confusions spectrales entre les différentes classes. Dans le tableau, les lignes représentent l'affectation des pixels à chaque thème après la classification. La diagonale représente les pixels bien classés alors que les colonnes indiquent la répartition réelle des pixels dans chaque thème.

L'indice de kappa est très important dans la validation de la classification d'une image.

Le coefficient de Kappa se traduit par l'expression suivante :

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

r = nombre de ligne

X_{ii} = nombre d'observation dans la ligne i et colonne j ;

X_{i+} et x_{+i} = totaux marginaux de la ligne i et la colonne i ;

N = nombre total d'observation.

Ainsi, pour l'image Landsat TM de 1982 classifiée on a :

$$\sum_{r=1}^r x_i = 3367 + 3026 + 378 + 395 + 2401 + 7800 = 17367$$

$$\sum_{r=1}^r x_i = (3379 * 3367) + (3280 * 3747) + (403 * 421) + (393 * 463) + (2506 * 2470) + (8588 * 8081) = 99608323 ;$$

$$K = (18549 * 17367 - 99608323) / (18549 * 18549 - 99608323);$$

K=0,9103 soit 91 %

Cette même procédure a été appliquée pour déterminer les coefficients de kappa des images Landsat de 1992 et 2011 classifiées qui sont respectivement de 86 % et 78 %.

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentant les matrices de confusion montrent également que les erreurs de commission et d'omissions sont insignifiantes. En effet, la

précision de la classification est de l'ordre de 91,71%, 95,15% et 97,98% respectivement pour les années 1982, 1992 et 2011. Ce résultat combiné à l'indice de kappa permet donc de conclure que les résultats de la classification sont bons.

Tableau 8: Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance (1982)

Occupation	Plan d'eau et cours d'eau	végétation dense	sol nu	affleurement rocheux	champ	végétation claire	Total	erreur de commission	Précision(%)
Plan d'eau et cours d'eau	3367	0	0	0	0	0	3367	0	100
végétation dense	4	3026	0	0	0	717	3747	0,192	80,8
sol nu	1	0	378	0	81	3	463	0,181	81,9
affleurement rocheux	5	7	0	395	0	14	421	0,061	93,9
Champ	0	0	15	0	2401	54	2470	0,027	97,3
végétation claire	2	247	0	8	24	7800	8081	0,036	96,4
Total	3379	3280	393	403	2506	8588	18549	0,497	
erreur d'omission	0,003	0,083	0,039	0,02	0,043	0,101	0,289		

Source : traitement d'image LANDSAT TM 1982

Tableau 9: Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance (1992)

occupation	Champ	végétation dense	végétation claire	Affleurement rocheux	Plan d'eau et cours d'eau	sol nu	Total	erreur de commission	précision(%)
champ	2712	1	133	0	0	0	2846	0,047	95,3
végétation dense	2	1053	165	8	0	0	1228	0,142	83,8
végétation claire	28	76	5608	0	0	0	5712	0,078	92,2

Affleurement rocheux	1	0	0	2607	11	0	2619	0,004	99,6
Plan d'eau et cours d'eau	0	0	0	0	2706	0	2706	0	100
sol nu	0	0	0	0	0	280	280	0	100
Total	2743	1130	5906	2615	2717	280	15391	0,271	
Erreur d'omission	0,011	0,073	0,53	0,003	0,004	0			

Source : traitement d'image LANDSAT TM 1992

Tableau 10: Matrice de confusion de la classification par maximum de vraisemblance (2011)

Occupation	végétation dense	champ	végétation claire	plan d'eau et cours d'eau	sol nu	Affleurement rocheux	Total	erreur de commission	précision
végétation dense	1020	15	18	0	0	0	1053	0,031	96,9
Champ	12	1211	36	1	0	0	1260	0,038	96,2
végétation claire	30	38	1714	0	0	0	1782	0,038	96,2
plan d'eau et cours d'eau	0	0	0	2090	0	0	2090	0	100
sol nu	0	3	0	0	450	0	453	0,006	99,4
Affleurement rocheux	0	0	0	8	0	899	907	0,008	99,2
Total	1062	1267	1768	2099	450	899	7545	0,121	
Erreur d'omission	0,041	0,046	0,031	0,004	0	0	0,122		

Source : traitement d'image LANDSAT ETM+ 2011

Les méthodes utilisées sont robustes et les résultats obtenus en dépendent. Les méthodes sont multiples. Elles ont permis d'aboutir aux résultats escomptés de l'étude. La démarche et la rigueur scientifiques ont été employées dans toutes les dimensions de l'étude.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette deuxième partie de l'étude a permis de situer le cadre qu'est le bassin du Nakanbé dans le Burkina Faso, qui lui-même est au cœur de l'Afrique de l'ouest avant de s'apesantir sur le milieu physique, biologique humain et socio-économique.

La diversité et la complexité du phénomène en raison des résultats scientifiques escomptés, nous a amené à utiliser divers matériels allant du matériel pédologique au matériel cartographique en passant par le matériel biologique, photographique, informatique, hydrologique, etc.

En raison de la valeur (scientifique) des résultats attendus, une méthodologie robuste a été construite en réponse à chaque hypothèse de travail dont le fondement a été l'approche participative, interactive et itérative.

Les résultats de cette approche sont organisés en deux parties comme suit :

- ✓ Partie III : Pratiques agrosylvopastorales d'adaptation aux changements climatiques : conséquences
- ✓ Partie IV : effets et impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et sols : solutions

Revoir toute l'approche matériels et méthodes

PARTIE III :

PRATIQUES AGROSYLVOPASTORALES D'ADAPTATION
AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : CONSEQUENCES

INTRODUCTION PARTIELLE

Le Burkina Faso, à l'instar des autres pays du monde, est confronté au phénomène du changement climatique (Centre Ecologique Albert Schweitzer, 2007). En effet, l'étude des variations du climat montre une hausse de température depuis 1952. La pluviométrie connaît depuis plusieurs décennies, une baisse assez marquée sur l'ensemble du pays, avec un déplacement latitudinal des isohyètes vers le sud (Ouedraogo et al., 2004). Ce phénomène combiné avec la forte pression démographique joue un rôle prépondérant dans la dégradation des ressources naturelles. Cette dégradation des ressources naturelles qui est la conséquence des changements climatiques a elle aussi comme conséquence la baisse des rendements qui oblige les producteurs à adopter des pratiques agro-sylvopastorales qui ne sont pas non plus sans conséquences. Pour mettre cela en évidence cette partie sera organisée en trois chapitres qui vont de la perception des paysans et les pratiques qu'ils incriminent aux cas concrets de l'érosion, de l'ensablement et de la pollution respectivement comme suit:

- Chapitre 6 : perception paysanne de la dégradation des ressources naturelles : pratiques agro-sylvo-pastorales en cause.
- Chapitre 7 : problématique de l'érosion et de l'ensablement des cours d'eau du bassin du nakanbe : cas du sous bassin de la nouaho nord.
- Chapitre 8 : évaluation de la pollution agricole des eaux dans le bassin du nakanbe : cas des barrages de goinre, ziga et de bagre

CHAPITRE 6 : PERCEPTION PAYSANNE DE LA DEGRADATION DES RESSOURCES NATURELLES : PRATIQUES AGRO-SYLVO-PASTORALES EN CAUSE.

Dans un contexte marqué par les effets et impacts négatifs des changements climatiques sur le milieu biophysique, les pratiques agrosylvopastorales semblent avoir subi des modifications à la fois positives et négatives : les pratiques néfastes ayant tendance à accentuer l'effet du changement climatique tandis que les pratiques positives ayant pour but de renforcer l'adaptation au changement climatique.

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser aux pratiques et connaissances endogènes qui ont été développées, expérimentées et améliorées. Ces connaissances et pratiques qui ont été introduites par les producteurs eux-mêmes, par les services techniques et les projets de développement constituent de nos jours des formes d'adaptation aux effets et impacts du changement climatique qui peuvent avoir des effets positifs ou négatifs.

Nous posons comme hypothèse de base que : Rappeler ici l'objectif recherche

Regrouper les hypothèse de recherche dans l'introduction generale

- Les changements climatiques continuent d'impacter négativement les productions agrosylvopastorales parce que les paysans n'auraient pas de connaissances précises sur les changements climatiques.
- Les paysans auraient leur classification spécifique des sols qui leur permettent de gérer leur exploitation.

L'objet de ce chapitre est d'identifier dans notre zone d'études les connaissances et les pratiques endogènes qui permettent soit de juguler ou de diminuer les effets des changements climatiques sur les pratiques agro-sylvo-pastorales.

6.1 PERCEPTION LOCALE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Pour traiter le thème, nous nous sommes intéressés d'abord à la perception des producteurs sur le changement climatique. Les enquêtes font ressortir que les producteurs sont conscients du changement climatique. Leur perception est surtout fondée sur l'observation des variations qualitatives des paramètres climatiques :

- les pluies

Selon le Patriarche de Woro de la province de Lorum, les pluies connaissent une nette diminution progressive et une répartition inégale. Dans le même temps, leur intensité est plus élevée, leur conférant un caractère plus érosif que par le passé. « Avant, tous les villages de notre contrée recevaient les mêmes pluies en saison pluvieuse. Aujourd'hui la répartition est irrégulière dans l'espace et dans le temps. » Ce constat est partagé par l'ensemble des enquêtés des autres villages visités ;

- La température

Les producteurs constatent que la période froide qui intervient généralement quelque temps après les récoltes devient de moins en moins sensible, voir imperceptible ces dernières années.

- la longueur de la période de végétation

Elle est de plus en plus courte selon les producteurs. « Et le plus inquiétant, selon le vieux Nion Moussa de Mationgo (Nahouri), « c'est l'incertitude de la pluviométrie. Il devient de plus en plus difficile de déterminer le début et la fin de la saison pluvieuse. Ce qui nous coûte chaque année des pertes énormes de semences ». La longueur de la saison des pluies est passée respectivement, selon les producteurs, de quatre à trois mois dans la zone sud-sahélienne, de cinq à trois mois et demi dans la zone climatique nord-soudanienne et de six à quatre mois dans la zone sud-soudanienne selon les producteurs ;

- la fréquence des sécheresses

Selon les témoignages des plus âgés des enquêtés, des sécheresses ont toujours existés accompagnées de famine souvent meurtrière. Mais la différence réside surtout au niveau de la fréquence qui est de plus en plus élevée au cours de ces trente dernières années. Notamment les poches de sécheresse au cours des saisons pluvieuses.

Ce changement est constaté pour certains, après les indépendances. Et pour d'autres il est intervenu après la grande sécheresse de 1973. Même si les effets du changement climatique sont bien perçus, la vision paysanne des causes impliquent des questions surnaturelles liées à certaines croyances religieuses. Pour certains (musulmans et chrétiens notamment), il est écrit dans le coran et dans la bible, que la fin du monde sera précédée de signes avant-coureurs et parmi lesquels le changement climatique. Pour d'autres, ce changement est lié au non-respect des mœurs et coutumes.

6.2 MANIFESTIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : CAS SPECIFIQUE DE LA COMMUNE DE LALGAYE

Les producteurs agro-sylvo-pastoraux ont une assez bonne connaissance du changement climatique. Dans un échantillon de 150 personnes enquêtées dans la commune de Lalgaye 63.33 % personnes ont déjà entendu parler du changement climatique dans un cadre plus officiel et 37.67% n'ont pas encore entendu parler du phénomène.

Leur connaissance du phénomène a été perçue selon la (les) signification (s) que chacun donne au phénomène. Sur l'échantillon enquêté avec la possibilité de réponses multiples (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), 27.30 % le considèrent comme une insuffisance de pluie, 19.54 % comme une baisse de production, 16.95 % comme une dégradation des sols.

Pour la connaissance de la signification du changement climatique, 44.83 % de réponses sont bonnes, 53.74 % sont assez bonnes et 1.44 % sont passables.

Le changement climatique s'appréhende dans le vécu de la communauté comme une perturbation de la saison pluvieuse (décalage et perturbation dans le démarrage de la saison), les sécheresses (insuffisances de pluie) avec comme effets et impacts la cherté de la vie, la dégradation du couvert végétal, la baisse de la production et de la fertilité des sols, la raréfaction des ressources en eau et les mauvaises récoltes.

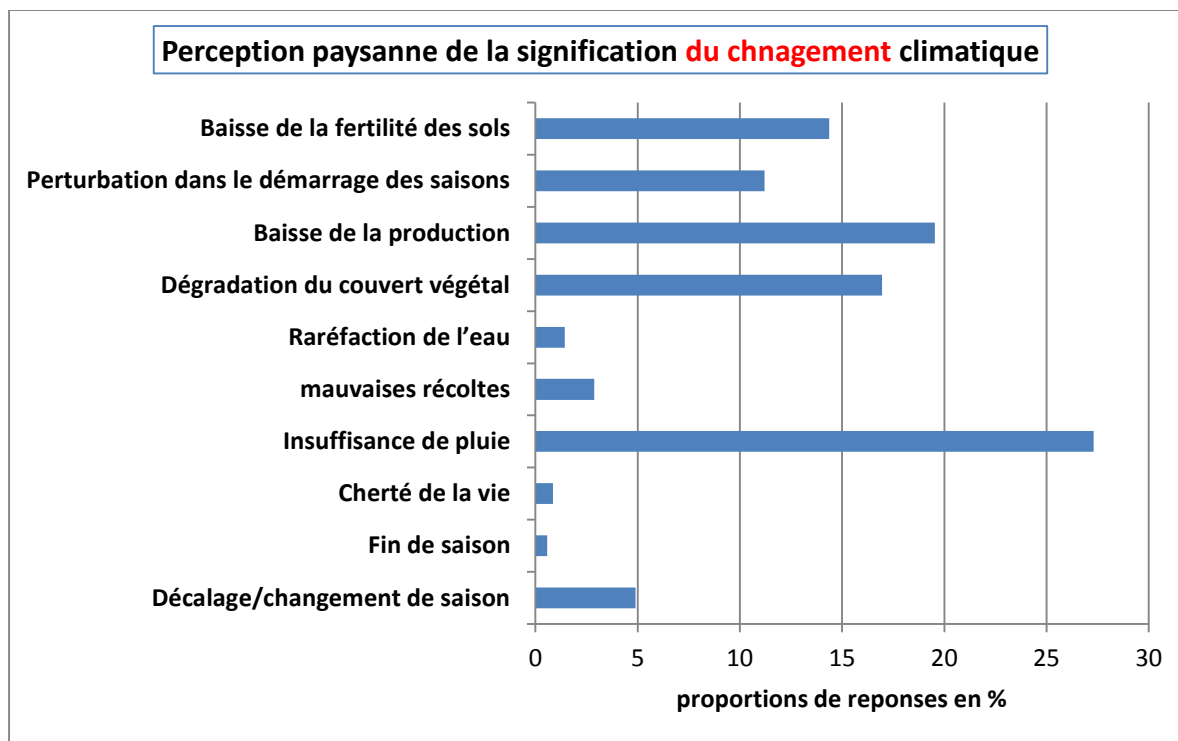


Figure 5: Réponses à la signification du changement climatique à Lalgaye

L'analyse des **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre qu'au sein de l'échantillon étudié, la manifestation du changement climatique est perçue comme l'installation tardive de la saison des pluies, la famine, les pluies rares, l'apparition de maladies, la cherté de la vie, l'éloignement de la nappe (42.77 %).

La manifestation du phénomène est bien connue par la population dans la commune de Lalgaye qui confirme effectivement les insuffisances de pluie, les inondations, les grands vents, l'élévation de températures et l'installation tardive des pluies (26.25 %).

Il en est de même pour l'apparition de la sécheresse et la disparition de la végétation (21.53 %). La population admet que les manifestations de changement datent depuis les années 70, ce qui est bel et bien le cas car les grandes sécheresses ayant frappé le sahel sont survenues dans les décennies 1970 et 1980.

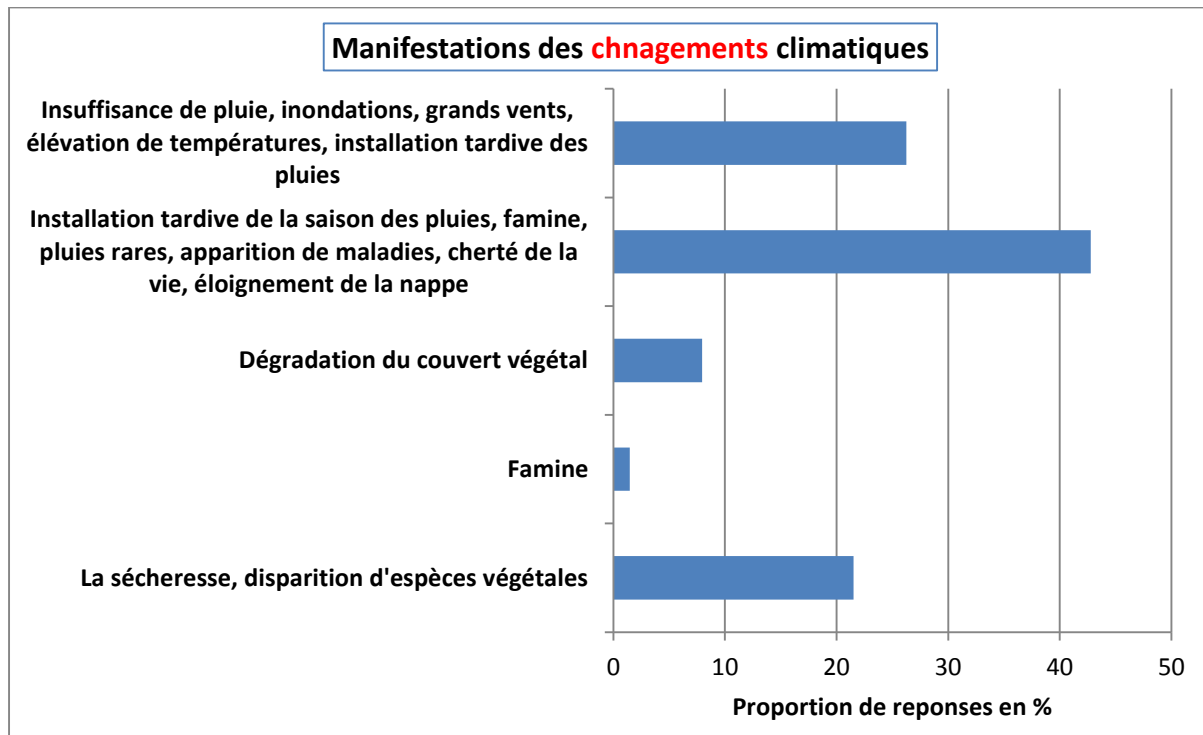


Figure 6: Perception paysanne de la manifestation des changements climatiques à Lalgaye

De façon globale, la tendance montre que la manifestation du changement climatique se fait par l'apparition de phénomènes extrêmes (inondations, sécheresse), l'élévation de la température, la perturbation de la saison pluvieuse (installation tardive ou précoce) et l'augmentation de la vitesse et de l'agressivité des vents. Les impacts et effets de ces manifestations comme la famine, la dégradation du couvert végétal, la disparition des espèces

végétales, éloignement de la nappe, cherté de la vie, sont également bien cernées. La population vit bien le phénomène du changement climatique depuis 40 ans avec des observations pertinentes.

Ceci se confirme par la sécheresse des années 1970 et 1980 qui ont frappé le Burkina et tout le sahel avec des conséquences drastiques telles que la disparition de la végétation, les dégradations des sols et des ressources en eau, les disettes, la mort des animaux. Plusieurs inondations ont également frappées la population de l'espace de gestion du Nakanbé au cours des dernières décennies.

Selon le PANA (2010) les dernières décennies ont été marquées par :

- la hausse et la baisse hautement significative des vitesses des vents dans certaines stations météorologiques de l'espace de gestion du Nakanbé ;
- la hausse et la baisse hautement significative de la pluviométrie dans les trois zones climatiques de l'espace de gestion du Nakanbé ;
- la hausse et la baisse hautement significative des températures minimales et maximales dans les trois zones climatiques de l'espace de gestion du Nakanbé.

FAUT FAIRE RESSORTIR LES LOCALITES D ETUDE ETHNOPEDE ET PRECISER LES ETHNIES MOSSI FULSE GOUROUNSI AVANT L ANALYSE

6.3 PERCEPTION LOCALE DE LA DEGRADATION DES RESSOURCES NATURELLES

La perception locale de la dégradation des ressources résulte d'une confrontation de l'état actuel et celui du passé. Les producteurs n'ont aucune représentation de ce que pourrait être l'environnement dans le futur et les conditions de vie auxquelles leurs enfants et eux-mêmes pourront aspirer.

La perception de la dégradation de la partie sud de la zone nord-soudanienne, est variable selon les ressources. Tandis que la dégradation des ressources végétales et des ressources en sol est très bien perçue, celle des ressources en eau est moyennement perçue. Dans la zone sud-soudanienne les résultats de l'enquête réalisée auprès des villages de Mationgo et Kampala, révèlent que la dégradation des ressources n'est pas bien perçue.

6.3.1 Dégradation de la végétation

En comparant l'état de la brousse à celui d'autrefois notamment à l'époque de leur jeune âge, les plus anciens des enquêtés, sont unanimes que la végétation connaît une forte dégradation. Selon le patriarche du village de Woro (80 ans), il y a plus de 40 ans, la brousse était dense et abritait même des fauves. Les zones éclaircies ne s'observaient qu'autour des villages, les champs de brousse étant encore rares. Les espèces végétales étaient bien diversifiées et les arbres fruitiers étaient très productifs. Selon les peuls qui ont migré dans le village de Woro il y a plus de 20 ans, des zones qui étaient pâturées dans leur premier stade ne sont devenues que des zones de parcours ou de parcage. De nos jours, la densité de la végétation est devenue très faible, dénotant une dégradation très élevée. L'importance de cette dégradation est perçue, selon les producteurs, à travers le manque de pâturage, les plages nues (zipellé en moré), la faible régénération de la végétation notamment les arbres fruitiers et la raréfaction ou la disparition complète de certaines espèces telles que *Securidaca longepedunculata*, *Maytenus senegalensis*, *Anona senegalensis*, *Prosopis africana*, *Cochlospermum tintorium*, *Daniela oiverie*. Les producteurs trouvent que dans les plus anciennes jachères, la végétation dominante sont les buissons à dominance *combretacée* et *Guira senegalensis*. Les repousses de grands arbres fruitiers sont moins importantes. La dégradation est particulièrement marquée, selon les producteurs, sur les hauts de pente et les abords des cours d'eau qui sont aujourd'hui très convoités pour l'exploitation agricole.

A propos des causes de cette dégradation, les plus vieux accusent la péjoration climatique tandis que les plus jeunes dénoncent l'action anthropique comme cause prépondérante. Pour d'autres, le changement de la physionomie de la brousse est surtout constaté ces dernières années avec l'arrivée massive des éleveurs et l'augmentation des superficies exploitables.

6.3.2 Dégradation des ressources en eau

L'enquête révèle que les sources d'eau sont, depuis la création des villages, les cours d'eau, les boullis (eau de surface) et les puits traditionnels (eau souterraine). A cela s'ajoute aujourd'hui, les forages dont le nombre minimal varient de 4 à 5 par village.

La disponibilité en eau est jugée fortement en baisse et de nombreuses causes anthropiques ou naturelles sont à l'origine de la dégradation des ressources en eau.

Les manifestations de cette dégradation sont :

- la disponibilité en eau : même si l'accès en eau potable s'est vu amélioré, les eaux de surface ne couvrent pas toute l'année et nos animaux souffrent de soif, a fait remarquer un éleveur.
- la baisse de la nappe phréatique. Selon les producteurs, autrefois ils pouvaient avoir de l'eau à travers des puits traditionnels de moins de 5 mètres. De nos jours pour avoir l'eau souterraine, il faut plus 30 m de profondeur.
- le tarissement plus rapide des eaux de surface. Les eaux de surface (boulis, cours d'eau) qui pouvaient atteindre dans le passé au mois de mai, n'excèdent plus le mois de décembre.

Les causes majeures sont selon les producteurs, la baisse des précipitations et la réduction des capacités des retenues d'eau liée aux apports particuliers des sols par l'eau et le vent.

Dans le terroir de Boudtenga par exemple, les sources d'eau sont des cours d'eau, boulis, puits traditionnels et récemment des forages qui venus augmenter le nombre des sources. En dépit de l'accroissement du nombre des sources d'eau, la disponibilité en eau est jugé très faible par rapport à autre fois. Ceci dénote pour les producteurs une dégradation élevée de cette ressource. En se référant au passé, les producteurs lient cette dégradation à la baisse des précipitations, qui se manifeste par le tarissement plus rapides des sources d'eau de surface, la baisse de la nappe phréatique et l'envasement de leur unique bouli. Selon le chef de village, les puits traditionnels leur indiquent au fil des années que la nappe baisse. "Autrefois, à travers nos puits traditionnels de 3 à 5 m nous atteignons la nappe. Aujourd'hui pour la même nappe, il nous faut des puits de plus de 10m. Également, les eaux de surface (bouli et certains cours d'eau importants) qui pouvaient nous alimenter en eau jusqu'au mois de mai, tarissent peu de temps, généralement au moins de janvier, après la saison pluvieuse".

Des producteurs trouvent que le niveau de la nappe n'a pas beaucoup évolué et que les puits traditionnels demeurent toujours des sources d'eau potable.

Par contre, ils relèvent que les eaux de surface connaissent un rythme de tarissement élevé. Les cours d'eau et les retenues d'eau traditionnelles qui pouvaient atteindre le mois de mai autrefois tarissent de nos jours dès le mois de janvier.

6.3.3 Dégradation des ressources en sols

La dégradation des sols pour certaines ethnies comme les fulsé se manifeste à travers :

- la présence des rigoles et de ravines et des affleurements de cuirasse indiquant une perte physique des terres ;
- la présence de « zipèlla » (croûte d'érosion), de végétation à dominance combrétacée et la vigueur des cultures, les ruines de termitières géantes indiquant la dégradation hydrique des sols ; Selon le vieux Yampa « de nos jours la végétation dense ne s'observe que dans les sols les moins sensibles à la sécheresse. Là où elle se raréfie, cela signifie que le sol n'a plus assez d'eau pour les plantes » ;
- la variation de couleur (c'est-à-dire le passage de la couleur sombre à la couleur clair) est un indicateur de la dégradation de la matière organique d'un sol.

Les producteurs fulsé sont unanimes que les sols de leurs terroirs, toutes catégories confondues, à l'exception des bas-fonds ont perdues leur couleur sombre d'autrefois ; la présence de certaines herbacées telles que *Eragrostis stremula*, *Striga hermontica*, *Mitracarpus scaber*, *Shyzachyrium exile*, *Hyptis spicigera*, la vigueur des tiges des cultures sont également retenus comme indicateurs de la baisse de la matière organique.

Dans la localité **BOUDTENZA OU BOURTENZA HARMONISER**, ils sentent la dégradation d'un sol lorsque le rendement baisse. En parcourant les topo-séquences, les producteurs ont montré d'autres indicateurs qui manifestent la dégradation des sols. Il s'agit de la présence de rigoles et de ravines, les zipella, la vigueur des tiges et certaines herbacées indicatrices de la baisse de la matière organique.

Pour les bissa, la dégradation des ressources en sols se manifeste par les rigoles et les ravines, la présence dans les champs des herbacées telles : *Striga hermontica*, *Mitracarpus scaber* et *Eragrostis tremula*.

La dégradation des sols est perçue moyennement élevée par les producteurs gourounsi. Sur la base du vécu quotidien, les gourounsi disent avoir retenu des manifestations sur lesquelles ils fondent leur jugement. Pour eux les rigoles et les ravines remarquées en bas de pente et dans une moindre mesure en haut de pente, sont des indicateurs de la dégradation. La présence de certaines mauvaises herbes la vigueur des tiges et la sensibilité des cultures aux poches de sécheresse sont autant d'indicateurs de la dégradation des sols, a ajouté, un ancien retraité du village de Kampala. dans la commune de Tiebele ??

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que de façon générale, la perception de la dégradation des ressources naturelles est relativement variable :

- sur le plan des ressources végétales et des sols la dégradation est perçue élevée par les producteurs fulsé, mossi et bissa. Le nombre des indicateurs d'appréciation est par contre plus élevé chez les fulsé et les mossi que chez les bissa. La différence se situe au niveau des zipèlla qui

sont perçus comme indicateurs chez les fulsé et les mossi lors que chez les bissa ces zipèlla ne sont pas bien perçus. Chez les gourounsi, la dégradation de leur ressources végétales et des sols est perçue moyenne avec un nombre d'indicateurs moindre que les autres. Parce que les zipèlla et la couleur ne sont pas retenus comme indicateurs à leur niveau.

- sur le plan des ressources en eau, la dégradation est perçue élevée chez les fulsé et les mossi, et moyenne pour les autres. Au niveau des indicateurs, c'est seulement la baisse de la nappe qui fait la différence. Elle est retenue comme critère d'appréciation seulement chez les mossis et les fulsé. L'on constate également, qu'il existe des critères communs aux trois groupes ethniques mais qui varient par leur sévérité du nord vers le sud. En effet, contrairement aux fulsé qui perçoivent le tarissement de leurs sources d'eau (cours d'eau, puits, retenues d'eau traditionnelles) à partir du mois de décembre et une disparition complète de certaines espèces, chez les autres, le tarissement ne concerne que les eaux de surface qui intervient d'ailleurs au mois de mars. En outre les espèces vulnérables sont signalées seulement rares.

En subdivisant le bassin du Nakanbé en domaine climatique, cela correspond également aux quatre principales ethnies qui vivent dans le bassin.

Chaque ethnie à une perception plus ou moins différente de la dégradation des ressources naturelles et en particulier **Presenter en mode paysage** pour ce qui est de sol. Le tableau 65 montre les similitude et les différences.

Tableau 11: Essai de comparaison des perceptions des différents groupes ethniques

Zones climatiques Type De ressources	Zone sud-sahélienne		Zone nord-soudanienne				Zone sud-soudanienne	
	Perception de la dégradation les fulsé		Perception de la dégradation salon les mossi		Perception de la dégradation selon les bissa		Perception de la dégradation selon les gourounsi	
Ressources végétales	Etat de dégradation élevé	-présence rependue de zipèlla ; - changement de	Etat de dégradation élevé	- présence rependue de zipèlla ; -	Etat de dégradation	- changement d'état de la végétation	Etat de dégradation	- baisse de la densité de la végétation ; - raréfaction

		<p>végétation (savane arboré à steppe arbustive ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - disparition complète de certaines espèces ; - présence d'arbres fruitiers devenus improductifs. 		<p>changement d'état de végétation (savane arboré à steppe arbustive ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - raréfaction de certaines espèces ; - baisse de la productivité des arbres fruitiers. 	<p>élevé</p>	<p>n (forêt à savane arbustive) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - raréfaction de certaines espèces ; - baisse de la productivité des arbres fruitiers. 	<p>moyen</p>	<p>de certaines espèces ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - baisse de la productivité des arbres fruitiers.
<p>Ressources en eau</p>	<p>Etat de dégradation élevé</p>	<ul style="list-style-type: none"> - baisse de la nappe phréatique (puits devenus très profonds qu'autrefois : la profondeur passe 5m à plus de 20 m) ; - tarissement plus rapide des 	<p>Etat de dégradation élevé</p>	<ul style="list-style-type: none"> - baisse de la nappe phréatique (puits devenus très profonds qu'autrefois : la profondeur passe 5m 	<p>Etat de dégradation moyen</p>	<ul style="list-style-type: none"> - tarissement plus rapide des sources d'eau qu'autrefois (mois de février au lieu de mai) ; 	<p>Etat de dégradation moyen</p>	<ul style="list-style-type: none"> - tarissement plus rapide des sources d'eau qu'autrefois (mois de février au lieu de mai) ; - baisse de

		sources d'eau qu'autrefois (mois de décembre au lieu de mai) ; -baisse de la capacité des sources d'eau (ensablement/ensablement)		à plus de 10 m) ; - tarissement plus rapide des sources d'eau qu'autrefois (mois de décembre au lieu de mai) ; - baisse de la capacité des sources d'eau (ensablement)		- baisse de la capacité des sources d'eau (ensablement)		la capacité des sources d'eau (ensablement)
Ressources en sols	Etat de dégradation élevé	- présence de zipèlla ; - présence de rigoles et de ravines ; - baisse du taux de matière organique « ponsgo en	Etat de dégradation élevé	- présence de zipèlla ; - présence de rigoles et de ravines ; - baisse du taux de	Etat de dégradation moyen	- présence de rigoles et de ravines ; - baisse du taux de matière organique	Etat de dégradation moyen	- présence de rigoles et de ravines ; - baisse du taux de matière organique « pouponon en

		<p>mooré » indiquée par la couleur blanche et certaines espèces herbacées tel : Striga hermontica ; - baisse de la réserve en eau du sol indiquée par la sensibilité des cultures à la sécheresse, ruines de termitières géantes ; - la vigueur des tiges des cultures.</p>		<p>matière organique « ponsgo en mooré » indiquée par la couleur blanche et certaines espèces herbacées tel : - baisse de la réserve en eau du sol indiquée par la sensibilité des cultures ; -la vigueur des tiges des cultures.</p>		<p>« briga en bissa » indiquée par la couleur blanche et certaines espèces herbacées tel : Striga hermontica ; - baisse de la réserve en eau du sol indiquée par la sensibilité des cultures à la sécheresse ; - la vigueur des tiges des cultures.</p>		<p>gourounsi » indiquée par certaines espèces herbacées tel : Striga hermontica ; - baisse de la réserve en eau du sol indiquée par la sensibilité des cultures à la sécheresse ; - la vigueur des tiges des cultures.</p>
--	--	---	--	---	--	---	--	--

6.4 PRATIQUES EN CAUSE

6.4.1.1 SYSTEMES DE CULTURES

Les systèmes dans le bassin du Nakanbé à l'instar du reste du Burkina Faso sont caractérisés d'une part par l'utilisation d'outils rudimentaires et d'un faible apport en éléments nutritifs, et d'autre part par l'intensification agricole sans jachère ni rotation culturale, avec des apports excessifs d'engrais et de pesticides. Ainsi ces systèmes de cultures actuels contribuent à la dégradation des sols au fil des années (Traore et *al.*, 2007). En plus de ces systèmes cultureux, l'agriculture burkinabè est soumise aux aléas climatiques et à la faible fertilité des sols (Aronson et *al.*, 1993 ; Morin, 1993). A cet effet, les bassins versant des cours d'eau, a priori ceux du Nakanbé constituent l'endroit propice pour le développement de l'agriculture. Les paysans adaptent leurs cultures aux conditions hydriques et à la microtopographie. En saison pluvieuse, ils pratiquent les cultures céréalières sur des sols déjà dégradés sans appliquer aucune technique culturale. Contrairement aux cultures pluviales qui se déroulent généralement sur les glacis, en saison sèche, les activités de maraîchage se mènent autour de puisard creusés sur les versants et même dans les lits mineurs des zones humides. De façon générale, l'agriculture est de type extensif et orientée vers la subsistance avec des pratiques agricoles peu adaptées. La péjoration climatique se conjuguant donc avec les pratiques agricoles inadaptées ont accéléré le processus de dégradation des sols dont les signes les plus visibles ont été l'apparition des zones nues ou zipella en mooré. La régression de la végétation a privé les sols d'une couverture protectrice, d'où leur exposition aux agents de l'érosion que sont le ruissellement et les vents. Les pratiques les plus inadaptées sont les feux de brousse, les coupes abusives du bois, le surpâturage, le défrichage sur brûlis L'utilisation inappropriée des équipements aratoires, le sillon dans le sens de la pente.

6.4.1.1 la mécanisation agricole dans le bassin du Nakanbé.

En termes de pratique agricole, on peut dire que le bassin du Nakanbé est faiblement mécanisé. Le labour et la daba sont les méthodes et outils de culture par excellence dans les trois (03) sites. Tous les producteurs continuent d'utiliser la daba traditionnelle dans leur mode de culture. A cela s'ajoute la charrue (houe) avec ses différentes variantes. Les enquêtes nous ont révélé que 88,2% des producteurs utilisent la charrue avec traction bovine à Goinré contre 17,64% pour la charrue à traction asine. A Ziga on note un fort taux de l'utilisation de la charrue à traction asine (70,56%) par rapport à la traction bovine (23,52%). Quant à Bagré, la mécanisation agricole est plus poussée dans le périmètre rizicole. En plus de la daba et des charrues, on note l'usage de motoculteurs, de herbes et de tracteurs. Le semis en ligne est pratiqué par l'ensemble des producteurs enquêtés.

6.4.1.2 Inventaire des équipements agricoles

Un inventaire des équipements agricole dans les trois zones climatiques caractéristiques de l'espace de gestion du Nakanbé (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et concernant les départements de Garango, Lalgaye, Titao, Kolgeguéssé et Mogtédo a été effectué. De cet inventaire, il a été noté que l'utilisation de ces outils agricoles est fonction du nombre d'actif dans les exploitations, de taille de l'exploitation, de la nature du sol, des spéculations produites et des modalités d'acquisitions du matériel. Ces équipements peuvent être classés en :

- matériel de labour. Il se compose de la charrue bovine, de la charrue asine, du « 3 dent », de la houe manga, de la charrue à disque et du pulvérisateur à disque.
- Matériel de traçage constitué du rayonneur, et de la houe manga munie de socs réversibles
- Matériel de sarclo-binage : il se compose de la houe maga munie de socs cœurs et de quelques fois la Charrue asine
- Matériel de butage qui se compose de butteur et de la houe manga adapté à un corps butteur local
- Matériel de transport de Charrettes tombereaux, de charrettes plateaux et de remorque

Tableau 12: synthèse de l'inventaire des équipements agricoles

Localité	Ziniare		Mogtedo		Garango		Lalgaye		Namissi guima		Titao		Taux de possession moyenne
	quantité	Taux de possession	quantité	Taux de possession	quantité	Taux de possession	quantité	Taux de possession	quantité	Taux de possession	quantité	Taux de possession	
Charrues bovines	0	0	5	71.42%	4	67%	14	100	3	50%	1	20%	17%
Charrues asines	0	0	4	57.14%	3	50%	3	42.85%	4	67%	5	100	17%
Rayonneurs	7	100	5	71.42%	4	67%	7	100	0	0	0	0	34%
Houes manga	7	100	7	100%	4	67%	6	85.00%	2	33%	3	60%	17%
Butteurs	0	0	4	57.14	2	33%	8	100%			1	20%	10%
Charrettes tombereaux	6	86%	7	100%	9	100%	11	100%	0	0	2	40%	1%
Charrette plateau	0	0	0	0	0	0	0	0	6	100%	4	80%	0%
« 3	0	0	2	20%	2	33%	0	0	0	0	0	0	0%

dent »													
Batteuse	0	0	3	42.85%	0		2	28.57%	0	0	0	0	0%
Egreneuse	0	0	1	14.28%	0	0	1	14.28%	0	0	0	0	0%
Charrue à disque et pulvérisateur à disque	0	0	1	14.28%	0	0	1	14.28%					
Charrue à disque	0	0	0	0	0	0	1	14.28%	0	0	0	0	0%
Remorque	0	0	1	14.28%	0	0	1	14.28%	0	0	0	0	0%

A ziniaré, les producteurs sont faiblement équipés en matériels de traction ce qui rend pénible les travaux agricoles surtout le labour qu'ils n'arrivent pas à effectuer à temps afin de respecter les dates de semis.

Dans le département de Mogtêdo on remarque un bon niveau d'équipement des producteurs enquêtés avec une chaîne complète en traction animale Quant à la traction motorisée elle est faiblement utilisée. Seulement 14,28% des producteurs enquêtés possèdent un tracteur disposant une charrue à disque, un pulvérisateur à disque et une remorque. A Garango, l'enquête a révélé que les producteurs sont mieux équipés en traction animale. A Lalgaye, l'enquête indique que le niveau d'équipement des producteurs enquêtés dans ce département est satisfaisant. A Nanssiguia, nous avons trouvé peu d'équipements agricoles. On note une quasi absence de butteurs et de rayonneurs. Aussi au lieu des charrettes tombereaux dans les départements enquêtés du Plateau-Central et du Centre-Est, on trouve ici les charrettes plateaux possédées par tous les producteurs. Dans le département de Titao en plus du butteur qu'on a rencontré on trouve les mêmes équipements qu'à Namissiguima. Seules les proportions des enquêtés les disposant diffèrent.

D'une manière générale, les proportions et la nature des équipements agricoles rencontrées diffèrent. A travers nos enquêtes nous avons pu constater que les niveaux d'équipement en matériels agricoles des trois régions enquêtées ne sont pas les mêmes. La région du centre-est vient en tête, suivie du plateau-central et du nord. Cependant en termes de diversité des équipements agricoles le département de Ziniaré dans le plateau-central est faiblement équipé.

6.4.1.3 Maîtrise de l'utilisation des équipements agricoles

6.4.1.3.1 Les types et formes de labour

Les types de labour : les types de labour réalisés à l'aide des charrues bovines et asines selon les enquêtés diffèrent selon la profondeur de travail pour la mise en place des différentes spéculations.

Labour moyen : mil, sorgho, niébé, riz, arachide, maïs et coton.

Labour léger : arachide, sésame, riz, mil, sorgho, vonzou et soja.

De façon générale seulement 10% des producteurs enquêtés tiennent compte de la spéculation lors du labour. Le reste des producteurs laboure à la même profondeur pour la mise en place de toutes les spéculations en cultures pluviales.

Les formes de labour : les labours rencontrés varient également en formes pour la mise en place des différentes spéculations rencontrées.

Labour en planche : toutes les spéculations bénéficient de ce type de labour surtout dans les zones où nous avons rencontré les charrues.

Labour en billon : mil, sorgho, maïs et niébé.

6.4.1.3.2 Le niveau de respect des pratiques conseillées

En matière de bonnes pratiques dans l'utilisation des équipements agricoles le sens de labour n'est pas respecté par tous les producteurs enquêtés. Le labour qui doit être perpendiculaire à la pente générale du terrain, nous avons constaté sur le terrain que plus de 33% des producteurs enquêtés ne respectent pas cette pratique. Ils travaillent dans tous les sens et cela accélère le processus de dégradation de leurs parcelles. Nous avons aussi constaté que dans les parcelles de riz les producteurs travaillent avec les équipements dans des conditions très humides ; ce qui pourrait **compacter ??** le sol.



Labour en billon dans le sens de la pente du terrain



Labour dans le mauvais sens à côté du barrage de Tougou

Photo 1 : Labour en billon dans le sens de la pente et labour dans le mauvais sens de la pente

Les équipements agricoles, les profondeurs de labour, le sens du labour non respecté par certains producteurs peuvent être à l'origine de beaucoup d'effets sur le sol.

L'utilisation des équipements agricoles aratoires entraîne un tassement du sol qui empêche la croissance des racines et le mouvement vertical de l'eau et de l'air dans le sol. Ce risque de tassement est plus élevé dans les parcelles rizicoles où le sol est travaillé dans des conditions très humides.

L'utilisation des équipements aratoires sur un sol soumis aux labours répétés (du fait qu'il n'y a plus de jachère) et à la même profondeur a pour effets négatifs le compactage qui est aussi une contrainte majeure dans la croissance des plantes. Le labour est une cause fréquente des semelles de labour (charrue, houe) qui limitent l'infiltration et augmentent le ruissellement. Cette couche compactée empêche également la remontée de l'humidité sous-jacente.

Le labour excessif impacte sur le sol en détruisant sa structure, réduit ses spores et sa capacité d'infiltration (Nicoleta, 2001). Cette déstructuration dégrade le sol, désormais exposé à l'érosion hydrique de plus en plus intense qui décape une bonne partie des terres et entraîne la baisse de la fertilité physique et chimique. La couverture végétale étant détruite il n'y a plus de système racinaire pour augmenter la porosité du sol et faciliter l'infiltration.

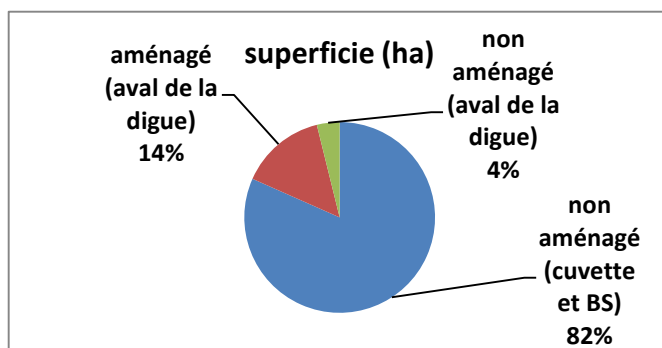
L'agriculture nuit ainsi à son propre avenir par la dégradation des sols (FAO, 2002). Cette dégradation causée parfois par le matériel ainsi que le type de labour, expose la fragilité du sol à des dangers sans compter que selon Cointepas (1982), tout sol mis en culture se dégrade quel que soit le système de culture. L'observation de cette dégradation dont la première conséquence est la baisse des rendements agricoles peut se faire sur le plan physique, chimique et biologique

6.4.1.4 Maraichage

Le maraichage est une activité de saison sèche qui se pratique autour des retenues d'eau. Il s'effectue dans les périmètres (aménagés ou non aménagés). Les exploitations non aménagées occupent une part importante dans les cultures maraichères. Le cas du barrage de Goinré est très révélateur et renseigne sur l'importance éventuelle des impacts liés aux activités agricoles dans la cuvette et la bande de servitude du barrage sur la ressource eau. Les superficies exploitées se présentent dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 13: Données de l'exploitation maraichère du barrage de Goinré

superficie (ha)	nature de l'exploitation
360	non aménagés (cuvette et BS)
64	aménagés (aval de la digue)
17	non aménagés (aval de la digue)



GARDER SOIT LE TABLEAU OU LE DIAGRAMME

Figure 7: proportion des superficies exploitées pour le maraichage autour du barrage de Goinré

Des enquêtes des pratiques anthropiques effectuées autour de douze **LESQUELS ?** à vocation hydro-agricole indiquent que plus de 50% de la réalisation des ouvrages n'ont pas été accompagnés d'aménagements adéquats pour leurs valorisations. Les bénéficiaires se concentrent dans les bandes de servitudes et les cuvettes pour être à proximité des plans d'eau et réduire les coûts d'énergies liées au transport de l'eau.

Malgré l'interdiction de la culture maraîchère dans les alentours du barrage Ziga afin d'éviter la pollution des eaux du barrage qui est essentiellement destiné à l'approvisionnement en eau potable, 341,84 ha sont exploités dans la bande de servitude et les cuvettes du barrage de Ziga à des fins de productions maraîchères.



Photo 2 : pratique agriole sur les berges des barrages

Malgré les vocations des ouvrages, les barrages à vocation AEP connaissent une exploitation des berges. C'est le cas du barrage de Ziga.

La situation de la pression agricole sur les berges se caractérise par une domination des deux extrêmes à savoir : l'occupation à tendance saturée et celle très faible ou nulle qui concernent plus de la moitié des sites analysés. La situation d'ensemble est présentée dans le tableau 4 ci-après.

Tableau 14: situation de la pression agricole sur les berges

	Taux d'occupation agricole très faible à nulle (0-9 %)	Taux d'occupation agricole faible à moyenne (10-29%)	Taux d'occupation agricole moyenne à forte (30-60%)	Taux d'occupation agricole très forte à saturée (> 60%)
Ombre de sites l'étude	39%	16%	10%	35%
Exemple de sites	Gaskaye, Absouya	Ziga, Goinré	Béguédo, Bagré	Ziga, Béguédo, Bagré

L'occupation des cuvettes et des berges des plans d'eau est marquée par une installation anarchique des producteurs. Ces derniers laissent peu d'espace pour l'accès des plans d'eau par les animaux.

6.4.2 PRATIQUES SYLVICOLES

Comme dans les autres parties du pays, l'exploitation des ressources forestières et notamment ligneuses a cours dans l'espace de gestion du Nakanbé. Malheureusement une partie de la production ligneuse est exploitée sans référence aux règles édictées dans le Code de l'Environnement adopté sous la loi n°005/97/ADP du 17 mars 1997. C'est ainsi que l'on observe çà et là des coupes abusives du bois aussi bien pour des fins domestiques que commerciales. Ces coupes frauduleuses touchent des milieux parfois fragiles comme les galeries forestières et les formations ripicoles en général qui contribuent à la protection des cours d'eau. Les feux de brousse et les défrichements incontrôlés, le braconnage, le surpâturage et la divagation des animaux, l'exploitation des berges des cours d'eau pour les productions agricoles sont des facteurs qui pèsent toujours négativement sur la dynamique des ressources forestières dans le bassin du Nakanbé. On assiste ainsi à une surexploitation de la ressource forestière, soit pour augmenter les surfaces cultivables ou pâturables, soit le plus souvent, parce que le bois est, dans bien des pays, la seule source énergétique pour les populations qui épuisent les forêts pour le chauffage et la cuisson des aliments. Toutes les forêts sont concernées par cette forme de surexploitation

Les espèces végétales locales interviennent sous diverses formes (feuilles, fleurs, fruits, graines, racines) dans l'alimentation humaine et animale et dans la médecine traditionnelle. On note également que les utilisations sont diverses et varient, selon les milieux socioculturels, dépendant des espèces. De

nombreuses plantes spontanées possèdent des fruits, graines, feuilles et fleurs consommés par les populations. Certaines font même l'objet de commerces transfrontalières comme *Parkia biglobosa*, *Lannea microcarpa*, *Tamarindus indica*, *Vitellaria paradoxa* et *Ziziphus mauritiana*.

Par ailleurs, une grande majorité de la population rurale et même urbaine fait recours aux plantes médicinales pour traiter les affections courantes telles que les diarrhées, dysenteries, coliques, jaunisse, paludisme, plaie, etc. (Guinko, 1999).

En saison sèche, les éleveurs abattent les arbustes, ébranchent et étêtent les arbres pour mettre les feuilles et fruits à la disposition du troupeau. Les ligneux interviennent dans l'alimentation du bétail, comme véritables ressources de fourrages riches en protéines, en éléments minéraux et en vitamines
(MAUVAISE CITATION

Le besoin croissant en bois de feu des populations et particulièrement dans les grandes agglomérations urbaines entraîne des coupes anarchiques en dépit de la pauvreté des forêts naturelles en spécimens aptes à produire du bois d'œuvre.

Tableau 15: Synthèse des principales utilisations des ressources génétiques forestières et leur importance.

Espèces forestières	Listes des principales espèces utilisées Espèces
médicinales	<i>Faidherbia albida</i> , <i>Acacia nilotica</i> , <i>Adansonia digitata</i> , <i>Annona senegalensis</i> , <i>Anogeissus leiocarpus</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Bombax costatum</i> , <i>Cochlospermum sp.</i> , <i>Commiphora africana</i> , <i>Craveta religiosa</i> , <i>Detarium microcarpum</i> , <i>Diospyros mespiliformis</i> , <i>Khaya senegalensis</i> , <i>Parkia biglobosa</i> , <i>Pterocarpus lucens</i> , <i>Saba senegalensis</i> , <i>Sclerocarya birrea</i> , <i>Tamarindus indica</i> , <i>Vitellaria paradoxa</i>
Espèces alimentaires	<i>Acacia macroctachya</i> , <i>Acacia senegal</i> , <i>Adansonia digitata</i> , <i>Annona senegalensis</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Bombax costatum</i> , <i>Borassus sp.</i> , <i>Ceiba pentandra</i> , <i>Detarium microcarpum</i> , <i>Dialium guineense</i> , <i>Diospyros mespiliformis</i> , <i>Gardenia erubescens</i> , <i>Hyphaena tebaica</i> , <i>Lannea microcarpa</i> , <i>Parkia biglobosa</i> , <i>Saba senegalensis</i> , <i>Sclerocarya birrea</i> , <i>Tamarindus indica</i> , <i>Vitellaria paradoxa</i> , <i>Ziziphus mauritiana</i>
Espèces fourragères	<i>Faidherbia albida</i> , <i>Acacia senegal</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Bombax costatum</i> , <i>Commiphora africana</i> , <i>Khaya senegalensis</i> , <i>Pterocarpus lucens</i> , <i>Sclerocarya birrea</i> , <i>Ziziphus</i>

	<i>mauritiana.</i>
Espèces de bois d'oeuvre et de service	<i>Anogeissus leiocarpus, Borassus sp., Ceiba pentandra, Commiphora africana</i>

SOURCE DU TABLEAU

6.4.3 PRATIQUES PASTORALES MANQUE LES REFERENCES !! enquete ou donnees biblio

Dans l'espace de gestion du Nakanbé, l'élevage vient en deuxième plan après l'agriculture. Les espèces élevées sont les bovins, les petits ruminants et la volaille. Pour le paysan, le troupeau constitue un capital familial dont il se sépare difficilement. Les types d'élevage sont l'élevage extensif pratiqué par une grande partie de la population et l'élevage semi-intensif pratiqué par les groupements d'éleveurs et quelques individus avec la mise en place d'unité d'embouche bovine, porcine et ovine. L'élevage des bovins est extensif et le mode de conduite des animaux est la transhumance. Les éleveurs-pasteurs (peuhl) se déplacent avec une plus grande partie de leur troupeau à la recherche de pâturage et de points d'abreuvement en saison sèche (janvier à juin). Il y a fréquemment des conflits agriculteurs-éleveurs. En cas de besoins, les éleveurs vendent quelques têtes au marché à bétail ou ils sont amenés au Ghana, Togo, Côte d'Ivoire pour la vente. La fumure organique produite par les animaux est soit vendue, soit mise sous contrat avec les agriculteurs, soit utilisée par l'éleveur lui-même à des fins agricoles. Les principales sources d'approvisionnement en eau des animaux sont les plans des cours et retenues d'eau.

A Bagré, la source d'eau utilisée pour abreuver les animaux est l'eau du barrage ou le canal primaire à travers les pistes ou couloirs de passage, mais l'accessibilité n'est pas toujours possible face à l'inondation. Les pistes à bétail sont dégradées, les animaux piétinent les berges de la retenue d'eau, ce qui provoque la dégradation du sol.

Le mode de conduite des animaux, pour l'élevage de petits ruminants (ovins et caprins) est sédentaire au regard de son effectif, contrairement à celui des bovins. Parfois les animaux traversent des couloirs de passages pour accéder aux puits et forages pour s'abreuver. Dans la plupart des cas, l'abreuvement du bétail se fait au barrage, du fait de l'importance de son volume de stockage, et de sa situation géographique qui est d'une accessibilité facile pour les différents villages autour du barrage.

La fumure organique produite par les animaux est conservée pour l'auto usage.

6.5 DISCUSSION

Les données des enquêtes effectuées révèlent que les producteurs des terroirs, dans lesquels l'étude a été menée, possèdent une bonne connaissance de leur milieu. Sur le plan des connaissances des sols, l'analyse des résultats révèle que les producteurs ont une bonne perception de la variabilité des sols. Cette perception de la diversité des sols confirme les travaux déjà réalisés (Milne, 1935, ORSC, 1948, Portères, 1948, Aubert et Newky, 1979, Acces, 1984, Kanté et Deforer, 1993).

L'analyse du choix des indicateurs de dégradation montre que la méthode d'appréciation paysanne est fondée sur l'observation visuelle de critères externes.

Au niveau des ressources végétales la dégradation est perçue élevée à moyenne. Les indicateurs retenus sont : présence de plages nues (zipéllé en mooré), baisse de la densité ou changement d'état de la végétation, disparition complète ou raréfaction de certaines espèces, baisse ou arrêt total de la production des arbres fruitiers.

La comparaison montre que ces indicateurs ne sont pas tous considérés par les différentes ethnies. Les bissa et les gourounsi sur la base seulement de la baisse de densité de la végétation et la raréfaction de certaines espèces jugent la dégradation moyenne contrairement aux fulsé et aux mossi qui les considèrent tous et donnent une appréciation élevée de la dégradation.

Au niveau des ressources en eau, la dégradation est perçue élevée par les fulsés et les mossi, moyenne par les bissa et les gourounsi. L'analyse du choix des critères révèle que la démarche suivie est également basée sur l'observation visuelle. Les indicateurs retenus concernent la baisse de la nappe (déduite à partir des profondeurs de plus en plus élevées des puits), le tarissement de plus en plus rapide des eaux de surface et l'envasement des sources. On constate que la baisse de la nappe est considérée seulement par les groupes ethniques fulsé et mossi, également, le tarissement des sources d'eau, bien que considéré par toutes les ethnies, le rythme est plus rapide chez les fulsé et mossi que chez les autres ethnies.

Ce qui semble corroborer avec les résultats de la direction Générale de l'hydraulique (2001) qui indiquaient que la profondeur du niveau piézométrique dans les forages est plus élevée au Nord (>40m) qu'au Sud (>-10m).

Cette différence de perception est probablement liée à la variation spatiale du climat (le climat étant plus aride au Nord qu'au Sud) ; ou de la géomorphologie, le Burkina Faso étant considéré comme un plateau incliné du nord au sud.

On constate que dans l'ensemble la pollution n'est prise en compte comme critère de dégradation. Cela peut se justifier par le fait que les types d'activités économiques menés dans tous les sites sont essentiellement l'élevage et l'agriculture pluviale utilisant peu d'engrais chimiques. Contrairement à la recherche (Somé et al., 2004) qui permet une appréciation qualitative et quantitative, l'appréciation paysanne est seulement qualitative. Ceci du fait de la différence d'approche méthodologique et des

moyens utilisés. Pendant que l'appréciation paysanne des ressources en eau est fondée sur une observation visuelle, la recherche utilise des données hydrométriques et piézométriques ainsi que la modélisation informatique.

