



REPUBLIQUE DU NIGER

MEMS/RS

UNIVERSITE ABDOU MOUMOUNI
FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES
DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE

.....

THESE DE DOCTORAT

Option : Géographie

**GESTION DE L'EAU ET ADAPTATION DES
POPULATIONS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE
DANS LE BASSIN VERSANT DE YAKOUTA
(SAHEL DU BURKINA FASO)**

Présentée par

Lucien OUEDRAOGO

Soutenue publiquement le 2 juillet 2012 devant le jury composé de :

- Président :** **M. Luc DESCROIX**, Directeur de Recherches à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), France
- Co-directeurs :** **M. Ibrahim BOUZOU MOUSSA**, Professeur Titulaire à l'Université Abdou Mounouni de Niamey, Niger
M. Tanga Pierre ZOUNGRANA, Professeur Titulaire à l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso
- Rapporteurs :** **M. Honoré P. SOME**, Maître de Conférences à l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso
M. Amadou BOUREIMA, Maître de Conférences à l'Université Abdou Mounouni de Niamey, Niger

_____ *Année académique : 2011-2012* _____



La présente thèse a vu sa réalisation grâce au financement du projet
West African Network for Studies of Environment Change (WANSEC)-
DFC PROJECT NO. 21-08-KU de 2009 à 2012.

DEDICACE

Cette thèse est dédiée à Anne-Marie, ma mère et à Daniel, mon père, qui ont bravé les aléas de la période postindépendance pour me frayer le chemin de l'école, l'école de la vie.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	3
TABLE DES MATIERES	4
AVANT-PROPOS	9
SIGLES ET ABREVIATIONS	12
LISTE DES FIGURES	15
LISTE DES TABLEAUX.....	18
RESUME	21
ABSTRACT	22
INTRODUCTION GENERALE	23
PREMIERE PARTIE : CADRE THEORIQUE ET CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE YAKOUTA.....	26
CHAPITRE PREMIER : CADRE THEORIQUE DE LA RECHERCHE.....	27
1.1 CONTEXTE ET JUSTIFICATION	27
1.2 PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE	28
1.3 HYPOTHESES DE RECHERCHE	29
1.4 OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	29
1.5 METHODOLOGIE.....	31
1.5.1 Exploitation documentaire	31
1.5.1.1 Constitution d'une bibliographie signalétique	31
1.5.1.2 Bibliographie analytique	32
1.5.2 Délimitation de la zone d'étude.....	32
1.5.3 Enquêtes de terrain	33
1.5.3.1 Choix des sites d'enquêtes	33
1.5.3.2 Echantillonnage.....	37
1.5.3.3 Administration des fiches d'enquête.....	37
1.5.4 Traitement et cartographie des images	37
1.5.4.1 Collecte des données.....	38
1.5.4.2 Outils de traitements cartographiques.....	38
1.5.4.3 Méthode d'analyse de l'impact des stratégies.....	39
1.5.4.4 Méthode d'analyse de l'efficacité des stratégies	41

CHAPITRE DEUXIEME: CARACTERISTIQUES BIOCLIMATIQUES DU BASSIN VERSANT.....	49
2.1 SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE	49
2.2 TENDANCES DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES DE 1961 A 2008	51
2.2.1 Evolution générale de la pluviométrie de 1961 à 2008	51
2.2.2 Tendances pluviométriques de 1961 à 2008	52
2.2.3 Evolution des périodes pluvieuses de 1961 à 2008.....	55
2.2.4 Contraintes pluviométriques	57
2.3 TENDANCES DES DONNEES DE TEMPERATURE DE 1961 A 2008	60
2.3.1 Evolution générale des températures de 1961 à 2008	60
2.3.2 Tendances des minima et maxima de 1961 à 2008	60
2.3.2.1 Tendances des températures minimales.....	61
2.3.2.2 Tendances des températures maximales.....	67
2.4 PERCEPTION DU CLIMAT PAR LES PRODUCTEURS AGRICOLES	70
2.4.1 Indicateurs de la prévision des saisons de pluie.....	70
2.4.2 Découpage de l'année dans le bassin versant de Yakouta	72
2.4.3 Vision du changement du temps par les producteurs.....	73
2.4.3.1 Les pluies.....	73
2.4.3.2 Les températures	75
2.4.4 Causes du changement climatique vues par les producteurs.....	75
CHAPITRE TROISIEME : CARACTERISTIQUE BIOPHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DE YAKOUTA.....	76
3.1 RESSOURCES EN BAS-FONDS DU BASSIN VERSANT	76
3. 2 RESSOURCES HYDRIQUES.....	77
3.2.1 Ressources en eaux de surface	77
3.2.1.1 Mares naturelles.....	78
3.2.1.2 Retenues artificielles	78
3.2.1.3 Rivières.	79
3.2.1.4 Mares artificielles	80
3.2.2 Ressources en eau souterraine	80
3.3 RESSOURCES EN SOLS DU BASSIN VERSANT	83
3.4 CONTRAINTES BIOPHYSIQUES	86
3.4.1 Qualité des sols	86
3.4.2 Contraintes liées aux types de végétation	87

CHAPITRE QUATRIEME : POTENTIALITES, ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES ET LEURS CONTRAINTES.....	88
4.1 POTENTIALITES SOCIO-ECONOMIQUES	88
4.1.1 Population.....	88
4.1.2 Activités de production végétale	89
4.1.3 Activités de production animale	90
4.1.4 Activités de pêche.....	91
4.1.5 Commerce	91
4.1.6 Artisanat	92
4.1.7 Orpaillage	93
4.2 CONTRAINTES SOCIO-ECONOMIQUES	93
CONCLUSION PARTIELLE.....	94
DEUXIEME PARTIE : ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET GESTION DE L'EAU DANS LES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES	96
CHAPITRE CINQUIEME : ETAT DES CONNAISSANCES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA GESTION DE L'EAU DANS LE MONDE	97
5.1 REVUE DE LA LITTERATURE SUR LES MANIFESTATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ...	97
5.1.1 Echelle mondiale	100
5.1.2 Echelle continentale.....	102
5.1.3 Echelle nationale	106
5.2 REVUE DE LA LITTERATURE SUR LA GESTION DE L'EAU DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE	109
5.2.1 Echelle mondiale	110
5.2.2 Echelle africaine	113
5.2.3 Echelle du Burkina.....	115
5.2.3.1 Construction de barrages et retenues d'eau	116
5.2.3.2 Quelques résultats d'impact des aménagements de gestion de l'eau au plan national.....	117
5.3 DEFINITIONS ET CONCEPTS	119
5.3.1 Gestion de l'eau.....	119
5.3.2 Adaptation.....	119
5.3.3 Atténuation.....	120
5.3.4 Changement climatique	121

5.3.5 Variabilité climatique	121
5.3.6 Vulnérabilité	121
5.3.7 Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)	122
5.3.8 Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).....	122
5.3.9 Gaz à effet de serre (GES)	122
5.3.10 Phénomène climatique extrême	123
5.3.11 Couche d'ozone.....	123
5.3.12 Système climatique.....	123
5.3.13 Bassin versant	124

CHAPITRE SIXIEME : STRATEGIES ADAPTATIVES EN MATIERE DE GESTION DE L'EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE YAKOUTA 126

6.1 PRATIQUES ET TECHNIQUES AGRICOLES 126

6.1.1 Techniques d'économie de l'eau à la parcelle	126
6.1.1.1 Zones de culture pluviale	127
6.1.1.2 Aménagements aux champs.....	131
6.1.1.3 Cultures maraîchères	138
6.1.2 Stratégies dans l'utilisation des cultures	141

6.2 PRATIQUES ET TECHNIQUES D'ELEVAGE..... 144

6.2.1 Fondements de l'adaptation des activités pastorales	144
6.2.2 Adaptation des systèmes pastoraux	145
6.2.2.1 Utilisation des plans d'eau.....	148
6.2.2.2 Utilisation des points d'eau.....	148
6.2.2.3 Ouverture des puisards.....	149
6.2.3 Intégration agriculture élevage.....	150
6.2.3.1 Utilisation de la fumure organique.....	150
6.2.3.2 Culture attelée.....	152