Au niveau des ressources en sols, la dégradation est perçue comme moyenne chez les gourounsi et élevée chez les autres. On constate que les indicateurs retenus dans l'ensemble, peuvent se répartir en :

a) Critères de dégradation physique

- l'éclaircissement de la végétation : la végétation est pour un bon indicateur de l'état des sols et de la réserve en eau, selon les producteurs.
- les croûtes d'érosion : « les zipella » indiquent selon les producteurs que le sol est pauvre en matière organique et imperméable dont une faible rétention en eau.
- la présence des rigoles et des ravines est également un indicateur de la dégradation physique des ressources.

b.) Critères de dégradation chimique

- couleur du sol : la variation de couleur c'est-à-dire de la couleur sombre à la couleur claire, est un indicateur de la dégradation de la matière organique d'un sol. Les producteurs des zones sud sahéliennes, nord-soudaniennes et du secteur nord de la zone sud-soudanienne sont unanimes que les sols, toutes textures confondues, à l'exception des bas-fonds ont perdues leur couleur sombre d'autrefois ;
- la vigueur des tiges des cultures : les tiges maigres dans un champ est un déterminant pertinent de la baisse de la matière organique d'un sol. ;
- la présence des herbacées : *Eragostis stremula*, *Striga hermontica*, *Mitracarpus scaber*, *Shyzachkyrium exile*, *Hyptis spicigera* indique également la baisse de la matière organique ;
- Il faut noter que la notion de la baisse de matière organique ou « ponsgo en fulsé et moré », « pouponon en gourounsi et « briga ou bougoutou en bissa » exprime pour les paysans, de façon générale la fertilité chimique.
- Indicateurs de dégradations hydriques : affleurement, cuirassé, zipéllé, végétation (notamment combrétacée), vigueur des tiges permettent d'apprécier la réserve d'eau chez les paysans.
- Je prefere que vous parlez de poulations de la zone climatique que des ethnies

Au regard de ce qui précède, on peut donc avancer que les paysans ont moult connaissances endogènes (plus ou moins rationnelles du point de vue scientifique) qui leur permettent de gérer au mieux leur production. Ainsi, pour ce qui est de notre première hypothèse de base, elle s'avère mitigée dans ce sens que les paysans ont une assez bonne connaissance du phénomène des changements climatiques, même si parfois, ils ont tendance à expliquer d'autre par certains phénomènes mystiques. Nuancer car

les mystiques ne sont pas nombreux ;négligeables cf these zombre 2003i ils ont une bonne maitrise des criteres de degradation bio physiques

Au-delà, on peut dire que l'analyse de la démarche méthodologique de la classification paysanne, permet d'avoir des données pouvant contribuer à l'élaboration de stratégies durables de gestion et d'aménagement des terres, dans la mesure où, la différence de classification paysanne et la classification moderne est clairement établie.

En dépit de ces connaissances, il reste toujours que les pratiques agrosylvopastorale ont des conséquences néfastes sur les ressources naturelles ; au nombre de ces conséquences il y a **l'érosion et l'ensablement.**

CHAPITRE 7 : PROBLEMATIQUES DE L'EROSION ET DE L'ENSABLEMENT DES COURS D'EAU DU BASSIN DU NAKANBE : CAS DU SOUS BASSIN DE LA NOUAHO NORD.

L'image qui prévaut pour les régions sahéennes en général et le Burkina Faso en particulier, est celle d'une très grande précarité des conditions de production. Les contraintes liées aux fortes incertitudes climatiques et au potentiel de production limité par les caractéristiques pédoclimatiques défavorables sont exacerbées par des modes d'exploitation inadaptés. Les conséquences de la modification des états de surface sont entre autres, la diminution de la fertilité des terres, la perte rapide et totale des surfaces cultivables, l'accroissement du ruissellement, l'ensablement des cours d'eau, l'aridification et enfin la baisse du niveau des nappes (MECV, 2007). Les changements climatiques combinés aux changements d'usages des sols accentuent les risques érosifs en Afrique, particulièrement au Sahel (Bouzou Moussa, 2002).

De toutes les menaces qui pèsent sur les ressources en eau et leurs ressources connexes, l'érosion et l'ensablement constituent une problématique majeure. Ces phénomènes sont d'origines anthropiques et naturelles.

Les principales hypothèses sont :

- Le phénomène de l'érosion est très important dans le bassin du Nakanbé et peut impacter négativement la gestion durable des terres, des eaux et des ressources connexes

- la modélisation des phénomènes d'érosion et d'ensablement permet une meilleure lisibilité en termes de prévision et de meilleure gestion des ressources en eau, des terres et des ressources connexes
- L'érosion, si elle est caractérisée en déterminant la part contributive de celle d'origine anthropique, elle peut être mieux gérée

Pour un bassin aussi vaste que le Nakanbé, nous avons choisi également de mener une étude approfondie sur le phénomène d'érosion et d'ensablement dans le sous bassin du Nouaho à l'aide du modèle SWAT, de l'analyse cartographique et de l'estimation des dégradations spécifiques de sol.

Ce chapitre permet de caractériser la problématique des phénomènes d'érosion et d'ensablement, de déterminer les facteurs des deux phénomènes et de quantifier les impacts de ces phénomènes par l'application du modèle SWAT dans l'espace de gestion du Nakanbé.

7.1 PROBLEMATIQUE DES PHENOMENES D'EROSION ET D'ENSABLEMENT

Les phénomènes d'érosion et d'ensablement constituent de nos jours un problème de grande envergure pour tous les acteurs (usagers, concepteurs, décideurs, gestionnaires, etc.) intervenant dans la gestion ou l'utilisation de la ressource eau. Ils constituent des facteurs qui fragilisent les écosystèmes (sols, ressources eau et ressources halieutiques et autres ressources), les systèmes économiques (productions agricoles, productions pastorales, importation des produits, etc.), et donc, handicapent l'émergence de certains pays, etc. L'espace de gestion du Nakanbé, au plein cœur du sahel, constitue une zone très vulnérable à ces phénomènes au regard de ses conditions pédoclimatiques, géomorphologiques, et de la dégradation croissante de ses ressources naturelles (surtout la végétation) de par la pression démographique galopante (occupation dense de l'espace, surexploitation des ressources naturelles, pratiques concurrentielles). L'avancée du désert dans la partie sahélienne de l'espace, mesure en partie, la gravité du phénomène d'érosion et la disparition de certaines zones humides est partiellement ou totalement imputable à l'action conjuguée de l'érosion et de l'ensablement. L'espace de gestion du Nakanbé ne fait pas exception à l'attaque de ces phénomènes, il connaît une érosion grandissante qui conduit à l'ensablement des retenues et cours d'eau.

Les phénomènes d'érosion et de l'ensablement sont liés à des causes qui varient d'une région à une autre dans l'espace de gestion du Nakanbé. On ne peut ni gérer, ni maîtriser ce que l'on ne connaît pas. Alors pour mieux cerner la problématique de ces deux (2) phénomènes dans l'espace de gestion du Nakanbé, il est primordial d'identifier leurs causes, de les analyser afin de mieux les comprendre. Mais aussi, la connaissance d'une problématique passe par l'étude des effets négatifs qu'elle peut engendrer.

Style A AMELIORERL'analyse de la triade cause-conséquence-manifestation (formes ou types) des phénomènes constituera alors la caractérisation de la problématique de l'ensablement et de l'érosion dans le sous bassin Nouaho NORD.

Sur l'ensemble du sous bassin de la Nouaho, le phénomène de l'érosion est assez préoccupant au regard du comblement des cours et retenues d'eau. Les causes de l'érosion (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), qu'elles soient d'ordre naturel ou anthropique, sont diverses et complexes dans le Nakanbé. Les causes naturelles de l'érosion sont les pluies, les ruissellements, les écoulements hydriques et le mouvement des courants d'air (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 16: Typologie d'érosion dans l'espace de gestion du Nakanbé

Causes	Type d'érosion	Facteurs catalyseurs
Ruissèlement diffus	Erosion diffuse	géologie, climat, morphologie, sols, végétation, pratiques anthropiques
Ruissèlement concentré	Erosion concentrée (ravinelements) érosion par ravinement	les pentes, les sols, le drainage naturel des terres, la forme du bassin versant (succession plateau-versant abrupt, bassin versant en forme d'entonnoir, vallon sec, la dimension du bassin versant
Ecoulement	Erosion concentrée (ravinelements) L'érosion par ravinement	
Précipitation	L'érosion en nappe	
Vent	Erosion éolienne	

Source : Données de l'étude

L'érosion engendre des effets néfastes dans l'espace de gestion du Nakanbé. On peut retenir comme effets :

- les dégradations physiques, chimiques et biologiques des sols ;
- la destruction et la fragilisation du couvert végétal ;
- la dégradation des berges des cours et retenues d'eau ;
- la modification du réseau hydrographique ;
- la création des ravins ;
- la pollution des eaux ;

Pour ce qui est de l'ensablement des cours et retenues, il faut l'appréhender sous l'action de l'érosion. L'ensablement est le résultat de l'érosion hydrique et éolienne sur les cours d'eau et retenues d'eau. Il s'agit du comblement des retenues et des cours d'eau par les sédiments détachés et transportés par les facteurs de l'érosion. Ce phénomène est assez préoccupant, il est à la base de plusieurs effets et impacts sur les écosystèmes comme ci-après :

- la disparition de plusieurs zones humides ;
- l'augmentation des risques d'inondations ;
- la diminution des capacités de mobilisation des ouvrages hydrauliques ;
- la modification des régimes hydrologiques de cours d'eau.

7.2 FACTEURS DE L'ÉROSION ET DE L'ENSABLEMENT DANS LE NOUAHO

7.2.1 Le régime hydro-climatique

Le sous bassin du Nouaho est situé entre les isohyètes 700 mm et 1200 mm. Les pluies sont à la base du ruissellement dans le bassin. Les résultats obtenus à l'aide du traitement des séries de pluie (à la station de Tenkodogo) et des débits (à la station de Bittou) montrent que le sous bassin est menacé naturellement par le phénomène de l'érosion.

– Les précipitations

Le phénomène d'érosion et d'ensablement est en partie lié aux précipitations selon Grésillon et Gottschalk. Il dépend de l'intensité de pluie et peu de la quantité d'eau précipitée. L'intensité est l'élément déterminant du phénomène d'érosion, car elle est à la base du battage du sol.

Les dégradations spécifiques des sols sont en partie liées aux précipitations. Les précipitations (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) sont à la base spécifiquement de l'effet splash et du ruissellement des eaux. La manifestation de l'érosion par le splash dans le paysage est subtile et ne se distingue bien, que dans certaines circonstances un peu particulières : un sol soumis à une forte érosion et qui est recouvert par endroit de cailloux. L'impact des gouttes de pluie à la surface, de par leurs énergies potentielle et cinétique, détache les sédiments de la matrice du sol et les transporte dans l'air où la majorité de « l'éclaboussure » (et donc du transport solide) se dirige vers le bas du versant. En général, le splash est important pour le détachement des sédiments dans l'érosion diffuse mais ne transporte que relativement peu de sédiments, comparé au ruissellement, qu'il soit diffus ou concentré.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre l'évolution des hauteurs de pluie tombée à la station de Tenkodogo. La série de pluie va de 1961-2005. Le minimum de pluie enregistré est de 542.8 mm en 2002 et le maximum est de 1198.5 mm en 1967.

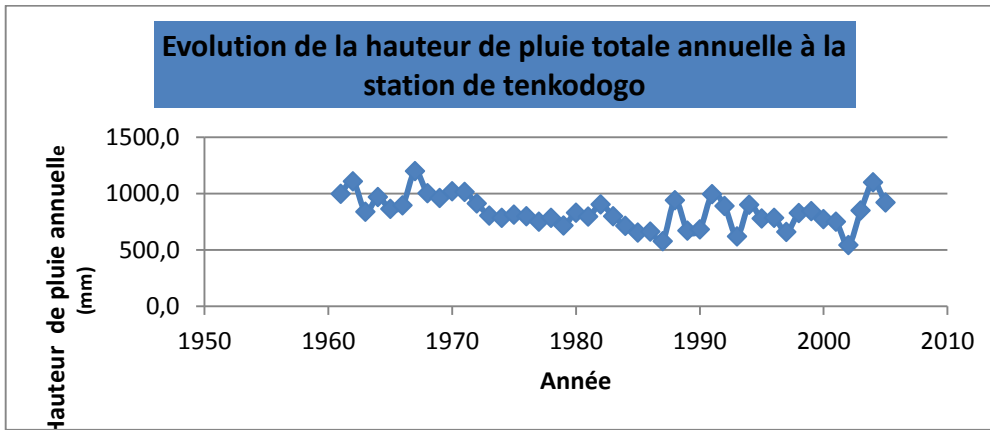


Figure 8: Evolution des hauteurs de pluie annuelles à la station de Tenkodogo

La courbe d'évolution des quantités de pluie et des pertes en sols (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) montre que d'une année à une autre ou d'une période à une autre, le phénomène d'érosion se manifeste différemment. Cette évolution est fonction de la quantité de pluie tombée mais elle n'est pas linéaire.

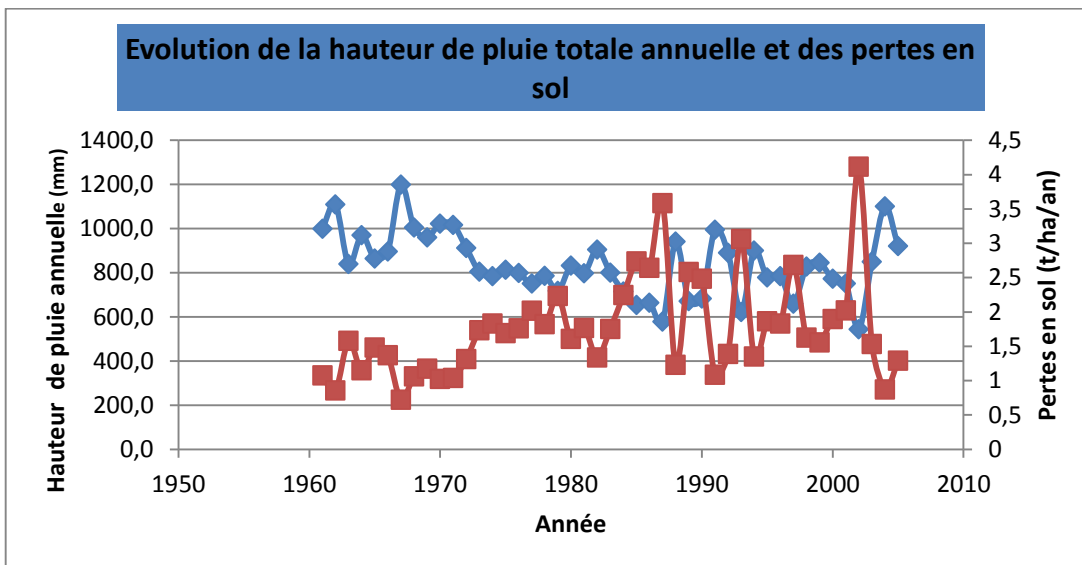


Figure 9: Relation pluie tombée sur le bassin et les pertes en sol

L'analyse de l'évolution de la perte en sol ((**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) déterminée à partir de la formule de Gottschalk montre que les dégradations de sols causées par les précipitations sont complexes et ne dépendent pas uniquement du paramètre pluie. Elle illustre le fait que la fonction hauteur et perte de sols qui n'est pas linéaire mais polynomiale (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ainsi plusieurs facteurs rentrent en ligne de compte dans le processus de l'érosion.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que la dégradation spécifique en fonction des précipitations n'est pas linéaire. Il faut alors tenir compte des autres paramètres dans la caractérisation du phénomène d'érosion et d'ensablement comme le ruissellement, l'intensité des épisodes pluvieux, l'occupation du sol, la géomorphologie, etc.

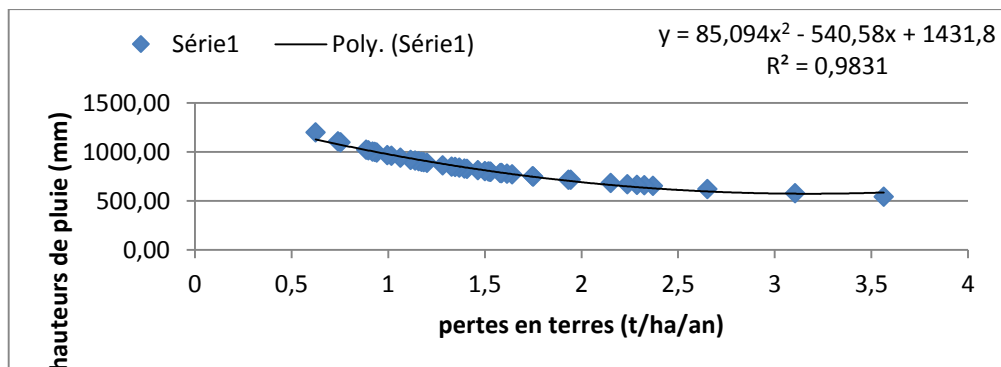


Figure 10: relation entre hauteurs de pluie et pertes en terre.

– Le ruissellement

En fonction du régime des épisodes pluvieux, des conditions géologiques et géomorphologiques, de l'occupation du bassin, le ruissellement peut se manifester distinctement. On distingue dans le bassin de la Nouaho, le ruissellement diffus et le ruissellement concentré. Durant la période étudiée les lames d'eau ruisselées dans le sous bassin de la Nouaho sont présentées dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Le coefficient de ruissèlement caractérise la lame de pluie ruisselée sur le bassin. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que, durant la période de l'étude, la lame d'eau ruisselée maximale est de 353.51 mm (1970) et la lame ruisselée minimale est de 23.05 mm (1984).

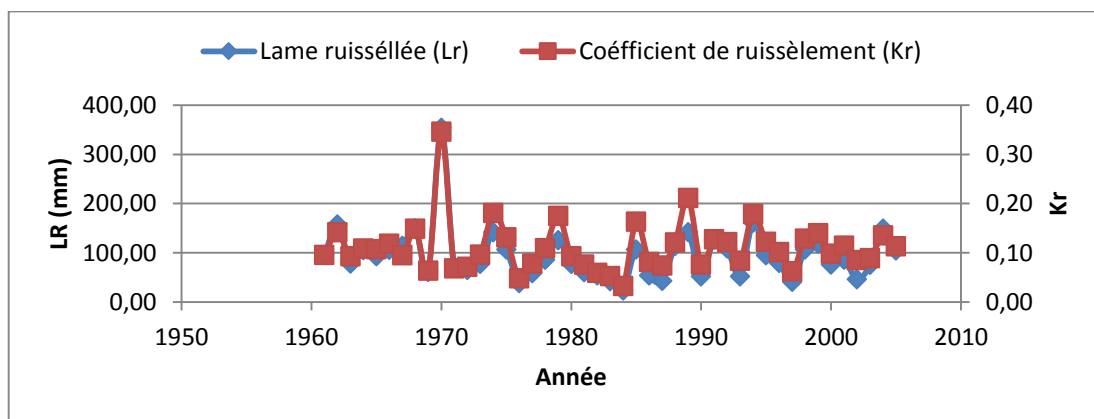


Figure 11: évolution de lame de ruissèlement et du coefficient de ruissèlement de la Nouaho à la station de Bittou.

Le ruissellement est caractérisé par le coefficient de ruissèlement (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ils sont liés et dépendent de plusieurs facteurs comme la typologie, la texture, l'érodibilité du sol, l'utilisation et l'occupation du sol, la topographie du bassin, etc.

Il existe malgré tout une relation (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) entre le coefficient de ruissellement et les pertes en sol estimées. La relation entre les deux paramètres n'est pas si linéaire étant donné l'influence des autres facteurs de l'érosion.

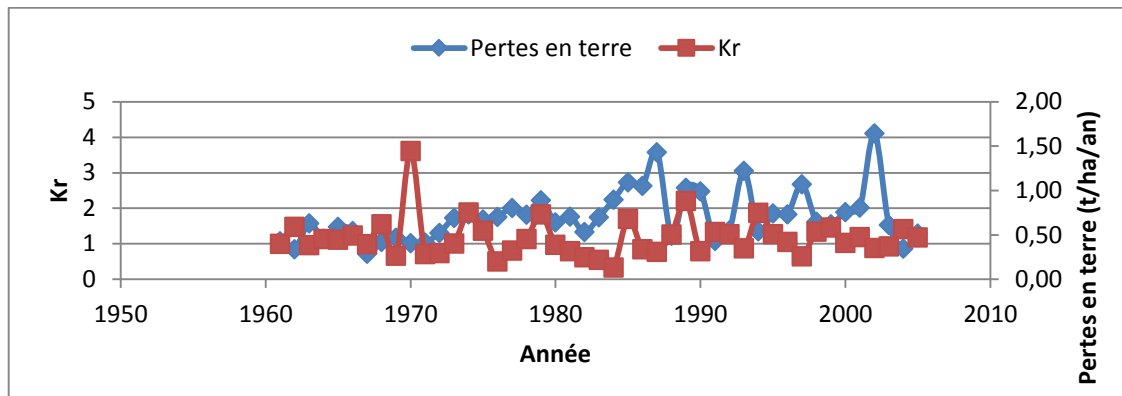


Figure 12: Comparaison de l'évolution des pertes en terres et du Kr.

L'analyse de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que tantôt le coefficient de ruissellement et les pertes en sols varient dans le même sens pour certaines périodes hydrologiques. De même nous remarquons une augmentation des pertes en terres pendant que le coefficient de ruissellement diminue et vice versa, ce qui corrobore l'interaction complexe existant entre les différents facteurs de l'érosion. Ce graphique renferme l'hypothèse selon laquelle l'érosion dépend du ruissellement et bien entendu, d'autres facteurs qui ignorés ne permettent d'avoir une caractérisation fidèle du phénomène.

L'évolution des modules décennaux des périodes 1961-1975, 1976-1990 et 1991-2005 montrent la relation fonctionnelle existante entre les pertes en sol et les coefficients de ruissellement (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La corrélation entre les modules décennaux du Kr et des pertes en sol donne un coefficient très fort ($R=1$). Ce qui corrobore la relation de dépendance entre le ruissellement et les pertes en terre. Mais la courbe matérialisant les pertes en terre et le ruissellement n'est pas linéaire malgré la faible longueur de la courbe (1961-1975, 1976-1990 et 1991-2005).

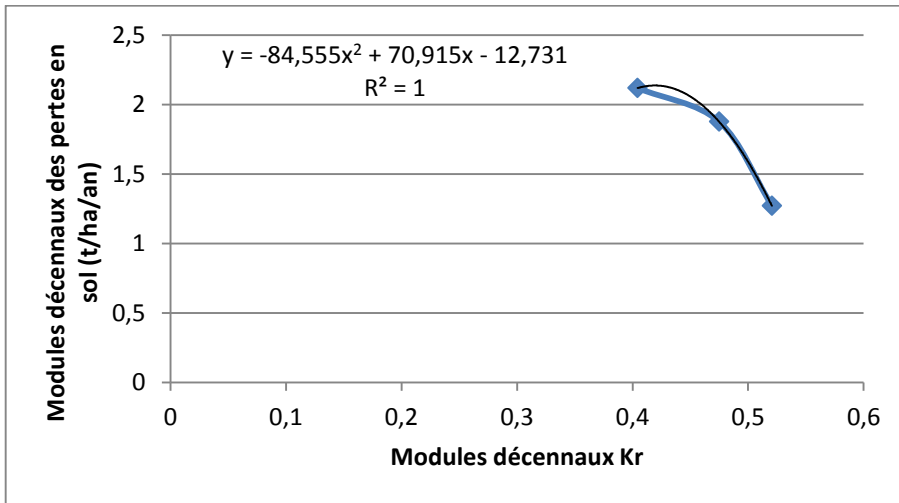


Figure 13: Corrélation entre les modules décennaux (1961-1975, 1976-1990 et 1991-2005) des pertes en sol et des Kr

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que les points représentés par les coefficients de ruissellement et les pertes en sols sont dispersés sur le graphique. La fonction n'est pas linéaire.

En résumé on peut conclure que le ruissellement est à la base de l'érosion et en fonction du type de ruissellement rencontré, l'érosion créée se distingue également. Les tracés de graphique 4 et 5 montre la fonction pertes en terre et ruissellement n'est pas linéaire, d'où l'intervention d'autres facteurs. Mais il faut préciser que la fonction de cette non-linéarité est liée aussi à la formule de détermination des pertes en terre qui est fondée sur le paramètre pluie tombée.

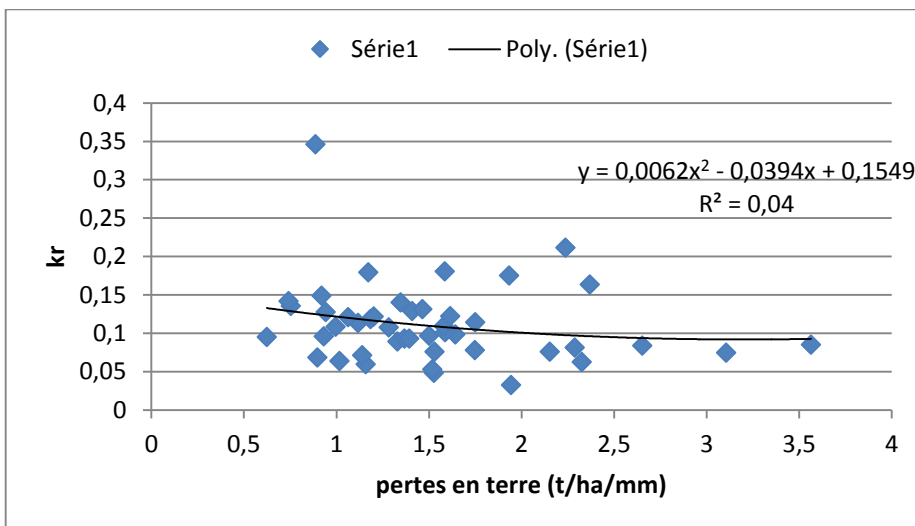


Figure 14: relation pertes en terre et coefficient de ruissellement.

Conclusion sur l'érosion hydrique

Les pertes en terres estimées à partir de la pluviométrie annuelle montre que ce paramètre est un facteur d'érosion. Aussi, le ruissellement et l'écoulement sont déterminants dans le processus de l'érosion. Ces

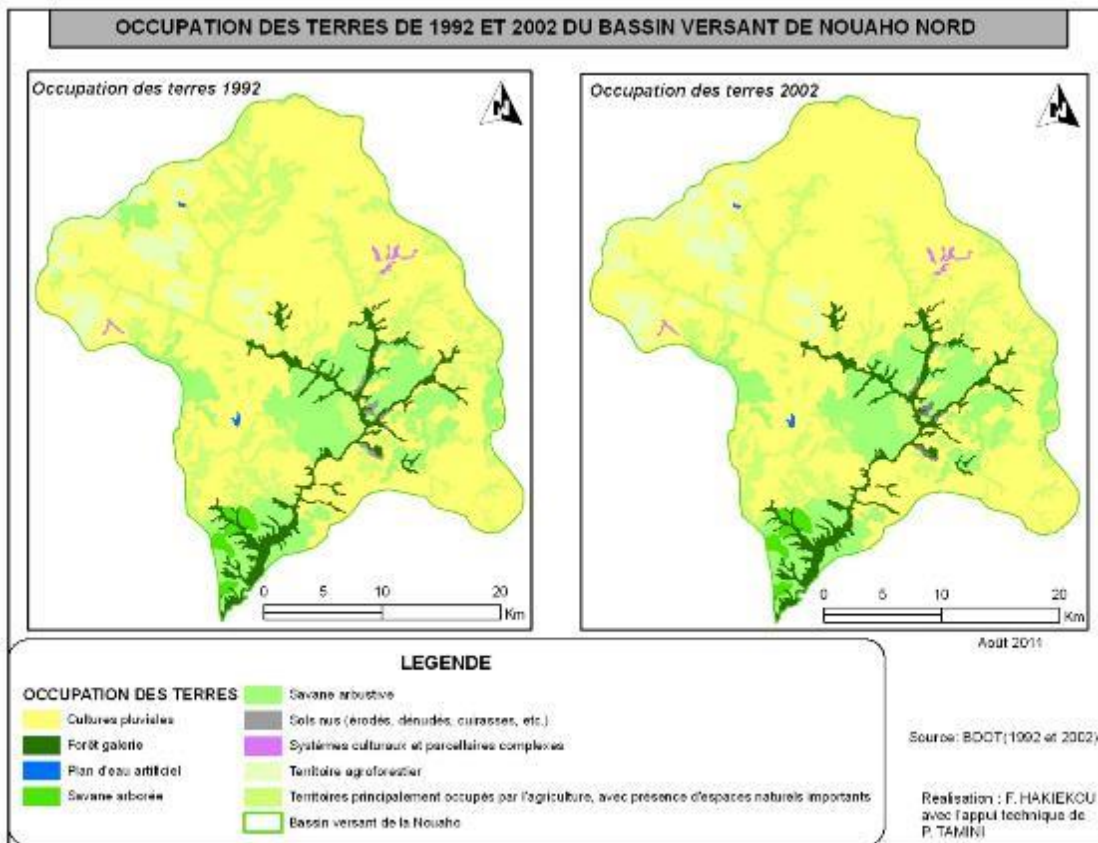
deux facteurs (hydrologiques et climatiques) faisant partie intégrante du cycle de l'eau, sont ainsi les principaux facteurs de la dégradation des terres. C'est un processus naturel. Cependant, il existe des facteurs qui peuvent freiner l'action de l'érosive hydrique ou l'accélérer. La couverture végétale contribue à la réduction du phénomène hydrique. Tout comme les caractéristiques du sol peuvent le rendre plus résistant à l'action de l'érosion hydrique. Mais les facteurs comme l'occupation du sol, la pente, les activités anthropiques peuvent constituer des variables accélératrices du processus d'érosion et d'ensablement.

L'occupation des terres dans le Nouaho Nord

L'occupation des terres est un facteur déterminant du phénomène d'érosion et d'ensablement. Elle fait ressortir la situation de la pression anthropique sur les ressources naturelles. Elle joue un double rôle dans le phénomène d'érosion et d'ensablement à savoir l'effet direct et indirect (catalyseur).

– Carte d'occupation des terres dans le sous bassin Nouaho Nord

La carte d'occupation des terres a été éditée pour les périodes de 1992 et 2002. L'occupation des terres concerne les formations anthropiques (les champs et les formations agro forestières) et les formations naturelles (savane arbustive, forêt galerie, savane arborée, sols nus et plan d'eau). Les résultats cartographiques (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) montrent que la partie nord (partie amont) du bassin versant connaît une occupation accélérée consécutive à la mise en culture des formations naturelles. La partie sud (partie aval), occupée par les zones agro-sylvo-pastorales de la Nouaho et de Sablogo, connaît par contre une occupation modérée.



carte 14: Occupation des terres en 1992 et en 2002 dans le sous bassin Nouaho nord

– Analyse diachronique de l'occupation des terres entre 1992 et 2002

Les résultats de l'analyse diachronique présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montrent qu'en 1992, les formations naturelles occupaient une superficie de 18 660 ha ; celles anthropiques 77 759 ha et les zones nues 281 ha. En 2002, la répartition se présentait comme suit : 17 998 ha pour les formations naturelles, 78420 ha pour celles anthropiques et 281 ha correspondant aux zones nues

Tableau 17: Evolution de l'occupation des terres du sous bassin entre 1992 et 2002

Occupation des terres	Superficie en 1992		Superficie en 2002		Différence de superficie	
	ha	%	Ha	%	sup (ha)	% sup
Champ	59386	61	62230	64	2844	3
Formation agro forestière	18372	19	16190	17	-2182	-2
Formations anthropiques	77759	80	78420	81	661	1
Savane arbustive	13194	14	12532	13	-662	-1

Forêt galerie	4672	5	4672	5	0	0
Savane arborée	794	1	794	1	0	0
Formations naturelles	18660	20	17998	19	-662	-1
Sols nus	281	0.3	281	0.3	0	0
Plan d'eau	70	0.1	70	0.1	0	0
Total	96769	100	96769	100	0	0

Source : Extrait et calculé à partir de la BDOT 1992 et la BDOT 2002

Dans les formations naturelles, la savane arborée et la forêt galerie n'ont pas connu une évolution significative entre 1992 et 2002. Par contre, la savane arbustive a régressé de 662 ha, soit 1 % de la superficie totale du bassin versant (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Dans les formations anthropiques, les champs ont connu une nette évolution, passant de 59 386 ha en 1992 à 62 230 ha en 2002, soit une augmentation de 2 884 ha en 10 ans, ce qui représente 3 % de la superficie totale du bassin versant (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les formations agro forestières représentées par les jachères et les reliques de savanes arbustives fortement dégradées ont plutôt connu une diminution au profit des champs, passant de 18 372 ha en 1992 à 16 190 ha en 2002, soit une diminution de 2 182 ha en 10 ans.

La forte régression de la savane arbustive (662 ha) et de la formation agro forestière (2 182 ha) dans la partie amont du bassin versant s'est effectuée au profit des champs, qui sont à l'origine de cette régression. Par contre, la stabilité constatée dans les formations de savane arborée et de forêt galerie se justifie en partie par le statut des zones occupées par ces formations naturelles : la savane arborée se localise dans la zone de l'exutoire du bassin versant ; cette zone constitue la partie nord de la zone agro-sylvo-pastorale de la Nouaho. De même, la forêt galerie se localise essentiellement dans la partie aval, occupée par la zone agro-sylvo-pastorale de Sablogo. Ces deux zones, de par leurs statuts, bénéficient d'une protection particulière favorable au maintien du couvert végétal.

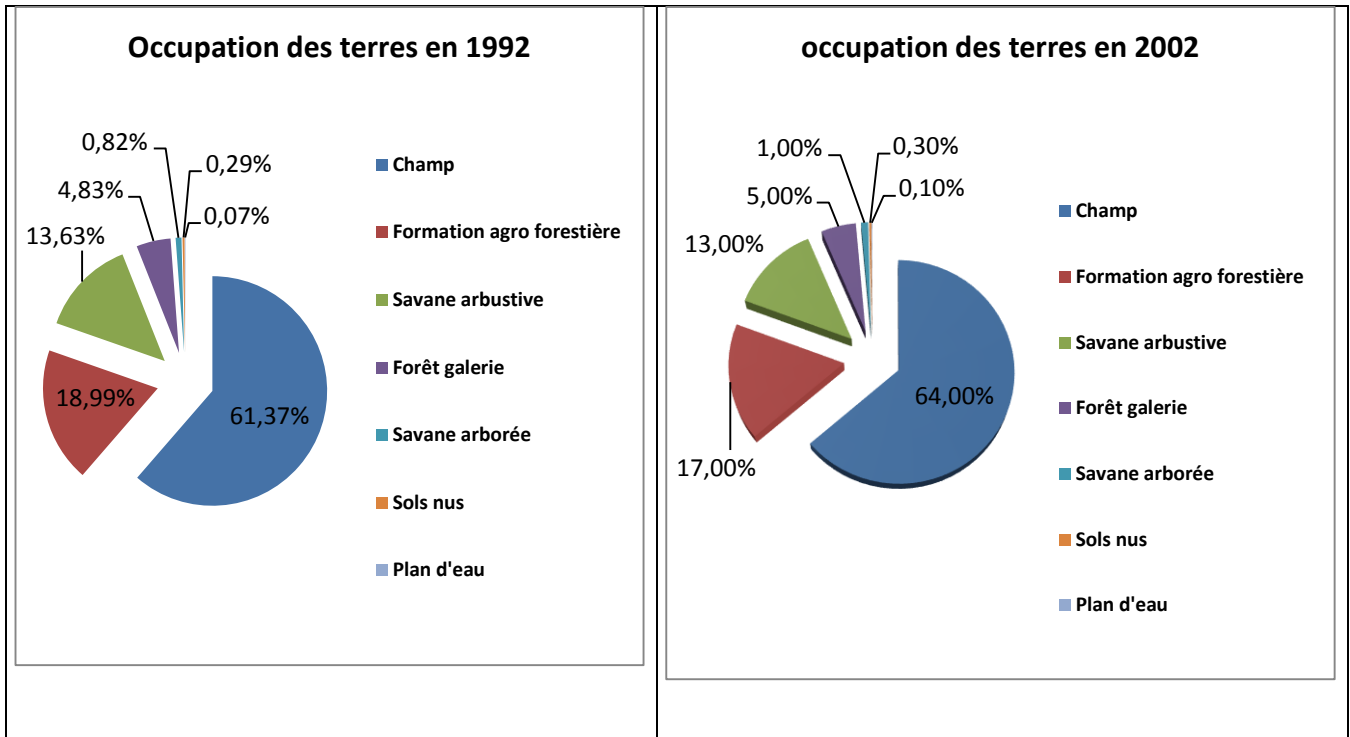


Figure 15: proportion de l'occupation des terres en 1992 et 2002

Revoir caractères

Conclusion sur l'occupation des terres

L'analyse diachronique (1992-2002) a montré que la superficie des formations anthropiques a accru de 1992 (77 758 ha) à 2002 (78 420) dont un écart de 1%. De même les formations naturelles qui n'occupaient qu'une infime portion du sous bassin du Nouaho Nord a aussi connu une régression en superficie. Les champs occupent 64 % (2002) du sous bassin.

L'augmentation des superficies de champs rendent vulnérables le sous bassin du Nouaho Nord au phénomène d'érosion. Cette occupation montre la part de responsabilité de l'homme dans la dégradation des terres à travers le phénomène d'érosion. Les pratiques faites sur les champs ne sont pas très adéquates et favorisent ainsi la dégradation des sols dans le sous bassin.

Les activités agro-sylvo-pastorales dans le sous bassin de la Nouaho Nord

7.2.2 Identification des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique et humain du sous-bassin de la Nouaho nord

La méthode de traitement utilisée pour l'identification des impacts est la matrice de Léopold recommandée par le PNUE (2002). Cette méthode permet d'établir le lien entre actions et impacts à identifier.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la situation des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique. Ces résultats issus des observations de terrain illustrent la nature des impacts auxquels est soumis le sous-bassin versant de Nouaho nord.

Les résultats indiquent que les pratiques agricoles contribuent de façon significative à la disparition du couvert végétal par le biais des défrichements anarchiques, la sélection des espèces jugées utilitaires par les agriculteurs et l'épuisement organique des sols. Le couvert végétal constitue le facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. L'action de la végétation est multiple. L'interception des gouttes des pluies permet la dissipation de l'énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "splash". Son système racinaire maintient le sol en place et y favorise l'infiltration. Accessoirement, l'évapotranspiration de la plante, en asséchant le sol augmente sa capacité d'infiltration. Son développement en surface freine le ruissellement. L'apport en matière organique améliore la structure du sol et sa cohésion.

Tableau 18: Identification des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique

Milieu biophysique	Source d'impact	Impact	Description de l'impact	
Végétation	Pratiques agricoles	Dégradation du couvert végétal	Défrichements anarchiques, éliminations des rejets sur champ	
		Appauvrissement organique du sol	Exploitation excessive du sol sans apport de matière organique	
	Pratiques pastorales	Mutilation des arbres et arbustes	Coupe de branches pour fourrage, destruction de la biomasse végétale	
		Surpâturage et piétinement des herbacées	Forte pression sur les parcours, dégradation du tapis herbacée	
	Pratiques sylvicoles	Coupe de bois mort et vert	Exploitation forestière (bois de feu, perches, ...)	
		Feux de brousse	Destruction du tapis herbacé, des rejets, rabougrissement des arbres	
		Pratiques agricoles	Destruction de la stabilité structurale du sol	Fragilisation du sol, exposition du sol à l'effet « splash »
			Erosion en nappe, en rigole et en ravine	Pratiques culturales favorables à la dénudation du sol, à la disparition de la stabilité structurale du sol et à l'érosion

Sol	Pratiques pastorales	Piétinement, encroutement, battance du sol	Forte pression de pâturage entraînant la fragilisation du sol et la formation de pellicules de battance
		Erosion en nappe et en rigole	Destruction de la stabilité structurale du sol, exposition à l'effet « splash » et à l'érosion ravinante
	Pratiques sylvicoles	Coupe de bois vert et de bois mort	Exploitation du bois, diminution de la biomasse végétale sur le sol, dénudation du sol
		Feux de brousse	Destruction du tapis herbacé, diminution de la biomasse végétale morte sur le sol
Eau	Pratiques agricoles	Ruissellement accéléré	Dénudation et compactage du sol, baisse de l'infiltration, augmentation du ruissellement
		Ensablement de cours d'eau	Décapage et transport de matériaux sableux du versant, dépôt de ces matériaux dans les cours d'eau
		Dégradation des berges	Défrichement des forêts galeries pour la production agricole, exposition des berges à l'érosion hydrique
	Pratiques pastorales	Ruissellement accéléré	Dénudation et compactage du sol par le bétail, baisse de l'infiltration, augmentation du ruissellement
		Ensablement de cours d'eau	Fragilisation du sol par piétinement, décapage et transport de matériaux sableux du versant et dépôt dans les cours d'eau
		Dégradation des berges	Réduction de la stabilité structurale du sol par piétinement, ruissellement accéléré, érosion des berges
	Pratiques sylvicoles	Baisse de l'infiltration suite à la réduction du couvert végétal Baisse de la capacité de recharge de la nappe	Baisse de la biomasse végétale par suite de coupe, ruissellement accéléré, baisse de la capacité de recharge de la nappe

Source : Données de l'enquête terrain

Les activités agricoles contribuent aussi par le biais des méthodes culturales, à la baisse de la stabilité structurale du sol ; l'effet « splash » s'en trouve amplifié surtout en début de saison de pluie. Les effets de ces pratiques culturales sur le bassin versant sont observables, le long des topo-séquences. Ainsi, l'érosion en nappe, en rigole et en ravine sont prépondérantes sur la partie amont et l'ensablement et la dégradation des berges dominant sur la partie aval.

Les pratiques pastorales dominées par l'élevage extensif pratiqué par les résidents et la transhumance des non-résidents contribuent de façon significative à la dégradation du milieu biophysique. En effet, le surpâturage dans les parcours, la coupe abusive des espèces ligneuses, le piétinement dans les exploitations agricoles après les récoltes sont les principales causes de dégradation du couvert végétal, de compactage du sol et de destruction de la stabilité structurale des sols. Ces sols sont ainsi soumis dès les premières averses de la saison hivernale au phénomène de décapage, de transport et de dépôt entraînant du même coup l'érosion en nappe et en rigole en amont et l'ensablement des cours d'eau en aval.

Les pratiques sylvicoles telles que la coupe du bois et les feux de brousse contribuent de façon significative à la réduction du couvert végétal ligneux, et à la disparition du tapis herbacé pendant une partie de la saison sèche. Ces pratiques ont pour corollaires, la réduction du recouvrement des ligneux et donc de la capacité d'interception des eaux de pluie ; elles contribuent également à la dénudation du sol. L'effet « splash » et le ruissellement sont par conséquent très importants au cours des premières averses de la saison hivernale. Le ruissellement ainsi accéléré accroît l'érosion en nappe, en rigole et en ravine en amont et l'ensablement des cours d'eau en aval.

Tableau 19: Estimation de la dégradation spécifique du bassin du barrage de Lagdwenda

Modèle	Dégradation spécifique en M ³ /Km ² /an
Gottschalk	190
IEH-EIER (Grésillon)	165

Source : Données de l'étude

Le barrage de Lagdwenda dont la mise à eau date d'Août 2002 a une capacité de 63 000 m³. Son bassin versant d'une superficie de 23,55 Km² a une dégradation spécifique de 190 M³/Km²/an (Formule de Gottschalk) et de 165 M³/Km²/an (Formule de Grésillon) en référence au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

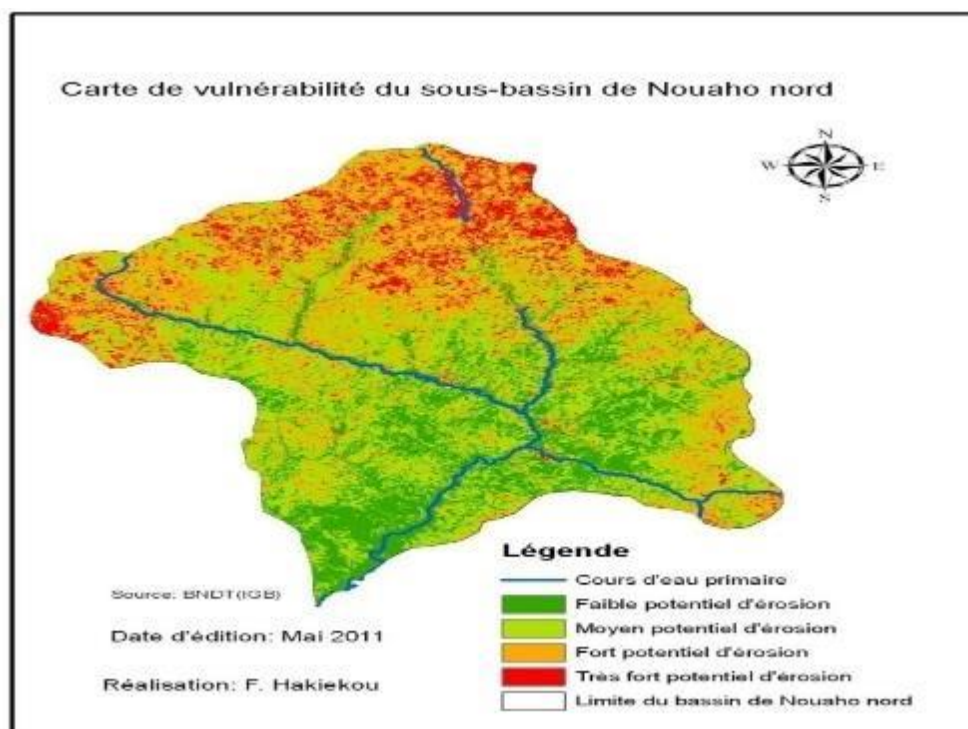
Ces valeurs, bien qu'indicatives renseignent sur l'acuité du problème de l'envasement du barrage de Lagdwenda. Des études diagnostics réalisées autour du plan d'eau, PDR/B (2005) évoquaient les

risques d'ensablement encourus par le barrage de Lagdwenda soumis à une forte dégradation spécifique par suite des actions anthropiques.

Ces impacts ont pour conséquences, la réduction de la capacité de stockage et donc de la fonction de « réservoir tampon » des plans d'eau dont celui de Lagdwenda et de Yabré et des cours d'eau en cas de crue. Ce qui pourrait conduire à l'apparition de débits de pointe importants et à l'accroissement des risques d'inondations en aval.

7.2.3 Constitution des unités de sous bassin

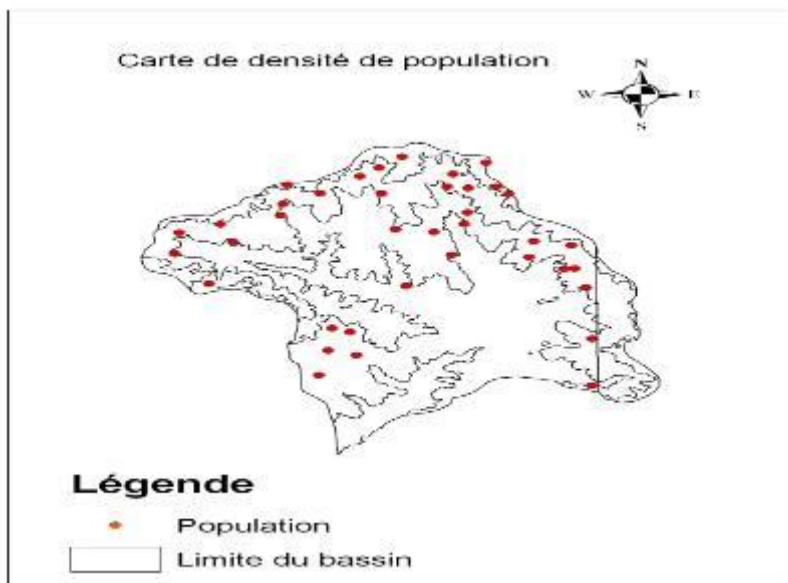
L'analyse multicritère adoptée dans la caractérisation du bassin et dans l'évaluation des impacts a conduit à la subdivision du sous-bassin en unités d'aménagement. En effet, la superposition de la carte d'occupation des terres (BDOT 2002), la carte pédologique (données BUNASOL 1992), la carte hydrographique et la carte topographique (données BNDT-IGB), a permis d'obtenir une carte de potentiel d'érosion. Au regard de l'occupation des terres et des impacts des pratiques agro-sylvo pastorales, une identification et une hiérarchisation des zones à risques d'érosion ont été cartographiées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



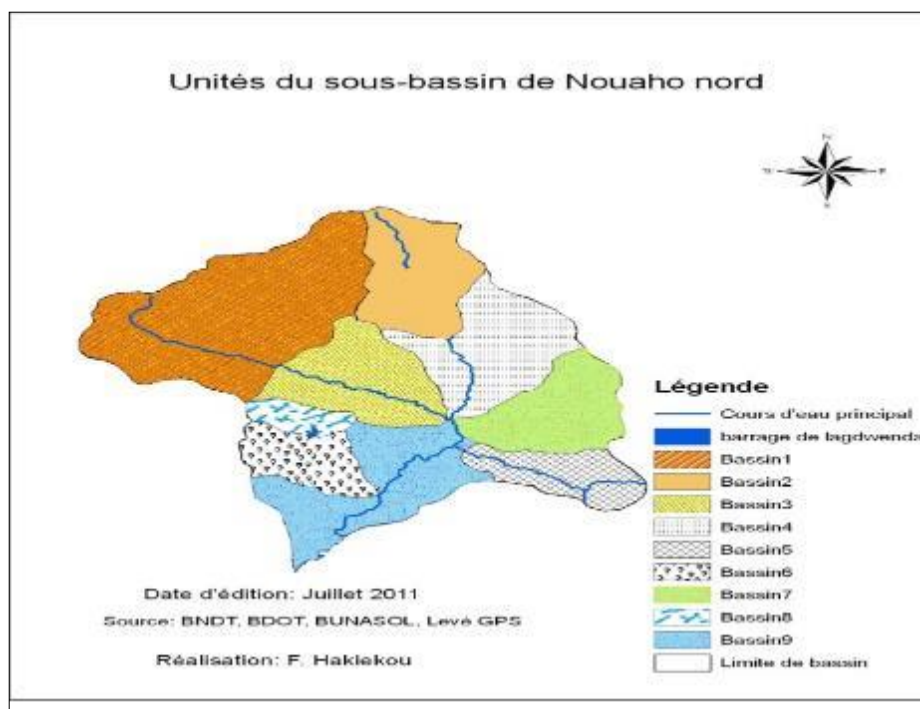
carte 15:vulnérabilité du sous bassin de Nouaho nord

La superposition de cette carte de potentiel d'érosion avec la carte de densité de population du sous-bassin (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) appuyée par les observations et les enquêtes ont

abouti à la subdivision du bassin en 09 unités d'aménagement comme l'indique la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**



carte 16:Densité de la population du sous bassin Nouaho Nord



carte 17:unités des sous bassin de la Nouaho nord

7.2.4 Evaluation des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique et humain du sous-bassin de Nouaho nord

La méthode de traitement utilisée dans le cadre de l'évaluation des impacts est la matrice de Fecteau couramment utilisée dans le cadre des évaluations environnementales et décrite par le PNUE en 2002.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les résultats des observations terrain sur le milieu biophysique. La situation inquiétante de l'impact des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique est perceptible. L'on note que sur l'ensemble des 09 unités de sous-bassins versants (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) délimitées, les activités agro-sylvo-pastorales ont une incidence négative sur le milieu biophysique. Les impacts les plus importants sont l'érosion en nappe, en rigole et en ravine dans la partie amont. Ces formes d'érosion provoquent dans la partie aval le phénomène d'ensablement des cours d'eau et du barrage de Lagdwenda situé à l'exutoire du bassin 8.

Tableau 20: Matrice de synthèse de l'évaluation des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique du sous-bassin versant de Nouaho nord

N° sous-bassin	Activités dominantes source d'impact	Impacts dominants	Milieu biophysique
	Agriculture	Erosion en nappe, en rigole et en ravine,	- - -
	Agriculture	Erosion en nappe, en rigole et en ravine,	- - -
3	Agriculture Elevage	Erosion en nappe, en rigole et en ravine, ensablement	- - -
4	Agriculture Elevage	Erosion en nappe, en rigole et en ravine, ensablement	- - -
5	Agriculture	Erosion en rigole en amont, ensablement en aval	- -
6	Agriculture Elevage Foresterie	Erosion en nappe et en rigole Sol dénudé et compacté Coupe de bois en aval	- -
7	Agriculture Elevage Foresterie	Erosion en nappe et en rigole Sol dénudé et compacté par piétinement Coupe de bois en aval, feu de brousse	- -

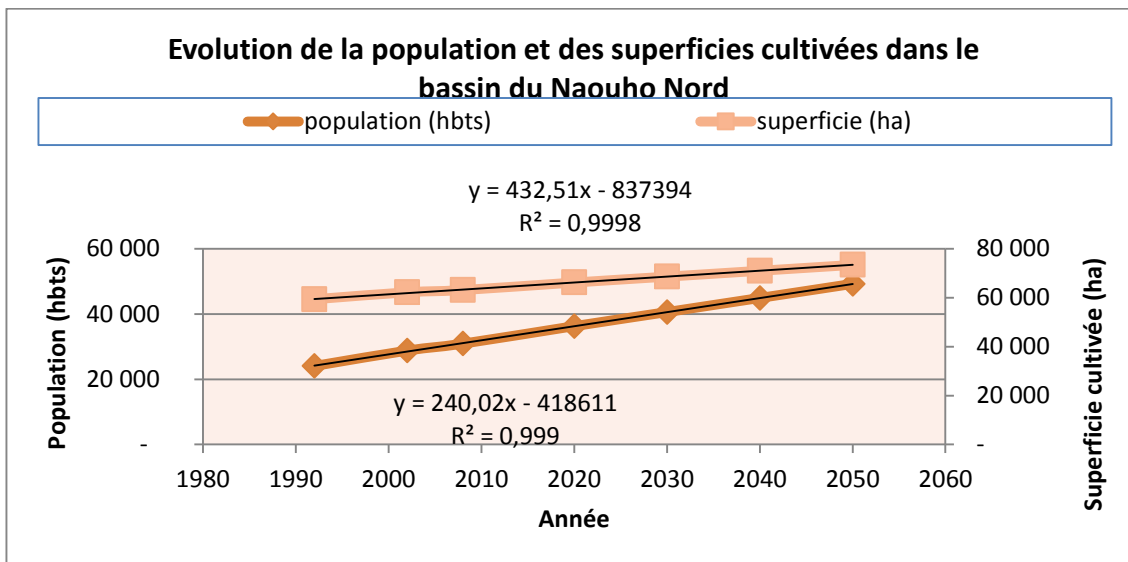


Figure 16: Evolution de la population et des superficies cultivées du sous bassin de Nouaho nord entre 1992 et 2050

Les droites de régression montrent une tendance de croissance similaire entre la population et les terres cultivées entre 1992 et 2050.

Les équations des droites de régression de la population: $Y = 432,51 X - 837394$ et des superficies : $Y = 240,2 X - 418611$ constituent des modèles mathématiques simplifiés de prédiction de l'évolution de la population et des superficies cultivées dans le sous bassin de Nouaho nord si la tendance est maintenue. Ces modèles mathématiques de prédiction montrent que les superficies des terres cultivées évolueront de 63 148 ha en 2008 à 73 470 ha en 2050, soit plus de 10 000 ha (environ 10 % de la superficie du bassin versant) en 40 ans. Quant à la population, elle croît à un rythme plus accéléré, passant de 30 920 habitants en 2008 à 49 264 habitants en 2050, soit un accroissement de 18 344 habitants.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente une corrélation très significative entre l'évolution de la population et celle des superficies cultivées. La valeur du coefficient de détermination $R^2 = 0,9$ en est l'illustration.

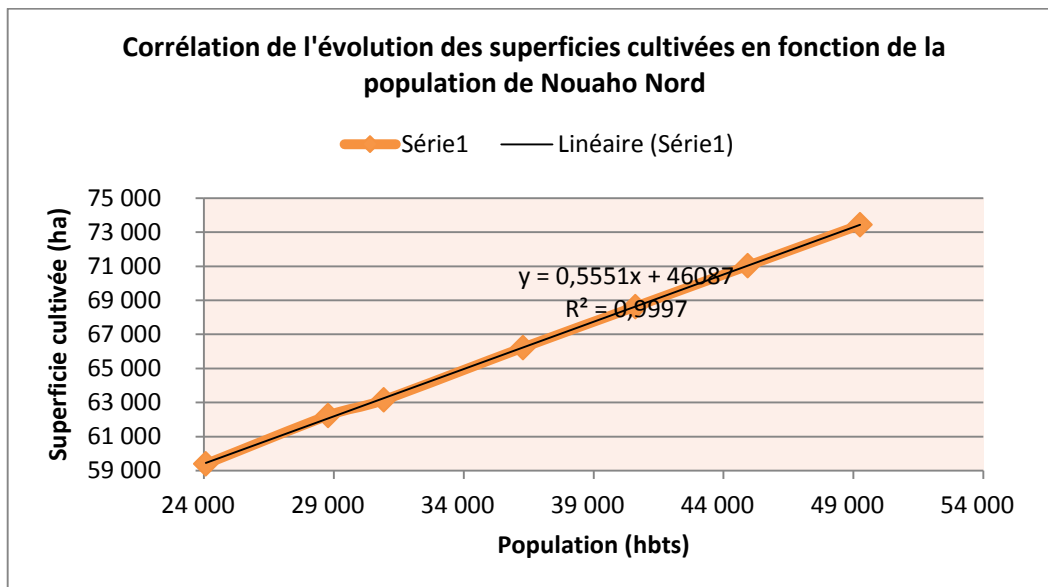


Figure 17: Relation entre l'évolution de la population et des superficies cultivées du bassin de Nouaho nord entre 2008 et 2050

La croissance démographique aura dans les décennies à venir une incidence très significative sur les ressources en eau, en sol et sur les ressources forestières du sous-bassin de Nouaho nord. L'incidence se traduira sans doute par un accroissement significatif des superficies mises en culture chaque année. Toutefois, ces superficies ne seront pas indéfiniment extensibles en raison de l'existence de la zone agro-sylvo-pastorale de Sablogo, à l'intérieur de laquelle la délocalisation des populations a été entamée depuis 2009. De même, la présence de la zone agro-sylvo-pastorale de la Nouaho au sud du bassin constitue une contrainte supplémentaire pour l'extension des surfaces cultivées.