6.3 STRATEGIES ADAPTATIVES DANS LES ACTIVITES DOMESTIQUES 153

CHAPITRE SEPTIEME : IMPACT SPATIAL DES STRATEGIES DE GESTION DE L'EAU 158

7.1 GESTION DE L'EAU EN SAISON PLUVIEUSE 159

7.1.1 Les zones cultivées	159
7.1.2 Les cordons pierreux	161

7.1.3 Les bandes enherbées	162
7.1.4 Le <i>zai</i>	163
7.1.5 La fixation des dunes.....	164
7.1.6 Les billons.....	165
7.1.7 Les sols	166
7.1.8 Les bas-fonds	167
7.2 GESTION DE L'EAU EN SAISON SECHE	169
7.2.1 Les cours d'eau	169
7.2.2 Les barrages.....	170
7.2.3 Les <i>bouli</i>	171
7.2.4 Les forages.....	172
7.2.5 Les impluviums	173
7.2.6 Les mares	175
7.2.7 Les puisards	176
7.2.8 Les puits	177
7.2.9 Le maraîchage.....	178
CHAPITRE HUITIEME : EFFICACITES DES STRATEGIES DE GESTION DE L'EAU DANS LE BASSIN VERSANT	181
8.1 ZONAGE DES SITES DE GESTION OPTIMUM DE L'EAU	181
8.1.1 Zones de gestion optimum de l'eau en saison pluvieuse.....	181
8.1.2 Zones de gestion optimum de l'eau en saison sèche	189
8.2 ANALYSE DE L'EFFICACITE DES STRATEGIES DE GESTION DE L'EAU.....	198
CONCLUSION PARTIELLE.....	202
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	206
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	211
ANNEXES	232

AVANT-PROPOS

Le présent document est l'aboutissement d'un travail entrepris depuis l'année académique 2009-2010 avec la contribution combien inestimable de femmes et d'hommes de bonne volonté. Le thème traité est complexe et d'actualité, et porte sur la gestion de l'eau dans un contexte de changement climatique. Nous voudrions en toute humilité leur témoigner toute notre reconnaissance.

Nous formulons notre sentiment de profonde gratitude à tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort dans l'accompagnement de notre étude. Il s'agit du :

- Professeur Ibrahim BOUZOU MOUSSA du département de géographie de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines (FLSH) de l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour nous avoir accueilli au sein de son laboratoire et nous apporté son co-encadrement en dépit de ses occupations multiples ;*
- Professeur Tanga Pierre ZOUNGRANA du Département de Géographie, de l'Unité de Formation et de Recherche en Sciences Humaines (UFR-SH) de l'Université de Ouagadougou, coordonnateur national du projet « West African Network for Studies of Environmental Change » (WANSEC) qui a soutenu et défendu notre candidature sur le projet et sa disponibilité de nous offrir son co-encadrement;*
- Professeur Cheikh MBOW du Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique (LERG) de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar, Coordinateur Afrique de l'Ouest du projet WANSEC pour la prise en charge financière et matérielle de la mise en œuvre de nos travaux de recherche théoriques et pratiques durant les trois années académiques,*
- Docteur Jean Marie DIPAMA, chef de Département de Géographie de l'UFR-SH de l'Université de Ouagadougou qui a été à la base du processus de ce travail ; il nous a, en outre, soutenu par ses conseils et ses encouragements à réussir dans l'effort.*

Nous remercions sincèrement le jury de soutenance de notre thèse pour sa diligence. Nous n'oublions pas surtout les:

- Professeur Luc DESCROIX qui a accepté présider le jury;*
- Professeurs Amadou BOUREIMA et Honoré P. SOME, rapporteurs et membres de jury pour tous les sacrifices consentis.*

Que ceux qui nous ont accompagné de près ou de loin dans la mise en œuvre de ce projet trouvent également notre reconnaissance. Ce sont :

- Le corps professoral du département de Géographie de l'Université de Ouagadougou qui m'a appris à faire de la géographie une science au service du développement ;*
- Le Professeur YAMBA Aboubacar, président de l'école doctorale du département de Géographie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, tous ses collègues qui ont favorisé notre inscription dans leur établissement ;*
- la coordination du projet ACCA-VICAB pour son soutien dans nos déplacements dans la collecte des données de terrain ;*
- Professeur KONATE Gnissa ancien Directeur de l'INERA, pour son indulgence à accorder l'autorisation d'inscription à la formation ;*
- le Dr BELEM Mamounata, Directrice du Centre de Recherches Environnementales Agricoles et de Formation de Kamboinsé et Dr TRAORE Hamidou, Chef du département Gestion des Ressources Naturelles et Système de Production pour leur accompagnement durant le déroulement de processus ;*
- le Dr KONE Nicolas responsable de la Cellule de Télédétection et Système d'Informations Géographiques, et son équipe : Drs BALIMA Mariam, YAMEOGO Georges, SOME Léopold, TRAORE Salif, OUEDRAOGO Issa, SAWADOGO Séraphine, COMPAORE Halidou, KAMBIRE Hyacinthe, PARE Souleymane ; nous n'oublions pas M^{me} SOME Bernadette, MM. LAMIZANA Issa, BONKOUNGOU Joachim, LODUM Tiganadaba, ZERBO Lamine, TIENDREBEOGO Jean Pierre dont les encouragements nous ont été d'un grand soutien;*
- nos collaborateurs et collègues doctorants : MM. KABORE Oumar et OUEDRAOGO Blaise avec qui nous avons formé au-delà des relations professionnelles, une famille dans le travail, beaucoup de courage à vous car le succès est au bout de la détermination.*

Nous adressons en outre nos sincères remerciements à ceux qui ont apporté leur pierre sans laquelle l'édifice aurait été difficile à dresser. Nous citons :

- M. TRAORE Philippe, technicien statisticien pour le traitement et l'analyse de nos données d'enquêtes ;*
- tout le personnel chercheur et d'appui de la Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles (DRREA) du Sahel à travers M. OUBOULBIGA Ferdinand, Directeur et Dr SOHORO Adama, Chef de*

programme Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Production ;

- *MM. DIALLO Hama et ZONO Ousmane, technicien-enquêteurs de cette DRREA pour leur expertise dans la collecte des données sur le terrain et la traduction lors de nos interviews avec les populations ;*
- *M^{me} KABRE Elisabeth, secrétaire, pour la mise en forme de notre document ;*
- *l'équipe du laboratoire de GEOCONSEIL du département de Géographie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey : Salissou IBRAHIM, KANEMBOU Lawandi, BABOUSSOUNA Awal pour leur sympathie et leur disponibilité manifestées durant mes séjours à Niamey ;*
- *le personnel du laboratoire de GEOCFID du département de Géographie de l'Université de Ouagadougou à travers le responsable Dr YAMEOGO Lassane pour nous avoir offert un cadre propice de travail;*
- *M. OUEDRAOGO Elie, notre frère aîné qui nous a beaucoup encouragé et soutenu tout au long de notre formation. Il nous a été d'un grand apport dans les retouches et la mise en forme du document ; qu'il trouve ici le fruit de sa persévérance.*

Nous nous en voudrions de finir notre propos sans traduire notre reconnaissance renouvelée à l'endroit de :

- *notre famille dans son ensemble et particulièrement notre « petit monde » : Martine notre épouse et Arba Achyle Téléphore, Pêgdwendé Lyliane Valérie et Wendemi Christelle, nos enfants. Ils nous ont soutenu et supporté nos absences fréquentes lors de nos multiples déplacements. Leur compréhension nous a été d'un grand réconfort moral pour la réalisation de ce chef-d'œuvre qui est le leur ;*
- *les populations de toutes les localités du bassin versant du barrage de Yakouta, en particulier celles des villages de Yakouta, Oulo, Nakou et Léré, nos sites d'investigation,*
- *les amis et connaissances dans l'anonymat qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont apporté leurs soutiens.*