Les risques de conflits fonciers sont également à redouter au regard des désaccords constatés entre certains villages (cas du litige autour du bas-fond à aménager à Poestenga).

Au regard de ces contraintes, l'alternative pourrait être le développement d'une stratégie d'intensification agricole et pastorale basée sur la petite irrigation de contre-saison, le développement de l'arboriculture, l'intensification accrue de l'élevage. Les projets de création de petits barrages sur l'ensemble du bassin de la Nouaho (considéré comme un bassin encore vierge) sont donc envisageables.

De plus, le processus de décentralisation en cours accorde une place de choix à la gestion décentralisée des ressources naturelles. L'instauration de redevances sur l'exploitation des ressources pastorales et sur les ressources en eau constituera une contrainte supplémentaire qui militera en faveur du développement d'une stratégie d'intensification agro-sylvo-pastorale.

Conclusion sur l'impact des activités anthropiques

L'étude des activités anthropiques a révélé qu'elles ont des effets directs sur les ressources en eau et des ressources connexes. L'occupation du sol et les activités agricoles, sylvicoles et pastorales conduisent absolument aux phénomènes d'érosion et d'ensablement.

7.3 APPLICATION DU MODELE SWAT A L'EVALUATION DU PHENOMENE D'EROSION ET D'ENSABLEMENT DANS LE SOUS BASSIN DE LA NOUAHO

7.3.1 Caractéristiques pédologiques du sous bassin de la Nouaho

Les propriétés physiques des sols telles que la texture, la densité apparente, l'humidité à la capacité de rétention (HCR) la conductivité hydraulique à saturation (Ks) et le taux de carbone organique influencent les processus hydrologiques du bassin versant. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** résume les valeurs moyennes de ces caractéristiques physiques.

Tableau 21: caractéristiques pédologiques du bassin

Type de sol	couche	Profondeur	Argile (%)	Limons %	Sable %	Gravier %	Matière organique %	Texture	KS (m/s)	Densité apparente
FLIS	1	15	5,3	9,3	85,5	3	0,51	S	10^{-2}	1,35
FLIMP	1	10	7,25	10	82,75	1	0,71	SL	10^{-2}	1,4
	2	40	11,5	15,8	72,7	1	0,32	LS	10^{-3}	1,4
	3	50	24,25	9,1	66,6	2	0,52	LAS	4.10^{-4}	1,5
BEF	1	20	19,5	32,7	47,8	10	1,93	L	2.10^{-4}	1,35
	2	58	36,25	27,35	36,4	15	0,84	LA	6.10^{-5}	1,55
	3	100	44	37,31	18,69	5	0,51	A	8.10^{-6}	1,45
	4	106	23,75	29,36	46,89	15	0,22	L	2.10^{-4}	1,35
FLC	1	11	8	19,8	72,2	5	1,22	LS	10^{-3}	1,4
	2	30	9,5	17,6	72,9	20	0,71	LS	10^{-3}	1,4
	3	56	18,3	18,1	63,6	40	0,76	LS	10^{-3}	1,4
	4	110	31,8	26,6	41,6	60	0,34	LA	6.10^{-5}	1,55

Type de sol	couche	Profondeur	Argile (%)	Limon %	Sable %	Gravier %	Matière organique %	Texture	KS (m/s)	Densité apparente
BEPE	1	20	19,25	23,63	57,12	1	1,74	LS	10^{-3}	1,4
	2	45	25	18,25	56,75	1	0,71	LAS	4.10^{-4}	1,5
	3	75	28	19,55	52,45	20	0,79	LAS	4.10^{-4}	1,5
	4	115	39,25	18,24	42,31	1	0,51	LA	6.10^{-5}	1,55
PEAAH	1	27	8,5	19,88	71,62	5	1,38	LS	10^{-3}	1,4
	2	54	53,75	10,29	35,96	2	0,71	A	8.10^{-6}	1,45
	3	78	42,5	20,89	36,61	15	0,55	A	8.10^{-6}	1,45
HPGS	1	22	19,3	40,65	40,05	0	1,27	L	2.10^{-4}	1,35
	2	50	16,3	12,76	70,94	0	0,33	LS	10^{-3}	1,4
	3	83	5	50,32	44,68	0	0,14	LS	10^{-3}	1,4
	4	129	25,8	29,75	44,45	0	0,33	LAS	4.10^{-4}	1,5

Les données de ce tableau indiquent que la majeure partie du sol du sous bassin est de nature limono-sableuses avec des taux plus élevés en sable. Les valeurs de conductivité hydraulique à saturation obtenues varient entre 0,000008 et 0,001 m/s.

7.3.2 Valeurs des coefficients de l'équation de Wischmeier PRECISER LA LEGENDE DES SOLS

Les valeurs du facteur d'érodibilité K_{USLE} du sol ont été déterminées à partir du normographe du facteur d'érodibilité du sol pour chaque type de sol. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les valeurs obtenues.

Tableau 22: Valeurs du facteur d'érodibilité

Type de sol	couche	K_USLE	Type de sol	Couche	K_USLE

FLIS	1	0,13	BEPE	1	0,33
FLIMP	1	0,28		2	0,35
	2	0,28		3	0,47
	3	0,33		4	0,48
BEF	1	0,35	PEAAH	1	0,56
	2	0,54		2	0,54
	3	0,63		3	0,56
	4	0,5		1	0,56
FLC	1	0,63		2	0,32
	2	0,23		3	0,52
	3	0,29		4	0,58
	4	0,52			

Les valeurs du facteur du couvert végétal C_{USLE} utilisées sont celles obtenues en Afrique de l'Ouest par Roose (1973). Ces valeurs sont présentées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 23: valeurs du facteur de couvert végétal

Unité de formation	Facteur attribué
Sol nu	1
Forêt dense	0,001
Savane et prairie	0,01
Terre agricole	0,1

La valeur retenue pour le facteur des pratiques culturales est de 0,1.

7.3.3 Discrétisation du sous bassin versant de la Nouaho en unités sous-bassins et HRU

Le sous bassin versant de la Nouaho a été subdivisé en 31 unités de sous-bassins. Aussi, les Unités de Réponse Hydrologique (HRU) abondantes ont été utilisées au nombre des unités de sous bassins. Cette discrétisation a donné la combinaison d'occupation de sol, de types de sol et de pente.

Pour l'occupation de sol, les terres agricoles sont prépondérantes (77,30%), suivies des savanes arborées (21,09%) et enfin la savane herbacée (1,61%).

Pour ce qui est du type de sol, seuls les sols bruns eutrophes tropicaux ferrugineux faciès vertique (BEF (55,94%)) et les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion (FLC(44,06)) les plus abondants ont été retenus.

Les pentes comprises entre 0 et 1% ont été retenues.

7.3.4 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité (LH-OAT) s'est effectuée sur les 27 paramètres du modèle et les 10 intervalles de la méthode d'échantillonnage LH (280 simulations du modèle). Les paramètres du modèle les plus sensibles sont résumés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. La sensibilité varie de 1 à 8.

Tableau 24: Paramètres les plus sensibles du modèle

Paramètres	Dégré de sensibilité
CN2	1
EPCO	2
ESCO	3
GWqmn	4
GW_revap	5
Alpha_bf	6
Surlag	7
Revapmn	8

Avec :

- Cn2 : coefficient de ruissellement, dépendant du type d'occupation du sol ;
- Surlag : temps (jours) nécessaire pour que le ruissellement atteigne l'exutoire ;
- Gwqmn : seuil du tirant d'eau de l'aquifère libre pour la génération d'écoulement ;
- Alpha_bf : constante de récession de l'écoulement de base ;
- Esco : facteur de compensation de l'évaporation de l'eau du sol ;
- Epc0 : facteur de compensation de l'évapotranspiration par les plantes ;
- Gw_revap : coefficient d'évaporation de l'eau souterraine ;
- Revapmn : seuil de profondeur de l'eau dans l'aquifère libre pour qu'il y ait évaporation ;
- Rchrg_dp : fraction de l'eau qui percole de la zone racinaire et qui atteint l'aquifère profond.

7.3.5 Calage des paramètres du modèle

Ces paramètres ont été calibrés manuellement. Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent les valeurs finalement retenues pour ces paramètres.

Tableau 25: Valeurs retenues des paramètres de calage

Paramètres	Valeurs
EPCO	0,76
ESCO	0,81
GWqmn	469 mm
GW_revap	0.02
Alpha_bf	0,040 jour
Surlag	8
Revapmn	9 mm

Tableau 26: Valeurs retenues du Cn2

Paramètres	Valeurs		
	AGRR	FRDS	FRST
Cn2	73	49	49

7.3.6 Écoulements et pertes en terre durant la période de calage (1998-2003)

Le calage du modèle a été fait sur la période allant de 1998 à 2003. Les résultats présentés concernent cette période.

7.3.6.1 Écoulements simulés et observés durant la période de calage

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent respectivement les écoulements observés et simulés ainsi que la corrélation entre ces deux variables durant la période de 1998 à 2003. Ils renseignent sur la performance du modèle conçu pour l'évaluation de l'érosion hydrique sur le bassin de la Nouaho.

La comparaison des débits journaliers simulés et observés indique que le modèle globalement, sous-estime les débits sur le bassin de la Nouaho. En effet, des six (06) années retenues pour le calibrage, trois (1999, 2000 et 2003) ont été mieux modélisées par SWAT. Les écoulements simulés pour la première année de la calibration apparaissent largement inférieurs aux données observées. Par ailleurs,

excepté l'année 1998, les périodes d'étiage du cours d'eau des autres années n'ont pas pu être fidèlement transcrites. Par contre, les pics de débits sont pour la majorité des années respectés. Cependant, le coefficient de Nash calculé sur la base des écoulements journaliers donne une valeur de 0.93 beaucoup proche de 1. Cela témoigne d'un bon ajustement entre les débits simulés et observés. Les écoulements modélisés par SWAT durant la période 1998 à 2003 peuvent alors être considérés comme étant proches de la réalité du terrain.

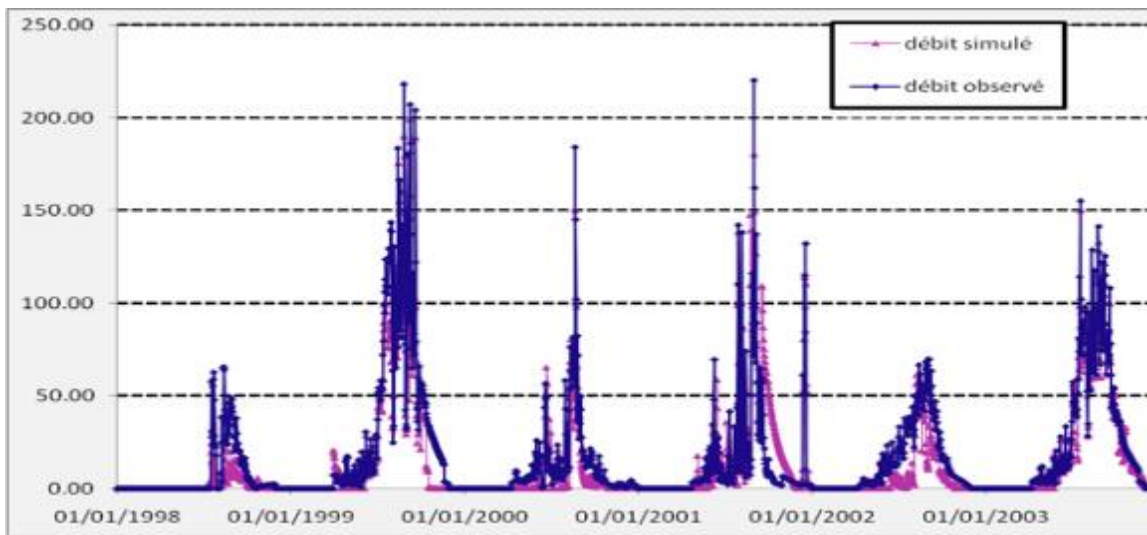


Figure 18: Ecoulements journaliers observés et simulés de la période 1998-2003

Par ailleurs, la courbe de régression entre les débits moyens annuels observés et simulés durant la période de calage (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) donne un coefficient de corrélation de 0,81. Cela renseigne sur la bonne corrélation linéaire entre les lames d'eau annuelles simulées et

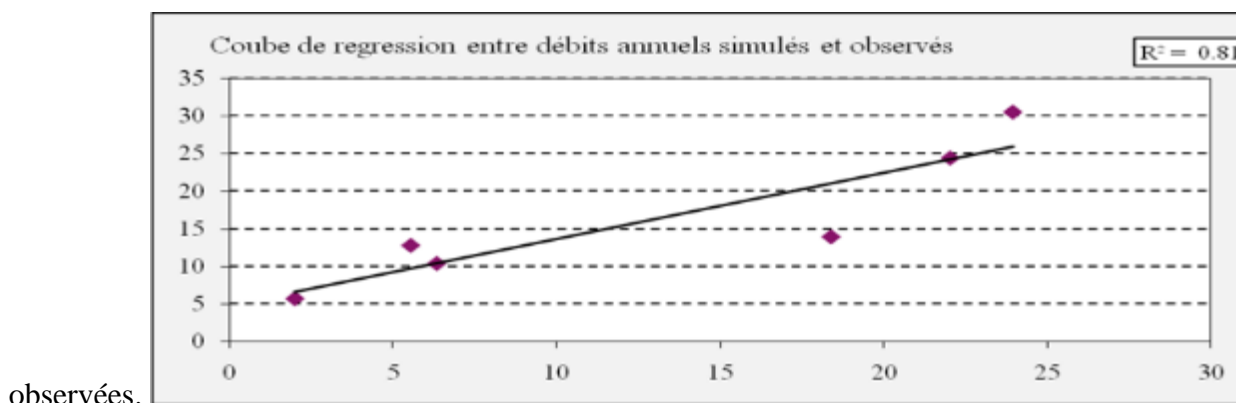


Figure 19: Courbe de corrélation entre les écoulements journaliers observés et simulés de la période 1998-2003

7.3.6.2 Bilan hydrologique annuel durant la période de calage (1998 – 2003).

Le bilan hydrologique du bassin (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) de la Nouaho durant la période de calage montre que la part des précipitations qui contribue à l'écoulement de surface est de

16,65%, celle qui est évaporée est de 67,48 %, et celle qui contribue à la recharge totale des aquifères est de 8,71 %.

Tableau 27: bilan hydrologique simulé

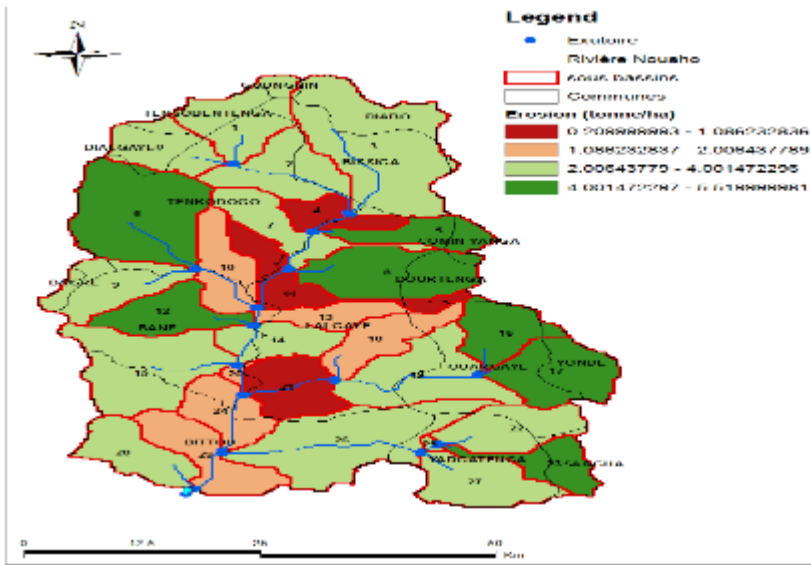
Précipitations (mm)	807,8
écoulement de surface (mm)	134,52
contribution de l'aquifère libre à l'écoulement (mm)	22,60
écoulement latéral (mm)	1,2
recharge totale de l'aquifère (mm)	70,40
évapotranspiration réelle (mm)	545,1
Variation de stock d'eau du sol (mm)	-12,05
perte par transmission (mm)	0,87
évapotranspiration potentielle (mm)	1296,3

7.3.7 Pertes en terre

La valeur moyenne des pertes en terre simulées pour le bassin versant de la Nouaho durant la période de 1998 à 2003 est de 3,75 tonnes/ha/an. Ce résultat renferme des disparités entre sous-bassins et entre types d'occupation du sol. En effet, les pertes varient suivant l'occupation du sol. Selon les résultats des simulations, les plus grandes pertes en terre sont notées sur les terres agricoles et varient entre 3,13 et 5,52 tonnes/ha/an, tandis que dans les savanes arborées et herbeuses, elles sont entre 0,21 et 1,31 tonnes/ha/an.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les pertes par sous-bassin dans le bassin versant de la Nouaho durant la période de calage.

De l'examen de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, il ressort que les phénomènes érosifs sont plus prononcés dans les sous-bassins 5, 6, 8, 12, 16, 17. En effet, les pertes en terre simulées pour cette période dans ces sous bassins vont de 4,00 à 5,52 tonnes/ha/an. Ces sous-bassins sont tous utilisés à des fins agricoles. Les plus faibles valeurs d'érosion s'observent dans les sous-bassins 4, 11 et 21 qui vont de 0,21 à 1.08 t/ha/an.



carte 18: Pertes moyennes en terre sur le bassin versant de la Nouahou durant la période de calage (1998-2003).

Cette représentation spatiale des pertes de sédiments montre que la quasi-totalité du bassin est fortement touchée par une érosion hydrique avancée. Les communes les plus touchées sont celles de Tenkodogo dans sa partie nord et ouest, de Bané, de Dourtenga, de Comin-Yanga, de Yondé de Sangha, de Bissiga et de Yargatenga.

7.3.8 Écoulements et pertes en terre durant la période de validation du modèle (2004-2007)

7.3.8.1 Écoulements simulés et observés durant la période de validation

La validation des résultats du modèle est faite sur la période de 2004 à 2007. Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent respectivement les relations entre les écoulements journaliers.

Le modèle simule moins les écoulements de la Nouahou lors de la période de validation. Les débits de la période de faibles débits de l'année 2004 n'ont pas été correctement reproduits par SWAT. Par contre pour ce qui est des trois autres années de la période de validation, les écoulements au cours de la récession ont été plus ou moins mieux simulés. Par ailleurs, SWAT a mieux simulé le pic de débit seulement en 2004. Toutefois, l'évaluation de la liaison existante entre les valeurs de débits des deux sources à partir du critère de Nash donne une valeur de 0,89%. Cette valeur assez proche de 1% montre que le modèle est acceptable. Ceci est la preuve d'une reproduction satisfaisante des débits du cours d'eau lors des épisodes pluvieux.

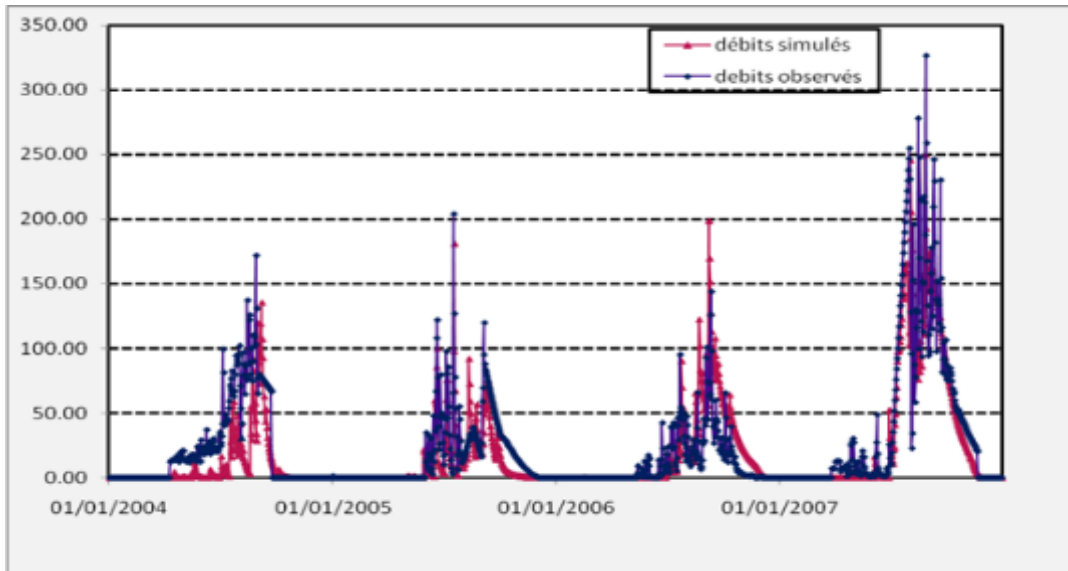


Figure 20: Ecoulements journaliers observés et simulés de la période 2004 à 2007.

En outre, la courbe de régression entre écoulements moyens annuels simulés et observés donne un coefficient de corrélations de 0,67 qui est supérieur 0,60 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette donnée indique une concordance satisfaisante entre les écoulements moyens des quatre années de la période d'étude et indique ainsi donc une efficacité quant au respect des volumes écoulés, et des écarts absolus. Cependant il faut préciser que même si la performance du modèle est acceptable, les écoulements annuels sont sous-estimés.

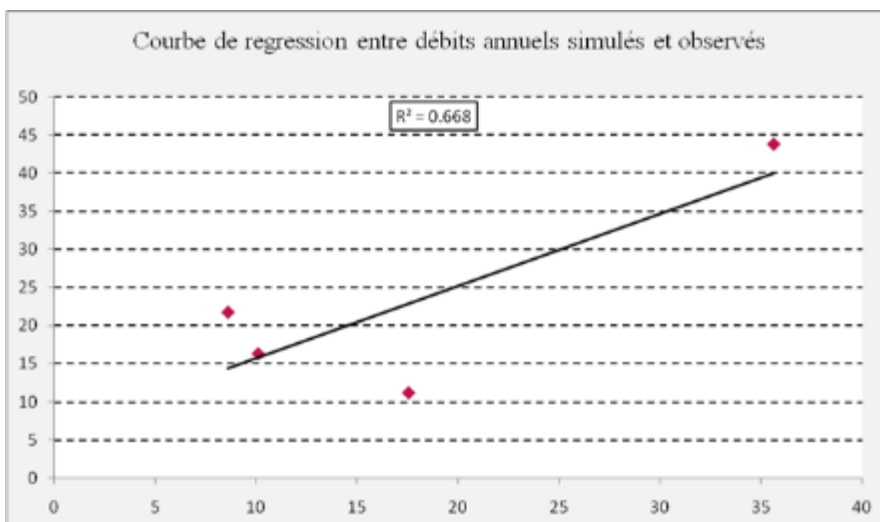


Figure 21: Courbe de corrélation entre les écoulements journaliers observés et simulés de la période 2004-2007

7.3.8.2 Bilan hydrologique annuel durant la période de validation (2004 – 2007)

Le bilan hydrologique du bassin de la Nouaho durant la période de validation montre que la part des précipitations qui contribue à l'écoulement de surface est de 17,40%, celle qui est évaporée est de 64,37%, et celle qui contribue à la recharge totale des aquifères est de 8,63% (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 28: Bilan hydrologique annuel durant la période de validation (2004 – 2007)

Précipitations (mm)	832
écoulement de surface (mm)	140,53
contribution de l'aquifère libre à l'écoulement (mm)	69,72
écoulement latéral (mm)	2,5
recharge totale de l'aquifère (mm)	92,09
évapotranspiration réelle (mm)	520
Variation de stock d'eau du sol (mm)	-12,05
perte par transmission (mm)	1,05
évapotranspiration potentielle (mm)	1306,3

7.3.8.3 Pertes en terre durant la période de validation (2004-2007)

Durant cette période, la valeur moyenne des pertes en terre simulées pour le bassin versant du Nouaho est de 4,21 tonnes/ha/an. Comme lors de la période de calage, ces pertes en terre varient aussi en fonction du couvert végétal en place.

Les plus grandes pertes en terre sont notées sur les terres agricoles qui atteignent 7,97 tonnes/ha/an, tandis que dans les savanes arborées, elles sont de 0,58 tonnes/ha/an.

7.4 DISCUSSION

La problématique de l'érosion et de l'ensablement est bien réelle dans la zone étudiée. Les facteurs naturels comme anthropiques sont responsables de ces phénomènes.

Le facteur pluviométrie (hauteur de pluie et intensité de pluie) est à la base de l'érosion par l'effet splash. La dégradation causée par les hauteurs de pluie tombée va de 0.6 à 3.6 tonnes/ha/an dans le sous bassin de la Nouaho. La dégradation moyenne est de 1.52 tonnes/ha/an durant la période 1961-2005.

Ces valeurs sont confirmées par l'étude conduite par Yacouba et al. (2001) au nord du bassin. Un suivi des eaux de ruissellement et de l'érosion sous pluies naturelles sur parcelles a été mis en place dans des

deux sous-bassins, sur les glacis non cuirassés : le sous-bassin de Séguénéga (pendant l'hivernage 2000) et celui de Tougou (à l'hivernage 2001). Ils ont obtenu des pertes en terre allant de 0.18 à 5.35 tonnes/ha/an.

De même Zombré (2003), confirme que les pluies violentes engendrent une érosion en nappe ou en ravines qui fait courir le danger d'une dénudation progressive des terres, d'autant plus que celles-ci sont soumises à des cultures annuelles (céréales) dont les superficies occupent jusqu'à 80 p.c. des terroirs villageois. Enfin, la masse des matériaux fins évacués des pentes vient remblayer les bas-fonds et constituer une masse boueuse en saison pluvieuse (et un sol compact en saison sèche) difficilement cultivable.

Mounirou (2012) a fait le constat dans l'espace de gestion du Nakanbé que la concentration maximale en charge érosive est fortement liée à l'intensité maximale de la pluie et précède le plus souvent le débit de pointe de l'épisode. Les résultats de son étude montrent que les fortes érosions se produisent principalement en juin et en août

L'érosion liée aux précipitations est donc un facteur important à prendre en compte dans la dégradation de ressources en eau et ressources connexes. Elle aboutit au comblement des retenues et cours d'eau, dégradent les sols et détruit la végétation.

Le ruissellement et l'écoulement sont en partie responsables de l'érosion et de l'ensablement. Le ruissellement se manifeste différemment en fonction de l'intensité de pluie, des conditions géomorphologiques, de l'occupation des terres, etc. Les résultats de notre étude ont révélé deux types de dégradations liées aux types de ruissellement rencontrés. Il s'agit d'érosion diffuse et d'érosion concentré dont les sédiments détachés se retrouvent dans les ressources en eau et ressources connexes et pour ainsi créent le phénomène d'ensablement.

Le phénomène du vent cause des érosions de type éolien. Ces vents se manifestent violemment avec les phénomènes de changements climatiques et constituent un facteur inquiétant pour la stabilité des écosystèmes. Les particules détachées sont transportées dans les retenues et les cours d'eau mais bien aussi dans d'autres écosystèmes.

Les facteurs anthropiques étudiés se sont révélés comme un danger dans une certaine mesure pour l'équilibre Ecosystémique. L'état de surface joue un rôle prépondérant dans l'érosion des sols. Il peut contribuer à apaiser le phénomène comme à l'aiguiser (Mounirou, 2012). Les pratiques agricoles, sylvicoles et pastorales sont à la base de la dégradation des ressources en eau et ressources associées. Les méthodes, techniques et le matériel de production agro-sylvo-pastorales sont moins adaptées et mal employées sur les sols. Ce qui conduit à décaper les sols et à les compacter, donc à les rendre plus

vulnérables à l'érosion hydrique et éolienne. L'étude menée par Yacouba (2003) montre qu'en présence de ruissellement, il y a une perte de terre plus importante en zone de culture que sur les jachères. Son étude révèle que la différence de pertes de terres observée entre la jachère et les sols sous culture de sorgho provient surtout des labours qui fragilisent le sol en début de cultures. Dans ces conditions les mêmes coefficients de ruissellement ont entraîné plus de pertes de terre sur les sols sous cultures que sur ceux de jachères. Elles sont à la base des érosions en nappe, en rigole et de l'ensablement. Ces phénomènes engendrent la dégradation de la structure physique et chimique des sols et les rendent pauvres et moins productifs (dépourvus de leur pouvoir de fertilité).

Par contre selon Mounirou (2012), l'analyse des résultats des parcelles expérimentales installées en zone cultivée montre que le ruissellement diminue après le travail du sol. Ceci peut être dû au fait que le travail du sol augmente la porosité, la rugosité de surface ainsi que la capacité de stockage dans les dépressions du sol et diminue la vitesse d'écoulement. Toutefois, il convient de préciser que la nature de sols et les techniques et méthodes utilisés peuvent être favorables à la diminution du phénomène d'érosion car ils réduisent le coefficient de ruissellement.

Les résultats du bilan hydrologique de la période de calage montrent que sur la quantité d'eau de pluie que reçoit le bassin 16,65% participe au ruissellement de surface, 67,48% participe à l'évaporation et 8,71% contribue à la recharge totale de la nappe. Les résultats du bilan pour la phase de validation n'est pas aussi différents de ceux de la période calage. Ce bilan hydrologique du bassin montre que la majeure partie des précipitations retourne à l'atmosphère sous forme de vapeur et que la recharge de la nappe reste très faible. Selon le rapport d'état des lieux des ressources en eau du Burkina en mai 2001, les ressources en eau du pays sont presque exclusivement tributaires des pluies qui assurent la recharge des nappes d'eau souterraine et le remplissage à des degrés divers, des lacs d'eau de surface. En année moyenne, le pays reçoit environ 206,9 milliards de m^3 d'eau répartis en volumes écoulés (4,16%), infiltrations (15,66%) et évaporation (80,18%). Il ressort ici que de façon générale, le Burkina connaît une forte évaporation. Par ailleurs ces résultats sont confirmés par Dingman (1994) cité par Sintondji (2005) qui estime que près de 62% des pluies tombées sur les continents sont évapo-transpirées. Il précise que l'évapotranspiration réelle excède le ruissellement dans beaucoup de bassins versants et dans tous les continents, excepté l'Antarctique.

L'étude d'évaluation de la quantité de sédiment charriée par an sur le bassin de la Nouaho a permis de faire la répartition spatiale de la dynamique de l'érosion sur le dit bassin. Il ressort que les pertes de sédiments sur le bassin varient entre 0,21 et 5,52 tonne/an/ha. Ces valeurs ont été, par endroit, sous-estimées du fait que la pente, facteur prépondérant dans le processus d'érosion a été plafonnée à 1%. En effet, pour des raisons de simplification de la simulation, la discrétisation du bassin a retenu la classe de pente dominante qui est la classe 0-1%. Les quantités de pertes en terre obtenues par SWAT sont dans

la classe de valeurs obtenues par bon nombre d'auteurs. Pour Shahin (2002) cité par Sintondji (2005), 1,37 à 6,3 tonnes/ha/an de sédiments atteignent les océans en Afrique. Roose (1973) estime que ces valeurs sont en dessous des pertes tolérables ; elles sont donc faibles. Yacouba et al. (2002) cité par Sintondji (2005) ont obtenu en zones de culture sous climat soudano-sahélien 0,45 à 5,35 tonnes/ha/an. De même, Diallo et al. (2002) cité par Sintondji (2005) ont obtenu en zone de climat soudano-sahélien pour les terres agricoles des pertes en terre entre 4,8 et 18,4 tonnes /ha/an. Par ailleurs, déjà en 1973, des études expérimentales menées par le CIFT à Bané, localité très proche de Bittou, sur des parcelles expérimentales de Wichner indiquaient des pertes de sédiments d'environ 2 t/ha/an. Cette valeur est inférieure et pourrait s'expliquer par la disparition progressive du couvert végétal du fait des activités anthropiques et qui rend plus vulnérable le sol à l'érosion. Également Karambiri et Ribolzi (2003), indiquent que les pertes de sédiments en milieu sahélien varient de 4 t/ha/an à 8,4t/ha/an.

Les résultats de cette étude doivent être considérés à titre indicatif. Ce modèle a été développé dans un but exploratoire. La validation reste insuffisante en ce qui concerne la prise en compte des paramètres liés à l'homme; dont l'utilisation nécessite une évaluation coûteuse sur le terrain. En outre, les intervalles de confiance pour les valeurs des paramètres ne peuvent être correctement délimités par manque de mesures sur le bassin.

Les résultats de l'étude permettent de vérifier effectivement que :

- Le phénomène de l'érosion est très important dans le bassin du Nakanbé et impacte négativement la gestion durable des terres, des eaux et des ressources connexes
- la modélisation des phénomènes d'érosion et d'ensablement permet une meilleure lisibilité en termes de prévision et de meilleure gestion des ressources en eau, des terres et des ressources connexes
- L'érosion, si elle est caractérisée en déterminant la part contributive de celle d'origine anthropique, elle peut être mieux gérée.

L'étude a montré que l'érosion et l'ensablement sont provoqués par les facteurs naturels et anthropiques. Parmi ces facteurs les plus déterminants sont les pratiques agricoles, pastorales et sylvicoles et les événements naturels comme le ruissellement, la pluie directement tombée et le vent. Ces facteurs n'ont pas la même capacité de dégradation des sols, car ils interviennent dans un processus plus complexe pour créer le phénomène d'érosion. Ce processus d'érosion et d'ensablement fait intervenir beaucoup de variables en fonction des conditions spatio-temporelles et édaphiques.

En effet, il faut prendre en compte les paramètres tels que l'échelle spatiale, temporelle, l'état de surface, le type de sols, le type d'occupation, la pente, l'état de rugosité et l'évènement météorologique (pluie et vent) en fonction de son intensité dans l'évaluation de l'érosion. Dans notre étude il est ressorti l'érosion liée à la quantité de pluie tombée (effet splash) et l'érosion liée au ruissellement, et qui est distinctif en fonction du type de ruissèlement. Le ruissellement diffus entraîne l'érosion diffuse, le ruissellement concentré entraîne l'érosion contrée. Les activités agro-sylvo pastorales sont combinées avec la pluie et le ruissellement et sont à la base de l'érosion en nappe, en rigole et ravine.

Enfin une évaluation quantitative de l'érosion a été modélisée et a permis d'estimer les pertes en terre dans le bassin de la Nouaho. Ces pertes en terre ont été fonction des unités de bassin discrétisées et correspondants à des unités de réponses différentes à un évènement pluvieux donné.

La dynamique du phénomène d'érosion et d'ensablement évolue dans l'espace de gestion du Nakanbé. Elle dépend du phénomène anthropique car la population connaît un accroissement considérable et les activités agro-sylvo-pastorales étant les plus pratiquées dans un contexte de changement climatique, l'érosion et l'ensablement seront toujours une inquiétude et un problème à gérer, dans cet espace de planification et de gestion des ressources en eau et ressources connexes.

De tout ce qui précède, il nous paraît important de recommander :

- ✓ Aux acteurs du développement de poursuivre les actions de sensibilisation à l'endroit de tous les producteurs agro-sylvo-pastoraux pour une adoption des bonnes pratiques
- ✓ Aux décideurs, de prendre des mesures fortes nécessaires en terme de règlements et surtout de leur application pour une meilleure protection de nos ressources en eau, sols et ressources connexes contre les phénomènes d'érosion
- ✓ Aux décideurs et surtout à l'Agence de l'eau du Nakanbé de prendre les dispositions fortes nécessaires dans le cadre de l'élaboration de son SDAGE pour une protection intégrale de l'ensemble des berges du Nakanbé afin de permettre un retour du régime normal de ce fleuve si important pour le développement du Burkina Faso

En outre, l'un des problèmes majeurs dans le bassin du Nakanbé dans ce contexte de changement climatique reste **la pollution**

CHAPITRE 8 : EVALUATION DE LA POLLUTION AGRICOLE DES EAUX DANS LE BASSIN DU NAKANBE : CAS DES BARRAGES DE GOINRE, ZIGA ET DE BAGRE

Soumis aux aléas climatiques, à l'explosion démographique et à la faible fertilité des sols (Aronson et *al.*, 1993 ; Morin, 1993), l'agriculture burkinabè est dominée par de petites exploitations familiales de 3 à 6 ha en moyenne et par l'utilisation d'outils agricoles rudimentaires (MAHRH, 2004). Pour subvenir aux besoins de cette population qui ne cesse de croître, de fortes pressions sont exercées sur les sols agricoles dans le but d'obtenir de meilleurs rendements. Cette forte pression sur les ressources, du fait de l'intensification de l'agriculture, entraîne toujours une baisse du niveau de fertilité du sol (Sedogo, 1993). Par l'utilisation excessive d'engrais minéraux et l'emploi de divers types de produits phytosanitaires (pesticides), les agriculteurs exploitent de manière intensive leurs champs au détriment de la jachère. L'intensification agricole au Burkina se concentre surtout dans les bassins versants des cours d'eaux, en particulier ceux de la Volta qui sont les lieux propices pour leur développement ainsi que de la pratique de l'élevage.

Les principales hypothèses sont que :

- les pratiques agricoles actuelles autour de nos retenues d'eau ont un impact négatif sur les ressources en eau
- Les mauvaises pratiques agricoles sont à la base du comblement des cours et retenues d'eaux et de leur pollution
- Les pollutions sont fonction des zones agroclimatiques

L'objectif de cette évaluation est de déterminer les facteurs ou causes de la pollution, la dégradation de la qualité à travers la pratique de l'agriculture dans le bassin hydrographique du Nakanbé. Les barrages de Goinré, de Ziga et de Bagré sont respectivement situés dans les trois zones climatiques du bassin à savoir la zone sahélienne, la zone soudano sahélienne et la zone soudanienne. Ces trois sites permettent de caractériser la typologie de pollution de chaque zone climatique.

8.1 SITUATION DES EXPLOITANTS ET MODE D'ACQUISITION DES TERRES

Sur les trois (3) barrages, 100% des exploitants sont du sexe masculin (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le taux d'analphabétisme est élevé avec des proportions de 76% à Goinré, 41% à Ziga et 65% à Bagré. A cela s'ajoute le manque de formation en pratique d'agriculture. L'historique des parcelles révèle que 100% des producteurs autour du barrage de Goinré, 75% autour du barrage de Ziga

et 70% des producteurs de Bagré travaillent sur des parcelles qu'ils ont héritées de leurs parents. Le reste travaille sur des parcelles qui étaient en jachère.

Tableau 29: situation des enquêtés

		Goinré	Ziga	Bagré
Effectif		17	17	20
Sexe		Masculin	Masculin	Masculin
Taux d'analphabétisme		76%	41%	65%
Historique des parcelles	Héritage	100%	76,44%	65%
	Jachère	0	23,52%	35%

8.2 LES DIFFERENTES METHODES, TECHNIQUES ET INTRANTS AGRICOLES

Sur les trois (3) sites, les exploitants pratiquent l'agriculture pluvieuse et l'agriculture de contre saison. L'agriculture pluvieuse concerne la culture céréalière et le maraîchage. La culture de contre saison concerne essentiellement la maraîcher culture.

Les cultures pluviales sont constituées à majorité de céréales (mil, maïs, sorgho, riz). La maraîchère culture, plus pratiquée en saison sèche, est essentiellement dominée par les légumes (tomates, choux, oignons, concombres). Elle s'effectue aux abords des plans d'eau, mais l'emplacement des parcelles dépend de la pluviométrie précédente. Certaines parcelles sont sur le lit des cours d'eau (Nakanbé) ou des plans d'eau (Goinré et Ziga). Une forte concentration de la pratique de la maraîcherculture est observée autour des barrages de Goinré et de Bagré. La culture maraîchère est interdite dans les alentours du barrage de Ziga afin d'éviter la pollution des eaux du barrage qui est essentiellement destinée à l'approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou et d'autres communes voisines.

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent les équipements et produits chimiques utilisés par les producteurs pour la pratique de l'agriculture autour des réservoirs de Bagré, Ziga et Goinré. Tous les producteurs continuent d'utiliser la daba. A cela s'ajoute la charrue avec ses différentes variantes. Les enquêtes nous ont révélé que 88,2% des producteurs utilisent la charrue avec traction bovine à Goinré contre 17,64% pour la charrue à traction asine. A Ziga on note un fort taux de l'utilisation de la charrue à traction asine (70,56%) par rapport à la traction bovine (23,52%). Quant à Bagré, la motorisation agricole est plus poussée dans le périmètre rizicole. En plus de la daba et des charrues, on note l'usage de motoculteurs, de herses et de tracteurs. Le semis en ligne est pratiqué par l'ensemble des producteurs enquêtés.

Le recensement sur les intrants nous a révélé qu'un nombre varié de pesticides sont en usage dans le bassin du Nakanbé, mais pour les engrais minéraux, seuls le NPK et l'urée ont été rencontrés. Les

engrais organiques sont utilisés avec une forte application du fumier (100% des producteurs enquêtés de Goinré et de Ziga contre 80% à Bagré). Malgré la disponibilité de biomasse végétale, le compostage est faiblement pratiqué. Dans les trois (3) sites d'études, l'application des engrais minéraux est essentiellement faite sur les cultures maraîchères et rizicoles ; les amendements organiques sont appliqués sur les céréales en saison pluvieuse. Les doses d'application des engrais sont variées. A Bagré, dans le périmètre rizicole, la recommandation pour l'application d'engrais minéral est de 200 Kg/Ha d'urée et 200 Kg/Ha de NPK.

Les pesticides rencontrés, dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau 2 sont à majorité des herbicides (25% à Ziga et 64% à Bagré) et des insecticides (100% à Goinré, 75% à Ziga et 36% à Bagré). Ces pesticides proviennent des pays voisins et sont commercialisés sur les places des marchés ou aux abords des routes. Ils sont employés par les producteurs selon leurs besoins et sur la base des spéculations faites sur l'efficacité du produit. Cela implique une variation des doses et des fréquences d'application.

Sur l'ensemble de ces pesticides rencontrés dans nos sites d'études, 45% sont homologués par le Comité Sahélien de Pesticides (CSP), 35% sont non homologués et 20% sont inconnus de la liste globale autorisée par le CSP en 2010.

Tableau 30: matériel utilisé par les producteurs

		Goinré	Ziga	Bagré
Outils de cultures	Daba	100%	100%	100%
	charrue/âne	17,64%	70,56%	40%
	charrue/bœuf	88,2%	23,52%	55%
	tracteur	0	0	15%
	Herses, motoculteurs	0	0	35%
Engrais minéral	Urée	94,08%	58,8%	100%
	NPK	100%	47,04%	100%
	Autres	-	-	-
Engrais organique	fumier	100%	100%	80%
	compost	11,76%	52,92%	0
	Autres	-	-	-
Pesticides	herbicides	0	5,88%	85%
	insecticides	100%	35,28%	100%
	Autres	-	-	-

Tableau 31: Pesticides rencontrés dans le Bassin du Nakanbé.

Barrages	Formulation	Matière active	Type de pesticide	Classe de toxicité OMS	Homologation CSP*

Goinré	Lambda super 2,5 EC	Lambdacyhalothrine	Insecticide		Non
	Batik	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Insecticide	III	Oui
	Caïman	Endosulfan25% Thirame25%	Insecticide	II	Non
	Ethyroicide	-	Insecticide	-	-
	Cobra	-	Insecticide	-	-
	Cypercal P 690 EC	Profenofos Cypermethrine	Insecticide	II	Oui
	Décis	Deltamethrine	Insecticide	-	Oui
Barrages	Formulation	Matière active	Type de pesticide	Classe de toxicité OMS	Homologation CSP*
Goinré	Attakan C 344 EC	Cypermethrine imidacloprid	Insecticide	II	Oui
	Affonte	-	Insecticide	-	-
Ziga	Attravic 500 SC	Atrazine 500	Herbicide	U	Non
	Décis	Deltamethrine	Insecticide	-	Oui
	Lambda super 2,5 EC	Lambdacyhalothrine	Insecticide	-	Non
	Thioral	-	Insecticide	-	
Bagré	Décis	Deltamethrine	Insecticide	-	Oui
	K-optimal	Lambdacyhalothrine acétamipride	Insecticide	II	Oui
	POWER	Glyphosate	Herbicide	-	Non
	Topstar	Oxadiargyl (400g/l)	Herbicide	-	Non
	Lambda super 2,5 EC	Lambdacyhalothrine	Insecticide	-	Non
	Pacha 25 EC	Lambdacyhalothrine Acetamipride	Insecticide	II	Non
	Alligator 400 EC	Pendimethaline	Herbicide	III	Oui
	Adwuma wura	Glyphosate 480	Herbicide	-	Non
	Diga fagalan 360 SL	Glyphosate (360g/l)	Herbicide	III	Oui
	Oxariz 250 EC	Oxadiazon	Herbicide	III	Oui
	Herbextra 720 SL	2,4 D (720g/l)	Herbicide	III	Oui

*Liste globale des pesticides autorisés par le Comité Sahélien des Pesticides, version de novembre 2010

8.3 PERCEPTION PAYSANNE DE LA DEGRADATION DES SOLS ET DE LA POLLUTION DES EAUX

La majorité des producteurs enquêtés dans les trois (3) sites (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ont tous fait le constat que leurs pratiques agricoles dégradent les sols et polluent les eaux.

La dégradation des sols est causée soit par le travail du sol, soit par l'utilisation des engrais et pesticides. A Goinré et à Ziga, 100% des producteurs enquêtés contre 95% à Bagré disent que le travail du sol est la principale cause de la dégradation des sols. Quant à l'utilisation des engrais, les producteurs disent que l'application de certains engrais minéraux assèche le sol (Goinré 76,44%, Ziga 70,56% et Bagré 85%). Ils reconnaissent tous que l'application de la fumure organique contribue à un bon entretien des sols. Mais l'absence de quantité suffisante de fumier constitue un handicap. Pour les pesticides qui sont dilués avant application, les avis diffèrent quant à leur effet sur les sols.

Les producteurs autour du barrage de Ziga ont beaucoup plus d'informations sur la pollution agricole des eaux que ceux de Goinré et de Bagré. Le travail du sol occasionne l'ensablement des barrages, ce qui entraîne le recul des rives rapportent les producteurs (Goinré 35,28%, Ziga 76,44% et Bagré 40%). Quant aux intrants (engrais et pesticides) qui sont faiblement utilisés à Goinré et à Ziga, mais fortement utilisés à Bagré, leurs effets négatifs sur les eaux demeurent méconnus pour la majorité des producteurs.

Tableau 32: perception paysanne sur l'impact négatif de l'agriculture sur le sol et l'eau

		Goinré	Ziga	Bagé
Perception paysanne de l'impact négatif de l'agriculture sur le sol	engrais	76,44%	70,56%	85%
	pesticides	47,04%	64,68%	40%
	travail du sol	100%	100%	95%
	Autres	-	-	-
Perception paysanne de l'impact négatif de l'agriculture sur les eaux	engrais	47,04%	64,68%	30%
	pesticides	41,16%	47,04%	30%
	travail du sol	35,28%	76,44%	40%
	Autres	-	-	-

8.4 CARACTERISATION DES EAUX

8.4.1 Caractéristiques générales des eaux des réservoirs de Goinré, Ziga et de Bagré

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre les caractéristiques générales des eaux des barrages de Goinré, de Ziga et de Bagré.

L'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative pour le test Student Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5% des valeurs moyennes des pH, turbidité et de conductivité dans les trois (3) barrages. Les différences significatives observées sont fonction des périodes de prélèvement au sein de chaque barrage.

Les caractéristiques générales révèlent des périodes de forte turbidité au début du mois d'août et les valeurs des moyennes maximum observées sont de 764 NTU à Goinré, 496 NTU à Ziga et 185 NTU à Bagré. Ces valeurs vont décroître au cours du temps dans les réservoirs de Goinré et de Ziga et vont atteindre en début décembre des valeurs minimales de 160 NTU pour le barrage de Goinré et de 216 NTU pour Ziga. Par contre pour le barrage de Bagré, une valeur minimale de 93 NTU est observée en début septembre, suivie d'une remontée à 143 NTU.

Les pH moyens au cours de la période d'études ont été de 7,2 pour Goinré, 7,2 pour Ziga et 7 pour Bagré.

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique des eaux sont presque identiques pour le barrage de Goinré (83,4 $\mu\text{S/cm}$) et de Bagré (84,8 $\mu\text{S/cm}$); celle de Ziga est de 67,3 $\mu\text{S/cm}$.

Tableau 33: valeurs moyennes des paramètres des caractéristiques générales des eaux des barrages

	pH	Turbidité en NTU	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$
Goinré	7,2 \pm 0,3	373,3 \pm 291,8	83,4 \pm 13,8
Ziga	7,2 \pm 0,4	312,8 \pm 324,4	67,3 \pm 22,6
Bagré	7,0 \pm 0,4	140,1 \pm 142,8	84,8 \pm 21,8
Normes OMS (2004)	6,5 – 8	5	50 - 150

8.4.2 La composition chimique et organique

Les analyses chimiques ont révélé une variation des teneurs en nitrates, des ortho-phosphates et de la DBO₅ au cours du temps dans les trois (3) barrages. Avec des valeurs relativement faibles, les analyses de variance n'ont révélé aucune différence significative des teneurs respectives des nitrates, ortho-phosphates et DBO₅ dans les trois barrages. Bien que des variations aient été constatées dans chaque barrage au cours de la période d'étude, le test Student Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5% ne révèle pas de différence significative entre ces valeurs. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les résultats de la composition chimique et organique des eaux des barrages de Goinré, de Ziga et de Bagré.

Tableau 34: Valeurs moyennes des teneurs en Nitrates, ortho-phosphates et DBO₅ dans les barrages de Goinré, Ziga et Bagré

	Nitrates mg/l	Ortho-phosphates mg/l	DBO ₅ mg d'O ₂ /l
Goinré	0,833	0,357	4,183
Ziga	1,372	0,157	4,375

Bagré	1,267	0,123	6,300
Normes OMS (2004)	11,4	-	-
Eutrophisation*	≥ 0,3	≥ 0,01	-

*Normes établies par NISBET et VERNEAUX (1970).

- Variation des nitrates

On observe une décroissance des teneurs en nitrates dans les barrages de Goinré (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et de Ziga (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) durant ces trois périodes. Bien que les valeurs maximum soient faibles allant de 2 mg/N à Bagré à 7mg/N à Ziga, les analyses nous montrent que la croissance s’observe dans les périodes de fortes pluviométries à savoir août et septembre. A Bagré (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), les faibles valeurs sont observées en début août et septembre suivie d’une augmentation en début décembre.

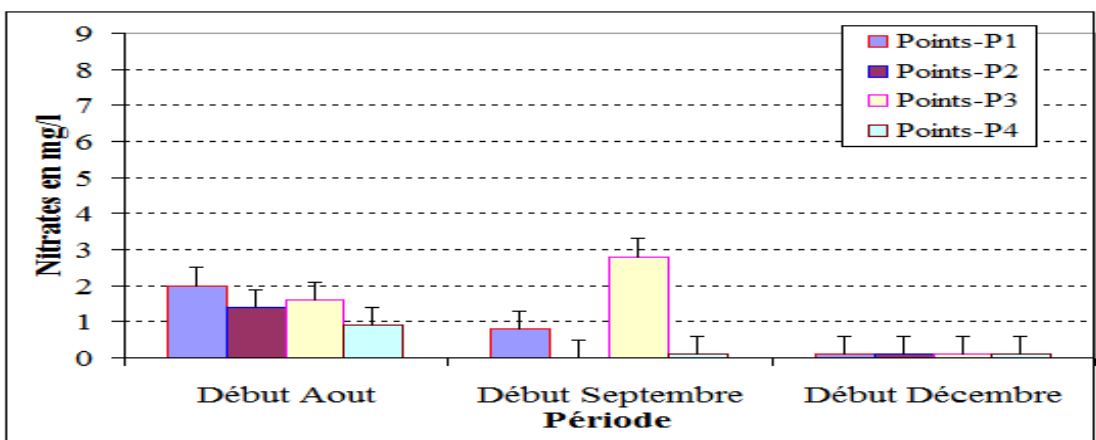
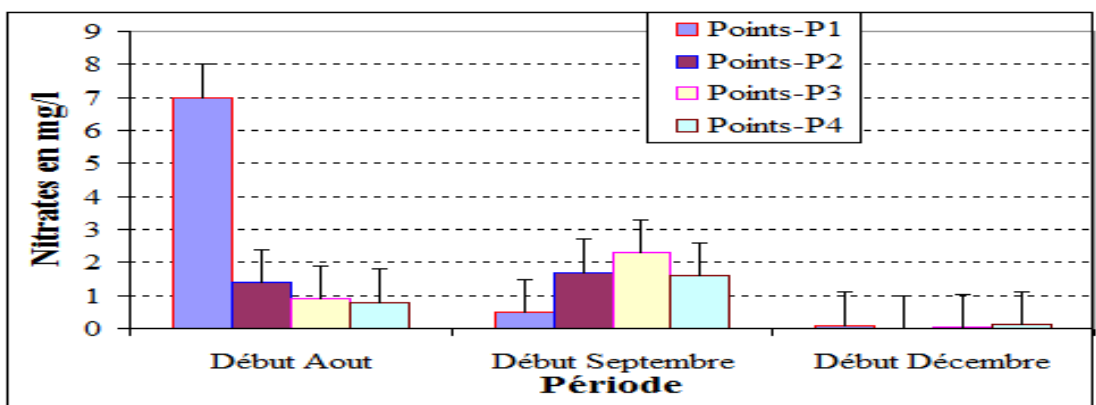


Figure 22: Variation de la teneur en nitrates dans le barrage de Goinré



NI PUBLIER RETROUVER LES

EVITER LES TABLEAUX EN IMAGES CAR ON NEZ PEUT LES CORRIGER ORIGINAUX !!!

Figure 23: Variation de la teneur en nitrates dans le barrage de Ziga

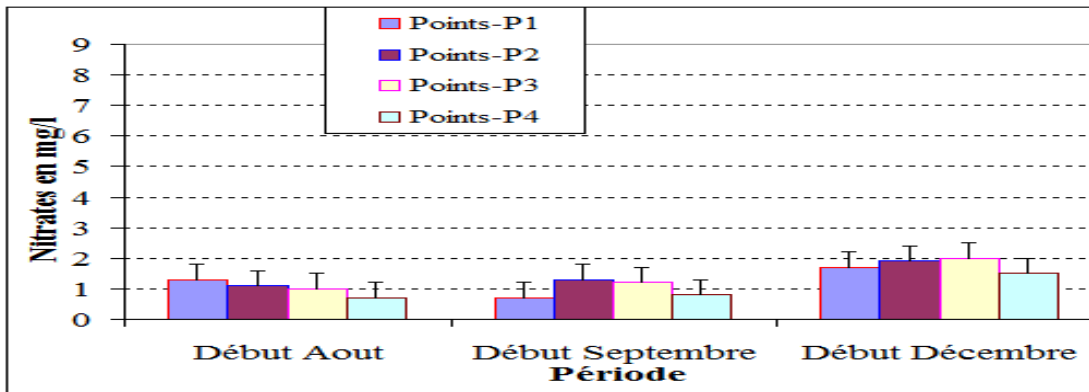


Figure 24: Variation de la teneur en nitrates dans le barrage de Bagré

Variation des Ortho-phosphates

Les teneurs en Ortho-phosphates sont très faibles à Bagré (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et à Ziga (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ; variant respectivement de 0,23 à 0,32 mg/l pour leurs valeurs maximum dans ces barrages, ces teneurs ont une tendance croissante d'août à décembre à Bagré et décroissante dans cette même période à Ziga. A Goiré (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), les fortes concentrations sont observées courant début septembre. La valeur maximale observée bien que faible est de 1,26 mg/l.