Nous réitérons à tous et à chacun nos sincères reconnaissances pour les préoccupations partagées autour de la problématique de la gestion de l'eau dans le contexte de changement climatique actuel.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACCAVICAB	Valorisation des connaissances pour l'adaptation aux changements climatiques dans les villes et campagnes du Burkina
ACMAD	Centre Africain des Applications de la Météorologie pour un Développement Durable
AGRHYMET	Agro-Hydro-Météorologie
AMMA	Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine
AMC	Analyse Multicritère
BDOT	Base de Données sur l'Occupation des Terres
BNDT	Base Nationale de Données Topographiques
BP	Before Present
CCNUCC	Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CES-AGF	Conservation des Eaux et des Sols – et Agroforesterie
CFC	Chlorofluorocarbones
CH ₄	Méthane
CILSS	Comité permanent Inter Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
CIRAD	Centre Français de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CISE	Cadre de Coordination Inter-Service de l'Eau
CLE	Comité Local de l'Eau
CNRST	Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique
CNUED	Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement
CO ₂	Dioxyde de carbone
CRA	Centre Régional AGRHYMET
CRDI	Centre de Recherche pour le Développement International
CSAO	Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest
CSLP	Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté
DGAEUE	Direction Générale de l'Assainissement des Eaux Usées et Excréta
DGIRH	Direction Générale des Inventaires des Ressources Hydrauliques
DGRE	Direction Générale des Ressources en Eau
DWR	Department of Water Resources
EPSCG	European Petroleum Survey Group
ETP	Evapotranspiration potentielle

FCPF	Fonds de partenariat pour la réduction des émissions de carbone forestier
FPA	Forum pour le Partenariat avec l'Afrique
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
H ₂ O	Vapeur d'eau
HFC	Hydrofluorocarbures
IIED	Institut International pour l'Environnement et le Développement
INERA	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
INSD	Institut National de la Statistique et de la Démographie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
ISTED	Institut des Sciences et Techniques de l'Equipeement et de l'Environnement pour le Développement
MAH	Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique
MAHRH	Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MDP	Mécanisme pour un Développement Propre
MECV	Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
MEE	Ministère de l'Environnement et de l'Eau
MEMS/RS	Ministère des Enseignements Moyen, Supérieur et de la Recherche Scientifique
MOC	Mise en Œuvre Conjointe
MRA	Ministère des Ressources Animales
N ₂ O	Oxyde nitreux
O ₃	Ozone
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OMD	Objectifs du Millénaire pour le Développement
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
ONEA	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies

ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PAGIRE	Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PAN/LCD	Plan d'Action National de Lutte Contre la Désertification
PANA	Programme d'Action Nationale d'Adaptation au changement climatique
PANE	Plan d'Action Nationale pour l'Environnement
PATECORE	Projet d'Aménagement des TERroirs et de CONservation des REssources dans le Plateau Central
PFBC	Partenariat pour les Forêts du Bassin du Congo
PFC	Hydrocarbure Per Fluoré
PIB	Produit Intérieur Brut
PICOFA	Programme d'Investissement Communautaire en Fertilité Agricole
PLCE	Programme de Lutte Contre l'Ensablement
PNGT2	Deuxième Programme National de Gestion des Terroirs
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PVC	Polychlorure de vinyle
QGis	Quantum Geographic Information System
RSP	Recherche sur les Systèmes de Production
SF ₆	Soufre
SILEM	Sahel Integrated Lowland Ecosystem Management
SP/CONEDD	Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et le Développement Durable
SPSS	Statistical Package for Social Science
UNEP/IUC	Division du Programme des Nations Unies pour l'Environnement chargée des Conventions Environnementales.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Choix des sites d'enquête par stratification	36
Figure 2 : Présentation de l'interface de r.cost.....	40
Figure 3 : Présentation de l'interface de r.mapcalc.....	46
Figure 4 : Carte de localisation du bassin versant de Yakouta.....	49
Figure 5 : Evolution de la pluviométrie annuelle entre 1961 et 2008.....	52
Figure 6 : Indice pluviométrique standardisé (IPS) de la station de Dori.....	54
Figure 7 : Courbes ombrothermiques décennales de la station de Dori.....	56
Figure 8 : Courbe ombrothermique de Dori de 1961 à 2008.....	58
Figure 9 : Nuage de poussière qui annonce l'arrivée probable d'une pluie.....	59
Figure 10 : Evolution des températures minimales et maximales de 1961 à 2008.....	60
Figure 11 : Ecart à la moyenne des températures minimales mensuelles de Dori de 1961 à 2008.....	62
Figure 12 : Ecart à la moyenne des températures minimales de 1961 à 2008.....	66
Figure 13 : Ecart à la moyenne des températures maximales mensuelles de Dori de 1961 à 2008.....	68
Figure 14 : Ecart interannuels de températures moyennes de 1961 à 2008.....	69
Figure 15 : Vision paysanne sur l'évolution de la durée de la campagne agricole.....	72
Figure 16 : Ressources en eau de surface du bassin versant de Yakouta.....	78
Figure 17 : Variation des volumes d'eau coulés à Yakouta (1971-2007)	79
Figure 18 : Carte de la distribution spatiale des points d'eau.....	82
Figure 19 : Carte des sols du bassin versant.....	83
Figure 20 : Variation des températures et des précipitations en Afrique.....	102
Figure 21 : Emission de GES dans le monde en 2004.....	105
Figure 22 : Migration des isohyètes 600 mm et 900 mm.....	108
Figure 23 : Cadre institutionnel de la gestion des ressources en eau au Burkina.....	116
Figure 24: Occupation des terres dans le bassin versant entre 1986 et 2011.....	127
Figure 25: Carte d'occupation des terres du bassin versant de Yakouta, 1986 et 2011..	129
Figure 26: Graphique 28 : a = sarclage avec une <i>hiler</i> , b = billonnage avec une <i>daba</i> ...	130
Figure 27 : Mise en place du <i>zaï</i> dans le village de Léré.....	132
Figure 28 : Mise en place de cordons pierreux à Léré.....	134
Figure 29 : Disposition de bandes enherbées à Djigo.....	135
Figure 30 : Répartition des pratiques d'économie de l'eau.....	136

Figure 31: Disposition de billon dans un champ de sorgho à Gorgadji.....	137
Figure 32 : Systèmes de production maraîchère dans le bassin versant.....	139
Figure 33 : Fourrage en stock (résidus de récolte et d'herbe).....	146
Figure 34 : Abreuvement du bétail au barrage.....	148
Figure 35 : Abreuvement au forage.....	149
Figure 36 : Abreuvement au puisard	149
Figure 37 : Fumure organique appliquée dans un champ à Katchari	151
Figure 38 : Période à température la plus élevée de l'année.....	153
Figure 39 : Sources d'approvisionnement en eau.....	154
Figure 40 : Moyens courants de transport de l'eau.....	155
Figure 41 : Impluvium construit dans le village de Oulo (quartier Tila)	157
Figure 42 : Carte d'impact de la zone de culture.....	160
Figure 43 : Carte de l'impact des cordons pierreux.....	161
Figure 44 : Carte de l'impact des bandes enherbées.....	162
Figure 45: Carte d'impact du <i>zai</i>	163
Figure 46 : Carte d'impact de la fixation des dunes.....	165
Figure 47 : Carte d'impact des billons.....	166
Figure 48 : Carte d'impact des sols.....	167
Figure 49 : Carte d'impact des bas-fonds.....	168
Figure 50 : Carte d'impact des cours d'eau.....	169
Figure 51 : Carte d'impact des barrages.....	171
Figure 52 : Carte d'impact des <i>bouli</i>	172
Figure 53 : Carte d'impact des forages.....	173
Figure 54 : Carte d'impact des impluviums.....	174
Figure 55 : Carte d'impact des mares.....	175
Figure 56 : Carte d'impact des puisards.....	176
Figure 57 : Carte d'impact des puits.....	177
Figure 58 : Carte d'impact du maraîchage.....	178
Figure 59 : Concept schématique de l'AMC de saison pluvieuse.....	182
Figure 60 : Carte de gestion d'eau en saison pluvieuse vue par les producteurs	184
Figure 61 : Cartes de gestion de l'eau en saison pluvieuse: A = scénario 1, B = scénario 2, C = scénario 3.....	187
Figure 62 : Concept schématique de l'AMC de saison sèche.....	189
Figure 63 : Cartes de gestion de l'eau en saison sèche vue par les producteurs.....	191

Figure 64 : Cartes de gestion de l'eau en saison sèche : A = scénario 3, B = scénario 2.....	193
Figure 65 : Carte de gestion de l'eau en saison sèche : C = scénario 4 et D = scénario 5.....	196
Figure 66 : Niveau d'efficacité de gestion de l'eau à la parcelle.....	200

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Récapitulatif du cadre conceptuel.....	30
Tableau 2 :	Critères de sélection des sites d'enquête.....	35
Tableau 3 :	Facteurs de gestion de l'eau en saison pluvieuse et leur importance relative.....	43
Tableau 4 :	Facteurs de gestion de l'eau en saison pluvieuse et leur importance relative.....	43
Tableau 5 :	Quelques fonctions utilisées dans le calculateur de cartes " <i>r.mapcalc</i> ".....	47
Tableau 6 :	Quelques opérateurs arithmétiques utilisés dans le calculateur de cartes " <i>r.mapcalc</i> ".....	47
Tableau 7 :	Proportion du bassin dans l'occupation des communes.....	50
Tableau 8 :	Conséquences principales des vents sur les activités agricoles.....	59
Tableau 9 :	Tableau 5 : Valeurs extrêmes des températures minimales de la série (1961 à 2008).....	64
Tableau 10 :	Tableau 6 : Valeurs extrêmes des températures maximales de la série (1961 à 2008).....	67
Tableau 11 :	La répartition de l'année en fonction des principales activités agropastorales dans le bassin versant.....	72
Tableau 12 :	Répartition des villages du bassin versant par commune.....	81
Tableau 13 :	Répartition des unités de sols avec leurs aptitudes et leur capacité de gestion d'eau.....	85
Tableau 14 :	Pratiques d'économie de l'eau dans le bassin versant, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête.....	131
Tableau 15 :	Cultures maraîchères selon le nombre de producteurs impliqués...	140
Tableau 16 :	Stratégies d'optimisation de l'eau à la planche, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête.....	141
Tableau 17 :	Modes d'acquisition des variétés, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête.....	142
Tableau 18 :	Variétés locales associées.....	142
Tableau 19 :	Principales variétés améliorées cultivées.....	144
Tableau 20 :	Répartition des producteurs de l'échantillon par activités principales.....	144

Tableau 21 :	Principaux modes de gestion du bétail.....	147
Tableau 22 :	Sources d'abreuvement du bétail, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête	147
Tableau 23 :	Instruments d'approvisionnement en eau des ménages en nombre de réponses données en première position dans l'enquête.....	155
Tableau 24 :	Usage de l'eau selon la priorité et le genre.....	156
Tableau 25 :	Impact de la zone de culture.....	160
Tableau 26 :	Impact des cordons pierreux.....	162
Tableau 27 :	Impact des bandes enherbées.....	163
Tableau 28 :	Impact du <i>zai</i>	164
Tableau 29 :	Impact des fixations des dunes.....	165
Tableau 30 :	Impact de la culture en billon.....	166
Tableau 31 :	Impact des sols.....	167
Tableau 32 :	Impact des bas-fonds.....	168
Tableau 33 :	Impact des cours d'eau.....	170
Tableau 34 :	Impact des barrages.....	171
Tableau 35 :	Impact des <i>bouli</i>	172
Tableau 36 :	Impact des forages.....	173
Tableau 37 :	Impact des impluviums.....	174
Tableau 38 :	Impact des mares.....	175
Tableau 39 :	Impact des puisards.....	177
Tableau 40 :	Impact des puits.....	178
Tableau 41 :	Impact du maraîchage.....	179
Tableau 42 :	Performances des stratégies dans le bassin versant.....	179
Tableau 43 :	Gestion de l'eau vue par les producteurs.....	184
Tableau 44 :	Gestion de l'eau en saison pluvieuse du scénario 1.....	185
Tableau 45 :	Gestion de l'eau en saison pluvieuse du scénario 2.....	186
Tableau 46 :	Gestion de l'eau en saison pluvieuse du scénario 3.....	186
Tableau 47 :	Synthèse des impacts de gestion de l'eau en saison pluvieuse fonction de la pluviométrie.....	188
Tableau 48 :	Gestion de l'eau en saison sèche (producteurs).....	190
Tableau 49 :	Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 2)	192
Tableau 50 :	Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 3)	192
Tableau 51 :	Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 4)	194

Tableau 52 :	Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 5).....	195
Tableau 53 :	Tableau 53 : Synthèse des impacts de gestion de l'eau en saison sèche par rapport au poids pluviométrique.....	197
Tableau 54 :	Efficacité de la gestion de l'eau dans les sites.....	198

RESUME

La présente étude porte sur la « Gestion de l'eau et adaptation des populations au changement climatique dans le bassin versant de Yakouta dans le Sahel du Burkina ». Elle a pour objectif d'expliquer comment les producteurs s'adaptent au changement climatique qui menace l'efficacité de leurs systèmes de production.

Les données analysées proviennent de la météorologie nationale (pour les données climatologiques), des enquêtes socioéconomiques réalisées auprès d'un échantillon de 322 chefs de ménages et de la cartographie classique ou basée sur des relevés de terrain. Elles ont été traitées avec EXCEL 2003 et SPSS 16 en ce qui concerne les données climatologiques et socioéconomiques d'une part, GRASS 6.4RCS (un programme open source) pour les analyses cartographiques d'autre part.

Les résultats des analyses météorologiques indiquent une forte variabilité temporelle avec une tendance générale à la baisse pour la pluviométrie, et à la hausse pour la température dans le bassin versant de 1961 à 2008. Cette situation a été confirmée par les résultats des enquêtes où 86% de l'échantillon trouvent que les précipitations ont connu une baisse en zone sahélienne et que le climat, de façon générale, est en régression et 93% déclarent que les températures sont en hausse. Les populations ont donc adopté des mesures pour palier les situations difficiles causées par ces aléas climatiques. Elles visent une utilisation optimale de l'eau aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Les principales stratégies expérimentées dans le bassin versant sont le *zai*, les cordons pierreux, les bandes enherbées, la fumure organique, le paillage, les labours en saison pluvieuse et les puits, les puisards, les forages, les *bouli*, les barrages, les mares, les rivières et le maraîchage en saison sèche.

Pour leur efficacité, l'Analyse Multicritère (AMC) a mis en évidence un impact spatial de 11,34% de la superficie totale représentant les zones de bonne gestion en saison des pluies. Le bon accès à l'eau en saison sèche se constate sur 7,43% de la superficie totale. Compte tenu des conditions naturelles peu favorables de cette zone agropastorale, ces résultats sont relativement faibles et traduisent le bas niveau des pratiques de stratégies de gestion de l'eau notamment pour les activités de production de saison pluvieuse dans le bassin versant.

Mots clés : Changement climatique, analyse multicritère, gestion de l'eau, stratégies.

ABSTRACT

The present study was carried out in Yakouta catchment in the Sahel zone of Burkina Faso and is concerned with water management and local adaptation strategies to climate change. The objective of the study is to provide a sound explanation of the farmers' adaptation techniques to climate change which undermines the production system in the Sahel.

Climate data obtained from the National Meteorology Centre and socio-economic data from interviews (322 heads of households) were used for the study. In addition, a classic mapping techniques, based on field data collection has contributed to strengthen the study. The climate and socio-economic data were analyzed using Excel and SPSS packages while the maps were processed with GRASS 6.4 RCS.

Results from the bio-physical data analysis revealed a temporal variability and a general decrease trend for rainfall, and increase for the temperature in the catchment from 1961 to 2008. These trends were supported by 86 % of the respondents who mentioned that the rainfall has decreased during the last 50 years and 93% who reported that the temperature has been increasing. Local farmers have adopted soil and water management techniques to meet their needs under the persisting aridity. These techniques aim to sufficiently use rainwater during both rainy and dry seasons. The main agricultural water managements in use in the catchment include *Zai* (planting pit system), stone-lines, herb bunds, organic manure, tillage and mulching during rainy seasons; wells, pumps, *bouli* (small reservoirs), dames, rivers and gardening during dry seasons. To account for the efficiency of the techniques been used, the multi-criteria analysis revealed that 11.3% of the catchment was under good management practices during rainy seasons and, only 7.4% of the area has access to water during dry season. As far as the arid area conditions, these results are relatively weak and reflect the lowest scale adoption of water management techniques for rain-fed agriculture in the catchment.