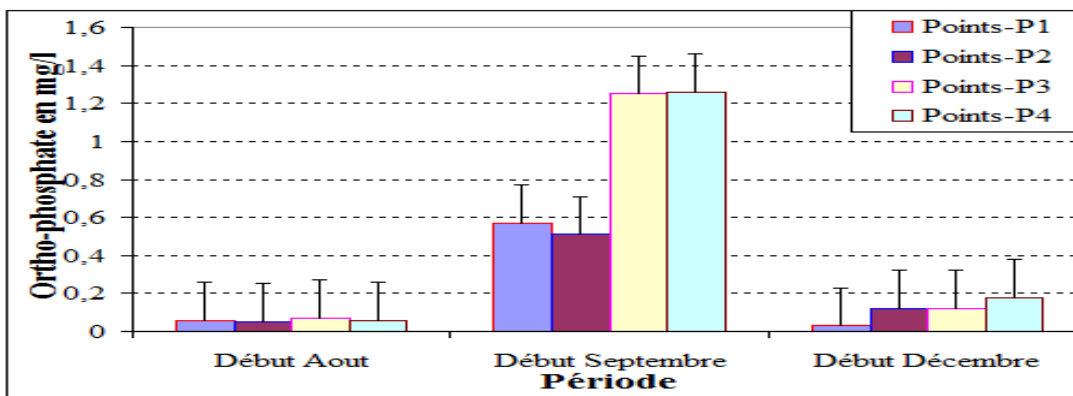


Figure 25: Variation de la teneur en Ortho phosphates dans le barrage de Goiré

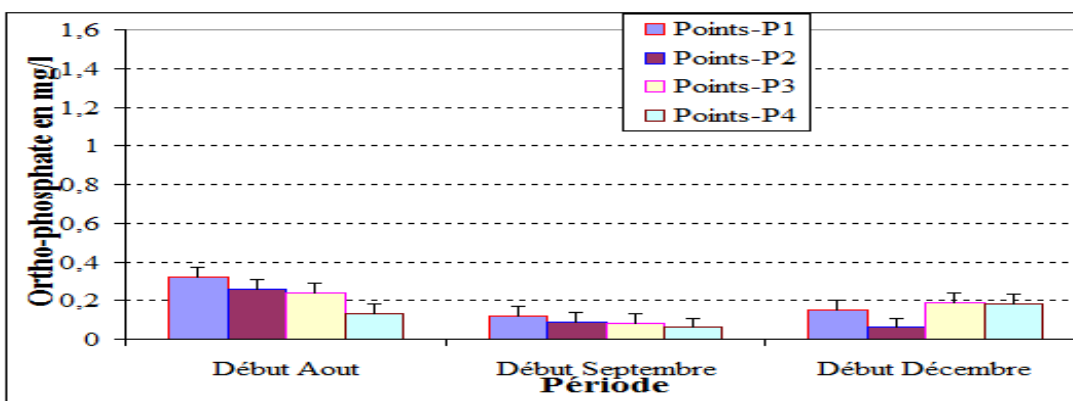


Figure 26: Variation de la teneur en Ortho phosphates dans le barrage de Ziga

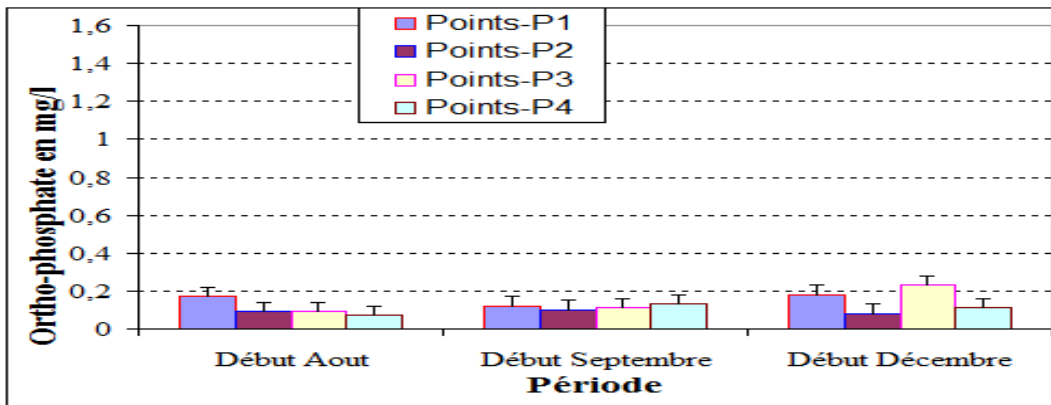


Figure 27: Variation de la teneur en Ortho phosphates dans le barrage de Bagré

- Variation de la DBO₅

La mesure de la DBO₅ ou demande biochimique en oxygène donne des valeurs similaires à Goinré (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et à Ziga (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Août et septembre sont marqués par une décroissance de la DBO₅ à Goinré. Les valeurs maximum pour ces mêmes périodes sont respectivement 4,5 et 3,4 mg d'O₂/l. Une augmentation de ces valeurs s'observe en décembre atteignant un maximum de 7,6 mg d'O₂/l. Le phénomène contraire se remarque à Ziga. Premièrement, on a une croissance des valeurs de la DBO₅ d'août à septembre dont les valeurs maximum sont respectivement de 6,2 et 6,8 mg d'O₂/l ; et deuxièmement, une chute de ces valeurs en début décembre. La valeur minimale est de 1,7 mg d'O₂/l. Par contre à Bagré (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), les valeurs de la DBO₅ ont eu une tendance décroissante au cours des trois périodes. Elles ont varié de 13,6 en aout à 3,1 mg d'O₂/l en décembre.

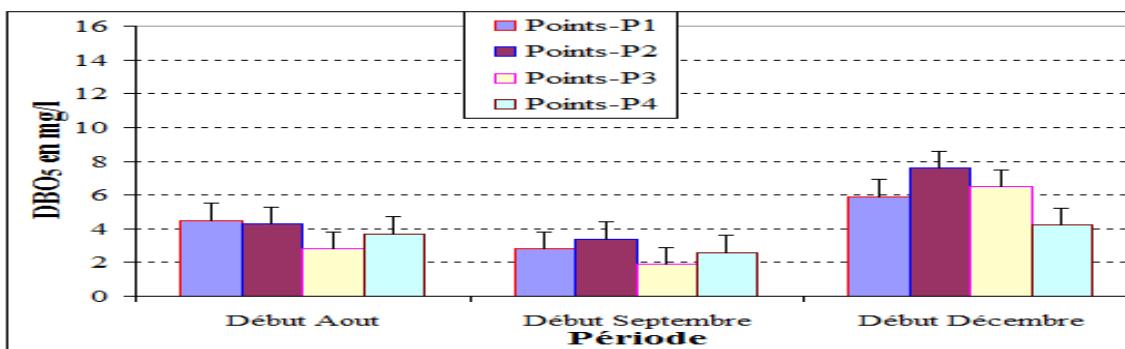


Figure 28: Variation de la DBO5 dans le barrage de Goinré

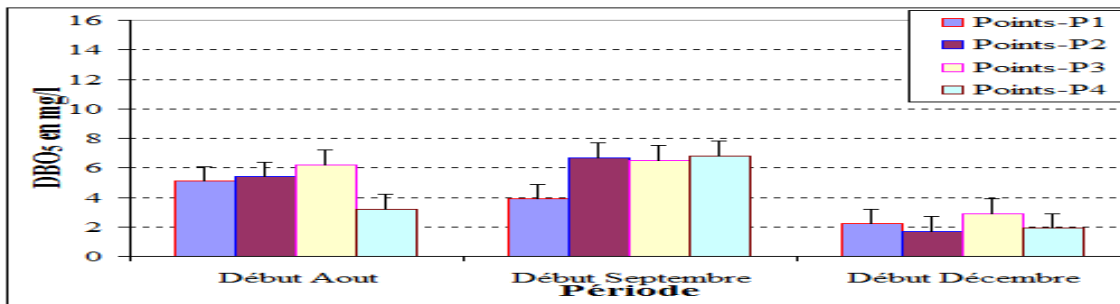


Figure 29: Variation de la DBO5 dans le barrage de Ziga

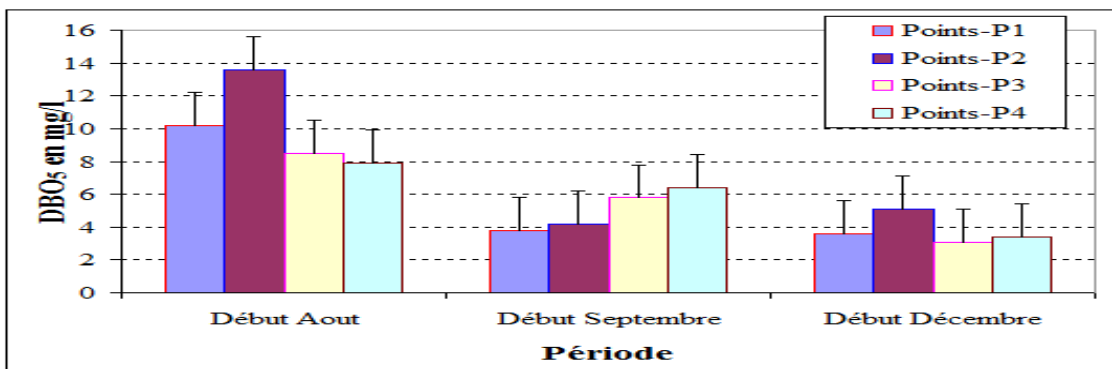


Figure 30: Variation de la DBO5 dans le barrage de Bagré

8.5 DISCUSSION

L'agriculture est pratiquée par plus de 80% de la population burkinabè. Cette pratique, constituant un héritage, se transmet de génération en génération. Les producteurs continuent d'appliquer les pratiques qu'ils ont reçues de leurs parents, et cela aboutit à une faible motorisation. Le manque de moyen financier est aussi un handicap pour les producteurs qui continuent d'utiliser des outils traditionnels et emploient les intrants agricoles dans de faibles proportions. Les résultats de l'enquête montrent que la majorité des producteurs continuent d'utiliser la daba (houe traditionnelle) pour le travail du sol. A cela s'ajoute l'emploi de la charrue avec soit la traction asine soit la traction bovine. L'utilisation de ces outils permet d'atteindre une profondeur maximale de 20 cm dans le sol. Nebie (2005), affirme que la culture attelée est très appréciée par les paysans car elle permet un gain de temps ; et l'utilisation de la daba est nécessaire par la suite pour améliorer le labour. Pour les différents amendements, les engrais minéraux sont plus appliqués sur les cultures maraîchères et la monoculture du riz. Quant aux cultures céréalières saisonnières, les producteurs appliquent la fumure organique en début de saison pluvieuse.

En outre, le bassin du Nakanbé, caractérisé par une forte densité de population (87 habitants/km²) en 2010 et une forte pression sur les terres agricoles appauvries par des décennies d'exploitation continue, constitue l'endroit où les activités humaines, principalement agricoles, représentent une menace sur la qualité physico-chimique des eaux. (Some et al., 2008). Cette exploitation n'est pas sans conséquences sur les ressources en sol et en eau du fait des mauvaises pratiques agricoles. Les sols qui sont

surexploités sans des actions de maintien de fertilité se dégradent. Les eaux de surface quant à elles, elles sont polluées par les engrais et les résidus de pesticides conduits par les ruissellements.

L'utilisation des pesticides suit la même tendance que celle des engrais. Seules les cultures génératrices de moyens financiers sont favorisées, à l'exception du niébé. Les résultats obtenus sur le recensement des pesticides révèle que malgré les mécanismes de contrôles sur l'entrée des pesticides dans le pays, il y a intrusion des pesticides non homologués. Ce qui montre que 35% des pesticides rencontrés ne sont pas homologués par le CSP et que 20% de ces pesticides sont inconnus. Ces résultats sont en accords avec ceux de Toe (2010).

Les producteurs sont conscients des méfaits causés par l'agriculture sur les ressources en sols et en eaux. Ces méfaits s'observent par la diminution des rendements agricoles et de l'effort à fournir pour le travail du sol qui est de plus en plus croissant. Autour du barrage de Ziga, la restriction sur la pratique de la maraîchère-culture et de la sensibilisation sur les mauvaises pratiques culturales explique cette forte connaissance des producteurs sur les impacts négatifs de l'agriculture. Dans le périmètre rizicole de Bagré, la plupart des producteurs ne tiennent pas compte des recommandations des agents d'agriculture de la Maitrise d'Ouvrage de Bagré (MOB).

Le pH ou potentiel Hydrogène est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions hydrogène (H^+). Les pH moyens des barrages de Goinré, Ziga et Bagré respectivement de 7,2 ; 7,1 et 7,0 respectent les normes OMS ($6,5 \leq pH \leq 8$) pour les eaux de surface destinées à la boisson. Ces valeurs qui indiquent la neutralité reflètent un pH naturel où la vie se développe de manière optimale.

Quant à la turbidité, ses valeurs dans les trois barrages sont au-dessus des normes OMS qui est de 5 NTU. Plusieurs phénomènes peuvent expliquer cette forte turbidité : premièrement, le ruissellement des eaux de pluies pendant la saison pluvieuse vers les retenues d'eau, qui venant de toute part emportent sur leur passage plusieurs éléments de natures diverses. Essentiellement constitués de matières fines ou colorantes en suspension, ces éléments donnent un aspect turbide aux eaux de surface. Deuxièmement, on a l'érosion hydrique, occasionnant des pertes de terre en amont. L'absence de couvert végétal consécutive sur les sols du Nakanbé renforce la vitesse de ruissellement. Selon Yacouba et *al.*, 2002, le coefficient de ruissellement dans le Nakanbé peut atteindre 57% avec des pertes de terre de 5,5 T/ha/an. Le troisième phénomène qui explique cette turbidité est la densité d'êtres vivants présents pouvant libérés des quantités énormes de déchets.

La conductivité électrique qui est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique, révèle le taux de minéralisation des eaux. Les valeurs des conductivités électriques n'ont aucune différence significative au test de Student Newman-Keuls (SNK) et respectent la norme

OMS 2004. Ces valeurs de la conductivité indiquent que les eaux des trois barrages sont très peu minéralisées, bien que la conductivité électrique des eaux des barrages de Bagré et de Goinré, soient au-dessus de celle du barrage de Ziga. Nisbet et Verneaux (1970), confirment cette faible minéralisation de ces eaux par leurs travaux et les placent dans la classe 3 (sur 8).

Les paramètres chimiques (nitrates, ortho-phosphates) et organiques (DBO_5) des trois (3) barrages ont subi des variations au cours des mois d'août à décembre.

Au regard des normes OMS pour l'eau de boisson, les nitrates ne sont pas responsables des pollutions dans les barrages de Ziga (1,372 mg/l), Goinré (0,833 mg/l) et Bagré (1,267 mg/l). Néanmoins les teneurs des nitrates dans les barrages de Goinré et de Ziga sont au-dessus de celle de Bagré, dans le mois d'août. Cela s'explique par l'entrée d'énormes quantités d'eau de ruissellement, traversant les terres agricoles situées en amont. Le mois d'août est une période de fortes pluies, et les quantités d'eau tombées emportent les résidus d'engrais des champs vers les plans d'eau. La décroissance à Ziga et à Goinré des teneurs en nitrates de septembre à décembre est due à la fin de la saison des pluies. Par contre la croissance de la concentration des nitrates observée dans le barrage de Bagré d'août à décembre avec un maximum de 2 mg/l est due à l'accumulation des eaux provenant des barrages situés en amont dont le barrage de Ziga et de Goinré font partie. Dans la hiérarchie de classification des eaux selon Nisbet et Verneaux en 1970, pour les nitrates, les eaux de Ziga et Bagré sont placées dans la classe 2 (sur 6) et celle de Goinré dans la classe 1.

Relativement faible dans les trois (3) barrages, les teneurs en ortho-phosphates permettent d'estimer leur degré d'eutrophie. La classification de Nisbet et Verneaux en 1970 place les eaux de Bagré dans la classe 3 (sur 6), les eaux de Ziga dans la classe 4 et celle de Goinré dans la classe 5. Cela indique que les ortho-phosphates contribuent considérablement à l'eutrophisation des eaux de ces trois barrages. Les eaux de Bagré sont moyennement eutrophes, celles de Ziga fortement eutrophes et celles de Goinré polluées. Les ortho-phosphates proviennent essentiellement de l'utilisation des engrais phosphatés en agriculture, des rejets industriels et des rejets domestiques (déjections humaines, détergents, lessives).

La DBO_5 mesure la quantité d'oxygène dissous consommée par les germes aérobies pour assurer la décomposition des matières organiques contenues dans l'eau examinée en un laps de temps (5 jours). Plus la DBO_5 est élevée plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée. Pour Nisbet et Verneaux (1970), les eaux de Bagré sont dans la classe 3 (sur 3) où la situation est anormale, et les eaux de Ziga et de Goinré sont dans la classe 2 avec une situation douteuse. Ces fortes teneurs de matières organiques ont des sources variées. Elles proviennent d'une part des déjections des êtres vivants aquatiques, et d'autre part, des eaux de ruissellement venant de toutes parts. L'action des

germes va conduire à la dégradation de cette matière organique. C'est cette activité de décomposition qui assure l'autoépuration des eaux.

Les teneurs en nitrates obtenues dans les trois barrages sont différentes des résultats de SOME et *al.*, en 2008; Quant à l'ortho-phosphate nos résultats sont conformes à ceux de SOME et *al.*, (2008). En fonction des normes sur l'eutrophisation établies par Nisbet et Verneaux (1970), les nitrates et les ortho-phosphates participent à l'eutrophisation dans les barrages de Goinré, Ziga et de Bagré. Cette eutrophisation est de faible intensité, car les teneurs en nitrates et en ortho-phosphates ne sont pas élevées. Nos résultats sont conformes aux travaux de MAIGA et *al.*, en 2007, qui place les barrages de Goinré, Ziga et de Bagré dans la zone à risque d'eutrophisation faible. La DBO₅ indique que le taux de matières organiques est élevé dans les trois barrages, mais celui de Bagré est plus important.

Les pratiques agricoles ne sont pas sans conséquence pour les retenues et cours d'eaux environnants.

Dans le bassin du Nakanbé, le suivi des teneurs en nitrates, ortho-phosphate et de la DBO₅ dans les barrages de Goinré, de Ziga et de Bagré a révélé que ces paramètres contribuent à l'eutrophisation de ces retenues d'eaux. Bien que leurs valeurs soient relativement faibles, la qualité de ces eaux doit être contrôlée afin d'éviter des situations de pollution irrémédiable. L'évolution de ces différents caractéristiques physico-chimique des ressources en eau ont une conséquence directe sur la qualité des ressources en eau en l'occurrence, la réduction de ses usages ; ce qui est une difficulté de plus pour la gestion des ressources en eau du fait de la non disponibilité d'une eau de qualité pour certains usages. Une analyse poussée montre que si au départ les causes de ce phénomène sont les mauvaises pratiques agricoles qui se trouvent être des modes d'adaptation aux changements globaux, notamment la pression démographique et les changements climatiques avec une intention somme toute légitime, il n'en demeure pas moins que les conséquences soient tout de même néfastes sur l'homme lui-même.

Cette étude démontre clairement que les pratiques agricoles actuelles autour de nos retenues d'eau ont un impact négatif sur les ressources en eau et ces impacts se ressentent en terme de pollution des ressources en eau et de leur comblement et donc du tarrissement précauce des retenues d'eau. Toutefois pour ce qui concerne la pollution, le lien entre les différentes zones agroclimatiques n'est pas clairement établi.

Aussi, voudrons-nous au terme de cette étude faire les recommandations suivantes :

- ✓ Aux acteurs du Développement : plus de sensibilisation à l'endroit des producteurs sur les bonnes pratiques agricoles, pour que les impacts environnementaux que cause l'agriculture soient connus de tous pour une bonne gestion des ressources naturelles.
- ✓ A l'ensemble des acteurs du développement, la nécessité de respecter le principe de précaution quant aux innovations qu'on veut introduire pour le changement et spécifiquement en ce qui concerne l'eau et l'environnement.
- ✓ Aux institutions en charge du contrôle des pesticides de faire un contrôle plus rigoureux sur le marché des intrants agricoles (engrais et pesticides) et un suivi régulier de la qualité des eaux afin d'éviter des situations désastreuses.

Pour ce qui est des situations désastreuses, la question de l'érosion doit être prise au sérieux dans le bassin du Nakanbé. A METTRE APRES CONCLUSION GENERALES

VEUILLEZ HARMONISER LES CARACTERES DE CE CHAPITRE AVEC LES AUTRES

D AURTE PART ASSUREZ QUE DANS CHAQUE CHAPITRE FAUT INTRODUCTION PARTIELLE ET CONCLUSION PARTIELLE

CONCLUSION PARTIELLE

Au terme de cette troisième partie portant pratiques agrosylvopastorales d'adaptation aux changements climatiques : conséquences, il ressort qu'en plus des facteurs naturels, d'autres facteurs interviennent dans la dégradation environnementale (eaux, sols et ressources connexes). A ces facteurs on note l'accroissement de la population et l'urbanisation rapide, les pratiques agricoles, sylvicoles et pastorales inadaptées. Les conséquences immédiates et sans appel : ce sont l'érosion hydrique et éolienne ainsi que la pollution des eaux et des sols, dont les conséquences également sur les sols et les ressources en eau sont leur dégradation. Cela entraîne à tout point de vue la faible productivité impactANT négativement les conditions de vie des populations et vice versa. En définitif, il s'agit d'un cercle vicieux où les mauvaises pratiques agricoles accroissent l'effet des changements climatiques qui à leur tour affectent la population qui adopte de pires pratiques. La grande question est de savoir quel(les) est/sont la/les solution(s) ? D'où la quatrième partie de cette thèse qui est : « **effets et impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et sols : solutions** »

PARTIE IV :

**EFFETS ET IMPACTS DES CHANGEMENTS
CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES EN EAU ET
SOLS : SOLUTIONS**

INTRODUCTION PARTIELLE

Il ne fait plus aucun doute que le Burkina Faso, pays du Sahel et particulièrement le bassin du Nakanbé, fait face depuis ces trois dernières décennies aux effets et impacts des changements climatiques. Ils affectent particulièrement de diverses manières les ressources naturelles notamment les sols et les ressources en eau. La complexité de la causalité du phénomène - les changements climatiques qui entraînent des pratiques agrosylvopastorales néfastes aux sols, aux ressources en eau et ressources connexes dont la dégradation accentue le phénomène et engendre une paupérisation qui accentue les mauvaises pratiques... et ainsi de suite – impose une certaine modestie dans l'approche du problème et nécessite d'aller au-delà des solutions traditionnelles. Dans cette optique, il nous paraît nécessaire d'identifier les principaux effets et impacts des changements climatiques sur les ressources naturelles, puis d'étudier l'efficacité des solutions traditionnelles afin de proposer une solution innovante qui intègre l'ensemble, et dont le principe de base est **d'agir locale pour un impact globale**, et en sus du

principe, que nul n'est mobilisé en dehors de ses intérêts. Ainsi cette partie IV s'organise autour de trois chapitres comme suit :

- Chapitre 09 : effets et impacts du changement climatique sur les ressources naturelles.
- Chapitre 10 : les techniques de conservation des eaux et des sols : demi-lune, cordons pierreux, végétalisation, etc.
- Chapitre 11 : les comités locaux de l'eau (cle) : dynamique d'une expérience de gestion locale des ressources en eau comme stratégie d'adaptation aux changements climatiques dans le bassin du nakanbe au Burkina Faso.

CHAPITRE IX : EFFETS ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES NATURELLES.

Le Burkina Faso à l'instar des pays de l'Afrique subsaharienne est sévèrement touché par le processus de changement climatique. Cela se traduit dans l'espace de gestion du Nakanbé par une pluviosité à la fois faible et aléatoire. En effet, celle-ci a régulièrement baissé depuis une cinquantaine d'années, avec des périodes de sécheresses accrues, spécialement dans les années 1980. Cet assèchement climatique, particulièrement prononcé est allé de pair avec une transformation rapide des systèmes écologiques et sociaux. Dans les zones écologiques les plus propices à l'agriculture, celles des savanes, de vastes superficies se sont ainsi transformées en secteurs agricoles, avec une fragmentation des milieux naturels et une perte importante de diversité biologique (Ministère de l'Environnement et de Cadre de Vie du Burkina Faso, 2007).

Nous posons comme hypothèse que :

- Depuis les années 1970 (période à partir de laquelle on estime le début des changements climatiques), la dégradation des ressources naturelles notamment, les terres, les ressources végétales est allée de façon croissante
- Les pratiques agrosylvopastorales sont à la base de la dégradation des ressources naturelles
- Des pratiques agrosylvopastorales peuvent permettre une reconstitution des ressources naturelles

Dans ce chapitre, nous nous proposons de récapituler les changements d'occupation des terres intervenus dans l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982, 1992 et 2011, et de dresser un état des lieux de la végétation naturelle actuelle. Nous tenterons aussi de nous appesantir sur les effets et impacts du changement climatique sur les ressources végétales de l'espace de gestion du Nakanbé avant de préconiser des stratégies et actions pour y faire face.

9.1 RECAPITULATIF DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES TERRES INTERVENUS DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE EN 1982, 1992 ET 2011

9.1.1 Occupation des terres dans l'espace de gestion du Nakanbé en 1982, 1992 et 2011

Une analyse a été faite et les résultats sont présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Les entités d'occupations de terres identifiées sont les affleurements rocheux, les champs, les cours d'eau et retenues d'eau, les sols nus, la végétation claire et la végétation dense.

Tableau 35: récapitulatif de l'analyse de l'occupation des terres en 1982, 1992 et 2011

	1982	1992	2011	1982-1992-20011
--	------	------	------	-----------------

Unité	Superficie (km2)	%	Superficie (km2)	%	Superficie (km2)	%	Superficie moyenne (Km ²)	%
Affleurement rocheux	5261.39	8.72	5822.52	9.65	1496.36	2.48	4 193.42	6.95
Champs	22608.27	37.47	30120.23	49.92	39321.62	65.17	30 683.37	50.85
Cours d'eau et retenue d'eau	144.81	0.24	422.36	0.70	422.36	0.70	329.84	0.55
Sols nus	796.45	1.32	2148.00	3.56	193.08	0.32	1 045.84	1.73
Végétation claire	17087.44	28.32	18221.77	30.20	15005.81	24.87	16 771.67	27.80
Végétation dense	14438.64	23.93	3602.12	5.97	3897.77	6.46	7 312.84	12.12
Total pour l'espace de gestion du Nakanbé	60337.00	100.00	60337.00	100.00	60337.00	100.00	60 337.00	100.00

9.1.2 Photographie de l'occupation des terres dans de l'espace de gestion du Nakanbé en 1982

La superficie totale de l'espace de gestion du Nakanbé est de 60.337 km². La carte d'occupation des sols (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et l'examen du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre la présence d'une couverture végétale très appréciable sur l'ensemble du bassin (52,25% de la superficie totale du bassin). En effet, la végétation claire couvre une superficie de 17.087,44 km², soit 28,32% de la superficie totale, pendant que celle dite dense s'étale sur une superficie de 14438,64 km², soit 23,93% de la superficie totale. Le reste des superficies occupé par les champs occupent une superficie de 22608,27 km², soit 37,47% de la superficie totale ; les affleurements rocheux sur 5261,39 km², soit 8,72% de la superficie totale ; les sols nus sur 796,45 km², soit 1,32% de la superficie totale et les cours et retenues d'eau occupant une superficie de 144,81 km², soit 0,24% de la superficie totale de l'espace de gestion du Nakanbé.

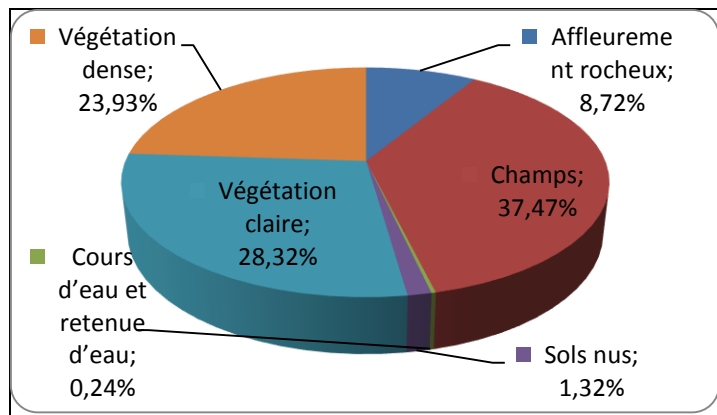
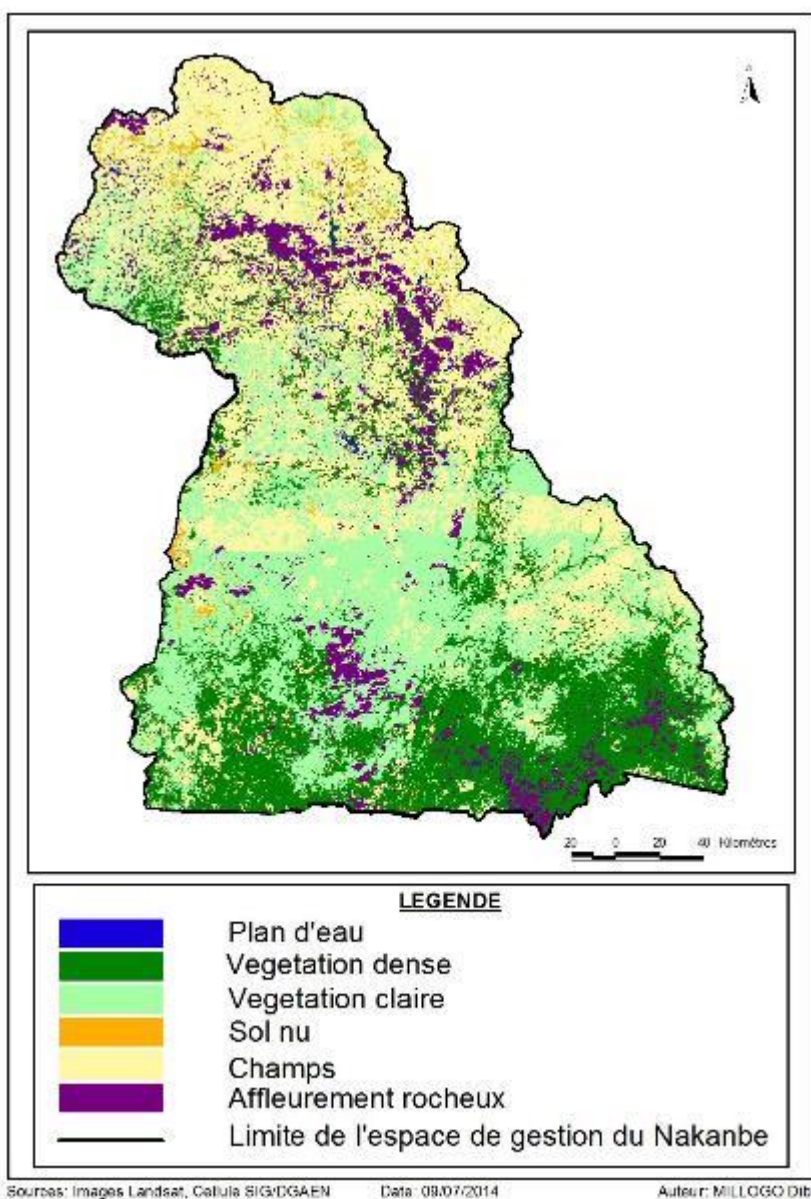


Figure 31: Occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1982



carte 19: Représentation spatiale de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1982

Photographie de l'occupation des terres dans de l'espace de gestion du Nakanbé en 1992

En 1992, la végétation claire occupe une superficie de 17087,44 km², soit 28,32% de la superficie totale ; la végétation dense occupe 3.602,12 km², soit 5,97% de la superficie totale (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les champs couvrent une superficie de 30120,23 km² (49,92% de la superficie totale). Les affleurements rocheux constituent 9,65% de la superficie totale et se répartissent sur 5822,52 km². Les sols nus représentent 3,56% de la superficie totale et concernent 2148 km². Les cours et retenues d'eau occupent une superficie de 422,36 km², soit 0,70 de la superficie totale de l'espace de gestion. La représentation spatiale est faite sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

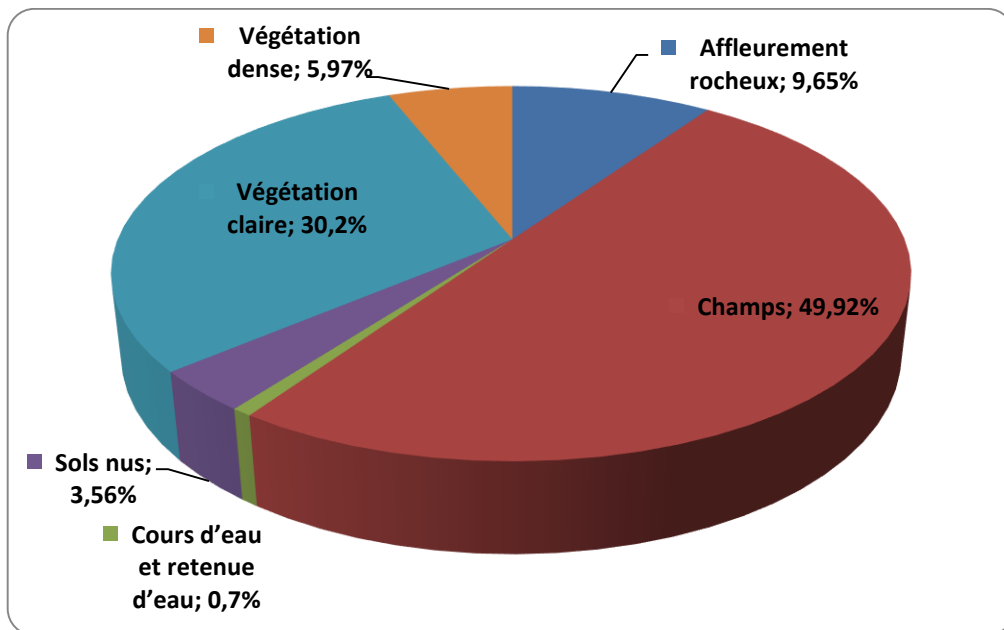
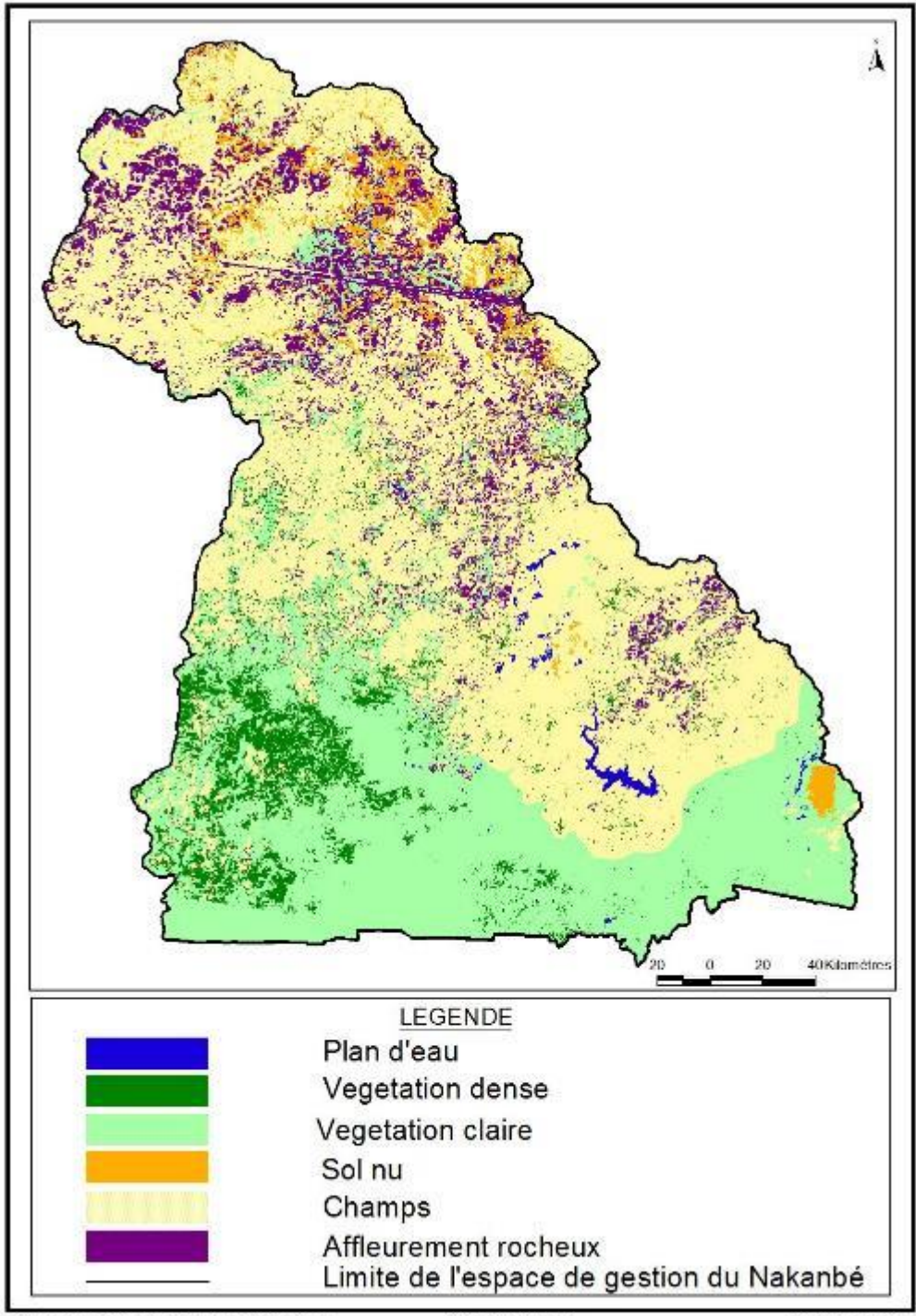


Figure 32: Occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1992



carte 20: Représentation spatiale de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 1992

10 Photographie de l'occupation des terres dans l'espace de gestion du Nakanbé en 2011

L'examen de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montrent qu'en 2011, la végétation claire occupe une superficie de 15.005,81 km², soit 24,87% de la superficie totale ; la végétation dense occupe 3.897,77 km², soit 6,46% de la superficie totale. Les champs couvrent une superficie de 39.321,62 km² (65,17% de la superficie totale). Les affleurements rocheux constituent 2,48% de la superficie totale et se répartissent sur 1.496,36 km². Les sols nus représentent 0,32% de la superficie totale et concernent 193,08 km². Les cours et retenues d'eau occupent une superficie de 422,36 km², soit 0,70 de la superficie totale de l'espace de gestion.

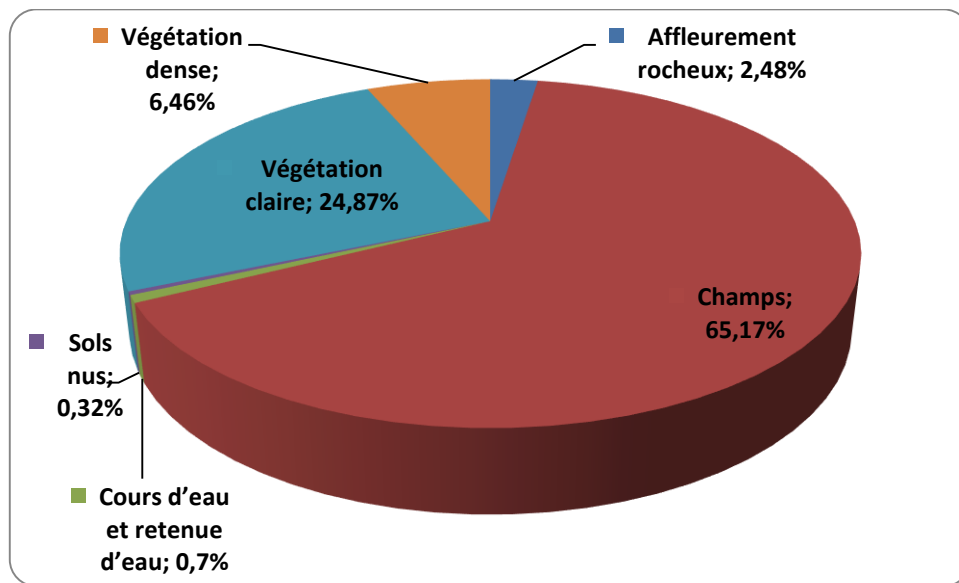
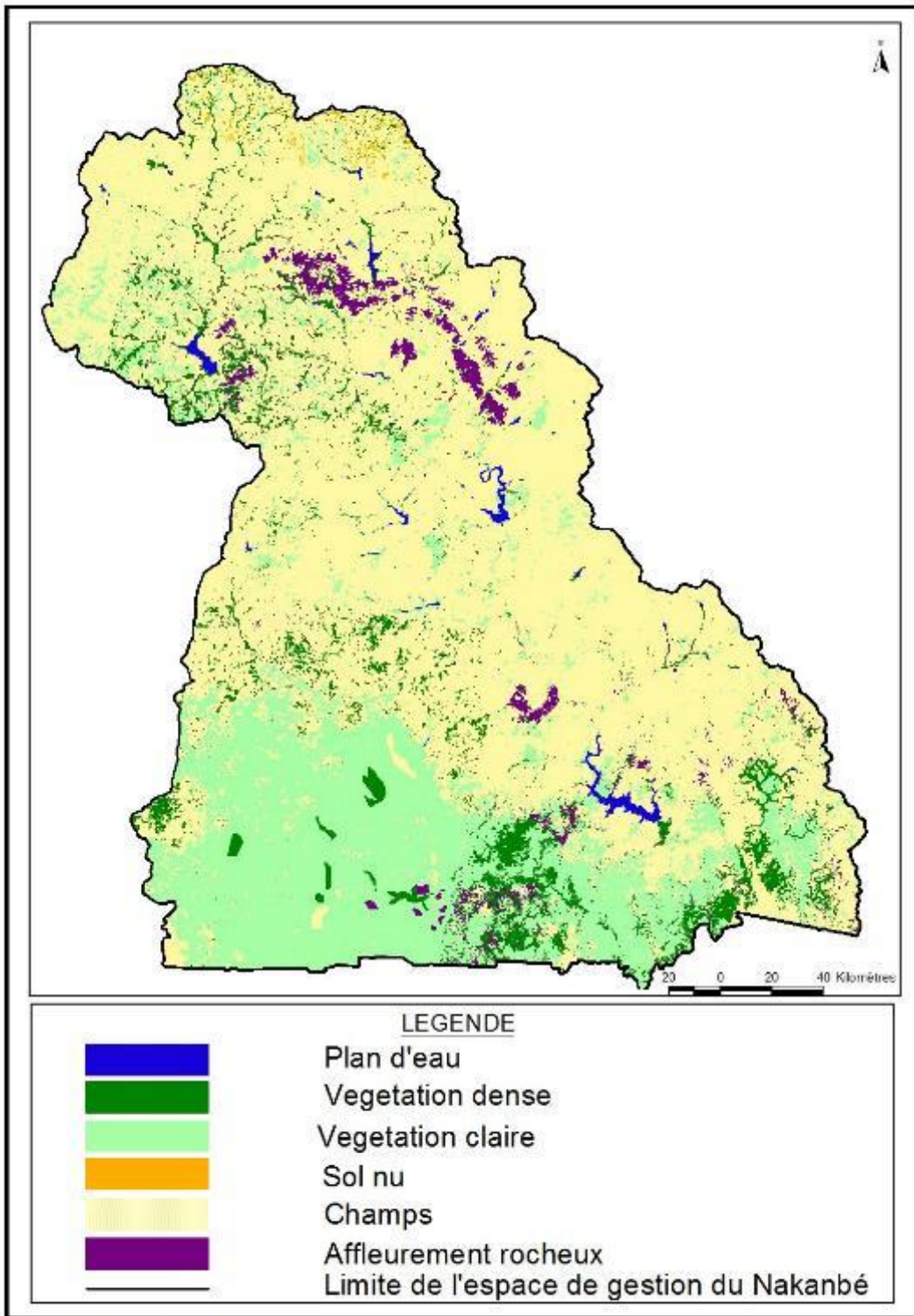


Figure 33: Occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 2011



Sources: Images Landsat, Cellule SIG/DGAEN

Date: 10/07/2014

MILLOGO Dibi

carte 21: Représentation spatiale de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé en 2011

9.2 EFFETS ET IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES VEGETALES

Dans l'espace de gestion du Nakanbé, les ressources végétales ont subi de profondes modifications, dues essentiellement à l'aridité du climat, aux sécheresses successives et surtout aux actions humaines. Considérant la définition de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), qui caractérise le changement climatique comme étant des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale, et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables », nous pouvons mettre ces modifications des ressources végétales à l'actif des effets et impacts des changements climatiques.

9.3 Les changements intervenus entre 1982 et 1992

L'interprétation des images Landsat par la méthode de la classification supervisée fait ressortir une dynamique du couvert végétal et de l'occupation des terres dans l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992 (carte 22: Représentation spatiale de l'évolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992

).

La Figure 34: Evolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992

révèle des cas de progression et de régression des classes thématiques du paysage entre 1982 et 1992. . En effet, la végétation dense qui occupait en 1982 une superficie de 14438,64 km² (soit 23,93% de la superficie totale), a régressé de 17,96% pour prendre en 1992 la valeur de 3602,12% (soit 5,97% de la superficie totale). Pendant ce temps, la végétation claire a connu une légère hausse d'environ 1,88%, passant de 17087,44 km² (soit 28,32% de la superficie totale) à 18221,77 km² (soit 30,2% de la superficie totale). Les superficies des sols nus, des champs et des affleurements rocheux ont aussi augmenté passant respectivement de 796,45 km² (soit 1,32% de la superficie total), de 22608,27 km² (soit 37,47%), de 5261,39 km² (soit 8,7%) à 2148 km² (soit 1,32%), 30120,23 km² (soit 37,47%) et 5822,52 km² (soit 9,65% de la superficie totale de l'espace de gestion. Ces différentes évolutions correspondent respectivement à un taux d'accroissement de 2,24% pour les sols nus, un taux de 12,45% pour les champs, et un taux de 0,95% pour les affleurements.

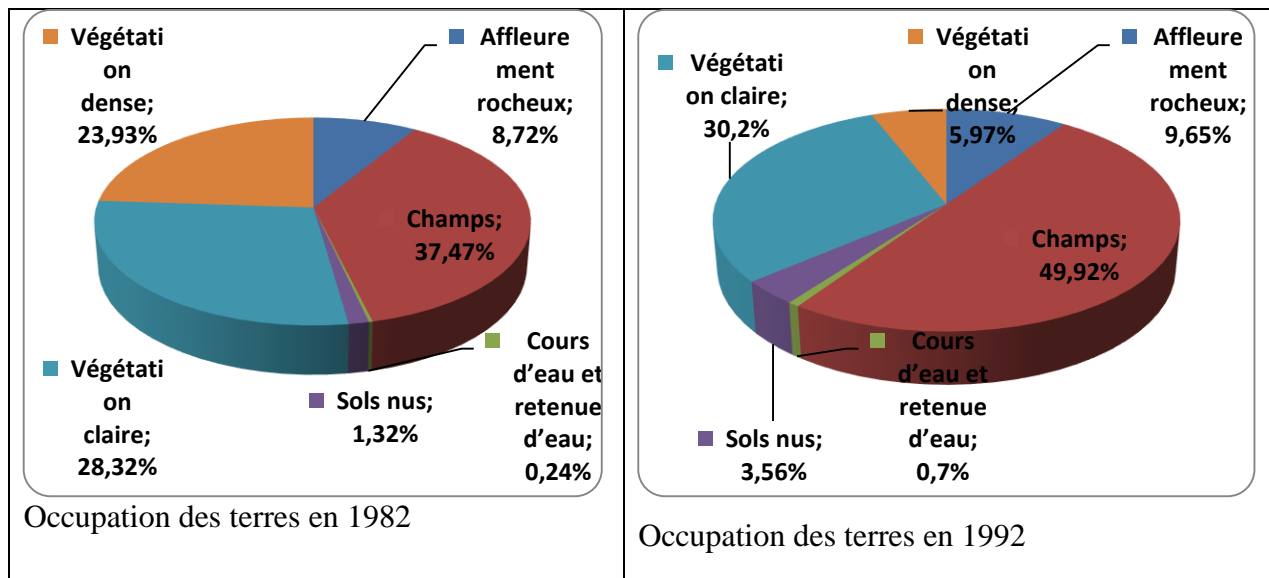
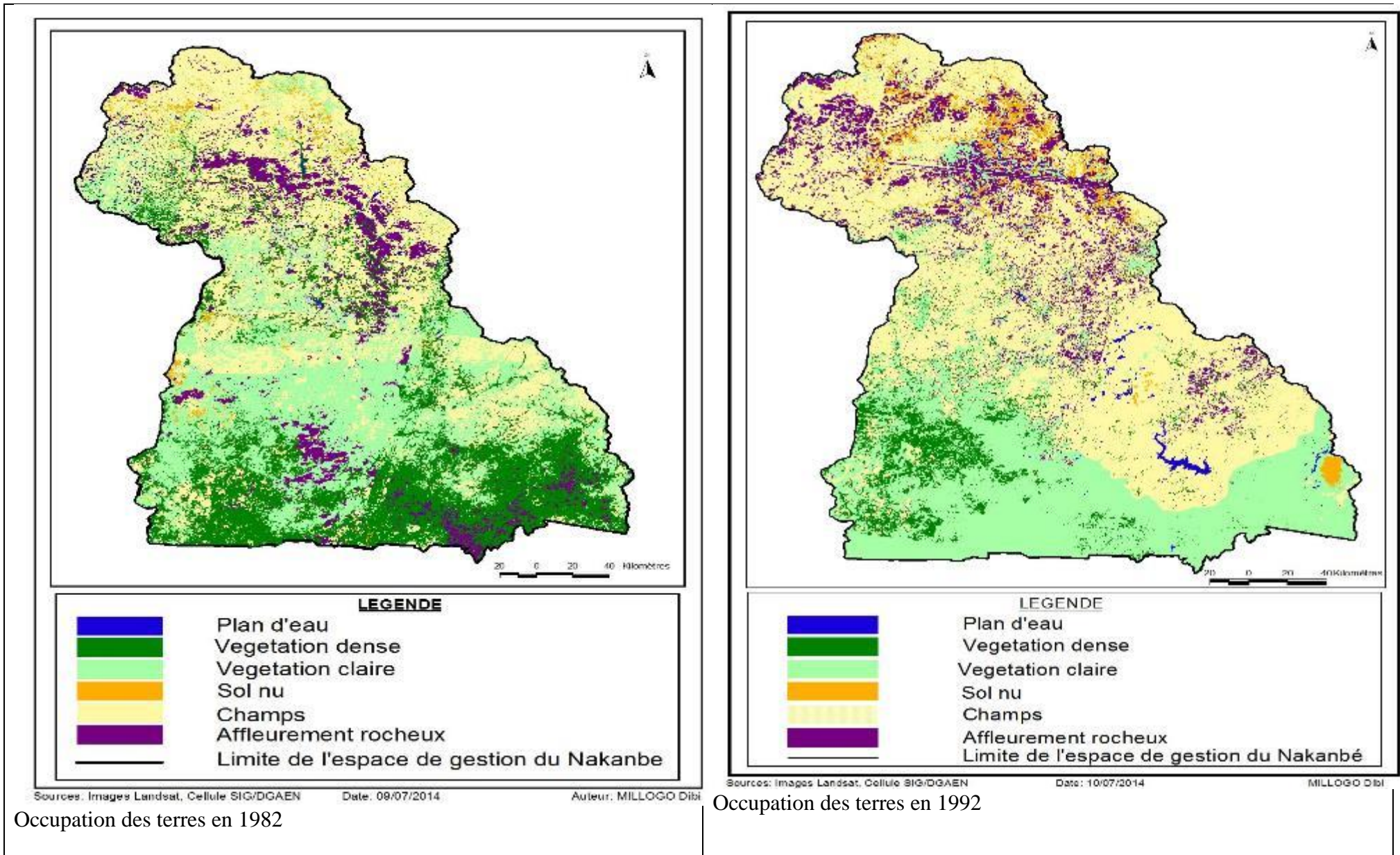


Figure 34: Evolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992



carte 22: Représentation spatiale de l'évolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992

L'analyse de la carte 22: Représentation spatiale de l'évolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992

indique que l'augmentation des zones nues et des affleurements rocheux s'est faite au détriment des champs (au nord et au sud-est de l'espace de gestion), des végétations claires et denses (sud et sud-est de l'espace de gestion). En effet, avec la baisse de la nappe phréatique et des écoulements des eaux de surface, la végétation et les espaces cultivés se sont rétrécis entre 1982 à 1992 et les sols se sont retrouvés nus et sensibles à l'érosion hydrique et éolienne. Cette érosion entraîne une perte de fertilité des sols (qui soutenue, laisse apparaître les affleurements rocheux) et une baisse des rendements des champs qui entraîne leur abandon.

La réduction de la végétation dense s'est aussi faite au profit des champs (nord-est, au centre et au sud de l'espace de gestion), de la végétation claire (principalement au sud de l'espace de gestion), et de plan d'eau avec la construction du barrage de Bagré. Cette formation naturelle a, en moins de dix ans, subi de profondes modifications, dues essentiellement à l'aridité du climat, aux sécheresses successives et surtout aux activités humaines. Leur dégradation s'est accentuée avec l'accroissement de la population urbaine qui engendre une demande plus élevée des villes en bois énergie. Par ailleurs, l'envahissement de certaines formations naturelles du domaine protégé ou classé par les campements d'éleveurs a fortement contribué à la régression de certaines espèces de végétaux telles que *Anogeissus leiocarpus*, *Diospyros mespiliformis*, *Lannea spp*, *Kaya sénégaleensis* et *Adansonia digitata* ; et à l'envahissement des espèces ligneuses (les steppes à l'occurrence). Cela explique la légère évolution de la végétation claire de l'ordre de 1,88% constatée entre 1982 et 1992.

Le barrage de Bagré, construit entre 1982 et 1992 au sud-ouest de l'espace de gestion du Nakanbé, est une stratégie d'adaptation aux changements climatiques.

La Figure 34: Evolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992

laisse apparaître une augmentation remarquable des champs de l'ordre 12, 45% entre 1982 et 1992. En se référant à la carte 22: Représentation spatiale de l'évolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1982 et 1992

, on se rend compte que cette augmentation des champs de l'espace de gestion du Nakanbé s'est faite au détriment des savanes (végétation claire et dense) au nord-est, nord-ouest, au centre et au sud de l'espace de gestion ; des affleurements rocheux au centre de l'espace de gestion du Nakanbé.

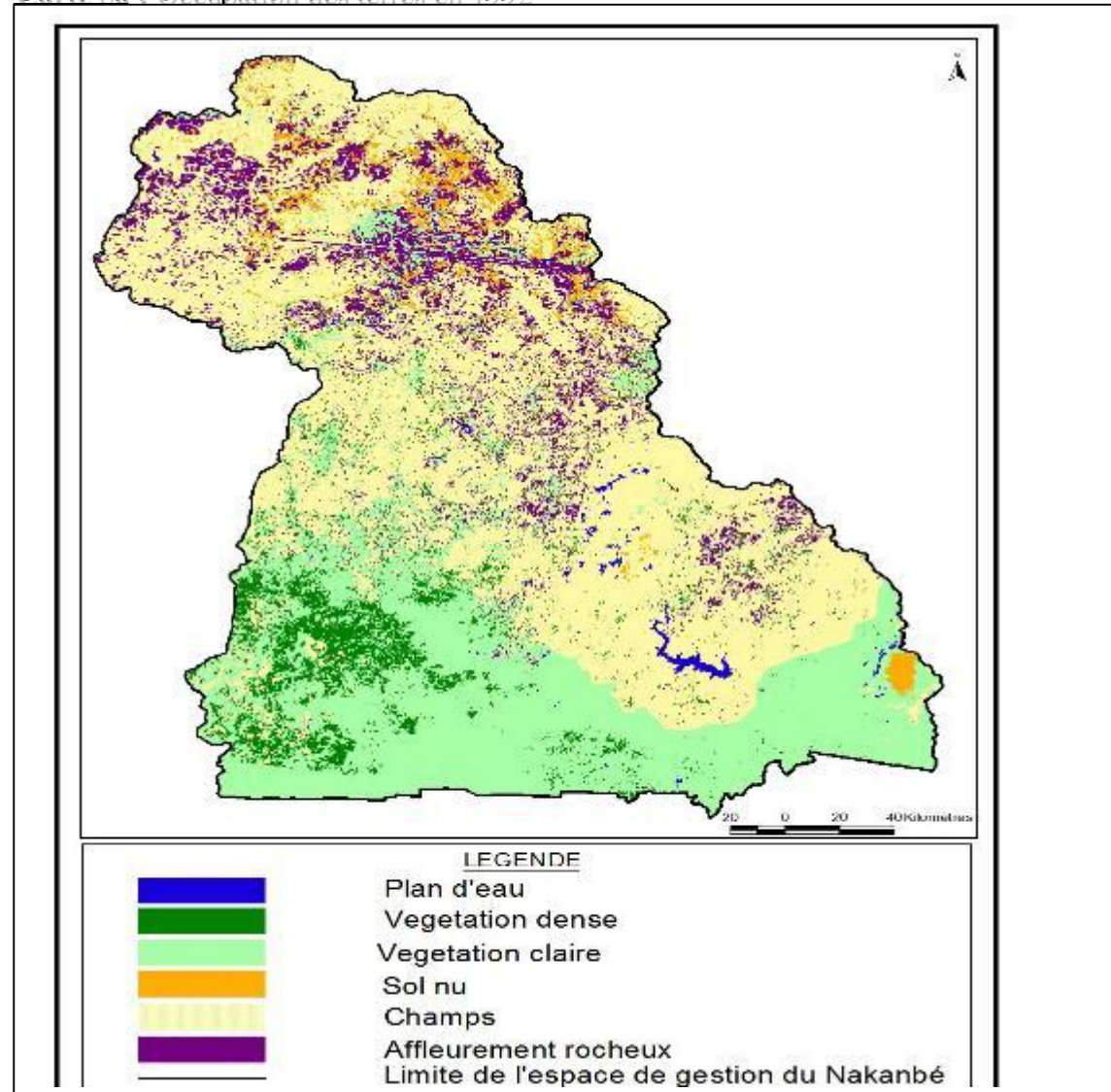
10 Les changements intervenus entre 1992 et 2011

Figure 82 : Evolution de l'occupation des terres de l'espace de gestion du Nakanbé entre 1992 et 2011

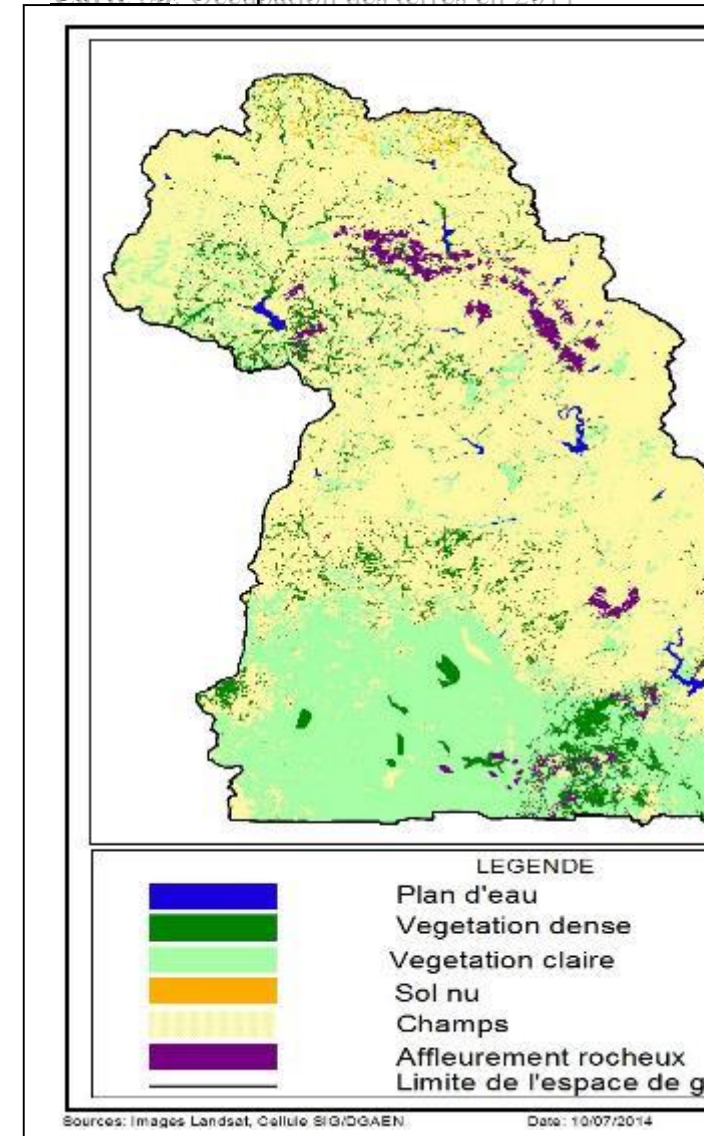
Fig 82a : Occupation des terres en 1992

Fig 82b : Occupation des terres en 2011

Carte 5a : Occupation des terres en 1992



Carte 5b: Occupation des terres en 2011



9.4 ANALYSE TRI-CHRONIQUE DES EFFETS ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU

9.4.1 Identification des unités d'occupations des terres

Le traitement des images a permis d'identifier six unités d'occupation des terres à savoir les affleurements rocheux, les champs, les cours d'eau et retenues d'eau, les Sols nus, la végétation claire et la végétation dense (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les affleurements rocheux sont des formations rocheuses visibles à la surface du sol.