Keywords: climate change, multi-criteria analysis, water management, strategies

INTRODUCTION GENERALE

Les impacts du changement climatique constituent l'un des sujets contemporains les plus préoccupants de la communauté scientifique nationale et internationale. Le climat est perçu comme une tendance stable sur une longue période de caractéristiques météorologiques propres à un milieu géographique donné. Mais une rupture de cette stabilité est souvent engendrée par des phénomènes divers (très souvent naturels), entraînant une modification durable des paramètres qui le caractérisent (Ouédraogo 2009). De ce fait, le climat de la terre a déjà subi plusieurs modifications et autres évolutions cycliques au cours des âges géologiques comme l'attestent de nombreuses études paléo-climatologiques (GIEC, 2007). Cette évolution s'est accrue depuis quelques décennies avec des conséquences de plus en plus graves. Les changements climatiques à l'échelle du globe provoquent des modifications progressives et durables telles que l'augmentation de la température moyenne et l'élévation du niveau des mers. Selon Ogouwalé (2006), des recherches effectuées par Olivry et al (1983), Nicholson (1989) et Sircoulon (1990) indiquent que les précipitations en Afrique ont été marquées par une diminution pendant les dernières décennies du deuxième millénaire. Cette tendance a été qualifiée de « nouvelle phase climatique » ou encore de « rupture climatique » par Carbonnel et Hubert (1992) cités par le même auteur. Le climat a certes ses variations naturelles, mais de nos jours, il y a unanimité sur une des causes des bouleversements observés à l'échelle planétaire : l'accroissement des concentrations dans l'atmosphère des rejets anthropiques de gaz à effet de serre (Kindo, 2007).

Ces causes ont des manifestations qui diffèrent d'un continent à l'autre, et entre les régions d'un même continent. Elles se traduisent par des impacts touchant les ressources naturelles et l'ensemble des secteurs de la vie, notamment la sécurité alimentaire, la santé humaine et animale, l'activité économique et les ressources hydriques (GEIC, 2001).

Depuis une trentaine d'années, la préoccupation est devenue plus forte à propos des éventuels impacts des émissions industrielles de certains gaz (CFC, CH₄, CO₂, N₂O) sur le devenir du climat de la terre. La concentration atmosphérique globale de CO₂ a augmenté d'une valeur préindustrielle d'environ 280 ppm à 379 ppm en 2005. Le taux d'augmentation annuel de concentration en dioxyde de carbone était plus élevé pendant les dix dernières années (moyenne de 1.9 ppm par an), qu'il ne l'avait été depuis que les

mesures atmosphériques continues ont débuté (1960 - 2005 : 1.4 ppm par an) bien qu'il y ait de la variabilité d'année en année (IPCC, 2007).

Les conclusions de la 8^{ème} Réunion du Forum pour le Partenariat avec l'Afrique en 2007 font ressortir que les changements climatiques sont en passe de devenir l'un des principaux défis écologiques du 21^{ème} siècle. Onze années (1995-2006) figurent parmi les années les plus chaudes pour ce qui est des relevés de températures au sol à l'échelon mondial depuis 1850. Selon le rapport du GIEC (2007), des sécheresses plus longues et plus intenses ont été observées sur des zones plus étendues depuis 1970, en particulier au niveau des régions tropicales et subtropicales. La fréquence de fortes précipitations a augmenté dans la plupart des régions du monde, et des changements en termes de températures extrêmes ont été observés au cours des 50 dernières années.

En dépit de la mise en œuvre d'importantes mesures visant à réduire les émissions des GES, il est reconnu que les changements climatiques s'intensifieront et auront des conséquences économiques sociales et environnementales importantes dans les pays en développement au cours des prochaines décennies (IPCC, 2001 cité par Ogouwalé 2006). Même si les concentrations de GES et d'aérosols se stabilisent à leurs niveaux de l'an 2000, il est prévu que le réchauffement se poursuivra. Parallèlement à la hausse des températures, le monde connaîtra des bouleversements très significatifs. En ce qui concerne les précipitations, l'Afrique du Nord, le Sahel et l'Afrique australe seront les plus sévèrement touchés, avec une baisse des précipitations de plus de 20% par rapport à leurs niveaux respectifs de 1990.

Face à une telle situation, il faut agir dès maintenant afin de limiter les dégâts tout en considérant une gamme d'incertitudes et en tenant compte de la complexité, de la non linéarité des changements climatiques ainsi que les incidences sur les sociétés humaines d'aujourd'hui et de demain (Ogouwalé, 2006). Aussi, s'il s'impose aux populations à tous les niveaux, aussi bien global que communautaire, de développer des stratégies pour faire face aux effets du changement climatique, il est autant nécessaire pour la recherche de mesurer l'efficacité des adaptations qu'elles mettent en place, notamment pour la gestion de l'eau. Cela nous interpelle à nous intéresser au thème de la «Gestion de l'eau et adaptation des populations au changement climatique dans le bassin versant de Yakouta au Burkina Faso». L'étude a été structurée en deux parties essentielles à savoir :

Une première partie subdivisée en quatre chapitres, relative cadre théorique et les caractéristiques de la zone d'étude.

Le chapitre premier justifie l'étude, identifie les questions, les objectifs et hypothèses de recherche et présente la démarche méthodologique.

Le chapitre deuxième fait ressortir les caractéristiques bioclimatiques ainsi que la perception locale des populations du bassin versant pour ces paramètres.

Le chapitre troisième fait la situation des caractéristiques biophysiques de notre zone d'étude.

Le chapitre quatrième est centré sur l'état des potentialités et des contraintes socioéconomiques.

Une deuxième partie porte sur le changement climatique et la gestion de l'eau dans les activités socioéconomiques de la zone d'étude et comporte quatre chapitres :

Le chapitre cinquième fait un état des lieux sur le changement climatique et la gestion de l'eau dans le monde et éclaire sur des concepts courants.

Le chapitre sixième décrit les stratégies adaptatives des producteurs dans le bassin versant.

Le chapitre septième est consacré à la mesure de l'impact des stratégies adaptatives dans le bassin versant.

Le chapitre huitième est une analyse de l'efficacité spatiale des stratégies de gestion de l'eau au bénéfice des producteurs.

PREMIERE PARTIE :

**CADRE THEORIQUE ET CARACTERISTIQUES DU
BASSIN VERSANT DE YAKOUTA**

CHAPITRE PREMIER : CADRE THEORIQUE DE LA RECHERCHE

Ce chapitre pose un diagnostic et justifie le choix de notre étude sur la gestion de l'eau liée au changement climatique. Il identifie les questionnements qui s'y rapportent tout en définissant les objectifs et les hypothèses. Il aborde aussi l'approche méthodologique passant en revue les différentes étapes et les outils qui ont concouru à l'atteinte des résultats.

1.1 Contexte et justification

Le changement climatique est un phénomène qui affecte tous les pays du monde. Il demeure l'une des menaces les plus graves qui pèsent sur le développement durable. Dans chacun des continents, il se manifeste à des degrés divers en fonction des échelles (Ouedraogo, 2009). En zone sahélienne, les systèmes écologiques et agricoles sont particulièrement sensibles aux modifications du climat, même mineures, et à la variabilité climatique. Les ressources en eau constituent particulièrement le secteur le plus vulnérable. Les études conduites par SP/CONEDD (2003) évaluent la demande totale annuelle du Burkina en eau à 4,8 milliards de mètres cubes. Ces besoins peuvent se répartir comme suit : demande de consommation domestique (10%), demande hydroélectrique (44 %) et demande climatique (46 %). Il apparaît clairement que la forte évaporation des eaux de surface et du sol est à l'origine du déficit chronique en eau observé au Burkina, considéré comme un pays à stress hydrique très élevé selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Météorologie. Les besoins en eau (les besoins domestiques, l'élevage, l'agriculture, l'industrie et la production hydroélectrique), ne sont généralement pas couverts par les offres ; l'eau coûte cher d'une manière générale. Chaque année, le budget national prend en charge environ 9% du coût total de l'eau, le reste étant assuré par des financements extérieurs.

Le Sahel burkinabé est davantage exposé à ces conditions climatiques qui influencent négativement la vie des populations. L'eau y est rare alors qu'elle constitue un facteur de production essentiel pour l'agriculture et l'élevage. Mais si le manque d'eau est préoccupant pour les populations, l'excès d'eau consécutif à de fortes précipitations constitue un autre danger. De nos jours, ces situations catastrophiques sont aggravées par les changements climatiques et nécessitent des actions conjuguées, fortes, réactives et préventives des communautés et des pouvoirs publics (SP/CONEDD, 2007a).

Les populations agricoles vulnérables, sont notamment exposées aux conséquences suivantes : augmentation des températures, précipitations réduites et aléatoires, accroissement de la fréquence et intensité des épisodes de sécheresse, des inondations et des cyclones (Oxfam International, 2009).

Au niveau local, les producteurs développent des mécanismes pour mobiliser l'eau au mieux afin d'assurer leur survie. Nonobstant ces initiatives, en Afrique de l'Ouest, les connaissances sur l'évolution du climat sont encore balbutiantes et contradictoires (Dorsouma et Requier-Desjardins, 2008). Il existe une divergence entre les modèles de prévision du climat: certains projetant une sécheresse significative, d'autres imaginant un retour progressif de l'humidité avec une extension de la végétation dans le Sahara (GIEC, 2007). Le constat de Daouda (2007) fait ressortir que très peu de travaux ont été entrepris sur l'évaluation des impacts des changements climatiques en Afrique, faute de moyens. Il en est de même pour les recherches approfondies sur la perception de cette problématique et l'efficacité des stratégies d'adaptation des communautés à la base notamment dans la gestion de l'eau.

Pour pallier ces insuffisances, nous avons choisi de mener des investigations sur l'adaptation des populations au changement climatique dans le Sahel burkinabé, en rapport avec la gestion de l'eau. De ce thème se dégagent des problèmes, des hypothèses et des objectifs de recherches qui servent de fil conducteur à notre étude.

1.2 Problématique de la recherche

La question principale est de savoir *de quelles manières les producteurs du Sahel s'adaptent au changement climatique qui perturbe leurs systèmes de production ?*

Elle se décline en trois questions spécifiques qui sont les suivantes:

- quels sont les manifestations et les effets du changement climatique dans le Sahel selon les perceptions et les observations climatologiques ?
- quelles sont les modifications que le changement climatique a engendrées dans les systèmes de production ?
- Quelles sont les stratégies adaptatives des producteurs et leur efficacité dans la gestion de l'eau?

1.3 Hypothèses de recherche

Pour baliser les investigations, nous admettons en hypothèse principale de travail que *face au changement climatique, les producteurs développent des stratégies de gestion de l'eau pour adapter leur système de production*. Elle se compose de trois hypothèses spécifiques qui sont :

- le changement climatique a des manifestations et des effets négatifs sur le milieu physique et humain.
- les stratégies de gestion de l'eau mises en place par les producteurs relèvent de recettes traditionnelles autant que d'innovations endogènes et exogènes.
- ces mesures adaptatives sont efficaces pour la gestion durable des ressources en eau.

1.4 Objectifs de recherche

Ce thème permet de dégager un objectif principal qui est *d'expliquer comment les producteurs s'adaptent au changement climatique qui menace l'efficacité de leurs systèmes de production*.

Les objectifs spécifiques suivants ainsi définis permettront d'atteindre l'objectif principal.

Il s'agit de:

- décrire les manifestations du changement climatique dans le Sahel burkinabé ;
- analyser les stratégies adaptatives de gestion de l'eau des producteurs face aux effets du changement climatique;
- mesurer l'efficacité des stratégies paysannes dans la gestion des ressources en eau dans un contexte de changement climatique.

Le tableau1 résume en un cadre conceptuel, les questions, les hypothèses et les objectifs de notre étude.

Tableau 1 : Récapitulatif du cadre conceptuel

<p>Question principale de recherche : De quelles manières les producteurs s'adaptent au changement climatique qui perturbe leurs systèmes de production ?</p> <p>Hypothèse principale de recherche : Face au changement climatique, les producteurs développent des stratégies de gestion de l'eau pour adapter leur système de production.</p> <p>Objectif principal de recherche : Expliquer comment les producteurs s'adaptent au changement climatique qui menace l'efficacité de leurs systèmes de production.</p>				
<i>Questions spécifiques de recherche</i>	<i>Hypothèses spécifiques de recherche</i>	<i>Objectifs spécifiques de recherche</i>	<i>Variables</i>	<i>Indicateurs Objectivement vérifiables</i>
Quels sont les manifestations et les effets du changement climatique dans le Sahel selon les perceptions et les observations climatologiques ?	Le changement climatique a des manifestations et des effets négatifs sur le milieu physique et humain	Décrire les manifestations du changement climatique dans le Sahel burkinabé	- Pluviométrie - Température	- Tendances pluviométriques - Tendances thermiques
quelles sont les modifications que le changement climatique a engendrées dans les systèmes de production ?	Les stratégies de gestion de l'eau mises en place par les producteurs relèvent de recettes traditionnelles autant que d'innovations endogènes et exogènes	Analyser les stratégies adaptatives de gestion de l'eau des producteurs face aux effets du changement climatique	- Cultures pluviales, - Cultures irriguées, - Elevage, - CES - Plans et points d'eau, - Usages domestiques de l'eau et autres.	Cartes : - utilisation des terres, - parcellaire, - ressources en eau, - points et plans d'eau, - accès à l'eau
Les stratégies des populations sont-elles efficaces pour une gestion durable des ressources en eau?	Ces mesures adaptatives sont efficaces pour la gestion durable des ressources en eau.	Mesurer l'efficacité des stratégies paysannes dans la gestion des ressources en eau	- Modèles des stratégies de gestion de l'eau - Relation systèmes de production et climat.	Cartes des scénarii possibles.

1.5 Méthodologie

Plusieurs points ont été abordés afin d'atteindre les objectifs de cette étude. Ils ont abouti à la connaissance plus approfondie du thème à travers l'exploitation des documents analogiques et des fichiers numériques, d'une part, les travaux de terrain et de laboratoire, d'autre part.

1.5.1 Exploitation documentaire

L'exploitation documentaire a été une activité transversale réalisée durant toute la période de la recherche. Elle a permis de circonscrire le thème de recherche et de faire le point sur les résultats antérieurs.

L'exploitation documentaire a été orientée, dans son ensemble, sur la consultation à plusieurs niveaux de documents divers. Elle provient des articles publiés dans des revues spécialisées, des travaux universitaires (mémoires, thèses), des rapports de recherche, des comptes-rendus de séminaires, des colloques, des ateliers nationaux ou internationaux.

Il s'agit alors de faire le tour des acquis en matière de connaissances capitalisées et de dégager des axes de recherche éventuels.

La méthodologie a comporté deux étapes: la constitution d'une bibliographie signalétique dans un premier temps et d'une bibliographie analytique dans une seconde phase.

1.5.1.1 Constitution d'une bibliographie signalétique

Elle a consisté à répertorier toute la documentation qui aborde notre thème de recherche. Cette bibliographie signale la présence de documents qui abordent relativement certains aspects de notre thème. Les principaux centres de documentation de la ville de Ouagadougou visités sont:

- la bibliothèque de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, (structure qui nous a accueilli pour le stage),
- la documentation du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) à Ouagadougou,
- le centre de documentation de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Ouagadougou,
- la bibliothèque du Département de Géographie de l'Université de Ouagadougou.

Nous avons visité par ailleurs les centres ou services techniques tels que :

- le Secrétariat Permanent du Conseil National pour l'Environnement et le Développement Durable (SP/CONEDD),
- le Centre de Recherche Forestière Internationale (CIFOR),
- la bibliothèque du Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) à Ouagadougou,
- les services de la météorologie nationale (Ouagadougou) et locale (Dori).
- La documentation du centre AGRHYMET à Niamey

Une large part a été réservée à la consultation de la documentation sur le net où un bon nombre d'informations sont disponibles.

1.5.1.2 Bibliographie analytique

Elle a consisté à réaliser un classement des documents que nous avons consultés ; d'un côté les documents qui traitent des généralités de notre thème et de l'autre, ceux que nous jugeons dignes d'intérêt pour l'étude. Nous nous sommes donc intéressés aux parties-clés de chaque document: le thème de recherche, la méthodologie utilisée et les résultats obtenus.