Les champs sont des formations anthropiques mises en valeur et exploitées par l'homme pour l'agriculture, l'élevage, etc.

Les cours d'eau et retenues d'eau sont des formations naturelles (rivière, lac, marres, etc.) et anthropiques (barrages, boulis) formées par une dépression appelée talweg, occupées permanemment ou temporairement par l'eau.

Les sols nus sont des sols dégarnis de couvert végétal. Généralement, ces sols sont des matériaux meubles sensibles à l'érosion (décapage, ablation).

La végétation claire est une formation de savane arbustive et de savane herbeuse. La savane herbeuse est constituée de peu (ou non) de ligneux dans un rayon inférieur à 30 m avec un recouvrement ligneux inférieur à 2 %. La savane arbustive est couverte de herbacé à base de vivaces où les arbustes dominent dans un rayon inférieur à 30 m avec les arbres rares et un recouvrement ligneux de 15 à 30 %.

La végétation dense est une formation composée de savane arborée et de forêt galerie. La savane arborée est caractérisée par une dominance de la strate arborée avec peu d'arbustes (écart entre les cimes de 2 à 15 m). La forêt galerie est caractérisée par un couvert arboré assez dense, avec peu d'arbustes, un recouvrement compris entre 60 à 80 % et un couvert herbacé réduit.

Tableau 36: Récapitulatif des résultats de superficies de trois cartes d'occupation des terres

Unité	1982		1992		2011		1982-1992-2011	
	Superficie (km2)	%	Superficie (km2)	%	Superficie (km2)	%	Superficie moyenne (Km ²)	%
Affleurement rocheux	5261.39	8.72	5822.52	9.65	1496.36	2.48	4 193.42	6.95

Champs	22608.27	37.47	30120.23	49.92	39321.62	65.17	30 683.37	50.85
Cours d'eau et retenue d'eau	144.81	0.24	422.36	0.70	422.36	0.70	329.84	0.55
Sols nus	796.45	1.32	2148.00	3.56	193.08	0.32	1 045.84	1.73
Végétation claire	17087.44	28.32	18221.77	30.20	15005.81	24.87	16 771.67	27.80
Végétation dense	14438.64	23.93	3602.12	5.97	3897.77	6.46	7 312.84	12.12
Total pour l'espace de gestion du Nakanbé	60337.00	100.00	60337.00	100.00	60337.00	100.00	60 337.00	100.00

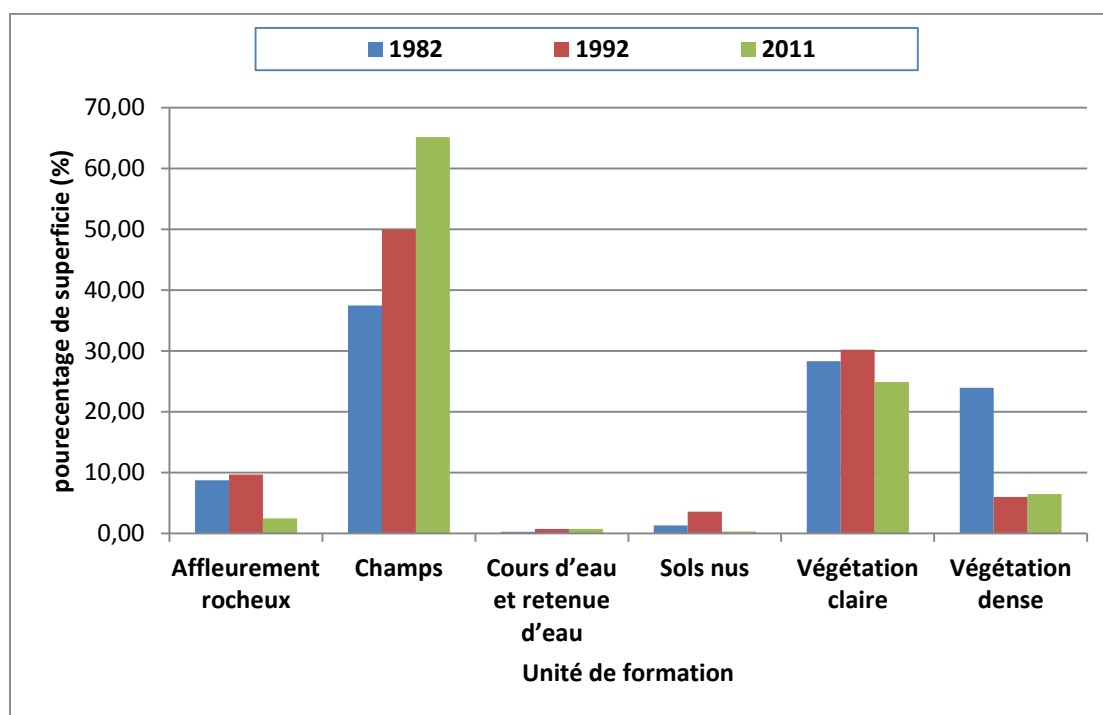


Figure 35: Evolution des superficies d'occupation des terres dans l'espace de gestion du Nakanbé

9.4.2 Evolution de l'occupation des terres dans l'espace de gestion du Nakanbé et caractérisation des effets et impacts des changements climatiques sur les ressources en eau

La surface totale de l'occupation des terres est de 60 337 km² pour les trois années 1982, 1992 et 2011 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En termes d'importance de superficie d'occupation des terres les unités de formations sont classées par ordre de grandeur comme suit les champs (30 683.37 km²), la végétation claire (16 771.67 km²), la végétation dense (7 312.84 km²), les affleurements rocheux (4 193.42 km²), les sols nus (1 045.84 km²) et les cours et retenues d'eau (329.84 km²) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

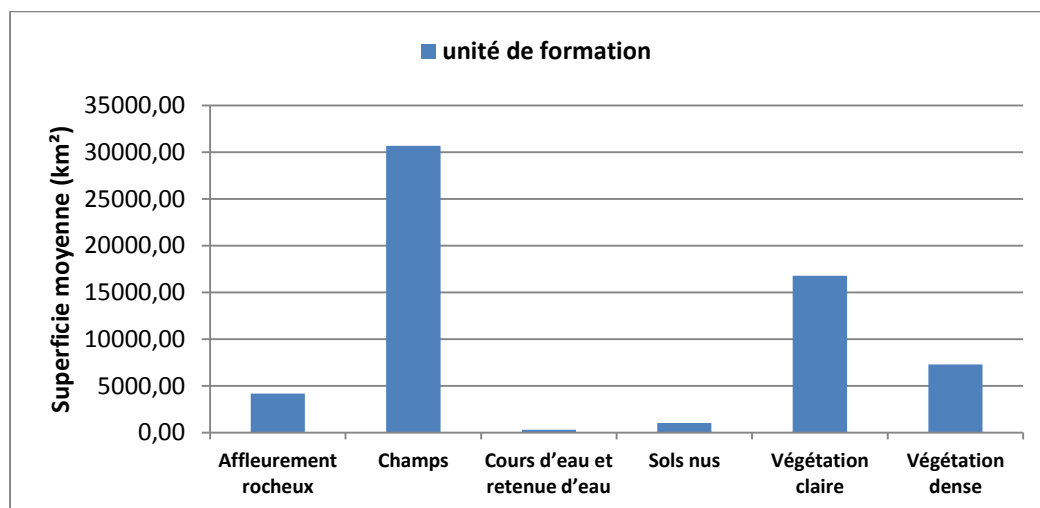


Figure 36: Evolution de la superficie moyenne de l'occupation des terres

L'évolution des unités d'occupation de terres n'est pas similaire dans le temps mais elle est spécifique à chaque unité d'occupation de terre. Les ressources eau sont issues du cycle de l'eau. Le cycle de l'eau fait intervenir plusieurs facteurs ou composantes de la nature dont les unités d'occupations des terres. L'évolution des impacts des changements climatiques et variabilités climatiques sur les ressources en eau sont liés aussi à leur évolution. Mais il faut préciser que l'action anthropique a joué un rôle primordial dans l'évolution des impacts des changements climatiques sur les ressources en eau. Les dates 1982 et 1992 sont situées dans des décennies déficitaires en termes de pluie et d'écoulement, par contre la date 2011 est située dans une décennie plus favorable en termes d'écoulement et d'abondance de pluie.

9.4.2.1 Evolution des affleurements rocheux et impact des changements climatiques sur la ressource en eau

L'examen de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que les superficies des affleurements rocheux ont évolué de 5 261.39 km² (1982), 5 822.52 km² (1992) et 1 496.36 km² (2011). Cette

formation a connu une augmentation entre les années 1982 et 1992 et une diminution entre les années 1992 et 2011. Cette évolution s'explique par le développement des carrières et des sites miniers, l'explosion des villes et le développement de l'urbanisation. La transformation de ces formations naturelles (ou formation imperméable) contribuent à modifier le ruissellement, l'infiltration de l'eau et par conséquent contribue à modifier le régime des écoulements souterrains et de surface dans l'espace de gestion du Nakanbé.

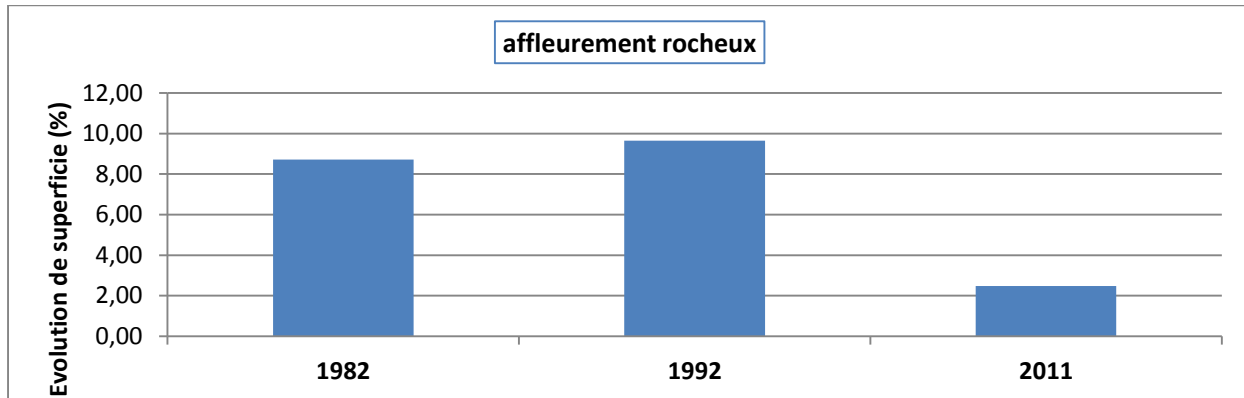


Figure 37: évolution des affleurements rocheux entre 1982, 1992 et 2011

9.4.2.2 Evolution des Champs et impact des changements climatiques sur la ressource en eau

Les superficies de champs ont évolué de 2 2608.27 km² en 1982, 3 0120.23 km² en 1992 et 3 9321.62 km² en 2011 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La superficie de cette formation augmente considérablement de 1982 à 2011. Elle devient la formation la plus importante en superficie dans l'espace de gestion du Nakanbé. En même temps que la superficie de cette formation augmente, la superficie des formations végétales diminue dans le bassin ainsi que celle des autres formations naturelles. Cette formation totalement anthropique contribue à amplifier les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau. Les champs sont constitués pour la plupart de sols nus (occupés de culture en saison pluvieuse) exposés à l'érosion hydrique et éolienne. L'action des vents et des inondations érode le sol et dépose les sédiments au niveau des retenues et cours d'eau. De même au niveau des champs les infiltrations d'eau sont réduites et le ruissellement ne fait qu'augmenter et accroître le risque de dégradation des retenues et cours d'eau. Les berges sont soumises aux pressions telles que la sédimentation, les éboulements, les glissements, etc.

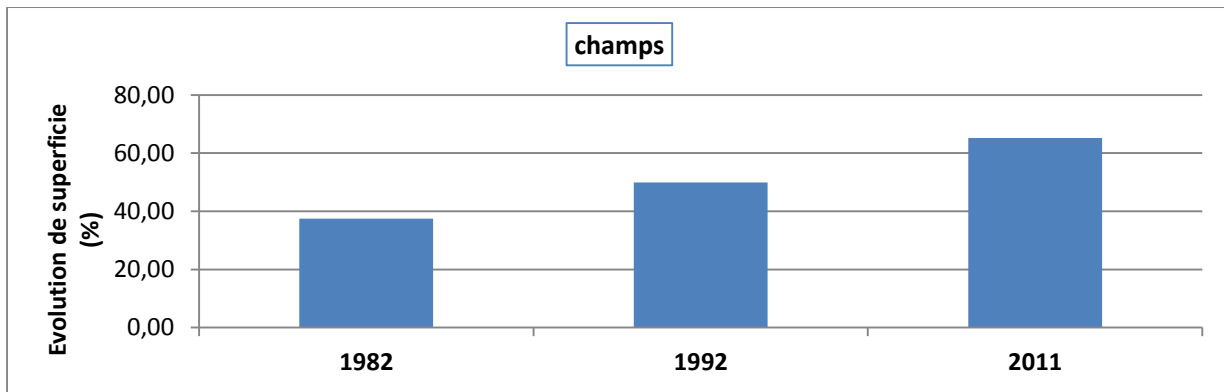


Figure 38: évolution des champs entre 1982, 1992 et 2011

9.4.2.3 Evolution des sols nus et impact des changements climatiques sur la ressource en eau

La superficie des sols nus est passée de 1.32 % en 1982, 3.56 % en 1992 et 0.32 % en 2011 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'évolution des sols nus entre 1982 et 1992 est caractérisée par plusieurs facteurs dont les déficits de pluie, la destruction du couvert végétal, etc. L'évolution de la superficie entre 1992 et 2011 est marquée par l'action anthropique dans un contexte de croissance démographique. Ce sont entre autres la récupération des terres dégradées pour l'agriculture et l'élevage, le reboisement, etc. Ces sols accélèrent le ruissellement et diminuent le phénomène d'infiltration. Face aux facteurs hydro climatiques, les conséquences comme les inondations, la sédimentation sont provoquées. Par conséquent les ressources en eau subissent alors le comblement, la dégradation des berges, la diminution de la disponibilité en eau souterraine et de surface, la modification des hydrogrammes de crue, l'imperméabilisation du bassin, etc.

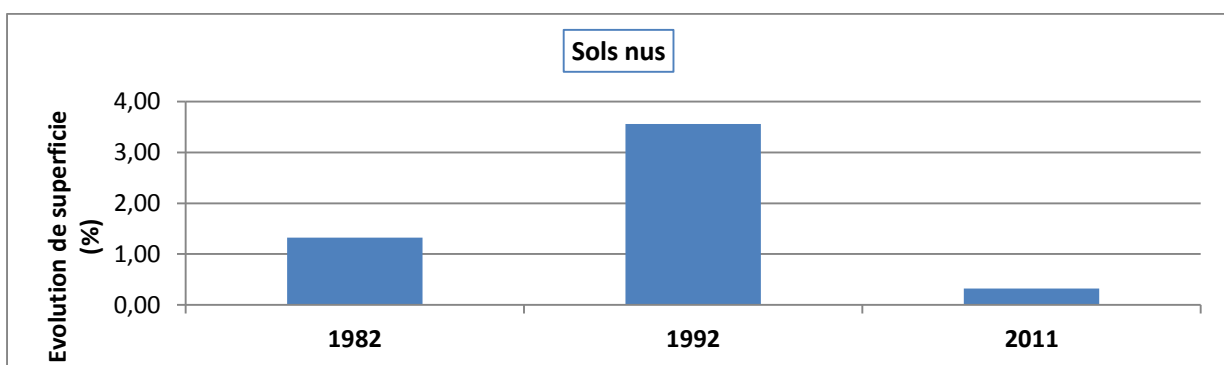


Figure 39: évolution des sols nus entre 1982, 1992 et 2011

9.4.2.4 Evolution de la végétation claire et impact des changements climatiques sur la ressource en eau

La végétation claire a connu une augmentation avec 28.32 % en 1982 et 30.20 % en 1992 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette augmentation est liée au fait que les décennies 1970 et 1980 ont été marquées par des pluies et des écoulements déficitaires dans l'espace de gestion du Nakanbé. La date 1982 est située dans une période de sécheresse et la date 1992 est située dans une période marquée par l'alternance d'années humides et sèches. La longue période sèche ayant asséchée les sols a eu une répercussion négative sur le développement de la végétation claire en 1982. L'année 1992 est marquée par un développement de végétation claire dominée par la savane herbeuse car les conditions hydro-climatiques étaient devenues plus ou moins favorables dans les sous bassin du Nazinon, de la Sissili et la partie sud du sous bassin Nakanbé. L'année 2011 marquant une diminution de l'étendue de la végétation claire s'explique par l'extension des superficies de champs et d'autres formes d'occupation de la terre en lien avec la dynamique démographique. Cette dégradation de la végétation claire dans le contexte de changement climatique accélère l'érosion éolienne et hydrique, diminue la disponibilité en eau, encroute le sol, comble les retenues d'eau et cours d'eau, dégrade les berges, modifie le régime des écoulements, rend imperméable les sols, etc.

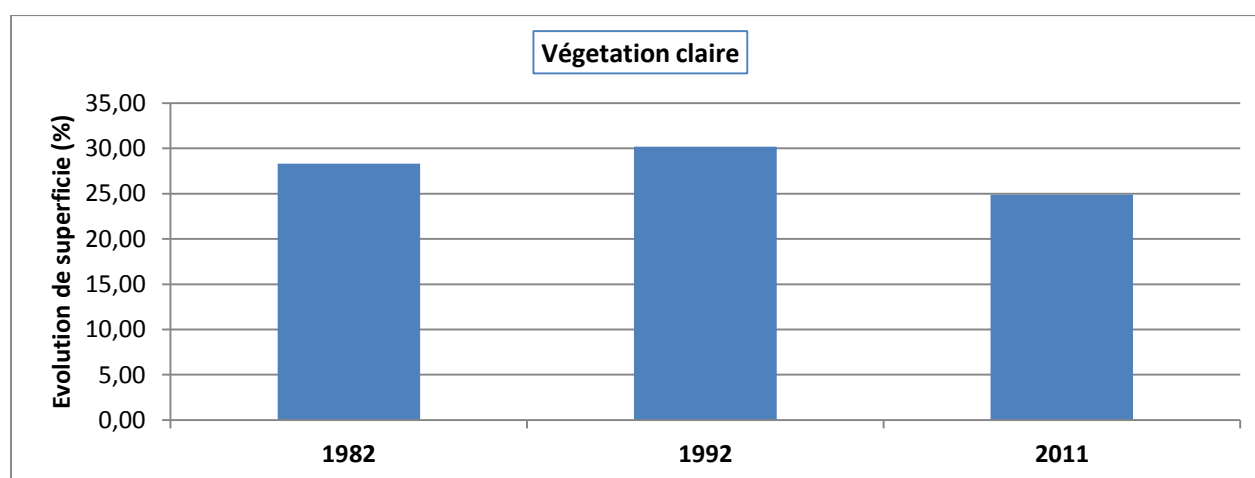


Figure 40: évolution de la végétation claire entre 1982, 1992 et 2011

9.4.2.5 Evolution de la végétation dense et impact des changements climatiques sur la ressource en eau

Cette formation a évolué de 23.93 % en 1982, 5.97 % en 1992 et 6.46 % en 2011 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette formation végétale joue un très grand rôle dans le cycle de l'eau (infiltration, ruissellement, évapotranspiration). La dégradation de cette formation se fait en faveur de l'évolution des superficies de champs et d'autres. Aussi, elle est liée aux conditions hydro-climatiques

des dernières décennies (1970, 1980) marquée par des déficits pluviométriques et hydrologiques. Cette situation de modification de l'état du bassin contribue à amplifier les impacts des changements climatiques et variabilités climatiques sur les ressources en eau. La réponse à cette dégradation est l'augmentation de la sédimentation, des ravinements, la dégradation des berges des cours et retenues d'eau, la modification des écoulements souterrains et de surface, l'imperméabilisation des sols, l'augmentation des risques de phénomène extrêmes, la dégradation des ouvrages de stockage d'eau, la diminution de l'évapotranspiration, la modification du bilan hydrique, etc.

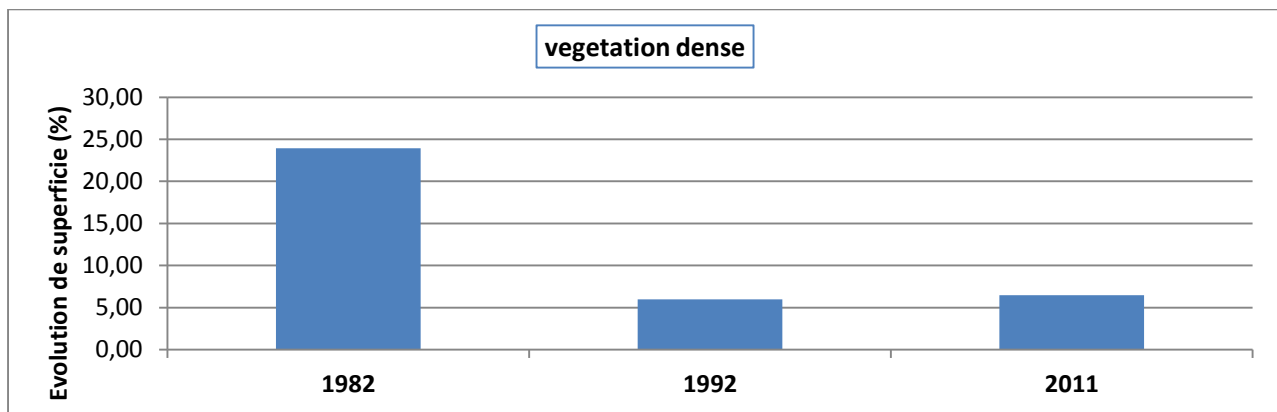


Figure 41: évolution de la végétation dense entre 1982, 1992 et 2011

9.4.2.6 Evolution des cours d'eau et retenues d'eau dans un contexte des changements climatiques

Les ressources en eau ont évolué de 0.24 % en 1982, 0.70 % en 1992 et 0.70 en 2011 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La superficie est restée constante entre 1992 et 2011. Cette évolution de la superficie semble s'expliquer par plusieurs facteurs comme l'augmentation signification des plans d'eau par la construction de 270 barrages sur le bassin au cours des 50 dernières années, essentiellement des petits barrages de moins de 100 millions de m³, destinés principalement à l'alimentation en eau des communautés rurales. Mis à part cet aspect, l'augmentation de la surface de retenues et plan d'eau est liée en partie à l'ensablement, qui réduit considérablement la profondeur des ouvrages et augmente leur surface de rétention d'eau. Aussi la largeur des cours d'eau a augmenté avec une diminution de leur profondeur suite aux nombreux facteurs évoqués plus haut. Ce qui augmente la section mouillée des cours d'eau et donne l'impression d'une augmentation de la disponibilité en eau. L'évolution de la surface des sols, de la végétation, des affleurements rocheux et des champs nus a modifié le processus de ruissellement et d'infiltration. L'impact de cet état de changement a contribué à la diminution de la recharge des nappes, l'augmentation du pouvoir ruisselant du bassin, la diminution de la capacité de stockage en eau de surface, la dégradation de la qualité des eaux et la fragilisation des écosystèmes aquatiques. Le ravinement créé dans le bassin a

contribué à la modification du réseau hydrographique de l'espace de gestion du Nakanbé, en taille, en forme et en profondeur.

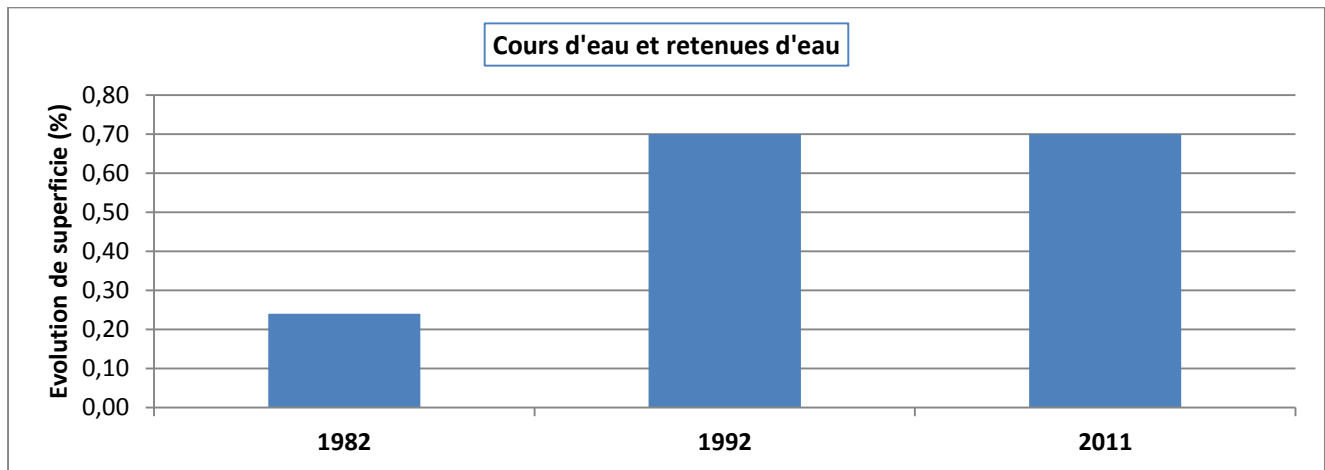


Figure 42: évolution de la superficie des cours et retenues d'eau dans l'espace de gestion du Nakanbé

9.5 DISCUSSION

L'analyse multi-chronique, sur 30 années (1982, 1992 et 2011), fait apparaître clairement la diminution des surfaces de végétations et une augmentation de la surface des champs en lien avec la forte croissance de la population dans l'espace de gestion du Nakanbé. Egalement on note pour la date 2011 une diminution de la surface de sols nus et des affleurements rocheux. Mahé et al. (2010) dans leur étude, observent également une forte diminution du couvert végétal au profit des surfaces cultivées et des sols nus entre 1972 et 2002. L'évolution de ces indicateurs montre que l'espace de gestion du Nakanbé est très anthropisé et cette anthropisation est dynamique. L'évolution des effets des changements climatiques sont clairement liés à cette évolution de l'occupation des terres qui modifie les facteurs de ruissellement, d'infiltration et d'évapotranspiration dans le bilan hydrique de l'espace de gestion du Nakanbé. De ce fait les coefficients de ruissellement augmentent dans l'espace de gestion du Nakanbé. Ils confirment les études de Mahé et al. (2010) qui montrent que les coefficients d'écoulement mensuel augmentent considérablement et de manière croissante de juin à septembre. Ils sont inférieurs à 5 % avant 1970 et dépassent parfois 10 % en septembre depuis 1980. Le coefficient d'écoulement moyen annuel indique une augmentation rapide durant les années 1970, puis une stabilisation avec des valeurs plus élevées en 1988 et 1994. Cette augmentation du pouvoir ruisselant s'accompagne d'une augmentation de l'ensablement des plans et cours d'eau, une dégradation des infrastructures, des risques d'inondations, une diminution de la capacité de rétention en eau des sols (WHC) et une diminution de la capacité de stockage des ouvrages de surface.

*****EVITER CES SIGNES DANS UNE THESS

L'étude de l'occupation des terres montre que les formations naturelles ont diminué à la faveur des formations anthropiques entre 1882 et 1992 et connaissent une légère reprise en 2011. Cette évolution se justifie par la grande pression démographique et les changements et variabilités climatiques survenus au cours des dernières décennies dans le sahel. L'ensemble des mesures d'adaptation aux changements climatiques sont à la base de la reprise des formations naturelles. Les ressources naturelles demeurent toujours menacées dans l'espace de gestion du Nakanbé par les phénomènes de changements climatiques ainsi que par l'action de l'homme. Cette étude a révélé une diminution des ressources naturelles suite à l'apparition de la sécheresse dans les années 1970 avec des conséquences drastiques sur les ressources en eau. Les effets combinés de ce phénomène naturel avec ceux de l'occupation des terres rendent les systèmes humains et naturels très vulnérables aux impacts actuels et futurs de l'évolution des changements climatiques. En vérifiant l'hypothèse de départ, on se rend compte que la première n'est pas toujours vérifiée car si les ressources naturelles ont connu une forte dégradation entre 1982 et 1992, on peut noter une certaine reprise à partir de 2011 sans doute à cause de certaines mesures de restauration des sols, des eaux et des ressources naturelles. En ce qui concerne la deuxième hypothèse, elle se vérifie aisément dans la mesure où si des facteurs naturels interviennent pour la dégradation des ressources naturelles, les facteurs les plus importants sont les facteurs anthropiques. Enfin, si tant est que des facteurs anthropiques peuvent permettre la dégradation des ressources naturelles, il n'en demeure pas moins que d'autres facteurs liés à l'homme peuvent permettre de reconstituer ces ressources naturelles ; c'est du reste ce que prouve la reprise que l'on constate en 2011.

En tout état de cause, nous sommes tenus par les faits et la nécessité de préserver et de rendre durable la ressource naturelle. En terme de préconisation, il s'agit de prendre des mesures efficaces et urgentes REVOIR STYLE au triple plan organisationnel, institutionnel et planification de la gestion des ressources naturelles du Nakanbé. Il s'agit entre autres :

- De définir une vision globale pour l'ensemble du bassin qui prenne en compte, les préoccupations et les aspirations de la base sur tous les plans et ensuite, faire une planification holistique qui intègre tous les défis pour arriver à cette vision.
- De travailler au renforcement des institutions pour qu'elles soient à même de relever les défis liés au développement du bassin à travers une mise en œuvre efficace des techniques de conservation des eaux et des sols. REOMMANDATIONS ??
- HARMONISER CARACTERES

CHAPITRE X : LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS : DEMI-LUNE, CORDONS PIERREUX, VEGETALISATION, ETC.

Harmoniser caractere ??

La rupture climatique observée au Sahel depuis les années 1970 s'est traduite par une baisse de la pluviométrie annuelle ([UNEP/GRID-ARENDAL, 2011](#)). Cette diminution des pluies a entraîné depuis une quarantaine d'années une disparition progressive de la végétation, accélérée par une forte pression anthropique sur l'environnement ([Direction Générale des Ressources en Eau, 2010](#)).

Au Burkina Faso, des études menées dans la zone sahélienne ont montré que malgré la baisse des pluies, on observe une tendance à l'augmentation des écoulements de surface dans le bassin du Nakanbé ([Karambiri et al. 2009](#) ; [Direction Générale des Ressources en Eau, 2010](#)).

Cette augmentation des débits des cours d'eau est liée à une augmentation des zones cultivées et des surfaces de sols nus au détriment des surfaces de végétation naturelle. L'augmentation de l'érosion hydrique a pour conséquence une perte de fertilité accélérée des sols, un engorgement précoce des cours d'eau, une dégradation rapide de la qualité des eaux des retenues, une augmentation des surfaces dénudées et encroûtées (appelées *Zipella* en langue nationale mooré), et des conflits sociaux et d'usages, nés de la surexploitation des ressources naturelles raréfiées. ([Karambiri et al. 2009](#)).

Il est un constat d'ordre général sur la dégradation des ressources naturelles dans le bassin du nakanbé. Elle est beaucoup plus perceptible dans les berges des cours d'eau qui sont pratiquement dénudés dans beaucoup d'endroits. L'ampleur du phénomène fait dire un certain nombre de spécialistes, à juste titre, qu'il s'agit d'une « catastrophe écologique ».

Dans ce contexte, la gestion traditionnelle des terres est-elle suffisante ? Les paysans ont donc développé de pratiques endogènes tels les cordons pierreux, les demi-lunes, le zaï, ... pour mieux gérer les ressources en eau et les terres. Nos hypothèses d'étude ici sont :

- la reforestation des berges permettrait d'améliorer la fixation des berges par la régénération de la végétation
- Les cordons pierreux et les demi-lunes sont des outils efficaces de la gestion des eaux et de la fertilité des sols dans un contexte de gestion Intégrée des Ressources en Eau
- Les demi-lunes et les cordons pierreux permettraient d'améliorer la régénération de la végétation herbacée et ligneuse.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact de l'approche participative de la reforestation des berges sur la stabilisation des berges dégradées, ainsi que l'effet des demi-lunes et

des cordons pierreux sur la biodiversité végétale des sols dégradés dans un contexte de changement climatique et de pression anthropique.

Nous allons dans un premier temps aborder la typologie de dégradations des berges, dans un second plan identifier les causes ou facteurs principaux de la dégradation des berges, ensuite un focus sera fait sur les stratégies de reforestation des berges par l'approche participative et, enfin nous terminerons par la déclinaison et l'analyse des effets et impacts de la reforestation, des demi-lunes et cordons pierreux sur les berges de l'espace de gestion du Nakanbé ainsi que sur les sols dégradés.

10.1 LA TYPOLOGIE DE DÉGRADATION DES BERGES DU NAKANBE A L'ÉPREUVE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DES PRATIQUES ANTHROPIQUES

Le processus de la dégradation des berges au niveau des barrages et des lacs est très similaire à celui des cours d'eau ; Comme dans le cas des cours d'eau, la végétation riveraine joue un rôle central dans le fonctionnement de l'écosystème des berges. En ce qui concerne la dégradation, les facteurs importants qui influencent négativement le fonctionnement normal sont principalement la pression agricole, sylvicole et pastorale et la forte érosion hydrique des versants. Pour la dynamique de la dégradation des berges, des barrages et des lacs, Il faut noter que l'importance de l'érosion hydrique est fortement tributaire de la nature du sol (cas des sols sableux et du relief du bassin versant ; en effet lorsque le bassin comporte d'importantes élévations (buttes, collines), avec de fortes pentes, le transport des sédiments devient important et accélère ainsi le comblement des barrages. Le cas le plus marqué se rencontre dans la région du centre nord avec le barrage de Louda, qui souffre à la fois de comblement rapide et d'inondation des casiers rizicoles dans la partie aval, dû à d'autres affluents du bassin.

Les berges qu'elles soient de cours d'eau ou de retenues d'eau, subissent les effets négatifs conjugués du climat et de l'homme. Chaque effet crée une dégradation spécifique reconnaissable sur le terrain et souvent dans les images satellites.

Les observations réalisées sur un total de 135 points ont permis de faire la description d'une variété de dégradation; cette diversité de dégradation confirme largement le constat général souvent décrit par les documents officiels sur l'état des berges de l'espace de gestion du Nakanbé.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** donne une synthèse des types de dégradation des berges rencontrés sur le terrain.

Tableau 37: types de dégradation des berges rencontrés sur le terrain

Types de dégradation	Exemple de manifestations
Les types de dégradation des berges des cours d'eau	
Dégradation des sols	- Plages de sols dénudés qui bordent les cours d'eau surtout

des berges et des versants	dans les zones centre et nord du bassin. Ces formes sont surtout présentes dans la zone centre et nord (sites de Ziga Nord, Korsimoro, Yilou, Mané, Bourzanga sud, Titao Sud)
Modification de la morphologie du cours d'eau	<ul style="list-style-type: none"> - La section normale du cours en forme de U, prend d'autres formes en V ou U étalés. - Elargissement et approfondissement des cours d'eau dus à l'érosion intense ; cette forme est surtout présente dans la zone de Korsimoro - La déviation du cours d'eau initial due à l'ensablement ou à la présence d'un obstacle artificiel.
Sédimentation	<ul style="list-style-type: none"> - Le comblement du lit par les dépôts sableux, argileux et même caillouteux - les embâcles ou dépôts solides (troncs d'arbres, boites métalliques, etc..) qui comblent le cours d'eau et freinent l'écoulement normal de l'eau
destruction de la végétation	<ul style="list-style-type: none"> - Forte pression agricole sur les berges et des versants et par l'agriculture et la sylviculture ; cette forme est très dominante dans les sites de la zone sud (sites de Béguédo, Bazéga)
Glissement de la berge	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction de la berge, déstabilisation interne, élargissement de la berge et modification de l'écoulement. ces types de dégradations se rencontrent presque sur tous les sites visités.
Glissement du talus	<ul style="list-style-type: none"> - Cette dégradation sous plusieurs facteurs entraîne l'élargissement de la section du cours d'eau, modifie la morphologie du cours d'eau, affaiblie la stabilité de la berge
Ravinement	<ul style="list-style-type: none"> - Modification de la morphologie du cours d'eau, joue sur le régime de l'eau, contribue à la destruction de l'amont des cours d'eau, accélération de l'ensablement, destruction de la végétation,
présence de tranchée d'amenée d'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Déstabilisation de la berge ; comblement des plans d'eau, modification de la morphologie des cours d'eau, perturbation des écoulements

Source : données de l'étude

Huit types de dégradations sont entrevus sur les berges par notre investigation terrain et les analyses d'images. Ces dégradations se manifestent différemment et leurs conséquences sont énormes sur les écosystèmes aquatiques et sur l'homme.

- Dégradation des sols des berges et des versants

Cette dégradation est rencontrée dans 100 % des sites d'investigations (Photo 3). Elle se propage vers les sols du lit majeur et conduit à l'apparition de Zipéllé défini simplement comme une aire de champ ou de brousse éclaircie, autrement dit sans ou avec très peu de végétation notamment herbacée (Zombré, 2003). L'extension du Zipéllé va du mètre carré à plusieurs centaines d'hectares, les ligneux étant disséminés voire absents, sa productivité est faible à nulle (Photo 3).

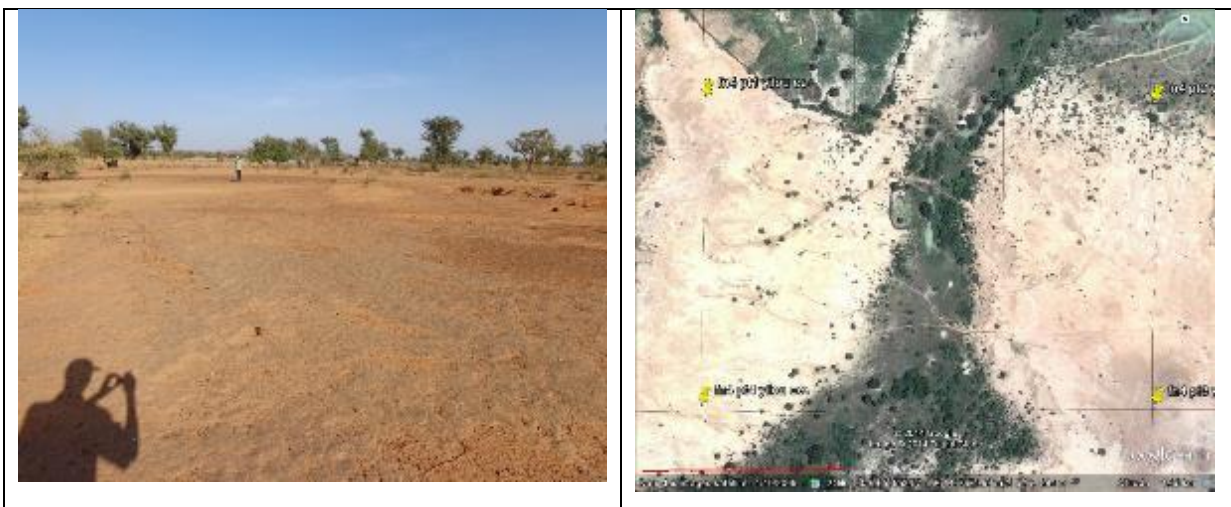


Photo 3 : terres dégradées au centre nord

Ce type de dégradation entraîne d'énormes conséquences écologiques telles que la disparition des espèces végétales, le comblement des plans d'eau et cours d'eau et l'abandon des terres pour les pratiques agro-sylvo-pastorales.

- Modification de la morphologie du cours d'eau

Identifié sur 60% des cours d'eau visités, ce type de pathologie des berges est marqué par plusieurs facettes comme l'élargissement, l'augmentation ou la diminution de la profondeur du cours d'eau et le changement de la position de la section du cours d'eau. Elle affecte considérablement le régime du cours d'eau, modifie les caractéristiques de la section d'un cours d'eau et constitue une source de destruction ou de fragilisation de l'écosystème aquatique (Photo 4). Sur les 60% de cours d'eau affectés par cette pathologie, la végétation naturelle a été détruite ou fragilisée sur les berges. Elle entraîne des débordements d'écoulements d'eau et expose les populations riveraines au phénomène d'inondations.



Photo 4 : elargissement des berges de cours d'eau

- la sédimentation

Elle marque une problématique avérée sur toute l'étendue de l'espace de gestion du Nakanbé et s'est manifestée sur 100 % des sites de cours et plans d'eau visités. Sur tous les sites de l'étude, ce problème ressort avec acuité. Se manifestant par un comblement des plans et cours d'eau (Photo 5), elle est à la base de la modification du régime de l'eau, la diminution de la quantité d'eau mobilisée, la dégradation de la qualité de l'eau, la dégradation des sols, la baisse des rendements de production, etc. Elle modifie les profils transversal et longitudinal des cours d'eau et déstabilise fortement les berges.



Photo 5 : sédimentation de cours d'eau

- la destruction de la végétation

La végétation constitue la protection naturelle des berges. Sous les effets combinés de plusieurs facteurs, 100 % de la végétation des berges visitées connaissent une dégradation moindre, moyenne ou élevée. Plusieurs sites visités ne possèdent plus de forêts galeries. Cette dégradation de la couverture végétale expose les berges à plusieurs facteurs de dégradations, déstabilise la structure interne des berges et de ses talus. Elle entraîne la perte des caractéristiques intrinsèques des berges telles que la fertilité.

- le glissement de la berge

Cette dégradation, rencontrée dans 85 % des berges visitées, se manifeste par la perte de terres, la modification de la morphologie du cours d'eau, la destruction du couvert végétal et le comblement du lit mineur. La berge devient très instable et présente des dangers pour les riverains. Le glissement de berge constitue le point de départ pour d'autres types de dégradation de la berge.

- le glissement du talus

A l'image du glissement de berges, le glissement de talus est moins inquiétant que celui de la berge (Photo 6). 100 % des sites visités connaissent ce problème. Cette dégradation engendre également d'énormes conséquences sur le plan économique, environnemental et social. Ce type de dégradation déstabilise les berges, comble les plans et cours d'eau, détruit la végétation, engage d'autres formes de dégradations, etc.



Photo 6 : eboulement des talus de berges

- Le ravinement

Cette forme de dégradation est très manifeste dans l'espace de gestion du Nakanbé (Photo 7). Il est rencontré sur 95 % de sites visités. Il contribue fortement au comblement de cours et plan d'eau, à la dégradation des sols, à la modification des régimes d'écoulement, au façonnement artificiel du cours d'eau en l'élargissant, à la destruction des champs, des ouvrages hydrauliques et de génie civil, de la végétation, etc. De toutes les formes de dégradation, elle est classée parmi les plus désastreuses.



Photo 7 : Ravinement des terres amonts de retenues d'eau

- la présence de tranchée d'amenée d'eau

Rencontrée sur 90 % des barrages visités et très peu sur les cours d'eau, ce type de dégradation des berges constitue une forme de pratique agricole (Photo 8). Elle se repand sur plusieurs sites maraîchers à cause du manque de moyens financiers et de la facilité qu'elle offre aux producteurs. Source de comblement et de dégradation des berges, elle cause des dommages environnementaux et économiques graves.



Photo 8 : tranchée sur les berges du barrage de Ziga

10.2 LES CAUSES OU FACTEURS PRINCIPAUX DE LA DEGRADATION DES BERGES

Dans l'espace de gestion du Nakanbé les principaux facteurs de dégradation des berges sont de deux types : naturels et anthropiques. Les facteurs naturels sont les phénomènes climatiques et l'hydrologie. Il s'agit entre autres du vent, de l'insolation, de la pluie, des inondations, des sécheresses, du ruissellement. Les facteurs anthropiques sont principalement les mauvaises pratiques agro-sylvo-pastorales, minière, etc.. Ils regroupent la coupe abusive du bois, la réalisation de tranchée, le piétinement des animaux, le surpâturage des animaux, l'exploitation anarchique des berges en agriculture, les techniques et équipements inadéquats, le manque de mesure.

L'évolution et la dégradation des unités agronomiques sont essentiellement tributaires de l'intensité des processus morpho dynamiques, des régimes hydrologiques d'inondation et de l'érosion éolienne.

❖ Processus morpho dynamiques :

Les deux principaux processus sont les suivants :

○ Incisions vives

Elles provoquent de fortes entailles et le décapage du sol. On les rencontre localement le long du fleuve Nakanbé et ses principaux affluents. Compte tenu des effets de dégradation qu'elles engendrent, des efforts doivent être portés sur la stabilisation des berges de ces cours d'eau.

- Ruissellement diffus

Le ruissellement diffus peut se subdiviser en trois types selon le degré de généralisation et de concentration.

- ✓ Ruissellement diffus non généralisé

Il a une faible incidence sur la potentialité du sol. Réduit en raison de la couverture graminéenne il provoque un glaçage localisé des sols.

- ✓ Ruissellement diffus généralisé

Ce type de ruissellement entraîne une dégradation des couches supérieures et induit une baisse importante de la potentialité des sols. Les unités 2 et 4 en sont affectées. La compétence de l'eau est suffisante pour entraîner la majorité des éléments. Des amorces de ruissellements concentrés apparaissent créant des micros marches en escaliers.

- ❖ Ruissellement concentré

Il se manifeste sur les pentes fortes où les sols ont une faible épaisseur. Ce type de ruissellement affecte l'unité 5. L'amélioration de leur potentialité et leur mise en valeur est extrêmement difficile.

- ❖ Régime hydrologique d'inondation

Deux types de régimes hydrologiques d'inondation sont considérés : le régime hydrologique d'inondation durant les fortes averses et le régime hydrologique d'inondation durant la saison des pluies.

- le régime hydrologique d'inondation durant les fortes averses. Pendant les fortes averses, les eaux de ruissellement empruntent les drains naturels et se concentrent dans les lits. L'écoulement se faisant plus ou moins rapidement par suite du développement d'une strate herbacée très dense, freine le processus d'érosion. L'incidence sur la potentialité des sols est faible. Cependant, la destruction du couvert végétal pour la mise en culture entraîne l'accélération du ruissellement et provoque une incision des sols.
- le régime hydrologique d'inondation durant la saison des pluies. Il intéresse les grands bas-fonds comme ceux du lac Bam et de Gomponson au Nord, des barrages de Loumbila et de Ziga au centre et de la cuvette de Bagré au Sud. La texture fine caractéristique rend le drainage interne et externe très réduit. Les effets sur la potentialité des sols sont faibles.

- ❖ Erosion éolienne

L'érosion éolienne agit de manière intense dans les zones situées au nord et à l'extrême nord du Bassin en raison de la forte réduction du couvert végétal due aux pressions anthropiques. Elle se manifeste par détachement et le transport des particules créant ainsi des plages dénudées et des microreliefs de sable autour de la végétation. Les placages de sable (jupes de sable) se forment autour des piedmonts des butes cuirassées.

10.3 LES STRATEGIES DE REFORESTATION DES BERGES PAR L'APPROCHE PARTICIPATIVE

Les stratégies de reforestations des berges constituent des actes de protection et de restauration de l'environnement. La base juridique de cette protection et restauration de l'environnement est régie par la loi N°006-2013/AN portant code de l'environnement au Burkina Faso.

La protection de l'environnement dans le contexte du changement climatique constitue une priorité du gouvernement Burkinabé qui accompagne fortement l'exécution du code l'environnement.

Les stratégies participatives de reforestation développées dans l'espace de gestion du Nakanbé sont diversifiées, variées et prospères.. Les acteurs sont regroupés en catégorie d'acteurs à savoir les représentants de l'Etat, les représentants des collectivités territoriales et ceux des usagers.

Plusieurs approches ont fait leur preuve dans le cadre de la mise en œuvre de la GIRE pour la protection et la restauration des berges. Il s'agit de celles développées par le Projet d'Amélioration de la Gouvernance de l'Eau du bassin de la Volta (PAGEV), les Comités Locaux de l'Eau (CLE), le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), le Gouvernement, l'assemblée nationale, les collectivités territoriales, les Associations et ONG etc.

De toutes ces approches, nous allons nous intéresser à celle du PAGEV dans le Bassin du Nakanbé et qui fait école dans la sous region.

10.3.1 L'approche du PAGEV

Le PAGEV a eu pour objectif d'améliorer la gouvernance de l'eau dans le Bassin de la Volta à travers un consensus autour des principes fondamentaux de la gestion de l'eau, et l'instauration de mécanismes de coordination. Il a eu pour objectif global d'aider le Burkina Faso et le Ghana à définir ensemble des principes fondamentaux de la gestion de l'eau et, à créer un cadre de collaboration pour la gestion de leurs ressources communes en eau.

Sa zone pilote prend en compte les communautés vivant près du Nakanbé (ou Volta Blanche) dans les Départements de Zabré et Bittou dans la Province du Boulgou. Il s'agit des villages de Béléyerla, Zékézé, Sampéma et de Mogr-noré.

Dans sa sous composante 2 portant restauration des berges et appui à la réhabilitation des petits réservoirs, le PAGEV a prévu des opérations de reboisement tout au long des bandes de berges du Nakanbé avec l'intervention des communautés de la zone du projet.

Cette sous-composante vise la protection des terres et des ressources en eau du Nakanbé pour un développement durable par :

- un appui aux communautés des deux pays à gérer leurs ressources en eau de manière durable ;
- la lutte contre l'érosion des sols, le long du fleuve pour restaurer les sols et maintenir le couvert végétal et aussi réduire l'ensablement du lit du fleuve ;
- une amélioration de la production agricole dans les plaines irriguées près du petit village de Sakom tout en assurant un fonctionnement durable de l'écosystème ;
- un soutien aux initiatives locales génératrices de revenus pour garantir la sécurité alimentaire et réduire la pauvreté ;
- une protection des forêts existantes à travers la création de bosquets comme source d'énergie alternative au bois de chauffe pour les communautés rurales.

10.3.2 Identification des acteurs locaux

- Les villages de Sampéma, Zékézé, Béléyerla et Mogr-noré Villages et 4 communautés dans le sous bassin ciblé pour les interventions pilotes au Burkina Faso ;
- L'ONG locale BISSACOUPOU au Burkina Faso.

10.3.3 Signature des accords de coopération avec des ONG pour soutenir la mise en œuvre des activités sur de terrain

Un accord de coopération a été signé avec l'ONG BISSAKOUPOU pour suivre et appuyer techniquement les communautés locales.

10.3.4 Identifications des problèmes et des besoins des acteurs

A travers les discussions tenues avec les communautés, les populations ont elles-mêmes identifié le besoin de mettre en place des mécanismes pour lutter contre l'ensablement du Nakanbé parce qu'elle devenait de moins en moins profonde, d'année en année. Elles ont attribué cela à la pratique de l'agriculture sur les berges du fleuve et aux feux de brousse entraînant une déforestation massive. Ces consultations ont conduit à la formulation d'un document de base 2.1.4) dans lequel il a été suggéré la création de zones tampons sur les berges du fleuve et le reboisement de ces zones pour résoudre les problèmes identifiés.

Les interventions de cette composante ont permis d'établir des liens entre la gouvernance de l'eau et les moyens de subsistance, dont les activités génératrices de revenus, l'approvisionnement en eau potable et l'éducation à l'hygiène dans les interventions pilotes.

10.3.5 Formation des communautés

Des sessions de formations ont été réalisées en faveur des producteurs dans le cadre de la réalisation de reboisement, de pépinières.

Afin de permettre aux communautés de disposer d'arbres fruitiers, certaines personnes ont été formées à la production de plants de manguiers greffés qui seront vendus pendant la saison hivernale suivante permettant ainsi aux communautés de se faire des revenus pour elles-mêmes et pour le comité local.

10.3.6 Réalisation de pépinières et plantations d'arbres

Entre Décembre 2005 et Janvier 2006, les communautés ont reçu un soutien des ONG et du personnel des Services de l'Environnement et des Eaux et Forêts pour mettre en place huit (8) sites de pépinières communautaires. Près de 55 pépiniéristes ont été formés et ont reçu des semences et du matériel pour la production de plants et la gestion des pépinières. Des arbres à croissance rapide (acacias) ont été plantés également, pour la protection des berges et en même temps pour assurer l'approvisionnement en bois de chauffe que les femmes pourraient vendre et augmenter ainsi les revenus des ménages.

Entre Juillet et Août 2006, 27 000 plants au total (dont *Acacias albida*) et environ 7 000 arbres fruitiers (manguiers greffés et goyaviers) ont été plantés sur les berges du fleuve. Les agriculteurs ont été formés sur la gestion et la protection des plants.

10.3.7 Suivi entretien du reboisement

Des comités de gestion de berges ont été émis en place au niveau de chaque village pour assurer le suivi, la surveillance des plants mis en terre. Ces comités regroupent les communautés locales qui trouvent un intérêt dans la protection des berges.

10.3.8 Berges du fleuve de la zone pilote reboisée avec des arbres fruitiers et des bosquets

Près de 16 km de berge ont été reboisés par 129 occupants du côté du Burkina Faso. Les besoins en moyens de subsistance des communautés ont été intégrés dans les activités de protection des berges du fleuve.

Tout en focalisant les interventions pilotes sur la conservation des sols et l'eau, des efforts considérables ont été consentis pour prendre en compte les questions des moyens de subsistance dans les actions communautaires.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente le schéma simplifié de l'approche de reforestation conduite par le PAGEV.