1.5.2 Délimitation de la zone d'étude.

La télédétection et la carte topographique de Dori ont été les principaux outils qui ont servi à la circonscription de la zone d'étude. D'une manière générale, la délimitation de l'espace pose toujours un certain nombre de problèmes temporels (Yaméogo, 2009). Pour Blandin et Lamotte (1988) in Loireau (1998), tracer une limite, que ce soit dans l'espace ou dans le temps, reste toujours un acte arbitraire dans la mesure où la biosphère vit et se renouvelle par le jeu incessant de processus interactifs et forme un continuum spatio-temporel. Pourtant, l'importance d'avoir des limites à l'intérieur desquelles il importe de comprendre les phénomènes qui s'y déroulent a été notée par plusieurs auteurs dont Lizet et de Ravagnan (1987), Cheneau-Loquay et Matarasso (1998), Gautier et *al.* (2001), Chia (2003) cités par Yaméogo (2009).

Nous avons choisi de travailler dans les limites d'un bassin versant parce que nous estimons que cette unité spatiale est bien indiquée aux investigations qui se rapportent à la gestion de l'eau surtout en milieu rural. Les stratégies des producteurs peuvent être influencées par l'hydrologie et de l'hydrographie du bassin

versant. Le barrage de Yakouta est le plan d'eau principal d'où convergent toutes les eaux du bassin.

Selon Romagny et *al.* (2006), la notion de bassin versant est structurelle, et n'a pas d'échelle caractéristique en elle-même. Le choix du point exutoire étudié définit le bassin versant correspondant, et donc une taille de territoire. Pour ce faire nous avons défini les limites du bassin versant qui vont à quatre kilomètres au-delà de l'exutoire du barrage afin de prendre en compte le village de Yakouta situé en aval de la digue.

1.5.3 Enquêtes de terrain

1.5.3.1 Choix des sites d'enquêtes

Le choix des sites d'enquête s'est opéré par stratification en considérant les paramètres les plus déterminants, en rapport avec notre thème. Les critères retenus sont ceux dont des données étaient disponibles et qui avaient un lien étroit avec notre sujet résumé dans le tableau 2. Il s'agit notamment de la position géographique des villages, leurs situations en fonction du paysage, le statut social et ethnique des ménages, la taille de la population par village.

- *La position géographique des villages dans le bassin versant par rapport au barrage et aux autres retenues d'eau*

Dans le bassin versant, nous avons considéré les cinq principales retenues d'eau qui sont les barrages (Yakouta, Bombofa et Bouniougui) ou les mares (Djigo et Yirga). Des isolignes qui déterminent des zones tampons ont été tracées. Elles permettent de classer les villages selon l'éloignement. Ainsi, trois grandes classes de villages ont pu être identifiées : Les villages les plus proches qui sont à moins de 2 kms, les villages à distance moyenne, qui sont situés entre 2 et 5 kms et les villages les plus éloignés qui sont au-delà de 5 kms.

- *La situation des villages en fonction du paysage et du niveau de dégradation des ressources naturelles*

Nous avons identifié trois types de paysages qui caractérisent le bassin versant : Un paysage de dunes, un paysage de collines dans le Birrimien et un paysage intermédiaire constitué de plaine interdunaire.

En se référant à la BDOT 2002, nous remarquons que le paysage dunaire est dans son ensemble le plus dégradé car c'est à ce niveau que se mènent en

priorité les activités agropastorales. Les champs occupent plus de 50% de ces paysages et abritent les zones agricoles et pastorales.

Le paysage birrimien est constitué de collines généralement non occupées par des champs mais réservées plus au pâturage en temps difficiles.

Entre les dunes et le Birrimien, la pression agricole est relativement moins prononcée. C'est le lieu de rencontre des complexes champs-jachères-steppes.

- *Le statut social et ethnique des ménages de chaque village (autochtones, migrants peul, mossi etc.)*

Plusieurs groupes socioprofessionnels et ethniques constituent la population du bassin versant. Tous les villages sont à dominante autochtone vivant avec des migrants originaires en majorité du plateau central (mossi, bissa etc.).

- *La taille de la population par village.* Le nombre de ménages caractérise les villages, regroupés en trois classes: les villages de moins de 200 ménages (12 villages), ceux compris entre 200 et 400 ménages (16 villages) et ceux de plus de 400 ménages (7 villages).

Tableau 2: Critères de sélection des sites d'enquête

Villages	Ménage	Ménage /4	Evolution occupation	Distance (kms)			paysage	Etat de dégradation
				-2	2 à 10	+10		
Bargare	74	19					Collines	Moyen
Bangataka	329	82					Dune	Moyen
Bangataka Léré	171	43					Dune	Fort
Bombofa	354	89					Dune	Fort
Bouniougui	613	153					Dune	Moyen
Demni	294	74					Dune	Fort
Diobou	355	89					Dune	Fort
Bellare-Djamalel	49	12					Collines	Fort
Gorgadji	823	206					Dune	Fort
Binguel	107	27					Collines	Faible
Léré	241	60	stable				Interdune	Moyen
Peteguerse	380	95					Interdune	Fort
Bouloye Thiouly	389	97					Dune	Fort
Tadjo	284	71					Interdune	Moyen
Tiekalédji	190	48					Collines	Faible
Dangade	197	49					Interdune	Faible
Dani	400	100					Dune	Fort
Yirga	571	143					Dune	Fort
Djigo	254	64					Dune	Moyen
Fetombale	313	78					Collines	Faible
Foulgo	228	57					Dune	Fort
Oulfo-Alfa	288	72					Interdune	Fort
Katchari	241	60					Dune	Fort
Kouri	130	33					Collines	Faible
Malbo	405	101					Collines	Faible
Nakou	148	37	stable				Collines	Faible
Nelba	96	24					Collines	Faible
Nobiol	148	37					Interdune	Faible
Oulo	535	134	stable				Dune	Fort
Peokoye	766	192					Dune	Moyen
Tigou	86	22					Dune	Moyen
Tobidioga	166	42					Collines	Faible
Lelly	472	118					Collines	Faible
Tonga	220	55					Dune	Fort
Yakouta	358	89	stable				Dune	Fort

Sources : RGPH, 2006 et BDOT, 2002

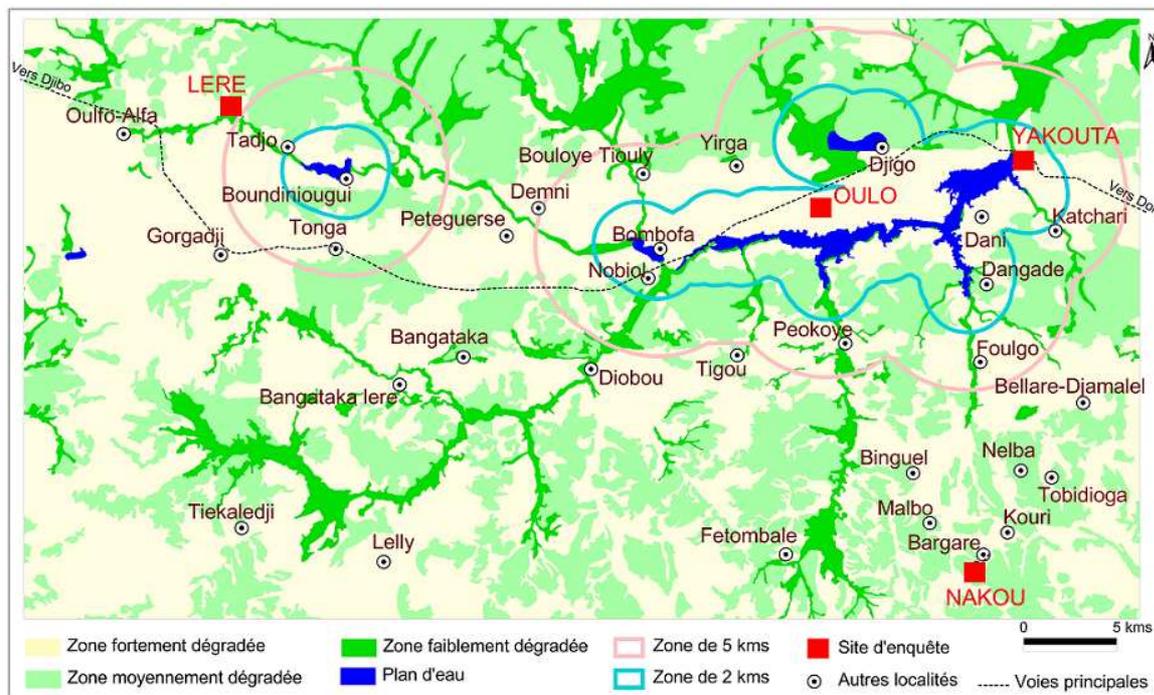
En définitive, quatre villages, selon la figure 1 ont été retenus après la combinaison des critères pour les investigations. Il s'agit de:

- Oulo et Yakouta, deux villages situés en zone de forte dégradation à deux kilomètres du barrage, partagent les paysages de dunes de sable ;

- deux autres villages avec des paysages différents des deux premiers, ont été identifiés, mais éloignés du barrage. Il s'agit de Léré et de Nakou situés de part et d'autre du barrage. Le premier est localisé à une latitude plus élevée dans une plaine interdunaire et le deuxième situé à une latitude plus basse, dans le Birrimien à paysage de collines. Ils sont situés respectivement à 40 et 20 kilomètres du barrage de Yakouta.