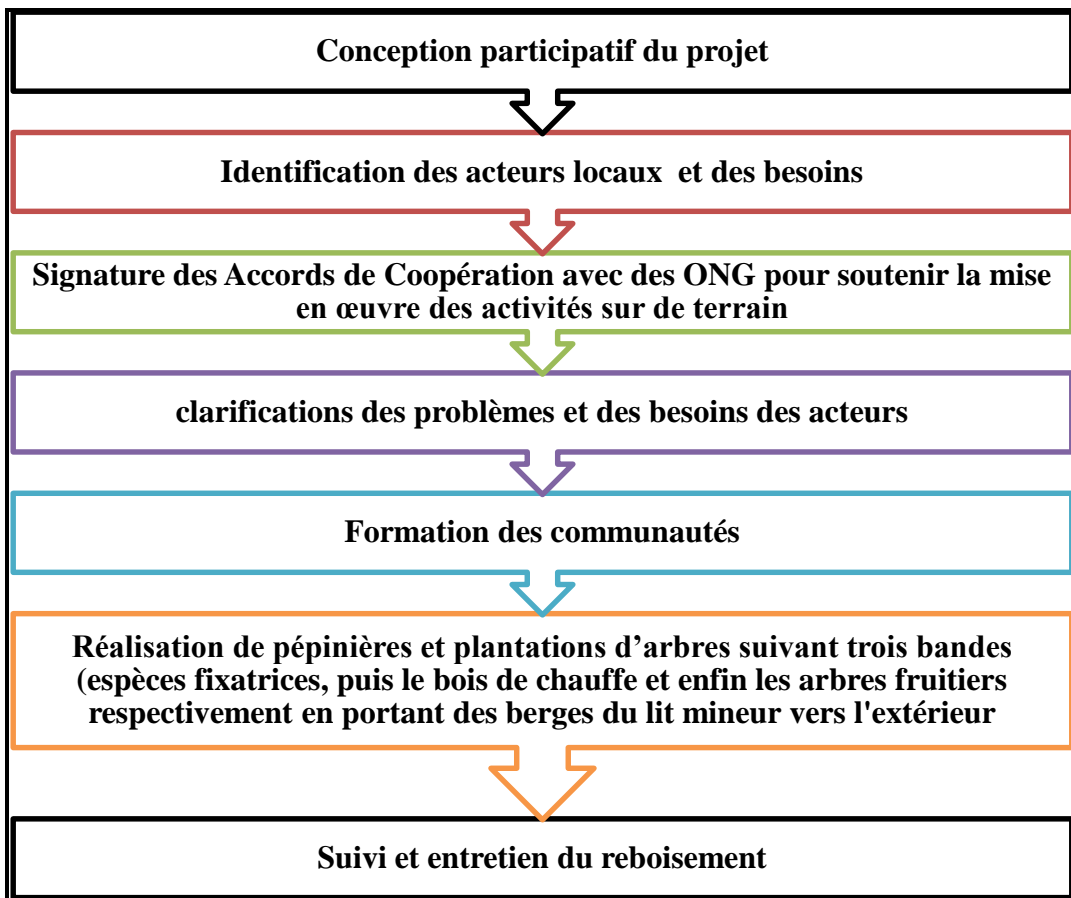


Figure 43: Schéma simplifié de l'approche de reforestation par le PAGEV

10.4 LES EFFETS ET IMPACTS DE LA REFORESTATION SUR LES BERGES DE L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE

10.4.1 Densité ligneuse des berges reboisées

L'analyse des résultats de le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que :

- En haute et moyenne pente le nombre de plants présente une croissance non significative avec l'âge du reboisement.
- En bas de pente, la berge reboisée de 4 ans a l'effectif de ligneux significativement le plus élevé (0,075 individus/m²).

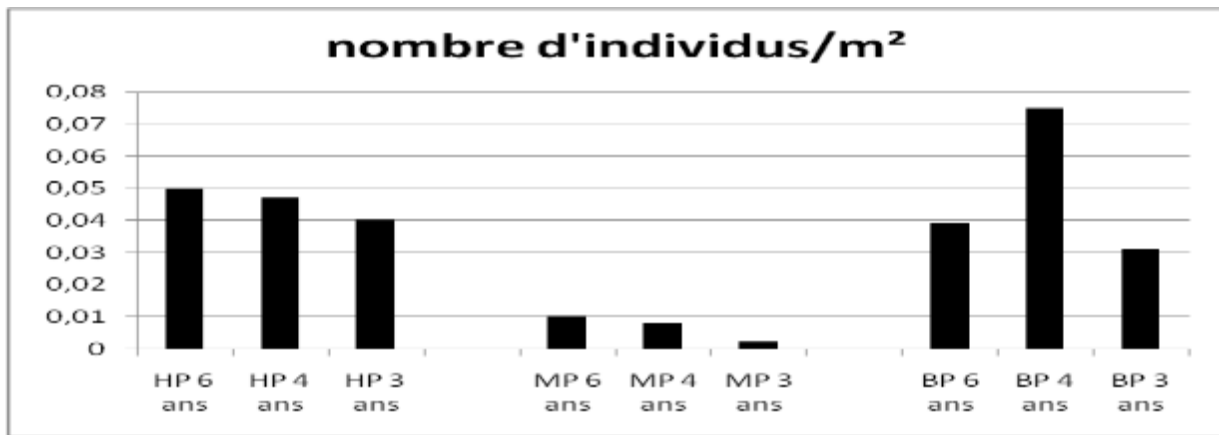


Figure 44: effectif des espèces ligneuses selon l'âge des berges reboisées

HP = haut de pente ; MP = moyenne pente et BP = bas de pente

Richesse et contribution spécifique des espèces ligneuses des berges reboisées **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que :

- Les berges reboisées de 3 ans possèdent le plus d'espèces au nombre de six (6) avec significativement plus de *Sarcocephalus latifolia* (22 plants) suivie de *Senna siamea* (12 plants) et de *Mimosa pigra* (10 plants). Les berges reboisées de 4 ans comptent 5 espèces avec un effectif significatif de *Mimosa pigra* (49 plants) et de *Sarcocephalus latifolia* (29 plants). Les berges de 6 ans comptent 4 espèces avec *Sarcocephalus latifolia* (26 plants) qui significativement est plus important suivie de *Azadirachta indica* et de *Mimosa pigra* (15 plants chacune). *Senna siamea*, *Ficus gnaphalocarpa* et *Eucalyptus camaldulensis* ne sont présents que dans les berges reboisées de 3 ans alors que *Vitellaria paradoxa* est uniquement présent dans les berges de 4 ans.
- L'analyse de la répartition montre que *Sarcocephalus latifolia* est l'espèce dominante suivie de *Mimosa pigra* et de *Azadirachta indica*.

Tableau 38: Fréquence des espèces ligneuses selon l'âge des berges reboisées

	berge 6 ans	berge 4 ans	berge 3 ans	Probabilité
<i>Eucalyptus c.</i>	0	0	0,67	0.079
<i>Ficus g.</i>	0	0	0,33	0.42
<i>Manguifera I.</i>	9a	6b	0c	<.001
<i>Mimosa pigra</i>	15b	49a	10b	<.001
<i>Sarcocephalus l.</i>	26a	29a	22b	0.007
<i>Senna siamea</i>	0b	0b	12a	<.001
<i>Azadirachta i.</i>	15a	13,67b	1c	<.001
<i>Vitellaria p.</i>	0	0,33	0	0.422

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ;

les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

Eucalyptus c. : *Eucalyptus camaldulensis*; *Ficus g.* : *Ficus gnaphalocarpa*; *Manguifera I.* ; *Sarcocephalus l.* : *Sarcocephalus latifolia*; *Azadirachta i.* : *Azadirachta indica*; *Vitellaria p.* : *Vitellaria paradoxa*.

10.4.2 Répartition des ligneux selon la hauteur et la circonférence

L'analyse de la Tableau 69 montre que les différences sont significatives pour les différents paramètres.

Les berges reboisées de 4 ans possèdent les plants dont la circonférence et la hauteur sont les plus importants. Les plants des berges reboisées de 6 ans et celles de 3 ans ne présentent pas de différence significative entre elles malgré les dimensions des plants plus élevés au niveau des berges reboisées de 6 ans.

Tableau 39: Hauteur de la circonférence des ligneux selon l'âge des berges reboisées

	berges 6 ans	berges 4 ans	berges 3 ans	Probabilité
circonférence (cm)	21,67ab	33,33a	15,67b	0.030
hauteur (m)	13b	20a	9,47b	0.002

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

10.4.3 Paramètres chimiques

Les résultats (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) montrent une différence significative au niveau des éléments fins et grossiers.

En bas de pente, les teneurs en limon présentent une augmentation significative et passent de 24,84% (berges reboisées de 3 ans) à 37,25% (berges reboisées de 6 ans). En haut de pente, les teneurs en limon baissent, passant de 43,79% (berges reboisées de 3 ans) à 37,90% (berges reboisées de 6 ans). Toutefois, en haut de pente, la différence n'est pas significative entre les berges reboisées de 6 ans et celle de 4 ans. En moyennes pentes on n'observe pas de différences significatives. Les bas de pente sont moins limoneux que les hautes et moyennes pentes.

Les teneurs en sables baissent du bas de pente au haut de pente, sans toutefois présenter des différences significatives, hormis les bas de pentes reboisées de 4 et 3 ans. En bas de pentes les teneurs en sable baissent avec le temps et passent de 63,40% (berges reboisées de 3 ans) à 49,02% (berges reboisées de 6 ans). En hautes et moyennes pentes les teneurs en sable ne présentent pas de différences significatives.

Les teneurs en argile augmentent de façon significative avec l'âge de l'aménagement. Cette augmentation s'observe aussi des bas de pente aux hautes et moyennes pentes.

Tableau 40: Composition granulométrique des sols des berges reboisées

	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)
HP 6 ans	17.00a	37.90c	45.10c
MP 6 ans	17.00a	37.90c	45.10c
BP 6 ans	13.73c	37.25c	49.02c
HP 4 ans	14.38bc	38.56b	47.06c
MP 4 ans	15.04bc	38.56b	46.41c
BP 4 ans	12.42cd	31.37d	56.21b
HP 3 ans	12.42cd	43.79a	43.79c
MP 3 ans	15.69b	33.98d	50.33b
BP 3 ans	11.76d	24.84e	63.40a
Probabilité	<.001	<.001	<.001

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

HP = haut de pente ; MP = moyenne pente et BP = bas de pente

L'analyse statistique des paramètres chimiques (tableau 71) montre des différences significatives entre les teneurs des éléments chimiques.

Entre les hauts de pente des berges reboisées de 3 ans et celles de 6 ans, les taux d'azote connaissent une augmentation passant de 0,0283 méq/100g à 0,045 méq/100g. Les taux de carbone y croissent de 0,343 mg/g à 0,575 mg/g. Le rapport C/N y passent de 12 à 13. Quant aux teneurs en potassium disponible, ils y augmentent de 54,12 méq/100g à 68,88 méq/100g. En moyenne et basse pente leurs évolutions ne sont ni fonction du temps ni de la topographie.

Les valeurs du pH eau ne présentent pas de différences significatives, hormis pour les haut de pente de 4 ans (6,607) et celles de 3 ans (6,587). Le pH eau présente une tendance à la baisse en haut de pente. En moyenne pente le pH eau présente une augmentation non significative.

En hautes et basses pentes les taux de phosphore assimilables sont significativement plus faibles dans les berges reboisées de 3 ans et plus élevés dans celles de 4 ans.

Les moyennes pentes possèdent les valeurs les plus élevées, alors que les bas de pentes possèdent les moins importantes.

Tableau 41: Caractéristiques chimiques des sols des berges reboisées

	Carbone total (g/kg)	Azote total (g/kg)	C/N	Matière organique totale (g/kg)	pH eau	Phosphore assimilable (méq/100g)	Potassium disponible (méq/100g)
HP 6 ans	0.575a	0.045a	13.00a	0.992a	6.20b	10.867b	68.88b
MP 6 ans	0.575a	0.045a	13.00a	0.992a	6.20b	10.867b	68.88b
BP 6 ans	0.337c	0.028cd	12.33bc	0.581c	6.13b	7.473c	53.79bc
HP 4 ans	0.405c	0.033c	12.33bc	0.698c	6.61a	12.323a	59.37bc
MP 4 ans	0.450c	0.035bc	12.67b	0.776c	6.12b	10.093b	84.62a
BP 4 ans	0.359c	0.028c	12.67b	0.618c	6.03c	8.637c	43.62c
HP 3 ans	0.343c	0.028c	12.00c	0.592c	6.59b	4.620d	54.12bc
MP 3 ans	0.567b	0.044b	13.00a	0.978b	6.09b	11.253b	84.95a
BP 3 ans	0.204d	0.019d	11.00d	0.352d	6.22b	5.710cd	53.46bc
Probabilité	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

HP = haut de pente ; MP = moyenne pente et BP = bas de pente

10.5 TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS DANS LE CONTEXTE DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU

Au nombre de techniques de conservation des eaux et des sols, on peut citer l'aménagement des cordons pierreux, la réalisation des demi-lunes, le zaï, le reboisement, la Régénération Naturelle Assistée (RNA), les bandes enherbées et des diguettes en terres ou filtrantes. Ces pratiques sont développées selon les zones climatiques et en fonction du niveau de revenus des producteurs. Nous nous sommes intéressés à un certain nombre de techniques qui sont plus observées sur l'espace de gestion du Nakanbé.

10.5.1 Régénération Naturelle Assistée (RNA)

La RNA est la protection et l'entretien de la régénération naturelle des arbres. Elle est utilisée par les paysans afin de résoudre de façon durable le problème de dégradation des ressources naturelles à laquelle ils font face.

C'est la pratique qui a permis dans certaines zones du Niger, l'apparition des poches de reverdissement. Elle est beaucoup pratiquée par les paysans qui voient en elle une pratique très

bénéfique car elle permet non seulement la réhabilitation des sols, mais aussi procure des fruits et des biens et services.

10.5.2 Les diguettes antiérosives

Il s'agit des mesures physiques de conservation des eaux et des sols telles que les diguettes en terre et les cordons pierreux ; construites en suivant les courbes de niveau. Ce sont des ouvrages mécaniques isohyètes qui jouent le rôle d'obstacle au ruissellement.

10.5.3 Le zaï

Le zaï est une méthode de culture en poquets réalisée manuellement à l'aide de pioche sur les zippellé (Roose et al., 1993). Il consiste à préparer la terre en saison sèche, en creusant des cuvettes et en rejetant la terre en croissant vers l'aval, en vue de capter les eaux de ruissellement. Le zaï permet donc de concentrer localement l'eau enrichie par le ruissellement et les nutriments transformés par les termites. Dès les premières pluies, le paysan y applique de la matière organique à raison de 300 à 600 g (environ deux poignées) par trou que l'on recouvre d'une fine couche de terre (5cm). Les termites, attirées par les matières organiques, creusent des galeries au fond des cuvettes qu'ils transforment en entonnoirs. Les eaux de ruissellement s'y engouffrent et créent des poches d'humidité en profondeur à l'abri de l'évaporation rapide (Roose et al., 1976 ; Roose, 1989). De plus, cette meilleure gestion des eaux de surface pourrait aussi améliorer la recharge des nappes d'eau souterraines (Barro et al., 2005).

10.5.4 Les reboisements

Elles sont limitées par le manque d'entretien de suivi de la zone reboisée, de la profondeur du sol et la concurrence pour l'agriculture. Les populations procèdent collectivement à la mise en place régulière de cordons pierreux surtout dans les champs. Individuellement, chaque paysan pratique la technique du zaï. En plus des cordons pierreux et du zaï, certains paysans pratiquent la technique des demi-lunes.

10.5.5 TECHNIQUES AYANT FAIT L'OBJET D'ETUDE

10.5.5.1 Les demi-lunes

La pratique des demi-lunes, née dans la région de Tahoua au Niger (Reij et al.1996), a été introduite au Nord du Burkina Faso. Comme la technique de zaï, la méthode d'implantation des demi-lunes permet de collecter l'eau de pluie et d'augmenter l'infiltration et le stock d'eau du sol. Il faut 35 kg de fumier ou de compost par demi-lune soit 14,6 t/ha. Et la combinaison demi-lune et apports amendements organiques obtiennent de meilleurs rendements par rapport à demi-lune seule sans aucune fumure. Cependant, en cas de pluviométrie excédentaire, les rendements baissent en raison

des engorgements temporaires qui, affectent négativement le développement des cultures (Zougmore et al., 2000).

10.5.5 .1 Evolution des caractéristiques physiques et chimiques des sols de demi-lune

10.5.5.1.1 Analyse granulométrique des sols de demi-lune

Les résultats de l'analyse montrent que les sols des demi-lunes sont également graveleux (charge graveleuse supérieure à 42%). L'aménagement a permis la baisse de la charge graveleuse et l'augmentation des pourcentages d'argile, de limon et de sable avec le temps. Cette évolution pourrait s'expliquer par l'apport d'argile, de limons et de sables par les eaux de ruissellement. L'apport d'argile est suffisamment élevé pour que les demi-lunes aient des teneurs en argile supérieure à celles du zipéllé et du bosquet. Tout comme le comblement des trous de zaï constaté par Zougmore en 1995, ces apports sont à la base du comblement des demi-lunes avec le temps.

Les résultats (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) montrent des différences significatives dans la granulométrie des sols de demi-lune. La charge graveleuse est significativement en baisse avec le temps. La charge graveleuse du zipéllé est proche de celle des demi-lunes de 3 ans. Le bosquet possède la charge graveleuse la plus faible. Les teneurs en argile, en limon et en sables présentent une augmentation significative avec le temps. Les teneurs en argile des demi-lunes sont supérieures à celles du bosquet naturel et du zipéllé

Tableau 42: Composition granulométrique des sols des demi-lunes

	bosquet naturel	10 ans	3 ans	2 ans	zipéllé	Probabilité
Charge Gravelleuse (%)	25,90d	42,67c	51,47b	58,86a	51,40b	<.001
Argile (%)	12,11d	20,61a	18,08b	14,25c	11,75d	<.001
Limons (%)	19,37a	18,86a	10,47b	12,10b	13,98b	<.001
Sables (%)	42,62a	22,86b	19,98b	14,79c	22,87b	<.001

*Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions
Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité*

10.5.5.1.2 Evolution des Paramètres chimiques

Les sols des parcelles de demi-lunes sont pauvres en carbone et azote total (environ 1 mg/g de sol). Leurs taux en carbone et azote total sont légèrement supérieurs à ceux des parcelles non aménagées. Le rapport C/N montre dans l'ensemble une bonne minéralisation de la matière organique. L'augmentation des taux de carbone et d'azote avec l'âge des demi-lunes, montrent que l'aménagement a permis une amélioration des stocks de matière organique.

Dans l'ensemble les sols sont acides ($5,12 < \text{pH eau} < 7,17$), traduisant des sols dégradés (Zombré, 2003 ; Dutordoir, 2006). Les valeurs du phosphore assimilable et du potassium disponible, pourraient avoir été influencé par l'apport récent de compost. Cette hypothèse est renforcée par les valeurs des taux de phosphore et de potassium qui sont plus élevées dans les demi-lunes de 2 ans par rapport à celles de 3 ans.

En conclusion l'on peut dire que les demi-lunes permettent une amélioration des taux de matière organique, du carbone, de l'azote total et des bases échangeables. Nos résultats concordent avec ceux de Zougmoré en 2003. Cette amélioration est aussi fonction de la qualité et de la quantité des amendements apportés.

L'analyse statistique des paramètres chimiques (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) montre des différences significatives entre les teneurs en carbone, azote, phosphore, potassium, et le pH eau. Les taux d'azote et de carbone augmentent avec l'âge de l'aménagement avec toutefois une différence non significative entre les demi-lunes de 2 ans et celles de 3 ans.

Le rapport C/N ne présente pas de différence significative entre les différentes parcelles. Le pH eau baisse avec l'âge de l'aménagement et passe de 6,41 (demi-lunes de 2 ans) à 5,317 (demi-lunes de 10 ans). Cependant la différence entre les demi-lunes de 10 ans et celles de 3 ans n'est pas significative. Les taux de phosphore assimilables et de potassium disponible n'évoluent pas de manière significative avec l'âge de l'aménagement. Les demi-lunes de 3 ans présentent toujours les plus faibles valeurs en phosphore assimilable et en potassium disponible. Les demi-lunes de 2 ans ont les valeurs de phosphore assimilable les plus élevées, alors que les demi-lunes de 10 ans possèdent les valeurs de potassium disponible les plus élevées.

Les paramètres chimiques des demi-lunes sont meilleurs par rapport à ceux du zipéllé et du bosquet.

Tableau 43: Caractéristiques chimiques des sols aménagés en demi-lune

	bosquet naturel	10 ans	3 ans	2 ans	zipéllé	Probabilité
Carbone total (g/kg)	0.462d	0.964a	0.752b	0.752b	0.520c	<.001
Azote total (g/kg)	0.035d	0.071a	0.058b	0.057b	0.041c	<.001
C/N	13.33	13.33	12.67	13.00	13.00	0.248
Matière organique totale (g/kg)	0.797d	1.662a	1.297b	1.296b	0.896c	<.001
pH eau	5.39b	5.38b	5.61b	6.41a	4.84c	<.001
Phosphore assimilable (méq/100g)	2.057b	3.397b	2.377b	5.707a	3.533b	<.001
Potassium disponible (méq/100g)	19.35e	113.15a	77.08c	99.38b	55.10d	<.001

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

10.5.5.1.3 Evaluation de la macro faune des demi-lunes

Les demi-lunes ont, tout comme les cordons pierreux, amélioré au fil du temps l'activité biologique des sols mais avec des effectifs nettement plus élevés. Cette amélioration est remarquable au niveau des demi-lunes de 10 ans où l'on dénombre 8 espèces. Les rats se nourrissent essentiellement de racines de fruits et graines, la présence de leur terrier dans la parcelle de demi-lunes de 10 ans montre que cette parcelle possède les conditions favorables à cette espèce. La population de macrofaune des demi-lunes de 3 ans est plus faible que celle des demi-lunes de 2 ans. Cette situation peut être due au faible couvert végétal des demi-lunes de 3 ans. Zombré en 2003 trouvait que l'évolution de l'activité biologique globale était nettement améliorée en milieu végétalisé par rapport au milieu érodé ou gravillonnaire.

Le Erreur ! Source du renvoi introuvable. montre des différences très significatives des populations de Lumbricinae et de Myriapodae.

Les demi-lunes de 10 ans sont les plus peuplées en Lumbricinae, Myriapodae et en Formicidae. Les demi-lunes de 10 ans possèdent aussi la population la plus diversifiée (8 espèces). Les demi-lunes de 2 et 3 ans sont moins habitées par la macrofaune et moins diversifiées. Les Formicidae sont présentes sur toutes les parcelles. Elles sont significativement plus nombreuses dans les demi-lunes de dix ans. Leur nombre croît avec l'âge des demi-lunes. Les Arachnidae, les Termitoidea, les Scarabaeus et les Myrmeleontidae sont plus nombreux dans les demi-lunes de dix ans, mais de façon non significative. Les turricules de Lumbricinae sont significativement plus abondants dans les demi-lunes de dix ans. Dans les demi-lunes de 3 ans et celles de deux ans la différence n'est pas significative. Les Myriapodae ne sont présents que dans les demi-lunes de 10 ans et de façon significative contrairement au terrier de rat où la présence unique dans les demi-lunes de 10 ans est non significative.

Tableau 44: Nombre moyen par m² de vestiges ou d'individus de la macrofaune dans les parcelles aménagées de demi-lunes.

Espèces	bosquet naturel	10ans	3 ans	2 ans	zipéllé	Probabilité
plaquage de <i>Termitoidea</i>	1.50	0.75	0.00	0.25	0.00	0.154
Turricules de <i>Lumbricinae</i>	2.00 a	21.25b	0.75a	2.75a	0.00 a	<.001
Nids de <i>Formicidae</i>	2.75 b	19.25 a	1.75 b	1.25 b	1.00 b	0.001
<i>Myrmeleontidae</i>	0.00	1.25	0.25	1.00	0.25	0.455
<i>Scarabaeus</i>	0.50	1.00	0.25	0.75	0.00	0.492
<i>Arachnidae</i>	1.00	0.50	0.00	0.25	0.00	0.064
<i>Myriapodae</i>	0.00 b	19.00 a	0.00 b	0.00 b	0.00 b	<.001
<i>Rattus</i>	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.438

10.5.5.2 Evaluation de la végétation des demi-lunes

10.5.5.2.1 Densité ligneuse des parcelles aménagées de demi-lunes

L'analyse des résultats de la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que : Les demi-lunes de 2 ans ont l'effectif de ligneux le plus élevé (66 plants). Le nombre d'individus diminue de façon non significative par unité de surface avec le temps. Les effectifs des parcelles aménagées sont supérieurs à celui du bosquet et du zipellé.

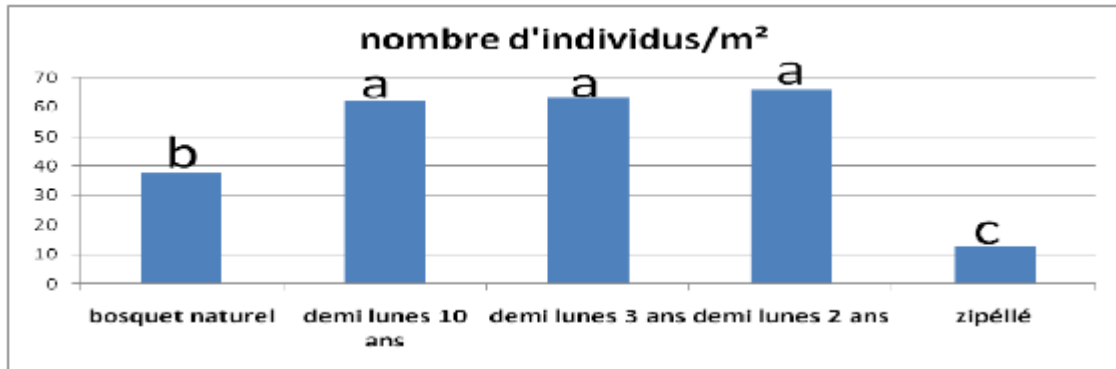


Figure 45: effectif des espèces ligneuses selon l'âge des demi-lunes

10.5.5.2.2 Richesse et contribution spécifique des ligneux dans les parcelles aménagées de demi-lunes

L'analyse statistique du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que le nombre d'espèce varie peu avec l'âge de l'aménagement. Les demi-lunes de 2 ans possèdent le plus d'espèces (10) avec une prédominance significative de *Guiera senegalensis* (25%), *Combretum micranthum* (17%) et *Acacia seyal* (15%). Les demi-lunes de 10 ans possèdent 9 espèces, dominées significativement par *Combretum micranthum* (26%) et *Guiera senegalensis* (21%). Les demi-lunes de 3 ans possèdent 8 espèces avec significativement plus d'*Acacia erythrocalyx* (28%) et des *Guiera senegalensis* (27%). L'analyse selon la fréquence de répartition montre que *Guiera senegalensis* est l'espèce dominante suivis de *Combretum micranthum* et de *Acacia erythrocalyx*. Les populations de *Guiera senegalensis* ne présentent pas de différence significative quel que soit l'âge des parcelles. Par contre *Combretum micranthum* est significativement plus abondant dans les demi-lunes de 10 ans et faiblement présent dans celles de 3 ans. De même *Acacia erythrocalyx* est significativement plus abondant dans les demi-lunes de 3 ans.

Tableau 45: Fréquence des espèces ligneuses selon l'âge des demi-lunes

Espèces	bosquet					Probabilité
	naturel	10 ans	3 ans	2 ans	zipéllé	
<i>Combretum</i>	16b	26a	1c	17b	1c	<.001
<i>Guiera</i>	21a	21a	27a	25a	12b	<.001
<i>Piliostigma</i>	0	0	2	2	0	0.046
<i>Acacia seyal</i>	0b	0b	0b	12a	0b	<.001
<i>Lannea</i>	1	0	0	0	0	0.072
<i>Adansonia</i>	0b	0b	0b	5a	0b	0.001
<i>Bauhinia</i>	0	0	1	0	0	0.452
<i>Calotropis</i>	0	0	1	1	0	0.024
<i>Sclerocarya</i>	0	1	a	0	0	0.072
<i>Zizyphus</i>	0	0	2	1	0	0.034
<i>Ferdherbia al</i>	0	0	1,33	0	0	0.132
<i>Acacia eryth</i>	0b	3b	28a	0b	0b	<.001
<i>Cassia siebe</i>	0b	2a	0b	0b	0b	<.001
<i>Grewia flav</i>	0	0	0	1	0	0.452
<i>Gardenia s</i>	0	2	0	0	0	0.223
<i>Pterocarpus l</i>	0b	3a	0b	1b	0b	<.001
<i>Tamarindus</i>	0	0	0	1	0	0.072
<i>Ximenia am</i>	0b	3a	0b	0b	0b	0.007
<i>Feratia apo</i>	0	1,33	0	0	0	0.132

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

10.5.5.2.3 Répartition des ligneux selon la hauteur et la circonférence

L'analyse statistique du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que des différences significatives au niveau des circonférences et des hauteurs. La circonférence et la hauteur des ligneux augmente avec l'âge de l'aménagement mais la différence entre les valeurs n'est pas significative. De plus ses valeurs sont plus élevées que celles des parcelles non aménagées.

Tableau 46: Hauteur et de la circonférence des ligneux selon l'âge des demi-lunes

	bosquet					Probabilité
	naturel	10ans	3 ans	2 ans	zipéllé	
Circonférence (cm)	12,67ab	22a	21a	20,33a	4,33b	0.011
hauteur (m)	7,533	13,2	12,8	12,4	2,8	0.039

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

10.5.5.2.4 Biomasse sèche et taux de recouvrement des herbacées en fonction de l'âge des demi-lunes

L'analyse du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que la biomasse herbacée est significativement plus importante dans les demi-lunes de 10 ans (185g/m²) suivie du bosquet (166,7g/m²). Dans les demi-lunes de trois ans elle est de 110 g/m² et 110 g/m² dans les demi-lunes de deux ans. L'analyse du taux de recouvrement montre que les demi-lunes de 2 ans possèdent le taux le plus élevé des parcelles aménagées de demi-lunes (20%), tandis que le taux de recouvrement des demi-lunes de 3 ans est significativement le plus bas (10%). Les demi-lunes de dix ans ont un taux de recouvrement de 15% et n'est, significativement pas différent de la valeur des demi-lunes de 2 ans.

Tableau 47: Biomasse et taux de recouvrement des herbacées selon l'âge des demi-lunes

	bosquet naturel	10 ans	3 ans	2 ans	zipéllé	Probabilité
Biomasse herbacée (g/m²)	166,7a	185a	110b	110b	25c	<.001
Taux de recouvrement (%)	80a	15bc	10cd	20b	5d	<.001

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

10.5.5.2.5 Richesse et contribution spécifique des herbacées dans les parcelles aménagées de demi-lunes

L'analyse du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre que *Schizachyrium sanguinum*, *Schoenefeldia gracilis*, *Zornia glochidiata* et *Cassia tora* sont par ordre d'importance les espèces présentes sur toutes les parcelles. En fonction de l'âge d'aménagement *Schizachyrium sanguinum*, l'espèce dominante et *Schoenefeldia gracilis* augmentent significativement avec l'âge. *Zornia glochidiata* et *Cassia tora* ne présentent pas de différence significative avec le temps. *Andropogon gayanus* est significativement présent dans les demi-lunes mais son évolution n'est pas fonction de l'âge de l'aménagement. Le nombre d'espèces décroît avec l'âge, soit respectivement 24 espèces pour les demi-lunes de 2 ans, 21 espèces pour celles de 3 ans et 13 espèces pour celles de 10 ans.

Tableau 48: Fréquence des espèces herbacées selon l'âge des demi-lunes

Espèces	bosquet					Probabilité
	naturel	10 ans	3 ans	2 ans	zipéllé	
<i>Vicoa leptoclata</i>	5a	2b	0b	0b	0b	0.009
<i>Zornia glochidiata</i>	5	3	2	3	1	0.280
<i>Walteria indica</i>	0b	10a	2b	0b	0b	<.001
<i>Striga hermontica</i>	0b	0b	1b	4a	0b	0.008
<i>Spermacocae radiata</i>	6a	5a	5a	4a	0b	0.053
<i>Sida alba</i>	0	0	0	1	0	0.087
<i>Schoenefeldia gracilis</i>	25b	35a	10c	10c	0,67d	<.001
<i>Schizachyrium sang..</i>	5e	55a	30b	23c	12d	<.001
<i>Pennisetum pedice..</i>	20a	20a	10b	4c	0d	<.001
<i>Pandiaka eudelotii</i>	5,67a	0c	0c	4ab	2b	0.003
<i>Leptadenia hastata</i>	5a	0c	2bc	3ab	4ab	0.006
<i>Ipomea eriocarpa</i>	0b	0b	2a	3a	2a	<.001
<i>Hyparrhenia involu..</i>	0	0	1	0	0	0.087
<i>Hyptis spicigera</i>	15a	0b	1b	0b	0b	<.001
<i>Evolivulus alsiniodes</i>	0	0	1	1	0	0.222
<i>Euphorbia hirta</i>	5a	3ab	1b	1b	0b	0.020
<i>Eragrostis tremula</i>	50a	0b	2b	4b	1b	<.001
<i>Digitaria horizontalis</i>	0	0	0	1	0	0.087
<i>Dactyloctenium aeg..</i>	0	0	0	1	0	0.087
<i>Cyperus iria</i>	0b	5a	1b	2ab	0b	0.035
<i>Cucumis melo</i>	0b	2a	0b	0b	0b	0.002
<i>Crotalaria goreensis</i>	0	0	1	0	0	0.087
<i>Crochorus tridens</i>	0b	0b	0b	3a	0b	<.001
<i>Cassia tora</i>	15a	5b	4b	1b	2b	0.001
<i>Cassia nigricans</i>	0	0	1	0	0	0.087
<i>Bulbostylis hispidula</i>	5a	2b	0b	1b	0b	<.001
<i>Aristida adscencionis</i>	0	0	0	1	0	0.087
<i>Andropogon gayanus</i>	0d	25b	30a	20c	0d	<.001
<i>Alysicarpus ovalifolus</i>	0b	0b	2b	4a	0b	0.003
<i>Ageratum conyzoides</i>	0b	2a	0b	0b	0b	0.002

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

10.5.5.3 les cordons pierreux

. 10.5.5.3.1 Caractéristiques physiques et chimiques des sols aménagés de cordons pierreux

10.5.5.3.1.1 Analyse granulométrique

L'analyse statistique (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) montre une différence significative au niveau des éléments fins et grossiers. La charge graveleuse n'évolue pas suivant la topo-séquence. De façon générale, la valeur de la charge graveleuse augmente de la parcelle de 3 ans à celle d'un an. Le bosquet naturel possède la charge graveleuse la plus faible, environ la moitié de celle du Zipéllé. Les teneurs en limon présentent des différences significatives entre les parcelles ; cependant les teneurs n'évoluent pas suivant l'âge de l'aménagement. Les teneurs en sables sont les plus élevées, et présentent une tendance à la hausse avec le temps. Le bosquet possède le plus fort pourcentage de sables. Pour ce qui est des teneurs en argile, les valeurs présentent des différences significatives. Les

teneurs en argile présentent une tendance à la hausse avec le temps. Les valeurs des parcelles aménagées sont supérieures à celles du bosquet et du zipéllé.

Tableau 49: Composition granulométrique des sols des cordons pierreux

Tableau 1 : Composition granulométrique des sols des cordons pierreux

	Charge			
	Graveleuse (%)	Argile (%)	Limons (%)	Sables (%)
bosquet naturel	25,90	12,11	19,37	42,62
3 ans amont	42,92	17,16	13,06	26,86
3 ans aval	39,30	16,27	18,25	26,19
2 ans amont	47,25	15,51	16,20	21,03
2 ans aval	63,47	11,46	9,07	15,99
1 an amont	61,63	11,04	11,03	16,30
1 an aval	63,82	11,11	6,86	18,21
zipéllé	51,40	11,75	13,98	22,87
Probabilité	<.001	<.001	<.001	<.001

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions

10.5.5.3.1.2 Paramètres chimiques

L'analyse statistique des paramètres chimiques (tableau 80) montre des différences significatives entre les teneurs en carbone, azote, phosphore, potassium, et le pH eau.

Les teneurs en carbone total et en azote total, augmentent avec l'âge de l'aménagement, et approchent des valeurs du bosquet naturel. Les amonts sont plus riches que les avals en azote et en carbone. Le zipéllé possède les taux de carbone et d'azote total les plus élevés. Le rapport C/N évolue peu, entre 13,33 (bosquet) et 11,67 (aval des cordons pierreux de 1 an), mais de manière significative avec l'âge de l'aménagement. Le rapport C/N du zipéllé ne diffère pas de celui de l'amont des cordons pierreux de 3 ans. Dans les parcelles aménagées le pH eau baisse significativement de 4,977 (amont des cordons pierreux de 1 an) à 4,527 (amont des cordons pierreux de 3 ans). Les parties en amonts sont plus acides que les parties en aval. Le pH eau du bosquet ne présente pas de différence significative avec l'aval des cordons pierreux de 3 ans. Le pH eau du zipéllé n'est pas significativement différent du pH eau de l'amont des cordons pierreux de 1 an. L'amont des cordons pierreux de 3 ans possède les taux de phosphore assimilable le plus élevé. Les taux de phosphore du Zipéllé ne diffèrent pas significativement des taux de l'aval des cordons pierreux de 2 ans. Les taux du bosquet ne diffèrent pas significativement de ceux des autres parcelles restantes. Les taux de potassium disponible augmentent suivant l'âge de l'aménagement même si certaines valeurs présentent des différences significatives. Le bosquet possède les taux les plus bas. Le zipéllé a les taux les plus élevés.

Tableau 50: caractéristiques chimiques des sols aménagés en cordons pierreux**Tableau 2 : Caractéristiques chimiques des sols aménagés en cordon pierreux**

	Carbone total (g/kg)	Azote total (g/kg)	C/N	Matière organique totale (g/kg)	pH eau	Phosphore assimilable (méq/100g)	Potassium disponible (méq/100g)
bosquet naturel	0.462b	0.035b	13.33a	0.797b	5.39d	2.057b	19.35e
3 ans amont	0.464b	0.036b	13.00b	0.800b	4.53a	4.770a	38.05bc
3 ans aval	0.411cd	0.032b	12.67c	0.708cd	5.41d	1.833c	43.29b
2 ans amont	0.430bc	0.035b	12.33cd	0.741bc	4.56a	2.329b	28.65d
2 ans aval	0.396cd	0.033b	12.00d	0.683cd	4.70ab	3.125ab	39.64bc
1 an amont	0.375d	0.030b	12.67c	0.647d	4.86bc	1.281c	31.12c
1 an aval	0.266e	0.023c	11.67e	0.459e	4.98bc	1.854c	30.12c
zipéllé	0.520a	0.041a	13.00b	0.896a	4.84bc	3.533ab	55.10a
Probabilité	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001

Test de Student-Newman-Keuls; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité

10.6 EFFET DES DIFFERENTES PRATIQUES SUR LES RESSOURCES NATURELLES

10.6.1 Effet et impact des pratiques agricoles sur les sols.

L'utilisation des sols dans l'espace de gestion du Nakanbé est essentiellement agricole. Les résultats des enquêtes indiquent que les pratiques agricoles contribuent de façon significative à la disparition du couvert végétale par le biais des défrichements anarchiques, la sélection des espèces jugées utiles par les agriculteurs et l'épuisement organique des sols. Le couvert végétal constitue le facteur primordial de protection du sol contre l'érosion. L'action de la végétation est multiple. L'interception des gouttes des pluies permet la dissipation de l'énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "splash". Son système racinaire maintient le sol en place et y favorise l'infiltration. Accessoirement, l'évapotranspiration de la plante, en asséchant le sol augmente sa capacité d'infiltration. Son développement en surface freine le ruissellement

Par ailleurs, l'apport en matière organique améliore la structure du sol et sa cohésion. La maraîcher-culture étant pratiqué en saison sèche est essentiellement dominé par les légumes (tomates, choux, oignons, concombres, ...); elle s'effectue aux abords des plans d'eaux, mais l'emplacement des parcelles dépendent de la pluviométrie précédente. Certaines parcelles sont sur le lit des cours d'eaux (Nakanbé) ou des plans d'eaux (Goinré). Une forte concentration de la pratique de la maraîcher-culture est observée autour des barrages de Goinré et de Bagré. Quant a Ziga (barrage), la pratique de la maraîcher-culture est interdite dans ses alentours ; cette restriction est énoncée pour éviter la pollution des eaux, car Ziga est un barrage essentiellement pour l'approvisionnement en eau potable.

10.6.2 Etat actuel de l'impact de l'agriculture sur les caractéristiques chimiques des sols de Bagré

La caractérisation chimique des sols des parcelles du périmètre irrigué de Bagré, selon leur âge d'exploitation a donné les résultats du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Tableau 51: Caractéristiques chimiques des sols étudiés

	pH eau	MOT (%)	N total (%)	C/N	P total (ppm)	CE (mmho/cm)
Témoin	7,61a	1,110a	0,051a	12a	439,15a	0,161a
08 ans	6,810b	0,917a	0,044a	12,12a	509,638a	0,075b
14 ans	5,314c	1,103a	0,050a	12,75a	419,988a	0,018c
24 ans	6,838b	0,932a	0,044a	12,25a	493,538a	0,032c
SNK 5%	S	NS	NS	NS	NS	S

SNK = Test de Student Newman-Keuls seuil 5% ; Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité ; S=significatif ; NS= non significatif ; 1mmho/cm=1dS/m

➤ Le pH eau

L'analyse de variance nous révèle qu'il existe des différences significatives parmi les valeurs du pH selon les durées d'exploitation. Les sols de la parcelle témoin qui est une jachère de 06 ans a un pH de 7,610 ; quant au pH des sols des parcelles de 08 et 24 ans d'exploitation, ils n'ont pas de différences significatives (respectivement 6,810 et 6,838). La valeur moyenne du pH des sols des parcelles de 14 ans est relativement faible et tourne autour de 5,314. Pour les sols de même âge d'exploitation, aucune différence significative n'a été constaté entre les horizons 0-20cm et 20-40cm.

➤ La matière organique totale/Carbone total

Les teneurs en matière organique/carbone total sont relativement les mêmes pour les trois types d'âges d'exploitations (moyenne comprises entre 0,917 et 1,110). Le test de Student Newman-Keuls (SNK)

ne révèle aucune différence significative au seuil de 5%. La différence observée se trouve au niveau de l'horizon 0-20cm qui est plus riche en matière organique que l'horizon 20-40cm.

➤ L'azote total et le rapport carbone sur azote

Les teneurs en azote total sont relativement faibles et suivent la même logique de variation que la matière organique. Aucune différence significative n'est observée entre la teneur d'azote du témoin et celle des parcelles d'âges d'exploitation différente. Par contre les horizons supérieurs (0-20cm) ont des teneurs d'azote élevé par rapport aux horizons inférieurs (20-40cm).

Le rapport carbone sur azote suit la même logique de variation de la matière organique et de l'azote total, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de différence significative entre le taux de minéralisation de la parcelle témoin et des trois types de parcelles d'âges différents ; mais la différence est constatée au niveau des horizons (13 pour l'horizon 0-20cm et 11,56 pour l'horizon 20-40cm)

➤ Le phosphore total

L'analyse de variance ne relève aucune différence significative sur les teneurs en phosphore total des sols des différentes parcelles. Ce constat est le même dans les deux horizons. Les valeurs moyennes pour les sols de 8, 14 et 24 ans sont respectivement 509,638, 419,988 et 493,538 ppm. Pour le sol témoin, sa valeur est de 439,150 ppm.

➤ La conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique des parcelles étudiées sont différentes entre elles selon le test Student Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5%. La conductivité électrique des sols de la parcelle témoin est de 0,161 mmho/cm. Cette valeur est différente significativement des valeurs des sols de 08 ans d'âge d'exploitation (0,075 mmho/cm) et de celle des sols de 14 et 24 ans (respectivement 0,018 et 0,032 mmho/cm). Bien que ces valeurs soient relativement faibles, cette différence significative s'observe aussi entre les valeurs des différents horizons qui sont élevées pour l'horizon 20-40cm.

10.6.3 Etat actuel de l'impact de l'agriculture sur l'activité biologique

Le test respirométrique a permis d'évaluer l'activité biologique globale des sols de 14 ans d'exploitation, et partant de l'état de fertilité. Les résultats du test respirométrique portant sur le dégagement du CO₂ des sols a donné l'illustration suivante :

De façon générale, les courbes de dégagement de CO₂ des figures 8 et 9 sont croissantes pour tous les sols durant les quatre premiers jours d'incubation avec un premier pic de minéralisation. Après, elles connaissent une allure décroissante jusqu'au 14^e jour d'incubation. Une légère reprise s'observe avec un second pic moins évidente que le premier au environ du 16^e jour, suivie d'une décroissance jusqu'au 20^e jour. Dans les sols de 08 ans d'âge d'exploitation, le dégagement de CO₂ est élevé par rapport à celui du sol témoin. Quant aux sols de 24 ans, ils ont un dégagement de CO₂ dont l'allure est voisine de celui du sol témoin.

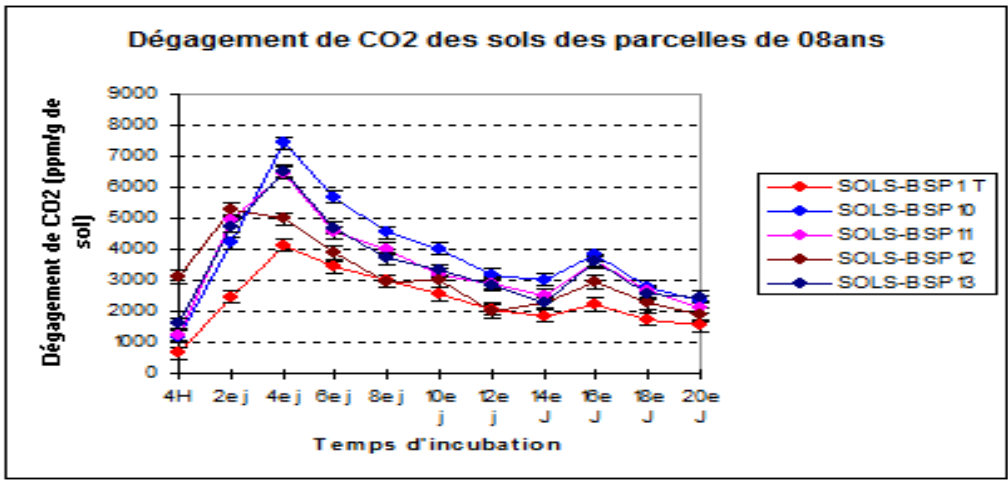


Figure 46: Production cumulée du CO2 des sols de 08 ans d'âge d'exploitation

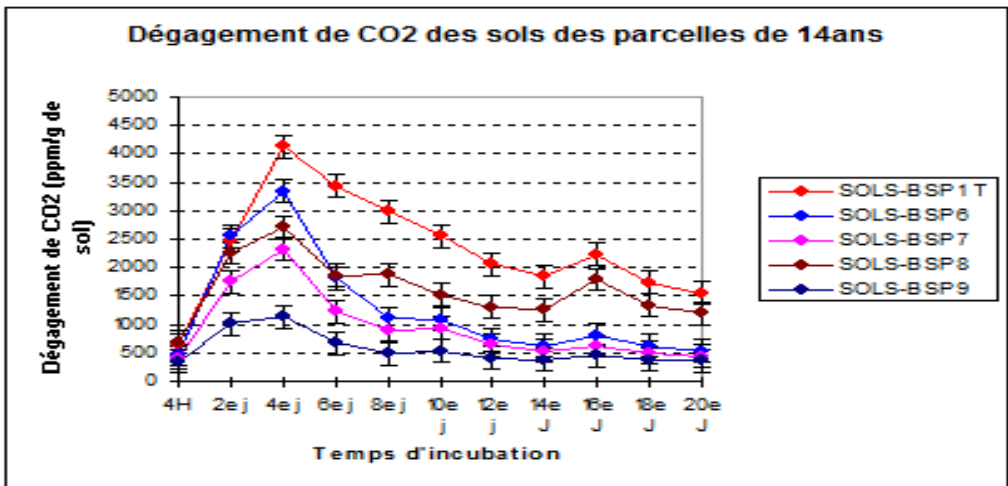


Figure 47: Respirométrie des échantillons de sol de 14 ans d'âge d'exploitation

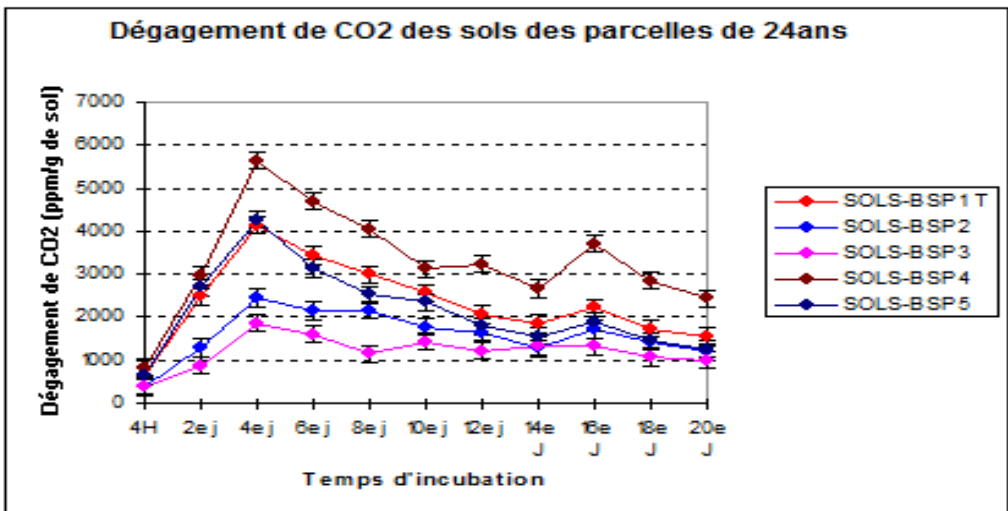


Figure 48: Respirométrie des échantillons de sol de 24 ans d'âge d'exploitation

En analysant l'allure des courbes selon l'âge d'exploitation des sols, les résultats montrent que :

- Le sol témoin a deux pics dont le plus important a une valeur de 4130 ppm de CO₂ dégagé/g de sol enregistré au 4^e jour, et le deuxième pic une valeur de 2223 ppm de CO₂ dégagé/g de sol enregistré au 16^e jour.
- Les premiers pics de minéralisation des sols de 08 ans d'âge d'exploitation ont des valeurs comprises entre 5283 et 7427 ppm de CO₂ dégagé/g de sol. Les seconds pics sont compris entre 2943 et 3817 ppm de CO₂ dégagé/g de sol.
- Le dégagement de CO₂ des sols de 14 ans est faible par rapport à celui des sols de 08 ans. Leurs importants pics observés (4^e jour) ont des valeurs comprises entre 1130 et 3343 ppm de CO₂ dégagé/g de sol. Les pics observés au 16^e jour ont des valeurs comprises entre 450 et 1790 ppm de CO₂ dégagé/g de sol.
- Les sols de 24 ans d'âge d'exploitation quant à eux ont des valeurs comprises entre 1863 et 5647 ppm de CO₂ dégagé/g de sol pour le premier pic de minéralisation ; et des valeurs variant de 1310 à 3713 ppm de CO₂ dégagé/g de sol pour les seconds pics.

10.6.4 Le devenir des sols dans le nakanbé

L'intensification de l'agriculture dans un contexte de changement climatique fait appel à l'utilisation de plusieurs intrants agricoles (semences, engrais, pesticides, herbicides,), de matériels et technologies. Cette pression de l'agriculture combinée à la forte pression démographique fait appel à une grande conquête des terres. Les effets et impacts négatifs sur les sols cultivables sont drastiques (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 52: avenir des sols dans l'espace de gestion du Nakanbé

Composantes des systèmes agricoles	Effets et Impacts ou avenir des sols
Labour	Accélération de l'érosion éolienne et hydrique des sols, perte des premières couches ou partie cultivable du sol
Produits chimiques	Pollution du sol, dégradation de la qualité chimique et physique des sols, diminution du pouvoir fertile des sols ;
Découpage des arbres	Exposition des sols à l'érosion hydrique et éolienne, perte de biomasse pour les sols ; déstabilisation de la texture cultivable du sol
Combinaison agriculture et élevage extensif	Destruction de la structure du sol, accélération de l'érosion des sols,
Exploitation agricole de sols sans techniques adéquates de protection du	Dégradation ultime du sol, sols improductifs, abandon de sols, apparition de Zipellé,

10.6.5 Impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur les ressources en eau

Autour de retenues d'eau, se concentrent d'importantes activités socio-économiques et environnementales. Ces activités exercent une forte pression sur les ressources en eau. Les usages rencontrés autour des retenues d'eau et particulièrement des barrages sont : l'adduction d'eau potable, les usages agricoles, pastoraux, piscicoles, environnementaux, miniers, industriels et touristiques.

Cependant, cette quête permanente de l'eau pour la satisfaction des multiples besoins vitaux économiques et environnementaux, n'est pas sans conséquences sur l'état physique des ouvrages, la quantité et la qualité de l'eau. Elle se caractérise par une occupation anarchique et favorise des pratiques dégradantes qui endommagent les ouvrages hydrauliques et compromettent ainsi la disponibilité de la ressource eau.

10.6.6 Impacts négatifs

10.6.6.1 La dégradation de la qualité de l'eau et la perte de la biodiversité

L'utilisation incontrôlée des pesticides prohibés occasionnent la pollution chimique de l'eau. Le suivi des teneurs en nitrates, ortho-phosphate et de la DBO₅ dans les barrages de Goinré, de Ziga et de Bagré ont révélé que ces paramètres contribuent à l'eutrophisation de ces retenues d'eaux. Les données de l'analyse, la présence des ortho-phosphates indiquent que les activités agricoles contribuent considérablement à l'eutrophisation des eaux de ces trois barrages. Les eaux de Bagré sont moyennement eutrophes, celles de Ziga fortement eutrophes et celles de Goinré polluées. La présence des ortho-phosphates s'explique essentiellement par l'utilisation des engrais phosphatés en agriculture, des rejets industriels et des rejets domestiques (déjections humaines, détergents, lessives).

De plus, les pesticides utilisés terminent généralement leur parcours dans les cours d'eau environnants, avec un effet négatif sur la faune et la flore locales. Plusieurs études ont en effet montré que ces pesticides sont à l'origine d'une hécatombe de la biodiversité des milieux aquatiques. Ainsi, des études ont permis de mettre clairement en évidence le lien entre la présence diffuse des pesticides dans un milieu et la perte d'espèces qui est observée. 42 % de la biodiversité locale des invertébrés dans les cours d'eau peut être réduite par les pesticides ! Des éléments importants de la chaîne alimentaire, comme les éphémères et les libellules sont particulièrement touchés. Certains pesticides interdits depuis plusieurs décennies sont toujours quantifiés dans les cours d'eau, tels quels et sous forme de résidus à cause du lessivage des sols par les pluies.

L'intensification des activités maraichères dans les cuvettes et bandes de servitude contribue à la dégradation du milieu écologique présent autour des zones humides. Cette pratique expose les cours et retenues d'eau à toute forme de dégradation physique telle que l'érosion des berges.

10.6.6.2 La réduction de la capacité de stockage des retenues d'eau :

Les pratiques agricoles contribuent de façon significative à la disparition du couvert végétal par le biais des défrichements anarchiques, la sélection des espèces jugées utilitaires par les agriculteurs et l'épuisement organique des sols.

Les activités agricoles contribuent aussi par le biais des méthodes culturales, à la baisse de la stabilité structurale du sol ; l'effet « splash » s'en trouve amplifié surtout en début de saison de pluies. Les effets de ces pratiques culturales sur le bassin versant sont observables le long des topo-séquences. Ainsi, l'érosion en nappe, en rigole et en ravine sont prépondérantes sur la partie amont et l'ensablement et la dégradation des berges dominant sur la partie aval. Cette sédimentation des barrages se manifeste par le décapage des particules du sol suivi de leurs transports combinés à des matériaux par l'intermédiaire du vent et des eaux d'écoulements. Ces éléments transportés s'accumulent progressivement dans la cuvette et peuvent devenir importants en fonction de la topographie du sous bassin, de la nature du sol mais aussi des usages de la terre en amont de la retenue.

10.6.6.3 la détérioration des ouvrages de mobilisation

Le manque de nettoyage des arbustes sur les digues conduit à leurs enracinements pour donner naissance à des arbres profondément ancrés dans les remblais. A ce stade de développement des plantes, l'arrachement des arbres risquerait de déstabiliser les digues et nécessiterait des études pour analyser les différentes options possibles. Par contre les herbes rampantes permettent la consolidation du remblai et la fixation du perré sur la digue

10.6.7 Impacts positifs

Les impacts positifs des activités agricoles sur l'environnement résident notamment sur l'utilisation des techniques CES/DRS. En effet, la pratique du zai permet de restaurer les sols dénudés et constitue une méthode de gestion efficace des eaux de ruissellement. Elle permet la diminution de la vitesse de ruissellement, réduit les risques d'érosion des sols et contribue à la régénération des espèces végétales.

La réalisation du paillage favorise la vie biologique du sol, notamment l'activité des termites qui vont mélanger la matière organique. La couche de paille réduit l'effet du phénomène de battance des gouttes de pluie sur la surface du sol et retient également une humidité importante indispensable à

l'activité biologique dans le sol. Les bandes enherbées ont l'avantage d'être des aménagements antiérosif assurant la stabilité du sol.

10.6.8 Impacts des activités sylvicoles sur l'environnement

Les pratiques sylvicoles telles que la coupe du bois et les feux de brousse contribuent de façon significative à la réduction du couvert végétal ligneux, et à la disparition du tapis herbacé pendant une partie de la saison sèche. Ces pratiques ont pour corollaires, la réduction du recouvrement des ligneux et donc de la capacité d'interception des eaux de pluie ; elles contribuent également à la dénudation du sol.

L'absence de couvert végétal conséquent sur les sols, accélère la vitesse de ruissellement et renforce les conséquences de l'effet « splash ». Le ruissellement ainsi accéléré accroît l'érosion en nappe, en rigole et en ravine en amont et l'ensablement des cours d'eau en aval. Selon YACOUBA *et al.*, 2002, le coefficient de ruissellement dans le Nakanbé peut atteindre 57% avec des pertes de terre de 5,5 T/ha/an.»

10.6.9 Impacts des activités pastorales sur les ressources en eau

Les pratiques pastorales dominées par l'élevage extensif pratiqué par les résidents et la transhumance des non résidents contribuent de façon significative, à la dégradation du milieu biophysique. En effet, le surpâturage dans les parcours, la coupe abusive des espèces ligneuses, le piétinement dans les exploitations agricoles après les récoltes sont les principales causes de dégradation du couvert végétal, de compactage du sol et de destruction de la stabilité structurale des sols. Ces sols sont ainsi soumis dès les premières averses de la saison hivernale au phénomène de décapage, de transport et de dépôt entraînant du même coup l'érosion en nappe et en rigole en amont et l'ensablement des cours d'eau en aval.

10.7 EFFETS ET IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRATIQUE DE L'AGRICULTURE DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE

Tous les enquêtés font l'unanimité sur l'existence des effets et impacts des changements climatiques sur les pratiques de l'agriculture. Tous les enquêtés reconnaissent que les changements climatiques entraînent la baisse de rendement agricole, conduisent à la destruction des productions, bouleversent ou perturbent les calendriers agricoles et accroissent les charges d'exploitation saisonnières.

Aussi les phénomènes tels que l'exode rural et l'apparition de maladies phytosanitaires sont imputables aux effets et impacts des changements climatiques sur la pratique de l'agriculture.

HARMONISER CARACTERS

En effet, la forte sécheresse, les inondations, l'agressivité des vents et la hausse de température diminuant le taux d'humidité (survenus au cours des dernières décennies) ont eu un impacte sur les caractéristiques intrinsèques des sols réduisant ainsi leur fertilité (baisse de rendement).

L'apparition des évènements manifestes du changement climatique au cours des décennies 1970, 1980 et 1990, 2009 ont marqué la population paysanne par les effets néfastes ci-dessus cités.

Les superficies cultivables ont été réduites de moitié dans plus de 2/3 des familles, car les jeunes ont migré vers les agglomérations urbaines à la recherche du mieux-être. La famine causée par le phénomène a entraîné considérablement des maladies au sein de la population. La baisse et la destruction des cultures ont occasionné des déficits de semences dans l'assurance de la continuité des activités. Les semences disponibles perdent leur qualité à telle enseigne qu'elles ne soient pas à même de donner un rendement satisfaction .

L'état dégradé des sols oblige les producteurs à prendre des mesures pour la fertilisation artificielle des sols afin de pouvoir espérer un meilleur retour sur investissement.

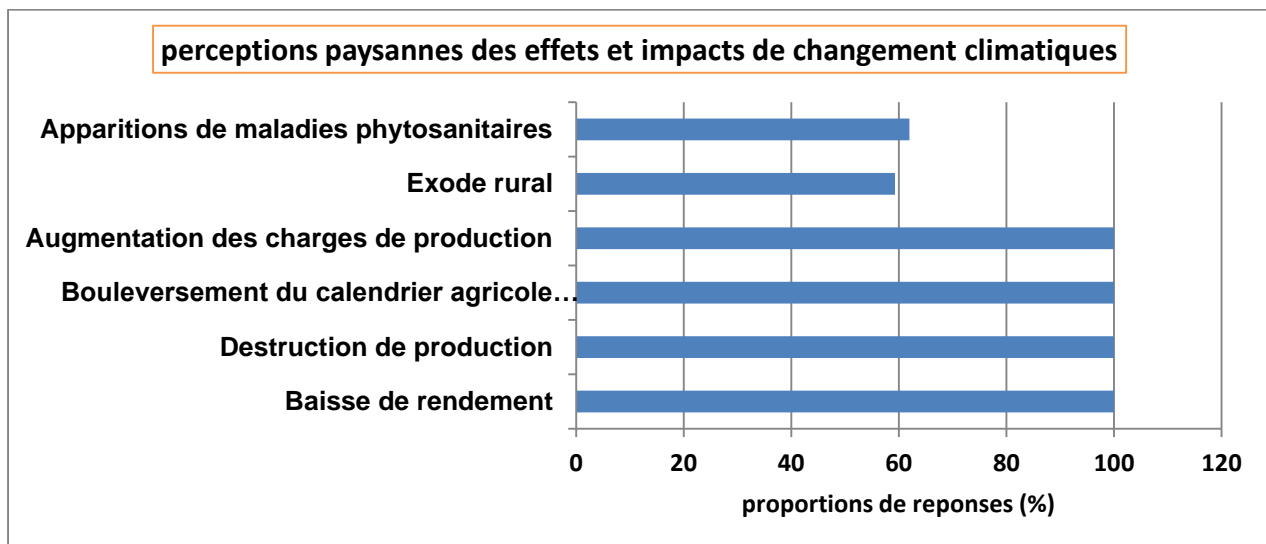


Figure 49: Réponses aux effets et impacts des Changements climatiques sur les systèmes agricoles

10.8 EFFETS ET IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRATIQUE DE L'ELEVAGE DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE

La perception des paysans est bonne pour ce qui est des effets des changements climatiques sur les productions animales. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** donne les résultats de l'enquête terrain. Les effets enregistrés par les systèmes d'élevage sont également drastiques. La production du fourrage est devenue de plus en plus insuffisante. L'élévation de température augmente les besoins en eau des animaux. Les pertes en vie animalesont accru durant ces dernières décennies avec l'apparition

des années de sécheresses, les maladies liés aux changements du climat. Une répercussion claire est l'augmentation des charges de production animale. De plus les éleveurs pratiquent l'exode rural pour aller vers d'autres activités plus rentables.

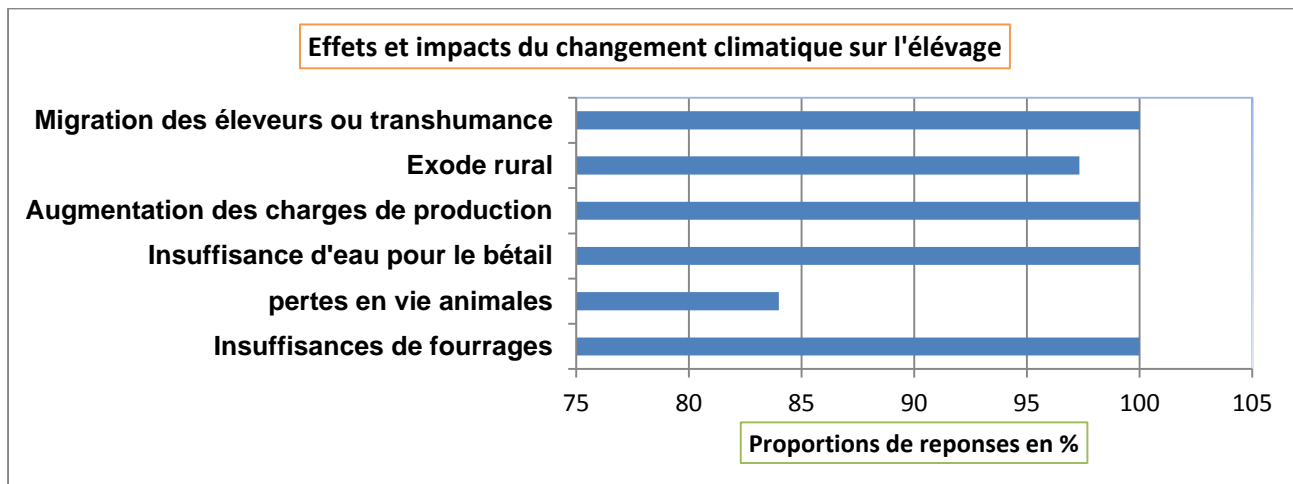


Figure 50: perception paysanne des effets des changements climatiques sur l'élevage

10.9 EFFETS ET IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRATIQUE DE LA SYLVICULTURE DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE

Dans l'ensemble la population perçoit bien les effets des changements climatiques sur la pratique de la sylviculture. Cette activité associée à l'agriculture dans les périmètres de culture est d'un recours nécessaire aux paysans pour subvenir à leurs besoins. Tous reconnaissent unanimement que le changement climatique a eu des incidences comme la baisse de la production sylvicole, l'augmentation des charges de production, l'exode rural et l'apparition de maladies dans la pratique de la sylviculture (53).

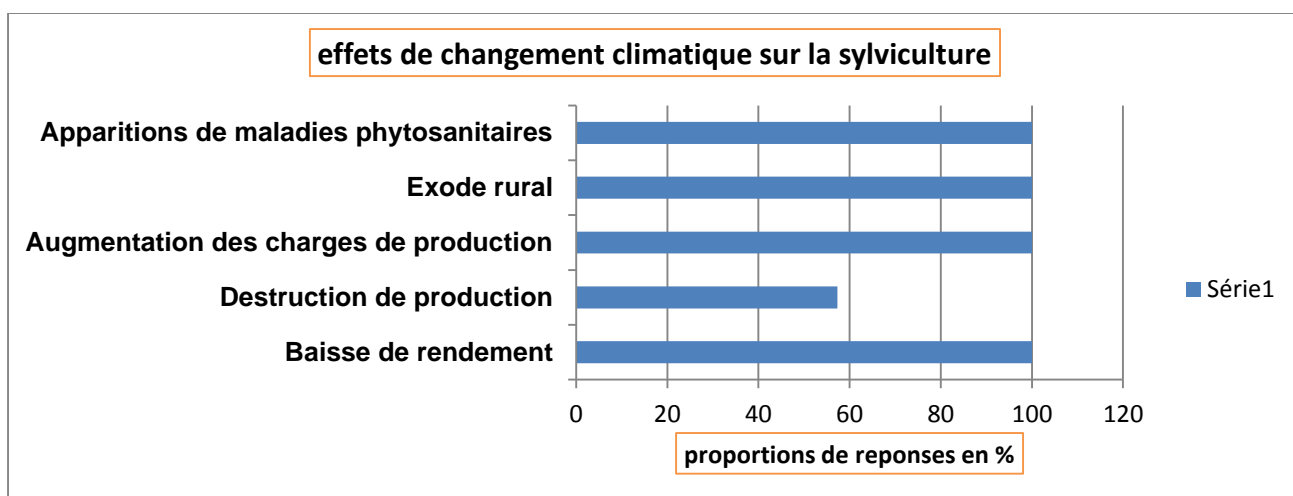


Figure 51: perceptions paysannes des effets de changement climatique sur la pratique de la sylviculture

10.10 DISCUSSION

L'approche participative de reforestation montre que la reconstitution de la végétation est plus importante au niveau de la formation ripicole. En effet, le reboisement a initialement été fait avec des plants de *Sarcocephalus latifolia* mais que l'on retrouve après une forte population de *Mimosa pigra* sauvage.

Bernard Lachat (1994) et Barbry (2002) affirment que l'aménagement des berges améliore la régénération des espèces végétales en piégeant les semences et les plantules transportées par le courant et les ruissellements.

L'analyse de la richesse spécifique a montré que les espèces dominantes sont *Noclea latifolia* et *Mimosa pigra*. Ces espèces sont typiques aux sols inondables. Les plantes aquatiques par le phénomène d'hydrochorie, laissent le courant disséminer leurs graines. C'est une stratégie commune chez ces plantes tel *Sparganium emersum*, *Nelumbo nucifera*, *Nymphaea alba*, *Nuphar luteum* ou *Mimosa pigra* (Lanzara, 1977).

Dans les hautes et moyennes pentes, on n'observe aucune espèce issue de la régénération post reboisement malgré les grandes quantités de graines que produisent *Azadirachta indica* et *Senna siamea*. De même, on n'observe pas de régénération d'espèces autre que celles reboisées ou déjà présentes sur le site avant le reboisement. Ce constat montre que la régénération naturelle assistée n'est pas pratiquée dans les hautes et moyennes, pentes contrairement aux basses pentes.

Les moyennes pentes des berges reboisées de 3 ans constituent une jachère non reboisée par manque de plants de manguier, d'où le nombre de plants très bas comparativement aux autres parties des berges.

Sur le plan pédologique, la baisse des teneurs en limons en haut de pente, ainsi que leurs augmentations en bas de pente, montrent qu'il y a lessivage des limons des hauts de pente vers les bas de pente. Les teneurs plus élevées du sable en bas de pente, traduisent un phénomène d'ensablement. La pente intervient dans la dégradation des terres par son importance (déclivité), sa longueur et sa forme ; les pertes en terre augmentent de façon exponentielle avec la valeur de la pente (Cissé et Touré, 1991). L'augmentation du degré de pente se traduit par un ruissellement accru (Combeau, 1977).

Les parcelles en basse pente étant dans le lit majeur du Nakanbé, le phénomène de dépôt d'alluvions sableux y est plus important (photo 4, Annexe). Cependant la baisse avec le temps des teneurs en sable en bas de pente, montre que le reboisement a permis le recul de l'ensablement. De même, l'augmentation des teneurs en argiles avec le temps indique que la reforestation a permis d'accroître la texture fine des sols. Les argiles rendent les sols plus lourds et donc améliore la stabilité des berges.

L'autre aspect à retenir de cette étude est l'approche participative qui a réuni l'ensemble des acteurs dès le début pour s'accorder sur les termes de l'action, afin que cela soit mutuellement bénéfique pour l'ensemble des parties prenantes. Ainsi, les propriétaires terriens bénéficient de plantes fruitières offertes par le projet et du bois de chauffe que constituera *Noclea latifolia*. Le projet et l'agence de l'eau du Nakanbé bénéficie de la protection des berges par des espèces fixatrices. Cette approche est une véritable innovation, en ce qu'elle fait consensus pour la protection des berges.

Pour ce qui est de l'expérimentation des demi-lunes, on peut noter qu'elles ont permis à la végétation de reconquérir une zone dégradée. Ce reverdissement se traduit par l'accroissement du diamètre et de la hauteur et du nombre des individus. Dix-neuf (19) espèces ont été répertoriées lors de cette étude contre trente-trois (33) espèces recensées par l'étude de Ganaba en 2005. La densité ligneuse de plus de sept cent cinquante plants (750) par hectare, dépasse les cinq cent soixante-dix-sept (577) plants par hectare obtenu par Ganaba en 2005. L'analyse de la richesse spécifique a montré que les espèces majoritaires sont *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum* qui sont caractéristiques des sols pauvres et proviennent de la dissémination des plantes des bosquets voisins peuplés essentiellement par ces espèces. Zoubga (2000) et Ganaba (2005) trouvaient dans les régénérations naturelles des parcelles aménagées en demi-lunes une prédominance de *Acacia nilotica*, *Balanites aegyptiaca*, *Leptadenia hastata*, *Piliostigma reticulatum* et *Zizyphus mauritiana*. Sangaré en 2002 montrait que la croissance d'espèces ligneuses et herbacées était consécutive au piégeage par les demi-lunes des semences transportées soit par le vent, soit par les eaux de ruissellement. Ganaba en 2005 trouvait aussi que l'aménagement des demi-lunes favorisait la régénération et l'accroissement des espèces végétales.

Les différences non significatives du nombre de plants selon l'âge des demi-lunes pourraient s'expliquer par le taux de survie relativement faible dans la zone soudano sahélienne. En effet Kessler en 1998 trouvait en zone Nord-soudanienne sahélienne des taux de survie de 20 et 17% respectivement après 3 et 6 mois de saison sèche. Selon les travaux de Zoubga en 2000 dans la zone sahélienne du Soum, la durée de vie des micro-bassins est de 3 à 4 ans sur sols sableux et plus de 5 ans sur sols argileux ou argilo-sableux. A Somyaga, les cuvettes des demi-lunes de 10 ans peuvent encore contenir les eaux de ruissellement. Cette durabilité permet d'assurer la survie de la régénération ligneuse. La présence de certaines espèces comme *Adansonia digitata* montre que les sols commencent à se régénérer. En effet, *Adansonia digitata* est une espèce poussant dans les sols alcalins, neutres ou faiblement acides et assez fertiles. La diversité des espèces minoritaires selon l'âge des demi-lunes peut s'expliquer par la diversité de la richesse en semences des composts et fumures utilisés pour la fertilisation des demi-lunes. En effet, selon l'origine des substrats végétaux

utilisés pour sa production le compost ou la fumure peuvent contenir des graines de diverses espèces ligneuses ou herbacées indigènes ou allogènes.

Quant à l'aménagement des cordons pierreux, il est conditionné par l'obtention et le transport des moellons. Lors de la phase d'enquête, il est ressorti que le manque de moyen d'extraction et de transport était lié au manque de moyens financiers des paysans. Ceci a pour conséquence une augmentation de la distance entre les cordons pierreux. Pour une pente inférieure à 3%, l'écartement optimum entre les cordons pierreux est d'environ 33 m (Zougmoré, 2000). La pente du site aménagé est inférieure à 3% et l'écartement entre les cordons pierreux est supérieur à 50 m. Ceci peut réduire le niveau d'efficacité des cordons pierreux. Les paysans ne manquent pas souvent d'initiative pour suppléer à ces déficits de moellons. Ainsi, certains paysans de Somyaga utilisent un dispositif de branchages et de moellons pour interrompre les débuts d'érosion hydrique dans leur champ.

Les sols étudiés sont très pauvres en matière organique, en carbone et azote total (<1 mg/g de sol), bien que l'on note une augmentation des teneurs en carbone. Le rapport C/N montre une bonne minéralisation de la matière organique. Ces valeurs du rapport C/N pourraient expliquer la différence de nos résultats d'avec ceux de Zougmoré en 2002. En effet, il observait une baisse des taux de carbone et d'azote total avec un ratio C/N supérieur à 15.

Les valeurs élevées de la matière organique dans le zipéllé s'explique par la nature faiblement minéralisée de la matière organique présente. Cette faible minéralisation serait due à la faiblesse de l'activité biologique des sols du zipéllé.

L'augmentation des taux de potassium disponible indique que l'aménagement a permis une amélioration des teneurs en potassium. Cependant, l'aménagement n'influe pas sur les teneurs de phosphore qui évoluent sans un rapport avec l'âge de l'aménagement. Ces résultats concordent avec ceux de Zougmoré en 2002.

Dans l'ensemble les sols sont acides (pHeau <5,63), traduisant des sols dégradés (Zombré, 2003 ; Dutordoir, 2006). L'augmentation de l'acidité avec l'âge de l'aménagement a été aussi observée par Zougmoré en 2002. Selon Piéri en 1989, cette acidification serait due au remplacement des bases échangeables par l'aluminium sur le complexe argilo-humique. Le pH influence la disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes et l'activité biologique du sol (Davet, 1996; Calvet, 2003). Le pH optimum pour la disponibilité des éléments nutritifs se situe entre 6,5 et 7, la nutrition des plantes et l'activité biologique sera donc réduit par ces pH eau acides. Les valeurs élevées de certains paramètres chimiques du zipéllé indiquent que l'évolution de la teneur des éléments chimiques est influencée par leur teneur initiale.

Les différences non significatives observées dans les teneurs en argiles, de même que l'évolution non temporelle des teneurs en limons et en sables, indiquent que, l'aménagement de cordons pierreux

dans les parcelles n'a pas d'impact significatif sur la distribution des teneurs en éléments fins dans le temps, bien que l'on note une baisse significative de la charge graveleuse avec l'âge de l'aménagement. Cette baisse pourrait s'expliquer par le phénomène de décantation en surface des éléments fins (argile, limons, sable) apportés par les eaux de ruissellement ralenties par les cordons pierreux. Nos résultats corroborent ceux de Kambou et Zougmore en 1995.

???

Le Burkina Faso, pays du Sahel et particulièrement le bassin du Nakanbé, fait face depuis ces trois dernières décennies aux effets des changements climatiques. Ces effets ont grandement affecté les écosystèmes ainsi que les systèmes de production agricole. Au terme de notre étude, nous avons tiré les conclusions suivantes :

- La technique des cordons pierreux et des demi-lunes permet la récupération des sols dégradés. Cette récupération se traduit par la réduction des pertes en terre fine, l'accroissement des teneurs en matière organique. Cette amélioration des propriétés du sol s'accompagne d'une régénération de la végétation herbacée et ligneuse provenant des formations végétales environnantes.
- Cependant l'aménagement des cordons pierreux occasionne une baisse du pH eau ;
- La grande capacité de stockage des eaux de ruissellement associée à l'amélioration de la fertilité des sols font des demi-lunes des lieux propices à la régénération et à la croissance rapide de la végétation. La difficulté majeure qui limite l'impact des demi-lunes est la disponibilité en fertilisant ;
- Ces techniques n'auraient pas eu d'impact sur la régénération de la végétation sans la pratique de la régénération naturelle assistée ;
- L'impact des cordons pierreux est limité par l'obtention des moellons éléments majeurs de l'aménagement des cordons pierreux.

Malgré l'efficacité des différentes techniques traditionnelles de restauration des berges, des sols et de conservation des eaux, ils sont plus bénéfiques que si on le fait dans une approche participative. Les résultats ont été tellement concluants que nous recommandons

- d'étendre les opérations de reboisement des berges selon la stratégie des trois bandes dans l'intégralité de l'espace de gestion du Nakanbé,
- d'associer les cordons pierreux et/ou les bandes enherbées aux reboisements des berges pour accroître leur durabilité et leur efficacité,
- de promouvoir et privilégier les approches de gestions environnementales participatives,

Autrement, n'est-il pas mieux d'envisager une gestion holistique et intégrée dont la porte d'entrée pourrait être des Comités Locaux de l'Eau qui regroupent l'ensemble des acteurs du développement rural et qui comprennent l'importance du rôle qui est le leur ?

CHAPITRE XI: LES COMITES LOCAUX DE L'EAU (CLE): DYNAMIQUE D'UNE EXPERIENCE DE GESTION LOCALE DES RESSOURCES EN EAU COMME STRATEGIE D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN DU NAKANBE AU BURKINA FASO

Autour de l'eau, les utilisateurs sont guidés par leurs intérêts. Selon Crozier (1977) les acteurs calculent « le caractère essentiellement opportun de la conduite de l'acteur dans une organisation fait que ce dernier se définit en fonction des opportunités à saisir ».

La divergence des intérêts est la base de tensions entre utilisateurs. Calvo (2004) qualifie cela de « conflit d'usage ». Il définit ce concept dans le cadre de l'environnement comme étant une concurrence autour d'un espace et ou d'une ressource naturelle commune.

En raison de ces divergences d'intérêts nos hypothèses sont :

- Les questions de l'eau peuvent se gérer à travers la création d'un cadre qui regroupe l'ensemble des acteurs partageant des intérêts autour d'une ressource d'eau et ce, selon le principe de subsidiarité.
- Une telle organisation sur l'ensemble d'un territoire donné contribue à une meilleure gestion des ressources naturelles et partant à l'adaptation au changement climatique
- La gestion par unité hydrographique (bassin et sous bassin) est la meilleure

L'objectif de ce chapitre est de pouvoir montrer qu'il peut y avoir une multitude de techniques des conservations des eaux et des sols aussi efficaces les unes que les autres en terme d'adaptation aux changements climatiques, mais qui ne sont plus durables que si elles s'exécutent dans un cadre plus organisé comme les Comités Locaux de l'Eau

11.1 LA TYPOLOGIE DES ACTEURS DE LA GIRE ET DES RESSOURCES CONNEXES

11.1.1 Les catégories d'usagers

Les maraichers

Ils constituent le groupe le plus nombreux. Ce sont des hommes et des femmes constitués pour la grande majorité des membres des organisations paysannes. Il existe aussi des producteurs individuels non membres des OP. Ils ont intérêt à ce que la ressource en eau soit disponible pour la pratique de leurs activités. Ils sont les bénéficiaires directs des activités de l'agence de l'eau du Nakanbé. Leur adhésion à la stratégie de la mise en œuvre de la GIRE est indispensable à l'atteinte des objectifs de l'agence. Les spéculations cultivées sont principalement : la tomate, les concombres, l'oignon, le poivron, la carotte, les aubergines. Ils ont besoin de comprendre la politique de la GIRE, de connaître les bonnes pratiques et les règles de gestion de la ressource.

Les éleveurs

L'élevage constitue une des activités les plus pratiquées dans la zone. Les éleveurs du sous bassin pratiquent le petit élevage et l'embouche bovine. L'activité se mène en complément avec l'agriculture. Il est généralement extensif, mais les éleveurs prennent de plus en plus conscience de l'importance de l'élevage intensif grâce au soutien dans leurs activités par des associations et des ONG. L'élevage de caprins est beaucoup pratiqué. On constate en outre l'élevage de bovins, d'ovins et de porcins. Ces dernières années, nous constatons de plus en plus dans la zone, l'installation des agrobusinessmen qui pratiquent soit l'élevage de bovins ou d'ovins. L'élevage dans les deux (2) sous bassins souffre d'une faible maîtrise technique ; d'un problème d'équipement et d'infrastructures.

Les pêcheurs

Ils sont organisés en groupement avec des diversités dans le fonctionnement. C'est la seule activité où on ne rencontre pas de femmes. Les types de pêche sont essentiellement la pêche à la ligne et la pêche au filet à maille. Les différentes espèces exploitées sont : les silures, les carpes, les sardines ; les mâchoirons. L'activité de pêche vient en complément de celle de l'agriculture et de l'élevage.

Ils sont pour la plupart des amateurs et quelques pêcheurs professionnels qui ont beaucoup d'expériences car ayant séjourné sur d'autres sites à l'intérieur (Ziga, Bagré, Kompienga) et à l'extérieur du pays (le mali par exemple). Ils ont reçu des formations dans le domaine. La grande proportion des poissons de Loumbila et de Bissiri est destinée à la capitale Ouagadougou. Hors mis la vente de poissons frais, il y a les transformatrices qui pratiquent le fumage, le séchage, la friture.

L'ONEA

En milieu urbain et quelquefois semi-urbain, des réseaux d'AEP de l'ONEA assurent la desserte. L'ONEA gère 19 centres situés dans l'espace du SDAGE du bassin du Nakanbé. Il convient de signaler que de nombreux chefs-lieux de provinces sont alimentés en eau à partir des barrages ou des lacs.

Les leaders coutumiers et religieux

Ce sont des acteurs de l'ombre. Ils sont à la tête des cantons, des villages et des quartiers. Ils sont incontournables dans la gestion des questions liées à la ressource. Ils interviennent dans les problèmes notamment ceux touchant au socio culturel dont le foncier et l'eau. Ils sont responsables des sacrifices et autres rites coutumiers au niveau des retenues d'eau. Ils peuvent influencer sur la participation des populations aux différentes activités de la GIRE sur les barrages. Selon les enquêtés, des rites sont effectués chaque année au niveau du barrage de Lombila et de Bissiri. Cependant, il est à noter que les rites ne concernent pas tous les villages riverains aux deux barrages. Certains villages ayant abandonné les coutumes du faite de l'influence de l'islam. Ils sont sollicités par les autorités

administratives à cause de leurs influences au sein des populations. L'administration les sollicite dans la recherche de solutions à des contentieux sociaux posés, et dans la recherche de solution aux problèmes fonciers.

Le CLE

Le comité local de l'eau est l'acteur principal de la mise en œuvre de la GIRE. Il est l'instance au sein duquel sont représentés tous les principaux usagers de la ressource. Il est mis en place au niveau du sous bassin pour la prise en charge de la problématique de la gestion de l'eau et des ressources connexes. Il se charge de la mobilisation des usagers (agriculteurs, pêcheurs, éleveurs...) autour des principes de la GIRE, le choix des prestataires de service pour la mise en œuvre de certaines activités, le plaidoyer auprès des partenaires techniques et financiers. Le CLE se compose des usagers directs (agriculteurs, pêcheurs, éleveurs...), des représentants des collectivités locales, des services techniques.

11.1.2 Les acteurs d'appui /conseil

Les services d'appui conseil sont constitués principalement des services techniques et de l'agence de l'eau du Nakanbé. Les services techniques sont essentiellement :

- La direction régionale /provinciale de l'agriculture représentée par le service communal de l'agriculture et de l'hydraulique.
- La direction régionale/provinciale des ressources animales représentée par le service communal des ressources animales
- La direction régionale/provinciale de l'environnement et du cadre de vie représenté par le service communal de l'environnement et du cadre de vie.

Ils analysent la faisabilité des actions, Ils appuient et conseillent les différents acteurs sur les aspects techniques et participent à la formation et à la sensibilisation des usagers. Ils disposent cependant de peu de moyens (locomotion, carburants et autres matériels de sensibilisation).

11.1.3 Les collectivités territoriales

Dans le bassin du Nakanbé comme dans tout le Burkina Faso, le pays est passé à l'étape de communalisation intégrale. Les communes ont donc désormais un rôle important dans le développement. Elles s'occupent entre autres de la gestion de l'eau et des ressources naturelles dans leurs espaces de compétence. Cet important rôle fait d'elles des acteurs incontournables des Comités Locaux de l'Eau (CLE).

11.2 DEFINITION ET ROLE DES CLE

Le Comité Local de l'Eau (CLE) est un organe de l'Agence de l'Eau. Il n'a pas de personnalité morale. Il est une structure de concertation de base de la gestion intégrée des ressources en eau au niveau local. Le Comité local de l'Eau (CLE) est créé pour faciliter la résolution des problèmes de gestion d'eau au niveau indiqué. Ils sont chargés de la meilleure gestion des sous-bassins dont ils ont la charge. Ils travaillent en étroite collaboration avec le Comité de bassin. Les CLE sont destinés à résoudre des problèmes d'aménagement et de gestion des eaux de sous-bassins d'aquifères, de rivières, d'agglomérations urbaines et d'ouvrages ou pour aider à régler des conflits d'usage.

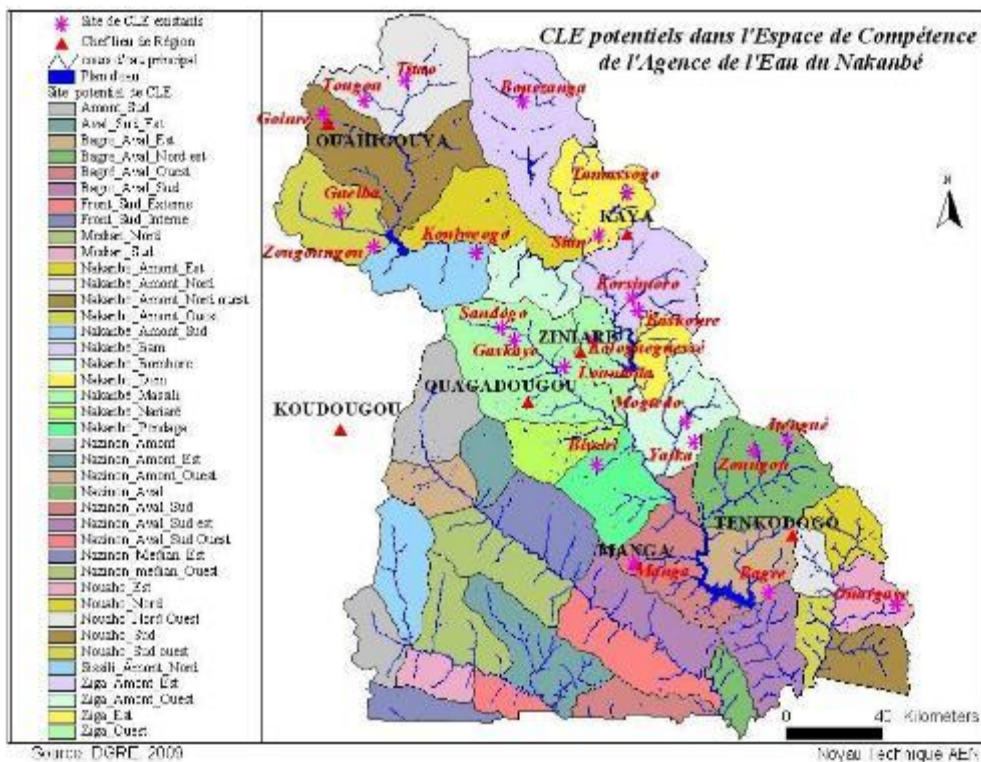
11.2.1 Les missions et prérogatives des CLE

Ses principales missions et prérogatives sont :

- rechercher sur un territoire d'application défini en liaison avec les ressources en eau (sous bassin versant), l'adhésion permanente des acteurs de l'eau à la gestion concertée des ressources en eau par la sensibilisation, l'information la formation ;
- initier et appuyer au niveau local, les actions de développement, de promotion, de protection et de restauration du domaine public de l'eau ;
- assurer une coopération d'une part avec les structures semblables, (autres CLE), et d'autre part avec les structures déconcentrées et décentralisées compétentes (CVD, CIVD, etc.) ;
- soumettre à l'Agence de l'Eau dont il relève, les décisions et les questions non résolues du CLE ;
- initier et mettre en œuvre au travers des maîtres d'ouvrage publics ou privés, des solutions aux problèmes d'aménagement et de gestion des eaux ;
- donner un avis sur les décisions administratives locales compétentes en lien avec leur objet ;
- contribuer à l'arbitrage des conflits d'usages et à la résolution des contentieux en lien avec leur objet ;
- mobiliser auprès de ses membres et partenaires divers et gérer de manière autonome et transparente des dons et des subventions dans le cadre de la mise en œuvre de leurs actions.

L'étude sur l'évaluation des CLE en 2007 montre qu'il est vrai qu'il y a un certain enthousiasme pour le développement des CLE autour du point d'eau, mais le fait demeure que strictement parlant de la pratique de la GIRE, cette approche doit encore être complétée par le recentrage de l'espace de gestion qui doit désormais correspondre à la zone sous bassin. L'examen du sous bassin comme un domaine de compétence du CLE a l'avantage de couvrir l'ensemble du bassin versant, et d'avoir des tailles raisonnables et gérables en termes de superficie pour les acteurs.

Cette vision permettra d'ici 2016 de mettre en place au total 40 CLE dont le processus a été entamé depuis 2012, dans les sous bassins versants de l'espace de gestion du bassin hydrographique du Nakanbé (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



carte 23:espace potentiel CLE dans le bassin Nakanbé

11.2.2 Les stratégies collectives

La mise en œuvre de la GIRE concerne aussi bien les chefs de ménage considérés comme des producteurs individuels que des groupes de producteurs qui peuvent être considérés comme des « groupes stratégiques ». Dans la situation présente, nos groupes stratégiques sont constitués des maraîchers, des éleveurs et des pêcheurs. Chaque acteur développe des stratégies de groupe pour atteindre un intérêt commun.

A la mise en place des CLE, des producteurs pensaient que la structure était une organisation de plus. Au fil du temps, les acteurs sont de plus en plus convaincus de son importance. Pour des interventions au niveau des barrages, beaucoup d'acteurs s'adressent au CLE. Ainsi, le CLE devient une occasion de bénéficiers des sites antiérosifs, des haies vives ou la réhabilitation des barrages.

Les éleveurs eux profitent du CLE pour le tracé des pistes à bétail. L'action la plus perceptible ici concerne la prévention ou le règlement des conflits agriculteurs-éleveurs.

Quant aux pêcheurs, ils semblent ne pas trop bénéficier des actions du CLE. Ils sollicitent le CLE surtout dans les actions de sensibilisation sur les mauvaises pratiques de pêche.

Enfin, les groupes stratégiques ensemble développent des stratégies en vue de tirer des intérêts où ils sont en compétition avec les ONG, projets, programmes dans la zone.

Ainsi nous pouvons affirmer que le comportement du producteur dans toutes activités est dicté par des intérêts économiques, politiques ou sociaux. Pour cela, il s'investit pour l'atteinte de ses objectifs. La collaboration, l'échange et la coopération en sont des moyens.

11.3 LES REPONSES AUX CHANGEMENTS RESSENTIS : TENTATIVES D'ADAPTATION

Les CLE qui en ont les moyens tentent de s'adapter ou, au minimum, de « résister » aux impacts du changement climatique, et mettent pour cela en jeu plusieurs mécanismes, au niveau individuel ou collectif. Certains privilégient des solutions de court terme (programme annuel), souvent peu durables tandis que d'autres essaient d'élaborer des programmes triennaux tendant à résoudre des problèmes de façon durable et définitive (les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)).

Pour faire face aux changements ressentis, les CLE en tant qu'un maillon de base pour la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau, bénéficient chaque année depuis 2008, d'une subvention de la part de l'Agence de l'Eau du Nakanbé pour la réalisation des actions de protections, de restauration, de sensibilisation etc. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présentent le bilan des activités réalisées par les CLE de l'espace de gestion du Nakanbé durant la période 2008-2014.

Tableau 53: récapitulatif des activités des CLE de 2008 à 2013 financées par l'AEN

Nom du CLE	Nombre de plants mis en terre	Nombre de personnes informées et sensibilisées	Mise en place des cordons pierreux (mètre linéaire)	Réalisation des pistes à bétail (m)	Autres activités
Bagré	13 550	300	1 500	1 000	
Ouargaye	6 750	460	500	-	
Lagdwenda	8 000	431	300	1 000	Délimitation et cartographie par 9 panneaux de signalisation de la zone des pistes à bétail
Itenga	7 000	300	500	-	
Bissiri	10 000	300	-	1 000	
Manga	10 000	444	1 000	-	
Dem et Sian	4 500	388	-	1 000	

Bourzanga	7 000	308	500	-	Balissage des bandes de servitudes à l'aide de bornes
Korsimoro	4 500	439	-	3 700	Réalisation de digues filtrantes
Tamassgo	6 600	215	900	-	Déblayage des arbres et arbustes sur les talus amont et aval de la digue du barrage de Tamassogo
Lac bam	500	308	-	-	
Koulweogo	7 200	331	500	-	
Guelba	7 825	401	1 000	-	Traitement des ravines
Tougou	6 640	308	700	-	
Goinré	2 000	308	-	-	Travaux de réfection de la digue du barrage de Goinré avec acquisition de 3 pelles, 2 brouettes et 1 arrosoir
Titao	9 500	131	900	500	
Zoungougou	5 600	331	1 500	1 000	
Loumbila	11 000	308	-	-	Protection d'un ravin au bord du barrage de Loumbila à Nougou
Yaïka	9 100	115	600	2 000	Réfection du canal primaire sur 1000 m
Sandogo	3 250	658	700	-	
Mogtédo	11 140	308	500	100	
Kologue-Guessé	14 700	331	-	500	
Zoungou	11 907	308	600	2 000	
Gaskaye	11 500	304	-	500	
Total	189 762	8 035	12 200	14 300	

Source : AEN

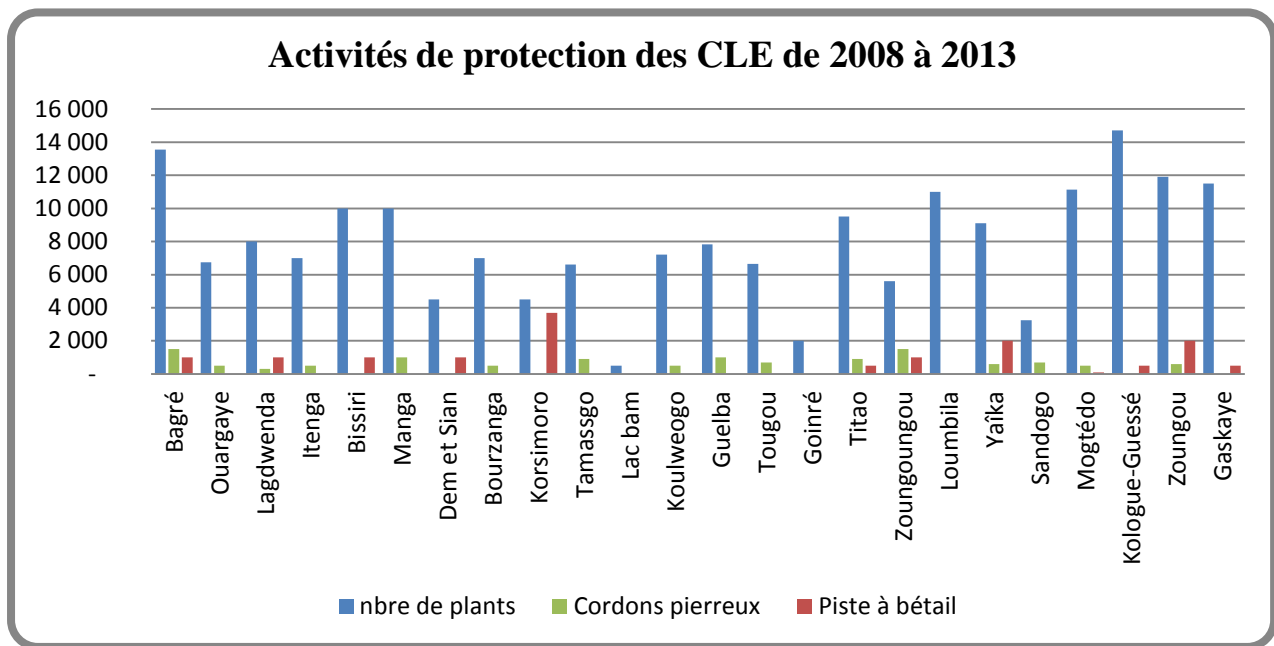


Figure 52: Activités de CLE de 2008 à 2013

✚ Le reboisement et la réalisation de haie vive

Le problème du changement climatique mondial est porteur de nombreuses incertitudes. Dans le domaine des forêts et de la foresterie, ces incertitudes ont trait à l'impact du changement climatique éventuel sur les écosystèmes forestiers, à l'adaptation des forêts au changement climatique et aux possibilités offertes par les forêts d'atténuer les effets négatifs prévus du changement climatique.

Au niveau local des sous bassins versant dans le Nakanbé au Burkina Faso, les CLE, de concert avec les structures techniques déconcentrées telles les directions régionales/ provinciales de l'environnement et de celles de l'agriculture, effectuent chaque année des plantations d'arbres.

La haie vive forme une structure végétale linéaire associant arbustes et arbres généralement plantés et entretenus pour former une clôture (Photo 9). La faible épaisseur de la haie, inférieure à 4m, en fait un écosystème particulier, associant une face ombrée, un cœur stable et dense et une face ensoleillée. Les haies vives sont généralement utilisées en limites de parcelle pour assurer la séparation des propriétés ou la protection contre l'intrusion au niveau des plans d'eau. Dans le paysage rural de bocage, composé de pâtures encloses de haies, elles assurent diverses fonctions : frontière, rétention/infiltration des eaux de ruissellement, source de bois-énergie ou de construction, de baies et fruits... protection microclimatique contre les chaleurs excessives ou le vent avec les haies brise-vent (en). On leur reconnaît aujourd'hui aussi un rôle d'abri pour de nombreux auxiliaires de l'agriculture et de corridor biologique.

Le reboisement vise à restaurer ou créer des zones boisées ou des forêts qui ont été supprimées par coupe rase (ou « coupe à blanc ») ou détruites par différentes causes dans le passé (surexploitation, incendie de forêt, surpâturage, guerre...). Parfois, il s'agit explicitement de zones de protection. C'est notamment des berges où les maraichers à la poursuite de l'eau, s'installent à même sur les lits des barrages pour y effectuer leurs exploitations agricoles. Outre cela, nous avons l'afforestation qui est le boisement sur des terres vierges d'arbres depuis longtemps.



Photo 9 : plants mis en terre sur le barrage de Kolguéguessé

Au total, nous enregistrons 189 762 pieds de plants mis en terre sur le bassin du Nakanbé depuis 2008 jusqu'à 2013 autour des points d'eau (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les acteurs sont essentiellement les membres des CLE et repartis comme indique le tableau ci-dessous. Le nom des CLE représente ici des points d'eau.

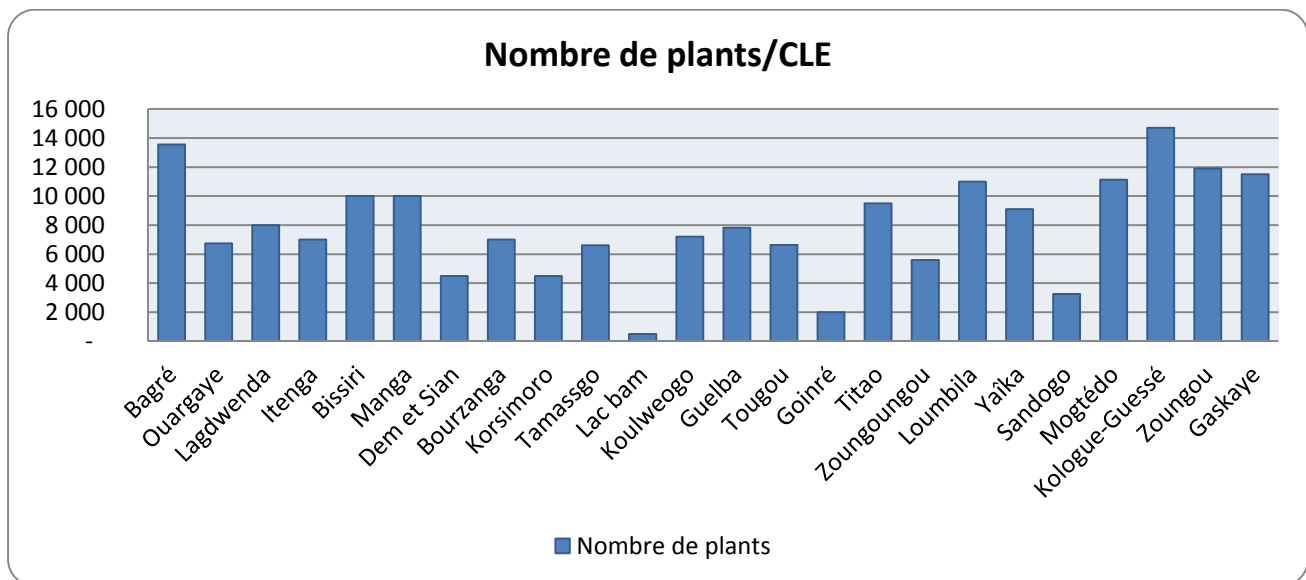


Figure 53: plants mis en terre par les CLE en 2008-2013

Source : AEN

Sur l'ensemble du bassin couvert par les 24 CLE, on note un taux d'échec d'environ 10%. Les espèces utilisées dans le bassin du Nakanbé à travers les comités locaux de l'eau sont le plus souvent:

anacardium occidentale, khaya senegalensis, parkia biboglasa, tectona grandis, acacia nilotica, prosopis juliflora, bauhinia rufescens, mangifera indica, spidium guajava.

✚ Les cordons pierreux

Ce sont des pratiques qui varient d'une région à une autre. Les buttes peuvent être construites en terre, en pierre ou en bois, selon la matière première disponible. Dans l'espace de gestion du Nakanbé, les buttes utilisées sont celles faites à base des pierres ou de moellons communément appelés cordons pierreux. Le nombre et la hauteur des buttes sont raisonnés en fonction de la pente observée. Ce travail peut nécessiter alors un relevé topographique au préalable, lorsque nous avons de grandes superficies.

Les objectifs visés dans cette technique par les CLE, dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques sont principalement la lutte contre l'érosion des sols, le maintien de la fertilité des sols et la favorisation de l'infiltration de l'eau dans la nappe phréatique. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente le bilan des cordons pierreux mis en terre.

Son appropriation est très facile par les paysans. En effet, la mise en place de buttes antiérosives se fait manuellement ou à l'aide de la traction animale (un aller/retour de charrue). Pour plus d'efficacité, les buttes peuvent être végétalisées avec des plantes favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol et servant de filtre à particules. Le vétiver (exemple de *Andropogon Gayanus*) est particulièrement indiqué. Les services techniques en charge de l'environnement et ceux de l'agriculture sont beaucoup sollicités dans la mise en œuvre de ces pratiques.

Du point de vue environnemental, la mise en place de buttes antiérosives permet un ralentissement de la vitesse de ruissellement de l'eau de pluie, une limitation de l'érosion du sol, une limitation de l'ensablement des bas-fonds.

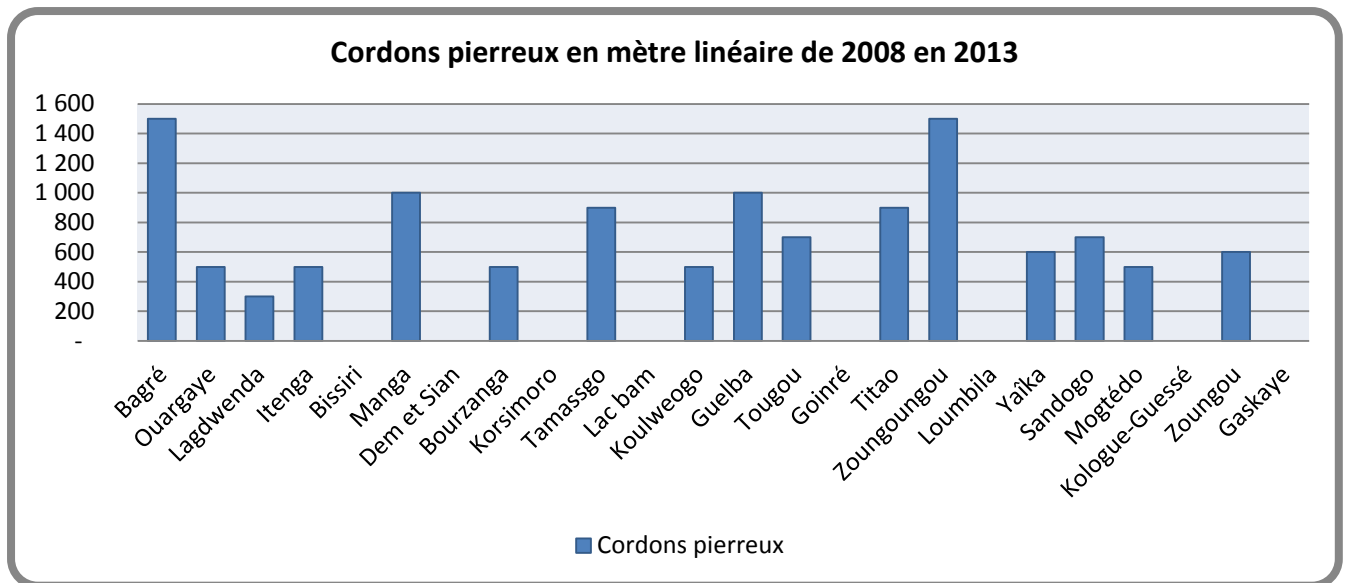



Figure 54: Bilan des cordons pierreux mis en place par les CLE

 Les pistes d'accès à l'eau

Le secteur de l'élevage malgré sa part dans l'économie du Burkina, rencontre beaucoup de difficultés dont la plus plausible concerne le manque de sécurité foncière, c'est à dire une gestion équitable pour les éleveurs de l'accès à l'eau et aux pâturages. Le reste des problèmes est lié à l'organisation du côté des éleveurs, et du manque d'entretien des ouvrages hydrauliques. Ces difficultés sont communes à l'ensemble de l'espace de gestion du bassin du Nakanbé.

L'une des contraintes majeures pour le développement de l'élevage se trouve dans la disponibilité de l'eau ainsi que sa répartition saisonnière. Cependant, le manque de gestion des aménagements en hydraulique pastorale existant, et l'absence d'un appui technique et d'un contrôle annuel par un service étatique, font que la majorité d'entre eux sont en mauvais état ou hors d'usage.

Toutefois, la situation pour l'abreuvement du bétail devient de plus en plus complexe et est source à de nombreux conflits à cause de :

- la forte pression démographique ;
- la progression de l'agriculture se concentrant au niveau des bas-fonds, des mares et autres points d'eau, et réduisant les pistes d'accès vers les points d'eau ;
- la diminution du nombre de points d'eau encore accessibles à cause de l'implantation de champs de cultures des migrants ;
- le surpâturage autour des points d'eau à grande capacité encore accessible.

Toutes ces causes engendrent d'énormes conséquences environnementales que nous pouvons retenir :

- La dégradation du couvert végétal;

- La destruction des berges ;
- La dégradation des sols ;
- La dégradation des champs ;
- La pollution de l'eau.

Pour résoudre les différentes problématiques précédemment soulevées, les comités locaux de l'eau ont, à travers l'Agence de l'Eau du Nakanbé, opté pour la construction des couloirs ou des pistes d'accès à l'eau (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

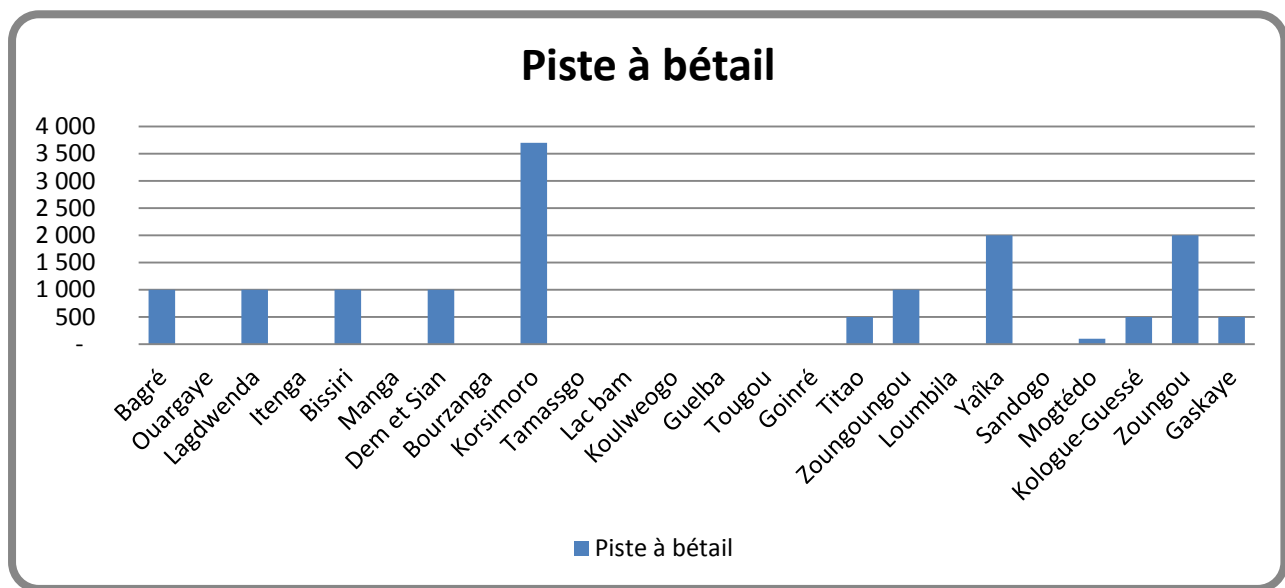


Figure 55: bilan des pistes à bétail réalisées par les CLE

Source : AEN

En somme, toutes ces pratiques d'adaptation visent à améliorer l'infiltration des eaux de ruissellement, à augmenter la disponibilité des ressources en eau souterraines, à freiner l'érosion éolienne et hydrique, à réduire le comblement des cours d'eau et des retenues d'eau, à augmenter la fertilité et l'humidité des sols, à conserver les sols et à les protéger contre l'action érosive, à réduire le phénomène de l'évaporation, à lutter contre les différents types de pollution des eaux, à restaurer les berges, à réduire l'insécurité alimentaire, à lutter contre la pauvreté, etc.

✚ Les formations/sensibilisation

Outre les activités physiques, les membres CLE ont bénéficié des renforcements des capacités dans lesquels un bon nombre de thématiques entrant dans le cadre de la gestion des ressources en eau ont été abordées. D'une manière générale, les membres des CLE ont marqué un grand intérêt pour les modules développés au cours de ces sessions d'informations et de sensibilisations. Cela a été constaté

par la prise de notes régulière lors des formations, les interventions conduisant souvent à une insuffisance de temps de travail dans les groupes, un nombre incalculable de questions de compréhension et d'éclaircissements, la forte participation dans les travaux de groupes ainsi que les causeries extra-séance illustrant bien ce fait. Aussi, l'engouement des participants remarqué à travers la participation aux débats soulevés dans certains modules.

Nonobstant la non maîtrise du français par certains membres, il ressort qu'environ 91% des participants disent avoir bien compris et assimilé les contenus des différents modules qui ont dans tous les cas été traduits en langue locale.

11.4 IMPACT DES ACTIONS POSEES PAR LES CLE SUR LA RESSOURCE EN EAU ET SUR LA POPULATION

Les actions menées par les CLE sur le terrain ont un impact positif sur les ressources naturelles et sur la vie de l'homme. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** fait la synthèse des impacts provoqués par les activités des CLE dans l'espace de gestion du Nakanbé.

Tableau 54: Synthèse des impacts positifs des activités des CLE

Actions réalisées	Impacts enregistrés sur les ressources naturelles et sur l'homme
<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation de haie vive 	<ul style="list-style-type: none"> - Lutte contre le comblement des cours d'eau - Amélioration des conditions pédologiques - Restauration des sols dégradés - Recharge de la nappe d'eau - Fixation et stabilisation des berges - Réduction du phénomène d'érosion - augmentation de la disponibilité en eau souterraine - augmentation de la capacité de production agricole, sylvicole, pastorale et halieutique - réduction de l'insécurité alimentaire
<ul style="list-style-type: none"> - Plantation sur les berges 	<ul style="list-style-type: none"> - Libération des berges contre toute forme d'exploitation - fixation des berges

	<ul style="list-style-type: none"> - réduction de l'érosion de la surface reboisée - retardement du ruissellement - favorisation de la recharge de la nappe - diminution des risques d'inondation - augmentation de la disponibilité en eau souterraine - augmentation de la capacité de production agricole, sylvicole, pastorale et halieutique - prise de conscience sur l'importance de l'eau - réduction de l'insécurité alimentaire
<ul style="list-style-type: none"> - Activités préparatoires (information, sensibilisation, implication, mobilisation, participation, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - augmentation de la connaissance de l'importance de l'eau - prise de conscience sur la nécessité de protéger l'eau - prise en compte des valeurs culturelles dans la gestion de l'eau - considération patrimoniale de la ressource eau et ressources associées
<ul style="list-style-type: none"> - Activités de Suivi et de surveillance des berges 	<ul style="list-style-type: none"> - Libération des berges - intimidation contre toute pratique contraire aux règles de bonne gestion de l'eau

11.5 DISCUSSION

Au terme de notre analyse, nous pouvons affirmer que la crise de l'environnement qui se caractérise par la dégradation des terres de culture rend aujourd'hui précaire les activités agricoles, pastorales et piscicoles qui sont les principales activités en milieu rural. Ce phénomène de la dégradation des terres de culture place ses populations en situation de précarité et touche à un élément central commun à tous les acteurs, qui est l'eau. Pour appuyer les populations rurales à la résolution de ces problèmes

que le concept de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau est mis en œuvre au niveau du bassin du Nakanbé.

La GIRE est une gestion concertée et durable des ressources en eau. La mise en œuvre de cette politique par l'Etat au niveau du bassin du Nakanbé est confiée à l'AEN qui s'appuie à son tour sur les Comités Locaux d'Eau au niveau des sous bassin. Les CLE ont en leur sein des organisations de maraîchers, d'éleveurs, de pêcheurs, des collectivités locales, les services techniques communaux.

Pour faire face à l'ensemble de ces problèmes, les CLE mènent des actions qui rentrent également dans l'adaptation au changement climatique. Ces actions sont menées dans un environnement de GIRE qui encadre les actions de ces CLE par 4 principes directeurs comme :

- L'eau est une ressource limitée et vulnérable qui est indispensable à la vie, au développement et à l'environnement ;
- Le développement et la gestion des ressources en eau devraient être basés sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux ; Les femmes jouent un rôle central dans la fourniture, la gestion et la sauvegarde de l'eau ;
- L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue comme bien économique.

Dans le domaine de l'agriculture, les CLE ont pu mener des activités de conservations des eaux et des sols. Ces actions ont permis de végétaliser et de mettre en place des dispositifs de protection des berges. Toutes actions contribuant à la fertilisation des sols, à l'augmentation de la capacité de rétention en eau des sols, à l'augmentation de l'infiltration des eaux. Ces actions sont en soi des actions d'adaptation au changement climatique.

En outre, chaque acteur rencontre des difficultés dans son travail. ces contraintes sont liées à la gestion de la ressource et ont quelques fois pour conséquence des conflits. Les plus fréquents sont les conflits agriculteurs –éleveurs et des conflits éleveurs-pêcheurs. Le règlement se fait surtout à l'amiable grâce aux fortes relations de parenté qui existent entre les acteurs. En réalité, la majorité des éleveurs sont à la fois des maraîchers ou des pêcheurs. Un autre conflit non déclaré mais en instance dans les années à venir est la gestion des terres. Cela est beaucoup perceptible sur le site de Bissiri au Bazéga.

Or, le conflit en tant que rapport de pouvoir est inhérent à toute relation sociale, à toute collaboration, à tout échange ou coopération entre les acteurs sociaux. Et en tant que système de réciprocité, de relation sociale entre les acteurs, la participation à des activités engendre une relation conflictuelle dans la mesure où est une confrontation entre les différents acteurs sociaux à la recherche de la satisfaction d'un intérêt. C'est donc un jeu d'intérêt où les acteurs s'affrontent autour d'intérêt économiques, politiques ou social.

En plus de la fertilisation des sols et l'augmentation de la disponibilité en eau agricole, les CLE ont mis en place des outils de gestion et de prévention des conflits. Ce qui a réduit fortement les conflits inter usagers.

Grâce à l'action des CLE, les productions agricoles autour des cours connaissent une amélioration en termes de rendement et de continuité dans le temps. Les eaux sont rendues disponibles pour permettre de produire permanemment pendant la saison pluvieuse. L'allocation de l'eau est faite en cas de sécheresse, c'est le cas dans plusieurs sites où les productions dans les périmètres aménagés et hors périmètres sont faites à tour de rôle pour permettre à la population d'assurer leurs besoins. Le chômage est réduit autour des plans d'eau car l'eau est partagée conséquemment en fonction de la demande. La ration alimentaire est améliorée dans les localités gérées par les CLE. Les bénéfices sont réalisées avec les produits du maraîchage qui est la principale activité de contre saison.

Sur le plan de l'élevage, les pistes à bétails sont réalisées pour permettre aux producteurs d'abreuver aisément leurs bétails. Les conflits sont réduits. Les éleveurs ont gagné le droit de mener concrètement leurs activités et de prévoir des mesures d'extension de leur cheptel. De plus le fourrage est rendu disponible et la collaboration inter usager est améliorée. Les séances de formation et de sensibilisation ont beaucoup contribué à sécuriser la pratique pastorale. L'allocation des ressources en eau permet à chaque catégorie d'usagers de trouver son compte sans compromettre les intérêts des autres.

La sylviculture est très encouragée autour des berges des barrages. Les CLE créent autour de certains plans d'eau des vergers au profit des propriétaires terrains. Ces vergers sont entretenus par les populations locales propriétaires, afin que ces derniers puissent libérer les berges et éviter ainsi le comblement des cours d'eau et la fragilisation des infrastructures.

Dans l'ensemble la biodiversité est préservée et restaurée par les activités des CLE dans une mesure assez large. La reconstitution des terres, de la végétation, la protection des barrages, l'allocation de l'eau en tenant compte des débits environnementaux ont beaucoup contribué à la gestion des ressources naturelles dans l'espace de gestion du Nakanbé.

L'analyse a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- Le processus d'adoption des bonnes pratiques de gestion des ressources en eau par les différents acteurs tient compte des logiques d'acteurs en présence.
- Chaque acteur dans chaque sous-bassin se positionnerait en fonction de ce qu'il gagne ou de ce qu'il perd autour de la ressource.
- Les enjeux détermineraient les stratégies d'action des acteurs.

L'appropriation des règles modernes d'usage de l'eau dépendrait des pratiques socio-culturelles du milieu local. Pour être plus précis, il ressort de cette étude que toutes les hypothèses sont exactes à savoir que :

- Les questions de l'eau peuvent se gérer à travers la création d'un cadre qui regroupe l'ensemble des acteurs partageant des intérêts autour d'une ressource d'eau et même de l'ensemble des ressources naturelles et ce, selon le principe de subsidiarité. Cette structure peut bien être le Comité Local de l'Eau
- Une telle organisation que sont les Comités Locaux de l'eau sur l'ensemble du nakanbé contribue à une meilleure gestion des ressources naturelles et partant, à l'adaptation au changement climatique.
- La gestion par unité hydrographique (bassin et sous bassin) est la meilleure parce que beaucoup plus intégratrice à tout point de vue.

La mise en œuvre des actions d'adaptation aux changements climatiques, dans un tel contexte permet à la population de devenir de plus en plus résiliente face au changement climatique dans le contexte GIRE.

Toutefois des efforts restent à faire pour mieux doter les CLE de tous les instruments GIRE afin qu'ils puissent mieux s'investir dans le domaine de l'adaptation au changement climatique. C'est pourquoi, nous recommandons à l'Agence de l'eau du Nakanbé, la mise en place dans les meilleures formes requises des CLE sur l'ensemble de son espace de gestion, à défaut, sur l'ensemble des sous bassins sensibles

Il s'avère nécessaire également pour l'Agence de l'Eau de créer des conditions nécessaires pour l'accompagnement des CLE dans l'exercice de leur pleine mission.

CONCLUSION PARTIELLE

Au terme de cette partie, il ressort clairement que l'action anthropique qui engendre les changements climatiques dont les effets et impacts négatifs majeurs sont entre autres la dégradation des cours et retenues d'eau, l'apparition de la végétation claire, la diminution de la végétation dense, la modification de la morphologie des cours d'eau, la sédimentation, le ravinement, le glissement des berges. Dans sa dynamique de recherche de solutions, les producteurs du bassin du Nakanbé ont trouvé et/ou adapté des solutions à leur niveau. Ces solutions sont entre autres :

- Les cordons pierreux

- Les stratégies participatives de reforestation
- La régénérescence naturelle assistée
- La pratique des demi-lunes
- Les diguettes anti-érosives
- Le Zaï

Toutes ces techniques ont montré leur efficacité dans la récupération des sols dégradés comme le Zipélé, dans l'amélioration de la fertilité physique, chimique et biologique des sols. Elles permettent également de réduire l'érosion et d'avoir un apport qualitatif et quantitatif aux ressources en eau et ressources connexes.

Toutefois, ces actions, si elles sont efficaces, risquent de ne pas être bien suivies, si les initiatives (projets généralement) qui les ont portées venaient à disparaître. C'est pourquoi une des solutions holistiques peut être la création des structures locales pérennes comme les Comités Locaux de l'Eau qui intégreraient bien toutes les actions de lutte et de mitigation des changements climatiques dans ses missions, dans la mesure où cela s'intègre et s'accommode bien avec la gestion intégrée des ressources en eau. Ainsi, la lutte contre les effets des changements climatiques peut se faire dans un cadre plus cohérent dans le sous bassin hydrographique qui aura l'avantage d'agir localement (chaque CLE) pour un impact global.

CONCLUSION GENERALE : LA GIR (GESTION INTEGREE DES RESSOURCES) COMME PANACEE

L'étude sur les pratiques agro-sylvo-pastorales d'adaptation aux changements climatiques : effets et impacts sur les ressources en sols et en eau dans l'espace de gestion du Nakanbé au Burkina Faso révèle une dynamique importante qui mérite une réflexion profonde sur la gestion de nos ressources naturelles. En effet, pour la période de 1982, 1992 et 2011, l'étude multichronique révèle que :

Les superficies de champs sont en constante évolution (croissance) et ont passé de 37,47% de la superficie totale du bassin du Nakanbé en 1982, à 49,92% en 1992 et à 65,17% en 2011

Les plans d'eau ont connu une évolution de 0.24 % de la superficie totale en 1982, à 0.70 % en 1992 et 0.70 en 2011

La végétation dense quant à elle, a connu une baisse drastique de 23.93 % (superficie totale) en 1982, à 5.97 % en 1992 pour connaître une timide augmentation en 2011 où elle se situe à 6.46 %

La végétation claire a connu une augmentation avec 28.32 % en 1982 et 30.20 % en 1992 pour diminuer à 24,87 % en 2011

La superficie des sols nus est passée de 1.32 % en 1982, à 3.56 % en 1992 et à 0.32 % en 2011

Les superficies des affleurements rocheux ont évolué de 8,72 en 1982, 9,65 en 1992 et 2,48 en 2011.

Cette importante dynamique de l'évolution des ressources naturelles est sans doute le résultat des dynamiques naturelles mais également des dynamiques anthropiques liées essentiellement à l'évolution des pratiques agrosylvopastorales.

L'étude arrive clairement aux conclusions que :

- Les terres et plus particulièrement les bas-fonds et les abords des cours et plans d'eau connaissent une utilisation inadaptée et entraînent leur dégradation dans le contexte de changement climatique.

- La caractérisation des terres en général et des bas-fonds en particulier, et leur mode d'utilisation aident à une meilleure gestion des sols, des eaux et des ressources connexes par la définition de stratégies adaptées à chaque type d'entité agro-pédo-climatique.
- Dans le bassin du Nakanbé, le suivi des teneurs en nitrates, ortho-phosphate et de la DBO5 dans les barrages de Goinré, de Ziga et de Bagré révèle que ces paramètres contribuent à l'eutrophisation de ces retenues d'eaux.
 - Bien que leurs valeurs soient relativement faibles, la qualité de ces eaux doit être contrôlée afin d'éviter des situations de pollution irréversible
 - L'érosion et l'ensablement sont provoqués par les facteurs naturels et anthropiques dont les plus déterminants sont les pratiques agricoles, pastorales et sylvicoles, les événements naturels comme le ruissellement, la pluie directement tombée et le vent.
 - Il y a tantôt une augmentation, tantôt une diminution des écoulements selon les différents modèles climatiques utilisés et les échelles spatio-temporelles et qu'aucun consensus scientifique n'est fait sur l'évolution future des ressources en eau du bassin du Nakanbé à Wayen, ce qui handicape la prise de décision suivant des analyses prospectives et donc, une bonne planification et une meilleure gestion des ressources en eau.
- Il y a de plus en plus une prise de conscience générale par les producteurs eux-mêmes qui font une classification des terres principalement en fonction de l'état de dégradation
- Cette classification pourrait permettre une catégorisation des régions en fonction des niveaux de dégradation, une orientation des projets et de la recherche dans la conception des stratégies d'adaptation diversifiées.
- Elle (cette classification paysanne) peut être constituée comme une clé de dialogue participatif dans le cadre de la lutte intégrée contre la dégradation des ressources naturelles.
- Conscients de cette situation de dégradation les acteurs et en particulier les paysans eux-mêmes ont entrepris de développer des techniques de défense et de restauration des sols, de conservation des eaux et des sols (DRS/CES) au nombre desquels il y a :
 - la reforestation des berges qui a été initiée ces dernières années et qui commence à faire ces preuves dans la restauration des berges dégradées. Elle permet d'accélérer la régénération de la végétation, la restauration de la fertilité et de la texture des sols.
 - La technique des cordons pierreux et
 - La technique des demi-lunes : ces deux techniques permettent la récupération des sols dégradés à travers la réduction des pertes en terre fine l'accroissement des teneurs en matière

organique. Cette amélioration des propriétés du sol s'accompagne d'une régénération de la végétation herbacée et ligneuse provenant des formations végétales environnantes.

- Le Zai, le paillage, les bandes enherbées, les cordons pierreux végétalisés.....sont d'autres techniques de restauration des sols utilisés par les paysans.

Au delà de toutes ses mesures et précautions prises, la situation des ressources naturelles en 2011 se présente comme suit :

Les champs couvrent une superficie de 39.321,62 km² (65,17% de la superficie totale).

Les sols nus représentent 0,32% de la superficie totale et concernent 193,08 km².

La végétation claire occupe une superficie de 15.005,81 km², soit 24,87% de la superficie totale ;

La végétation dense occupe 3.897,77 km², soit 6,46% de la superficie totale.

Les affleurements rocheux constituent 2,48% de la superficie totale et se répartissent sur 1.496,36 km².

Les cours et retenues d'eau occupent une superficie de 422,36 km², soit 0,70 de la superficie totale de l'espace de gestion.

Cette situation n'est pas forcément des plus reluisantes, c'est pourquoi, il paraît nécessaire d'envisager d'autres solutions beaucoup plus holistiques. Nous recommandons entre autres

A l'ensemble des acteurs de développement de toujours prendre en considération dans tous les projets de développement les connaissances endogènes, mieux, de partir des connaissances endogènes pour tout processus de développement.

A la communauté scientifique d'orienter les recherches vers la modélisation de la dynamique des terres, des eaux, de la flore et des autres ressources naturelles, en intégrant les aspects biophysiques et socio-économiques.

A la communauté scientifique et aux acteurs de développement, la vulgarisation auprès des producteurs et l'intégration des pratiques d'adaptation au changement climatique dans toutes les activités de développement.

Aux institutions en charge du contrôle des pesticides de faire un contrôle plus rigoureux sur le marché des intrants agricoles (engrais et pesticides) et un suivi régulier de la qualité des eaux afin d'éviter des situations désastreuses.

Aux décideurs, de prendre des mesures fortes nécessaires en terme de règlements et surtout de leur application, pour une meilleure protection de nos ressources en eau, sols et ressources connexes contre les phénomènes de pollution, d'érosion et de dégradation des ressources.

Aux décideurs et surtout à l'Agence de l'eau du Nakanbé de prendre les dispositions fortes nécessaires dans le cadre de l'élaboration de son SDAGE, pour une protection intégrale de l'ensemble des berges du Nakanbé afin de permettre un retour du régime normal de ce fleuve si important pour le développement du Burkina Faso

Pour juguler l'ensemble de ces problèmes, une bonne organisation au niveau qu'il faut avec les acteurs qu'il faut est indispensable. La mise en place des CLE répond à cet impératif par ce qu'ils sont à même de mettre en place des actions, pour l'atténuation et l'adaptation aux phénomènes du changement climatique. Ces actions permettent à la population de devenir de plus en plus résiliente face au changement climatique dans le contexte GIRE.

Toutefois, des efforts restent à faire pour mieux doter les CLE de tous les instruments GIRE afin qu'ils puissent mieux s'investir dans le domaine de l'adaptation au changement climatique. C'est pourquoi, nous recommandons à l'Agence de l'eau du Nakanbé, la mise en place dans les meilleures formes requises des CLE sur l'ensemble de son espace de gestion, à défaut, sur l'ensemble des sous bassins sensibles

Plus exactement, il s'agit en terme de préconisation de prendre des mesures efficaces et urgentes au triple plan organisationnel, institutionnel et planification de la gestion des ressources naturelles du Nakanbé. Il s'agit entre autres :

De faire en sorte que l'Agence de l'eau puisse réellement jouer son rôle fédérateur de l'ensemble des acteurs pour la gestion intégrée des ressources en eau, toute chose qui concerne la gestion des ressources Naturelles de manière générale. La porte d'entrée pourrait être des Comités locaux de l'eau qui regroupe l'ensemble des acteurs du développement rural et qui comprennent l'importance du rôle qui est le leur.

De définir une vision globale pour l'ensemble du bassin qui prenne en compte, les préoccupations et les aspirations de la base sur tous les plans et ensuite faire une planification holistique qui intègre tous les défis pour arriver à cette vision.

De travailler au renforcement des institutions pour qu'elles soient à même de relever les défis liés au développement du bassin.

Pour être plus clair, il s'agit de faire en sorte que l'on puisse mettre en œuvre les principes et les outils de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), qui n'est rien d'autre que la Gestion Intégrée des Ressources (GIR)

Pour sûr, le potentiel de développement de ce bassin est en lui et en chacun des fils et filles du Bassin (voire du Burkina) et le développement de ce potentiel est en nous, mais seulement avons-nous la volonté d'y aller franchement ?

Dans tous les cas si nous, génération d'aujourd'hui nous ne répondons pas à l'appel du devoir de faire de ce bassin le vivier d'un développement sûr et durable, les générations futures nous interpellent car « nous n'héritons pas la terre de nos ancêtres, nous l'empruntons chez nos enfants ».

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A. ALI, A. AMANI, B. SARR, 2010. Le sahel face au changement climatique : enjeux pour un développement durable, Bulletin mensuel du Centre AGRHYMET, Niamey, Niger, 42 p.
- A. B. YAO, B. T. A. GOULA, Z. A. KOUADIO, K. E. KOUAKOU, A. KANE, S. SAMBOU, 2012. Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 19 (2012), pp. 136 – 157.

- A. BODIAN, H. DACOSTA, A. DEZETTER, 2011. Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique. *Physio-Géo*, V, 116-133.
- A. BODIAN, H. DACOSTA, A. DEZETTER, 2012. Apport de la modélisation pluie-débit pour la connaissance de la ressource en eau : application au haut bassin du fleuve Sénégal. *Climatologie*, vol. 9 (2012), pp. 109-125.
- A. DEZETTER, J. E. PATUREL, D. RUELLAND, S. ARDOIN-BARDIN, L. FERRY, G. MAHE, C. DIEULIN, E. SERVAT, 2010. Prise en compte des variabilités spatio-temporelles de la pluie et de l'occupation du sol dans la modélisation semi-spatialisée des ressources en eau du haut fleuve Niger. In 'Global Change: facing risks and threats to water resources', proceedings of the sixth world FRIEND conference; Wallingford: IAHS, 544-552.
- A. N'DIA, 2010. Contribution à l'amélioration des connaissances sur la variabilité climatique & détermination des crues de référence dans la vallée du fleuve Sénégal en Mauritanie. Mémoire de Mastère en Gestion Concertée des Ressources Naturelles, option GIRE/ E, Niamey, Niger, 55P.
- AEN, 2010. Etat des lieux des ressources en eau de l'espace de gestion du Nakanbé. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, 203p.
- ALBERGEL J. et CLAUDE. 1988. Fonctionnement hydrologique des bas-fonds. Synthèse préliminaire. ORSTOM/CEE/CIRAD/ISRA/R3S. Dakar. 27P.
- ALBERGEL J. et LAMACHERE J. 1993. Mise en valeur agricole des bas-fonds au sahel : typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles ; rapport final d'un projet CORAF-R3s, Cirad, Montpellier, France.335P.
- ALBERT NIKIEMA, SIBIRI JEAN OUEDRAOGO & JOSEPH BOUSSIM, 1998. Situation des Ressources Génétiques Forestières du Burkina Faso.
- ALBERT NIKIEMA, SIBIRI JEAN OUEDRAOGO & JOSEPH BOUSSIM, Situation des Ressources Génétiques Forestières du Burkina Faso, sept 1998.
- AMADOU S. Z., 2008. Pollution agricole des eaux : études de cas de la contamination des eaux souterraines par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire et de la pollution des eaux dans le bassin du Nakanbé : cas des réservoirs de Loubila et de Mogtédó (Burkina Faso). *Mémoire master GIRE*. 2ie. 58p.
- AMINOT A., BELIN C., CHAPELLE A., GUILLAUD J. F., JOANNY M., LEFEBVRE A., MENESGUEN A., MERCERON M., PIRIOU J.Y. et SOUCHU P., 2001. L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. *Rapport IFREMER DEL/EC/01.02*. 64p
- AP3a. 2001. Le contexte de la vulnérabilité structurelle pour le système de production dans les pays du CILSS. CILSS.126P.

- ARBONNIER M. 2002. Arbres arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. GRAD MNHN, France.573P.
- ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H, E., OVALLE C. et PONTANIER R., 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid regions. I. A view from the south. *Restoration Ecology* N° 1:8-17.
- B M R G M. 1961. Recherches Géologiques et Minières. Ouagadougou, Burkina Faso. Données cartographiques.
- BACHE, B.W. and HEATHCOTE, R.G. 1969. Long-term effects of fertilizers and manure on soils and leaves of cotton. *Experimental Agriculture* 5: 241-247.
- BACYE B., 1993. Influence des systèmes de culture sur l'évolution du statut organique et minéral des sols ferrugineux et hydro morphes de la zone-soudano-sahélienne (province du Yatenga, Burkina Faso). *Thèse de doctorat* ; Université Aix-Marseille III ; 258p.
- BAKO D., 2011. Financement de l'agriculture et croissance agricole : cas du Burkina Faso. *Articles de la DPSAA à des conférences scientifiques*. 211p
- BARRIUSO E., CALVET R., SCHIAVON M. et SOULAS G., 1996. Les pesticides et les polluants organiques des sols : transformations et dissipation. *Forum « le sol un patrimoine menacé ? »*. Numéro spécial ; pp 279-296.
- BENISTON M. 2009. Changements climatiques et impacts de l'échelle globale à l'échelle locale.1. Italie. Presses polytechniques et universitaires romandes : 147P.
- BROWSERS M. 1974. Etude morphopédologique de connaissance pour l'implantation des périmètres irrigués : région de Bagré-Sud. IRAT, Montpellier.5-35PP.
- BU.NA.SOL. 1987. Méthode d'analyse physique et chimie des sols, eaux et plantes. DT N° 3. 158P.
- C. J. BEGOU, 2009. Contribution à l'amélioration de la connaissance sur la ressource en eau de surface et à la gestion des risques hydrologiques dans le Niger moyen. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de Master en gestion intégrée des ressources en eaux. Niamey, Niger, 50P.
- C.P.C.S. 1967. Classification des sols, Travaux C.P.C.S., 1963 -1967. Paris- Grignon.96P.
- CIRAD-GRET et MAE, 2002. Mémento de l'agronome, 5ème édition. ISBN 2-86844-129-7. 1691p.
- CISSE A. et TOURE I. 1991. La conservation du milieu et des ressources naturelles au sahel. RCS-SAHÉL DAKAR.140P.
- COINTEPAS J. P. et MAKILO R., 1982. Bilan de l'évolution des sols sous culture intensive dans une station expérimentale en milieu tropical humide. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, serie Pédol., vol. XIX, N°3, pp 271-282.
- CORESUR. 2009. Comité régional de Secours d'Urgence et de Réhabilitation. Ouagadougou, Burkina Faso.37P.

DEVILLE P. et BOUCHER L. 1996. Les bas-fonds en Afrique tropicale humide : guide de diagnostic et d'investigation. Collection le point sur CF/CTA/GRET. CF/CTA/GRET.415P.

DGPSA, 2007. Prévisions et statistiques agricoles. Ouagadougou, Burkina Faso. 32P.

DOMMERGUES Y., 1962. Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zones semi arides et zones tropicales sèche. *Ann. Agron.* 13 (4), pp. 265-324.

DRED/CS, 2000. Monographie de la province du Bazèga. RGPH/ CS, Ouagadougou. Burkina

F. KANOHIN, M. B. Saley, I. Savane, 2009 : Impacts de la Variabilité Climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide: Cas de la Région de Daoukro en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X Vol.26 No.2 (2009), pp.209-222.

F. Tazen, H. Karambiri, H. Yacouba, B. Barbier, J. E. Paturel, B. Ibrahim, 2012 : impacts des scenarii climatique et de l'occupation des sols sur les ressources en eau du bassin versant du Nakanbé (Burkina Faso). *Climat et Développement*, N°. 14 (2012), pp. 123-137.

FAO, 1997. Le Travail du Sol pour une Agriculture Durable. Département du développement durable. *Archives de documents de la FAO*. AGL/MISC/21/97.

FAO, 1999. Guide pour une gestion efficace de la nutrition des plantes. 30p.

FAO, 2002. Agriculture mondiale: horizon 2015/2030. *Rapport abrégé*. ISBN 92-5-204761-1. 97p.

FAO.1994. Directives pour la description des sols. 3é éd. Rome. 72P.

FAYE M. M., DIOUF O., NDIAYE K. O. et FAYE L. M., 2011. Cadre de gestion environnementale et sociale (CGES). *Projet pole de croissance de Bagré (PPCB). Rapport final*. 179p

G. Mahe, P. Diello, J. E. Paturel, B. Barbier, H. Karambiri, A. Dezetter, C. Dieulin, N. Rouché, 2010 : Baisse des pluies et augmentation des écoulements au Sahel : impact climatique et anthropique sur les écoulements du Nakanbé au Burkina Faso. *Sécheresse* 2010; 21 (1e), pp. 1-6.

GOLDICH M. 1938. Ordre d'altérabilité des minéraux.120P.

GUINKO S., 1984. Végétation de la Haute-Volta. Thèse de doctorat. *Université de Bordeaux*

GWP, octobre 2010. Inventaire des stratégies d'adaptation aux changements climatiques des populations locales et échanges d'expériences de bonnes pratiques entre les différentes régions au Burkina Faso.

GWP, octobre 2010. Inventaire des stratégies d'adaptation aux changements climatiques des populations locales et échanges d'expériences de bonnes pratiques entre les différentes régions au Burkina Faso.

GWP/AO, 2010, Partenariat ouest Africain de l'Eau(GWP/AO) Inventaire des stratégies d'adaptation aux changements climatiques des populations locales et échanges d'expériences de bonnes pratiques entre les différentes régions au Burkina Faso.

GWP/AO, 2010. Inventaire des stratégies d'adaptation aux changements climatiques des populations locales et échanges d'expériences de bonnes pratiques entre les différentes régions au Burkina Faso. Partenariat ouest Africain de l'Eau (GWP/AO) Ouagadougou, Burkina Faso- septembre.

HOOGMOED B.W., 1999. Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropics. *Tropical resource Management Papers*, N°24. Wageningen Agriculture University, Wageningen. 184 p.

INADES, 2013. L'Exploitations Agricoles Familiales au Burkina Faso.

INADES, juillet 2013 L'Exploitations Agricoles Familiales au Burkina Faso

Journée Nationale du Paysan (15^{ème} édition, février 2012). Document introductif à l'atelier sectoriel sur le thème : « Modernisation et professionnalisation de l'Agriculture, rôles et responsabilités des acteurs »

Kabore M., Guissou R., Koursangama A., Nouve K., Tsimpo C. Et Wodon Q., 2011. Performance de ciblage et impact des mesures gouvernementales en agriculture suite à la hausse des prix des produits alimentaires. *Articles de la DPSAA à des conférences scientifiques*. 211p.

Killian J. Et Tessier J., 1972. Méthodes d'investigation pour l'analyse et le classement des bas-fonds dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest. Proposition de classification d'aptitude des terres à la riziculture. *Agro.Trop Vol 28(2):156-172 PP*.

Lidon, 1996. Expérience du projet RCS-SAHEL Institut du sahel. *Agro-sylvo-pastoralisme*, 196P.

MAH, 2012. Document introductif à l'atelier sectoriel sur le thème : « Modernisation et professionnalisation de l'Agriculture, rôles et responsabilités des acteurs » 15^{ème} édition Journée Nationale du Paysan.

MAHRH, 2004. Document de Stratégie de Développement Rural à l'Horizon 2010. *Version définitive*. 99p.

MAHRH, 2010. Etat des lieux des ressources en eau du bassin du Nakanbé. *BGB Meridien SARL*. Rapport final, 290p.

MCE, 2003. Les pesticides : règlements et effet sur la santé et l'environnement. *Document de synthèse*. <http://www.mce-info.org>. 32p.

MEE, 2001. L'impact des engrais et des pesticides sur les ressources en eau au Burkina Faso. *Rapport programme GIRE* ; Version définitive. 48p.

MEE. 2001. Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de Gestion. Ouagadougou, Burkina Faso.243.

MEF, 2008. Recensement général de la population et de l'habitation (RGPH) de 2006 ; *Résultats définitifs*. insd, 52p.

MERMOUD A., 2006. Maitrise de la salinité des sols. *Cours de physique du sol* ; Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) ; 15p.

- METEOROLOGIE.2009. Données climatiques. Ouagadougou, Burkina faso. 10P.
- MJE, 2007. Etude sur les créneaux porteurs d'emplois : région du Nord. *Rapport final*. 83p
- MOKWUNYE A.U., 1981. Phosphorus fertilizers in Nigeria savanna soils III: Effects of three phosphorus sources on available cation contents of a soil at Samaru. *Samaru Agric. Research* 6; pp 21-24.
- MORIN J., 1993. Soil crusting and sealing in West Africa and possible approaches to improved management. In *Soil tillage in Africa: needs and challenges; FAO soils Bulletin* ; 69 pp : 95-128.
- MOUGHLI L., 2000. Les engrais minéraux caractéristiques et utilisations. Transfert de technologie en agriculture. *Bulletin d'information et de liaison du Programme National de Transfert de technologie en agriculture*. Maroc ; N°72 ; 4p.
- MRA, 2006. Les statistiques du secteur de l'élevage au Burkina Faso.
- MRA, 2006. Les statistiques du secteur de l'élevage au Burkina Faso
- MRA, 2011. Contribution de l'élevage à l'économie et à la lutte contre la pauvreté, les déterminants de son développement.
- MRA, 2011. Contribution de l'élevage à l'économie et à la lutte contre la pauvreté, les déterminants de son développement
- MUNSELL C. 2000. Soil color charts.USDA.
- NARE R. A., 2010. Etude de l'impact des pesticides sur l'activité biologique des sols dans un agro système maraîcher du Burkina Faso. *Mémoire DEA/SATES*; université de Ouagadougou. 56p.
- NICOU R., 1977. Le travail du sol dans les terres exondées du Sénégal. *Motivations-contraintes*. Bambey, ISRA-CNRA, 51p.
- NISBET M. et VERNEAUX J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de limnologie* ; fasc., 2 ; pp 161-190.
- NONGUIERMA G. B., 2006. Contribution à l'évaluation des effets de l'utilisation des pesticides en production maraîchère dans la plaine périurbaine de Boulmiougou-Ouagadougou. *Mémoire de Licence*. UO, UFR/SEA ; Institut de Génie de l'Environnement et du Développement durable, Burkina Faso, 45p.
- OMM. 2003. Le climat de demain. OMM-N°952. Genève, Suisse.36P. Ouagadougou, Burkina Faso. 19p.
- Ouagadougou, Burkina Faso. 19p.
- OUATTARA et al., 2006. Mobilité spatiale de la population : nécessité de développement et risques de dégradation de l'environnement dans l'est et le sud-ouest du Burkina Faso. - Rapport final, Ouagadougou. - Convention PRIPODE *CICRED-INSS BF5*. - 57 pages.

- OUATTARA K., 2010. Cours de dégradation des sols. *UO, UFR/SVT, DEA SATES*, 38p.
- OUEDRAOGO A., 2006. Diversité et dynamique de la végétation ligneuses de la partie orientale du Burkina Faso. Thèse de Doctorat de l'Université de Ouagadougou, 195p.
- OUEDRAOGO A., THIOMBIANO A., HAHN6HADJALI K., GUINKO S., 2006. Structure du peuplement juvénile et potentialité de régénération des ligneux dans l'EST du Burkina Faso. In : Flore et végétation du Burkina Faso et des pays avoisinants, vol 10 17-23p.
- OUEDRAOGO S., 2005. Intensification de l'agriculture dans le plateau centrale du Burkina Faso: une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies. *Thèse doctorat*. Université de Groningen. 336p.
- OUEDRAOGO S., OUEDRAOGO W. T., KABORE M., KOURSANGAMA A. et GUISSOU R., 2011. Modélisation de l'offre céréalière des ménages agricoles. *Articles de la DPSAA à des conférences scientifiques*. 211p
- OUEDRAOGO, M. 1987. Caractéristiques morpho-structurales et hydrologiques du bas-fond de Nahirindio. Province de la Bourguiba, Burkina Faso. Université de Ouagadougou. 1-35PP.
- PAGIRE. 2003. Plan d'action pour la gestion intégrée des ressources en eau. DGRE, Ouagadougou, Burkina Faso.19p.
- PAGIRE. 2003. Plan d'action pour la gestion intégrée des ressources en eau. DGRE,
- PANA. 2006. Evaluation de la vulnérabilité et des capacités d'adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso, Ouagadougou. 54p.
- PANA. 2006. Evaluation de la vulnérabilité et des capacités d'adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso, Ouagadougou. 54p.
- PANA. 2006. Evaluation de la vulnérabilité et des capacités d'adaptation aux changements climatiques du Burkina Faso, Ouagadougou. 54p.
- PDRDP/B-K. 2005. Etude pédologie des bas-fonds de la province du Bazèga et du Kadiogo/ BU.NA.SOLS. BUNASOLS, Ouagadougou.122P.
- RAUNET M. 1985. Bas-fonds et riziculture en Afrique, approche structurale comparative, agronomie tropicale. Pp. 1-200pp.
- S. Ardoin-Bardin, 2004 : Variabilité hydro-climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélien. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 440 pages.
- SANON M., YACOUBA H., SOME L., MAR L., YONKEU S., DA DAPOLA E. C., KAFANDO P., LAROCHE C., MAHE G., MAIGA A.H., PATUREL J-E, TRAORE E.S., DEZETTER A., SERVAT E. et MAMANE C., 2002. Impact du changement climatique sur les processus de dégradation de

l'environnement dans le Nord du Burkina Faso : Application à l'identification des zones à risque majeur d'érosion et de perte de fertilité. *Document descriptif du projet*. 16p.

SANOU, D.C., 1991. Climat et Région climatique. Atlas du BURKINA FASO, PNUD/Ministère du plan et de la coopération, Ouagadougou

SAVADOGO W. P., TRAORE O., TOPAN M., TAPSOBA K. H., SEDOGO P. M. et BONZI L. Y., 2006. Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière du Burkina Faso. *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, Numéro 1 ; pp29-39.

SAWADOGO A., 1987. Corrélation entre les propriétés des sols définies par les analyses aux laboratoires et la description traditionnelle faites par les paysans. Rap.de stage .CAP Moutourkou-INERA.60 P.

SEDOGO M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: influence des modes de gestion sur la fertilité. *Thèse de Docteur Es-Sciences*. Abidjan, Université Nationale de Côte d'Ivoire.

SERPANTIE G., 1988. Transformation d'un système agropastoral soudano-sahélien (Bidi, Nord Yatenga, Burkina –Faso). Thèse d'Etat de Paris sud. Paris Sud, France.336P.

SNPAGIFS. 1999. Stratégie Nationale et le Plan d'Action de Gestion intégrée de la Fertilité des Sols.102p.

SOME K., DEMBELE Y., SOME L. et MILLOGO J., 2008. Pollution des eaux dans le bassin du Nakanbé : cas des réservoirs de Loumbila et de Mogtédou au Burkina Faso. *Rev. Sud Sciences et Technologies*. ISSN 0796-5419, N°16, pp 14-22.

TAWEYE A. (1995). Contribution à l'étude hydrologique du bassin versant de la Sirba à Garbé-Kourou. Mémoire de fin d'études, Agrhymet, Niamey, Niger, 98 p.

THIOMBIANO L. 2000. Les bas-fonds du Burkina –Faso : contraintes et potentialités pour une mise en valeur durable.90P.

TOE A.M., 2010. Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso. *Rapport final*. Secrétariat de la Convention de Rotterdam. 103p.

TOPAN S. M., 2005. Contribution à l'étude de la dégradation des pesticides dans les sols au Burkina Faso. *Mémoire ingénieur*. Institut du Développement Rural (IDR)/UPB ; 86p

UNFPA. 2009. A la frontière : les jeunes et les changements climatiques. New York, Ny 10017 Etats unies. 44P.

VAN DER WARF G. M. H., 1996. Assessing the impact on the environment. *Agriculture, ecosystems and environment*. N° 60 ; pp 81-96.

VIAN G. F., 2009. Comparaison de différentes techniques de travail du sol en agriculture biologique : effet de la structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote. *Thèse doctorat* ; Institut de sciences Agro Paris Tech. 204p.

WILEY J. 1966. Principles of Geochemistry. 350 P.

- YACOUBA H., DA DAPOLA E. C., YONKEU S., ZOMBRE P. SOULE M. et BAGAYOKO F., 2002. Etude du processus de dégradation du bassin supérieur du Nakanbé (Burkina Faso) : écoulement de surface et pertes de terres liées à l'eau. *Deuxièmes journées scientifiques du groupe EIER-ETSHER*, Ouagadougou, pp 28-31.
- YAMEOGO S., G., 2008. Suivi des Ressources en Eau des Bassins Versants du Burkina Faso. *Rapport de stage ingénieur*. 2ie. 31p.
- YAO K., 2008. Impacts des polluants agricoles sur les ressources en eau du Burkina. Quelles mesures préventives ? *Mémoire master GIRE*. 2ie. 40p.
- ZEPPENFELD T. T. et VLAAR J. C. 1990. Mise en valeur des bas-fonds de l'Afrique de l'Ouest. Synthèse préliminaire de l'état des connaissances. CIEH Ouagadougou, 149P.
- ZOMBRE N.P. 1993. Caractérisation morphologique des bas-fonds dans la province du Yatenga. Rapport de synthèse : morphologie régionale, morpho-pédologie et aptitudes culturales des bas-fonds de Goinré, Sanga et Bidi. 76P.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	2
RESUME	4
ABSTRACT.....	7
SOMMAIRE	8
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	9
LISTE DES TABLEAUX.....	12
LISTE DES FIGURES	14
LISTE DES CARTES.....	16
LISTE DES PHOTOS.....	17
INTRODUCTION GENERALE	18
PARTIE I :	21
ETAT DE L'ART	21
INTRODUCTION PARTIELLE	22
CHAPITRE I: LES SOLS ET LES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE, SYLVICOLE ET PASTORALE.....	23
1.1 ETAT QUALITATIF DES SOLS	23
1.2.1 Groupe des sols minéraux bruts : lithosols	25
1.2.2 Groupe des sols peu évolués d'apport alluvial	25
1.2.3 Groupe des sols bruns eutrophes tropicaux	25
1.2.4 Groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés.....	25
1.2.5 Groupe des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley	26
1.2.6 Groupe des vertisols non grumosoliques	26
1.2.7 Groupe des sols sodiques	26
1.3 CLASSIFICATION DU SYSTEME DE PRODUCTION.....	27
1.3.1 TYPOLOGIE DU SYSTEME DE PRODUCTION.....	28
1.3.3 LES SYSTEMES DE PRODUCTION SYLVICOLE	29
1.4 LA PRESSION DES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES SUR LES RESSOURCES ENVIRONNEMENTALES.....	31
1.5 LA FORTE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE	33
CHAPITRE II: LES RESSOURCES EN EAU, LEUR MODE DE GESTION ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN DU NAKANBE	36
2.1 LES EAUX DE SURFACE.....	36
2.2 LES EAUX SOUTERRAINES	37

2.3	LES EAUX METEORIQUES	37
2.4.1	L'environnement habitant	41
2.4.2	Le cadre institutionnel	42
2.4.2.1	Les acteurs étatiques	42
2.4.2.3	Les outils de mise en œuvre de la GIRE	43
2.4.2.3.1	Les outils juridiques	43
2.4.2.3.2	Les outils économiques et financiers	44
2.5	LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	45
2.5.1	Le climat et le temps.....	45
2.5.2	Les Changements climatiques	45
2.5.3	Adaptation	46
2.5.4	Bonnes pratiques.....	46
2.5.5	Mauvaises pratiques	47
2.5.6	Atténuation	47
2.5.7	Vulnérabilité.....	48
2.5.8	Résilience.....	48
2.5.9	Notion d'effet néfaste des changements climatiques	48
2.5.10	Notion d'impact.....	48
	CONCLUSION PARTIELLE	49
	50
	PARTIE II :	50
	CADRE DE L'ETUDE, MATERIEL ET METHODES	50
	INTRODUCTION PARTIELLE	51
	CHAPITRE III : LE CADRE DE L'ETUDE.....	52
3.1	LE BASSIN DU NAKANBE ET SA LOCALISATION	52
3.1.1	GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE	55
3.1.2	Géomorphologie.....	57
3.1.3	LE CLIMAT	58
3.1.4	LA VEGETATION.....	60
3.1.5	LES SOLS ET LES RESSOURCES CONNEXES	61
3.1.6	LES RESSOURCES EN EAU	61
3.1.7	LA DEMOGRAPHIE.....	62
3.1.8	ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES	63
3.1.8.1	Agriculture.....	63

3.1.8.2	Elevage	64
3.1.8.3	L'artisanat	64
3.1.8.4	Pêche.....	65
3.1.8.5	Mines	66
CHAPITRE IV : LE MATERIEL DE L'ETUDE.....		69
4.1	MATERIEL PEDOLOGIQUE.....	69
4.2	MATERIEL ETHNOPEDOLOGIQUE	70
	Prospection ethnopédologique	70
4.3	MATERIEL PHYTOECOLOGIQUE.....	72
	- Prospection phytoécologique	72
4.4	MATERIEL CARTOGRAPHIQUE ET IMAGES SATELLITALES	74
4.5	MATERIEL DE COLLECTE DE DONNEES DE TERRAIN.....	74
4.6	MATERIELS DE MESURE SOL/EAU	75
4.7	MATERIEL DE TRAITEMENT DES DONNEES	76
4.8	MATERIEL POUR L'ANALYSE STATISTIQUE DE LA VARIABILITE HYDRO-CLIMATIQUE	77
CHAPITRE V : LES METHODES DE L'ETUDE		79
RESUME LES METHODES DANS LE TEXTE ET METTRE DETAIL SOUS FORME DE TABLEAU EXPLICATIF EN ANNEXS		79
5.1	CHOIX ZONE D'ETUDE.....	79
5.2	METHODE DE PROSPECTION	80
	5.2.1 Prospection pédologique	80
	5.2.2 Prospection éthno-pédologique.....	80
5.3	COLLECTE DES DONNEES.....	81
5.4	ECHANTILLONNAGE	82
	5.4.1 Echantillonnage du sol	82
	5.4.2 Echantillonnage des végétaux	84
	5.4.3 Echantillonnage des eaux	84
5.5	ESTIMATION DES PERTES DE TERRES.....	85
5.6	ANALYSES	86
	5.6.1 Analyse pédologiques	86
	5.6.2 Analyse des eaux	87
5.7	Traitement et analyse statistique des données	88

5.7.1	Analyse de sensibilité.....	88
5.7.2	Photo-interprétation.....	89
5.8	Calage préliminaire et ajustement du bilan hydrique	90
5.9	Analyse statistique des données hydro-climatiques.....	91
5.10	Analyse multi chronique de l'occupation des terres à l'aide des images satellitales	94
5.10.1	Définition et utilisation des SIG	94
5.10.2	Evaluation de la régénération de la végétation	95
5.10.3	Validation de la classification par la matrice de confusion	95
Partie III : Pratiques agrosylvopastorales d'adaptation aux changements climatiques : conséquences.....		100
PRATIQUES AGROSILVOPASTORALES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : CONSEQUENCES.....		102
.....		102
PARTIE III :		102
INTRODUCTION PARTIELLE.....		103
Chapitre 6 : perception paysanne de la dégradation des ressources naturelles : pratiques agrosylvo-pastorales en cause.		103
Chapitre 7 : problématique de l'érosion et de l'ensablement des cours d'eau du bassin du nakanbe : cas du sous bassin de la nouaho nord.		103
CHAPITRE 6 : PERCEPTION PAYSANNE DE LA DEGRADATION DES RESSOURCES NATURELLES : PRATIQUES AGRO-SYLVO-PASTORALES EN CAUSE.....		104
6.1	PERCEPTION LOCALE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	105
6.2	MANIFESTIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : CAS SPECIFIQUE DE LA LA COMMUNE DE LALGAYE	106
6.3	PERCEPTION LOCALE DE LA DEGRADATION DES RESSOURCES NATURELLES	109
6.3.1	Dégradation de la végétation	109
6.3.2	Dégradation des ressources en eau	110
6.3.3	Dégradation des ressources en sols.....	111
Dans la localité de boudtenga, ils sentent la dégradation d'un sol lorsque le rendement baisse. En parcourant les topo-séquences, les producteurs ont montré d'autres indicateurs qui manifestent la dégradation des sols. Il s'agit de la présence de rigoles et de ravines, les zipèlla, la vigueur des tiges et certaines herbacées indicatrices de la baisse de la matière organique.		112
6.5.1	SYSTEME DE CULTURES	117
6.5.1.1	la mécanisation agricole dans le bassin du Nakanbé.	117

6.5.1.2 Inventaire des équipements agricoles	118
6.5.1.3 Maîtrise de l'utilisation des équipements agricoles.....	120
6.5.1.3.1 Les types et formes de labour	120
6.5.1.3.2 Le niveau de respect des pratiques conseillées	120
6.5.1.4 Maraichage	121
6.5.3 PRATIQUES PASTORALES	125

CHAPITRE 7 : PROBLEMATIQUES DE L'EROSION ET DE L'ENSABLEMENT DES COURS D'EAU DU BASSIN DU NAKANBE : CAS DU SOUS BASSIN DE LA NOUAHO NORD...128

7.1 PROBLEMATIQUE DES PHENOMENES D'EROSION ET D'ENSABLEMENT	129
7.2 FACTEURS DE L'EROSION ET DE L'ENSABLEMENT DANS LE NOUAHO	131
7.2.1 Le régime hydro-climatique	131
7.2.2 Identification des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique et humain du sous-bassin de la Nouaho nord	139
7.2.3 Constitution des unités de sous bassin.....	143
7.2.4 Evaluation des impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur le milieu biophysique et humain du sous-bassin de Nouaho nord.....	145
7.2.5 Prédiction de l'évolution du milieu biophysique et humain du sous-bassin de Nouaho nord.....	146
7.3 APPLICATION DU MODELE SWAT A L'EVALUATION DU PHENOMENE D'EROSION ET D'ENSABLEMENT DANS LE SOUS BASSIN DE LA NOUAHO	149
7.3.1 Caractéristiques pédologiques du sous bassin de la Nouaho	149
7.3.2 Valeurs des coefficients de l'équation de Wischmeier	150
7.3.3 Discrétisation du sous bassin versant de la Nouaho en unités sous-bassins et HRU	151
7.3.4 Analyse de sensibilité.....	152
7.3.5 Calage des paramètres du modèle	153
7.3.6 Écoulements et pertes en terre durant la période de calage (1998-2003).....	153
7.3.6.1 Écoulements simulés et observés durant la période de calage	153
7.3.6.2 Bilan hydrologique annuel durant la période de calage (1998 – 2003).....	154
7.3.7 Pertes en terre	155
7.3.8 Écoulements et pertes en terre durant la période de validation du modèle (2004-2007)	156
7.3.8.1 Écoulements simulés et observés durant la période de validation	156

7.3.8.2	Bilan hydrologique annuel durant la période de validation (2004 – 2007).....	158
7.3.8.3	Pertes en terre durant la période de validation (2004-2007)	158
7.4	DISCUSSION.....	158
*****	161
8.1	SITUATION DES EXPLOITANTS ET MODE D’ACQUISITION DES TERRES	163
8.2	LES DIFFERENTES METHODES, TECHNIQUES ET INTRANTS AGRICOLES	164
8.3	PERCEPTION PAYSANNE DE LA DEGRADATION DES SOLS ET DE LA POLLUTION DES EAUX	167
8.4	CARACTERISATION DES EAUX	167
8.4.1	Caractéristiques générales des eaux des réservoirs de Goinré, Ziga et de Bagré	167
8.4.2	La composition chimique et organique.....	168
8.5	DISCUSSION.....	172
-	Chapitre 09 : effets et impacts du changement climatique sur les ressources naturelles.....	179
-	Chapitre 10 : les techniques de conservation des eaux et des sols : demi-lune, cordons pierreux, végétalisation, etc.....	179
-	Chapitre 11 : les comités locaux de l’eau (cle) : dynamique d’une expérience de gestion locale des ressources en eau comme stratégie d’adaptation aux changements climatiques dans le bassin du nakanbe au Burkina Faso.	179
CHAPITRE IX : EFFETS ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES NATURELLES.		180
9.1	RECAPITULATIF DES CHANGEMENTS D’OCCUPATION DES TERRES INTERVENUS DANS L’ESPACE DE GESTION DU NAKANBE EN 1982, 1992 ET 2011..	180
9.1.1	Occupation des terres dans l’espace de gestion du Nakanbé en 1982, 1992 et 2011	180
9.1.2	Photographie de l’occupation des terres dans de l’espace de gestion du Nakanbé en 1982	181
10	Photographie de l’occupation des terres dans l’espace de gestion du Nakanbé en 2011	185
9.2	EFFETS ET IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES VEGETALES.....	187
9.3	Les changements intervenus entre 1982 et 1992	187
10	Les changements intervenus entre 1992 et 2011	191
9.4	ANALYSE TRI-CHRONIQUE DES EFFETS ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU	193
9.4.1	Identification des unités d’occupations des terres	193

9.4.2 Evolution de l'occupation des terres dans l'espace de gestion du Nakanbé et caractérisation des effets et impacts des changements climatiques sur les ressources en eau	194
9.4.2.1 Evolution des affleurements rocheux et impact des changements climatiques sur la ressource en eau	195
9.4.2.2 Evolution des Champs et impact des changements climatiques sur la ressource en eau	196
9.4.2.3 Evolution des sols nus et impact des changements climatiques sur la ressource en eau	197
9.4.2.4 Evolution de la végétation claire et impact des changements climatiques sur la ressource en eau	197
9.4.2.5 Evolution de la végétation dense et impact des changements climatiques sur la ressource en eau	198
9.4.2.6 Evolution des cours d'eau et retenues d'eau dans un contexte des changements climatiques	199
CHAPITRE X : LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS : DEMI-LUNE, CORDONS PIERREUX, VEGETALISATION, ETC.	202
10.1 LA TYPOLOGIE DE DEGRADATION DES BERGES DU NAKANBE A L'EPREUVE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET DES PRATIQUES ANTHROPIQUES	203
10.2 LES CAUSES OU FACTEURS PRINCIPAUX DE LA DEGRADATION DES BERGES	208
10.3 LES STRATEGIES DE REFORESTATION DES BERGES PAR L'APPROCHE PARTICIPATIVE	210
10.3.1 L'approche du PAGEV	210
10.4 LES EFFETS ET IMPACTS DE LA REFORESTATION SUR LES BERGES DE L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE.....	213
10.4.1 Densité ligneuse des berges reboisées.....	213
10.4.2 Richesse et contribution spécifique des espèces ligneuses des berges reboisées	214
10.4.3 Répartition des ligneux selon la hauteur et la circonférence.....	215
10.4.4 Paramètres chimiques.....	215
Les résultats (Tableau 70) montrent une différence significative au niveau des éléments fins et grossiers.	215
10.5 TECHNIQUES DE CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS DANS LE CONTEXTE DE GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU.....	217
10.5.1 Régénération Naturelle Assistée (RNA).....	217
10.5.2 Les diguettes antiérosives	218

10.5.3 Le zaï.....	218
10.5.4 Les reboisements.....	218
10.5.5 TECHNIQUES AYANT FAIT L'OBJET D'ETUDE	218
10.5.5 .1 Evolution des caractéristiques physiques et chimiques des sols de demi-lune	219
10.5.5.1.1 Analyse granulométrique des sols de demi-lune	219
10.5.5.1.2 Evolution des Paramètres chimiques.....	219
10.5.5.1.3 Evaluation de la macro faune des demi-lunes.....	221
10.5.5.2 Evaluation de la végétation des demi-lunes	222
10.5.5.2.1 Densité ligneuse des parcelles aménagées de demi-lunes	222
10.5.5.2.2 Richesse et contribution spécifique des ligneux dans les parcelles aménagées de demi-lunes	222
10.5.5.2.3 Répartition des ligneux selon la hauteur et la circonférence	223
10.5.5.2.4 Biomasse sèche et taux de recouvrement des herbacées en fonction de l'âge des demi-lunes	223
10.5.5.2.5 Richesse et contribution spécifique des herbacées dans les parcelles aménagées de demi-lunes.....	224
. 10.5.5.3.1 Caractéristiques physiques et chimiques des sols aménagés de cordons pierreux	225
10.5.5.3.1.1 Analyse granulométrique.....	225
10.5.5.3.1.2 Paramètres chimiques	226
10.6.1 Effet et impact des pratiques agricoles sur les sols.....	227
10.6.2 Etat actuel de l'impact de l'agriculture sur les caractéristiques chimiques des sols de Bagré.....	228
10.6.3 Etat actuel de l'impact de l'agriculture sur l'activité biologique.....	229
10.6.4 Le devenir des sols dans le nakanbé	231
10.6.5 Impacts des activités agro-sylvo-pastorales sur les ressources en eau	232
10.6.6 Impacts négatifs.....	232
10.6.7 Impacts positifs	233
10.6.8 Impacts des activités sylvicoles sur l'environnement.....	234
10.6.9 Impacts des activités pastorales sur les ressources en eau	234
10.7 EFFETS ET IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRATIQUE DE L'AGRICULTURE DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE	234
10.8 EFFETS ET IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRATIQUE DE L'ELEVAGE DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE.....	235

10.9 EFFETS ET IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA PRATIQUE DE LA SYLVICULTURE DANS L'ESPACE DE GESTION DU NAKANBE	236
10.10 DISCUSSION.....	237
*****	240
CHAPITRE XI : LES COMITES LOCAUX DE L'EAU (CLE) : DYNAMIQUE D'UNE EXPERIENCE DE GESTION LOCALE DES RESSOURCES EN EAU COMME STRATEGIE D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LE BASSIN DU NAKANBE AU BURKINA FASO.....	241
11.1 LA TYPOLOGIE DES ACTEURS DE LA GIRE ET DES RESSOURCES CONNEXES	241
11.1.1 Les catégories d'usagers.....	241
11.1.2 Les acteurs d'appui /conseil	243
11.2 DEFINITION ET ROLE DES CLE	244
11.2.1 Les missions et prérogatives des CLE.....	244
11.2.2 Les stratégies collectives	245
11.3 LES REPNSES AUX CHANGEMENTS RESENTIS : TENTATIVES D'ADAPTATION	246
• Le reboisement et la réalisation de haie vive.....	248
• Les cordons pierreux	250
• Les pistes d'accès à l'eau.....	251
• Les formations/sensibilisation	252
11.4 IMPACT DES ACTIONS POSEES PAR LES CLE SUR LA RESSOURCE EN EAU ET SUR LA POPULATION	253
11.5 DISCUSSION.....	254
CONCLUSION GENERALE : LA GIR (GESTION INTEGREE DES RESSOURCES) COMME PANACEE.....	259
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	263
TABLES DES MATIERES.....	272
RESUME	281

RESUME

Les changements climatiques couplés à la forte anthropisation du bassin du Nakanbé, lui font subir de nombreuses dégradations physiques, chimiques et biologiques. Ces dégradations se caractérisent entre autres par la baisse de la fertilité des sols, l'augmentation de l'érosion hydrique et éolienne, la destruction et la fragilisation du couvert végétal, la dégradation des berges des cours et retenues d'eau, la modification du réseau hydrographique, le ravinement, la sédimentation, la disparition progressive de plusieurs zones humides, l'augmentation des risques d'inondations, la diminution des capacités de mobilisation des ouvrages hydrauliques, la modification de la morphologie du cours d'eau, le glissement du talus, l'augmentation de la turbidité et de la pollution des eaux, la baisse de la conductivité électrique, etc.

Conscients de la gravité du phénomène et reconnaissant la part importante des mauvaises pratiques agrosylvopastorales, les paysans ont valorisé et développé des connaissances et pratiques endogènes (agroforestérie, Zai, demi-lune, cordons pierreux, reforestation...) pour permettre une reprise de la vitalité des ressources naturelles constatées en 2011 (grâce à l'étude trichronique).

Toutefois pour la durabilité, ces actions de conservation des eaux et de sols gagneraient mieux à être développées dans un cadre physique et organisationnel plus structuré et cohérent. Les comités Locaux de l'Eau qui sont des structures de gestion des ressources naturelles regroupant l'ensemble des acteurs (cadre organisationnel) au sein d'une unité hydrographique (cadre physique), peut être une réponse appropriée pour la mise en œuvre des actions d'adaptation aux changements climatiques.

Mots clés : pratiques Agrosylvopastorales, dégradation, changement climatique, adaptation, Nakanbé.