Un autre paramètre important pris en compte dans la sélection des sites est leur accessibilité à cause de certaines activités à mener en saison des pluies. Oulo et Yakouta sont sur l'axe Dori-Djibo et Léré sur le même axe à 5 kilomètres de Gorgadji, chef-lieu de la commune dont il relève. Cependant, Nakou, moins accessible, est à 20 kilomètres de Dori, sur la route nationale numéro 3.

Deux paramètres n'ont pas pu être pris en compte directement dans la stratification. Il s'agit des critères socioprofessionnels et ethniques. Cependant, ces informations ont été intégrées lors de l'administration des questionnaires. Des entretiens avec des personnes ressources, il est ressorti que les populations vivent en communauté et non par groupe socioprofessionnel ou ethnique. Il est très rare de rencontrer des villages typiquement autochtones ou migrants, ou uniquement constitués d'une seule ethnie (*mossé, peul, bella* etc.). Dans chaque village site, le volet genre a été intégré dans les composantes de la population échantillonnée.



Sources : BDOT 2002, BNDT2003 et LANDSAT TM+ 2002

OUEDRAOGO L., avril 2012

Figure 1 : Choix des sites d'enquête par stratification

1.5.3.2 Echantillonnage

La spécificité du thème de recherche (relatif au changement climatique, avec des évènements ne se produisant pas très fréquemment dans le temps) recommande que les questionnaires soient adressés à des chefs de ménages âgés de 45 ans au moins. A cet âge, un enquêté serait à mesure de renseigner sur des évènements liés au climat trente ans auparavant au moins. Les quatre villages retenus comptent au total 1282 ménages.

En fonction de l'âge, 50% des ménages ont été jugés remplir cette condition, soit 641 ménages. De cette proportion, 50% ont été retenus pour les enquêtes. Cela donne un échantillon final estimé à 322 ménages.

Dans chaque village de l'enquête, toutes les ethnies et les couches socioprofessionnelles ont été touchées. Les pasteurs, agropasteurs, agriculteurs (jardiniers et non) et les artisans n'ont pas été occultés. Mais, les données statistiques n'étant pas disponibles, les proportions n'ont pas été déterminées par anticipation. Pour tenir compte du genre, 20% de l'échantillon se composent de femmes (au nombre de 60).

1.5.3.3 Administration des fiches d'enquête

Une fiche d'enquête (annexe 1), d'abord sur les informations relatives aux systèmes de production avec les stratégies mises en place pour la gestion de l'eau (pluviale et non) dans le bassin versant a été conçue. Ensuite une autre a concerné l'inventaire du parcellaire des chefs de ménage. Ces deux fiches ont été administrées à l'échantillon de mars à Juin 2010, pour la première phase, et d'avril à mai 2011 pour la seconde phase.

D'autres fiches (annexes 2 et 3), enfin, ont été adressées à des groupes cibles à l'idée de faire ressortir leur vision sur les manifestations du climat et les options alternatives de solution.

Les fiches remplies ont été dépouillées, saisies, traitées et les données analysées avec le logiciel SPSS 16.0.

1.5.4 Traitement et cartographie des images

Les travaux de cartographie ont été réalisés en plusieurs étapes : La collecte des données nécessaires, le traitement et l'analyse de ces données.

1.5.4.1 Collecte des données

Les données collectées étaient essentiellement en format analogique (sur papier) ou format numérique.

Les données analogiques ont été collectées dans les différentes bibliothèques, les centres de recherche de Ouagadougou ou de Niamey et auprès des personnes ressources, des services techniques, des projets, des ONG, des bureaux d'étude. Ces données cartographiques ont été scannées et digitalisées.

Les données numériques ont été mises en place de quatre manières principales:

- la première est la consultation et le téléchargement de fichiers sur le Net en format PDF ou directement déjà en format géographique.
- la deuxième provient aussi de certaines personnes ressources, de services techniques ou projets et programmes de développement.
- la troisième est le positionnement des informations et les réalisations sur le terrain. Il s'agit de prendre des points de calage pour la digitalisation des couches analogiques, de délimiter et de géolocaliser des infrastructures et des ouvrages contribuant à la gestion de l'eau. Ces activités ont pu se réaliser grâce à l'utilisation du Global Positioning System (GPS) modèle Garmin 60 CSx.
- la quatrième est la prise de photographies numériques sur le terrain. Un appareil photographique de marque PANASONIC a servi à la prise de photographies pour illustrer les évènements nécessaires à notre étude.

1.5.4.2 Outils de traitements cartographiques

Il s'agissait de constituer une base de données cartographiques à partir du Système d'Information Géographique (SIG). De toutes les données cartographiques collectées, les différentes couches ont été réalisées et mises à la même référence géographique. Pour une question de commodité d'usage et d'analyse des résultats, le système de projection Universal Transverse Mercator (UTM), WGS 84 de la zone 30 dont le code EPSG = 32630 a été retenu.

Les utilisations des logiciels étaient diversifiées et faites en fonction des modules disponibles et en tenant compte de la nature de données (vecteur, raster une bande ou plusieurs etc.). Des logiciels propriétaires et libres ont servi pour les analyses. Il s'agissait notamment de :

- GRASS 6.4.0svn (un programme open source) pour les analyses cartographiques multicritères et la modélisation spatiale surtout, pour les formats rasters ;
- Quantum GIS 1.02 (QGis), aussi un programme open source pour les mises en pages et les conversions de formats issus des traitements dans GRASS ;
- Garmin MapSource, un programme de transfert des données GPS collectées sur le terrain vers les programmes SIG et vis versa ;
- Map Info 6.5 pour la digitalisation, l'importation, la conversion des formats de données et certains traitements primaires comme le calcul des superficies et des périmètres ;
- Arc View 3.2 pour la mise en page des résultats ;
- Envi4.2 pour les traitements des images satellitales Landsat ETM+ de 1986 et TM de 2011 couplées aux images haute résolution de Google Earth, afin de faire un état de la dynamique de l'occupation des terres.

En plus de ces logiciels de traitement d'images et de SIG, des programmes de bureautique ont complété les manipulations. Il s'agissait de Microsoft Office Word 2003 pour la rédaction et Microsoft Office Excel 2003 pour les calculs statistiques, la construction des graphiques et l'élaboration des tableaux.

1.5.4.3 Méthode d'analyse de l'impact des stratégies

La méthode d'interpolation *r.cost* dans GRASS a servi pour mesurer l'impact des pratiques de gestion de l'eau sur le bassin versant par le biais de la propagation des coûts par pixel. C'est un module qui utilise les images raster dont l'interface est présentée par la figure 2. Il détermine le coût cumulé de se déplacer dans chaque pixel entre différents endroits géographiques dans une carte initiale (input raster map) à partir des pixels d'une autre carte spécifiée par l'utilisateur dont les emplacements sont indiqués par leurs coordonnées géographiques. Chaque pixel de la carte de la surface de coût initial contient une valeur de catégorie qui représente le coût pour traverser ce pixel. *r.cost* produit une carte matricielle de sortie ou carte de rendement (output raster map) dans laquelle chaque pixel contient le plus bas coût cumulé pour traverser l'espace entre chaque pixel et spécifié par l'utilisateur. Les coûts diagonaux sont multipliés par un facteur qui dépend des dimensions du pixel.

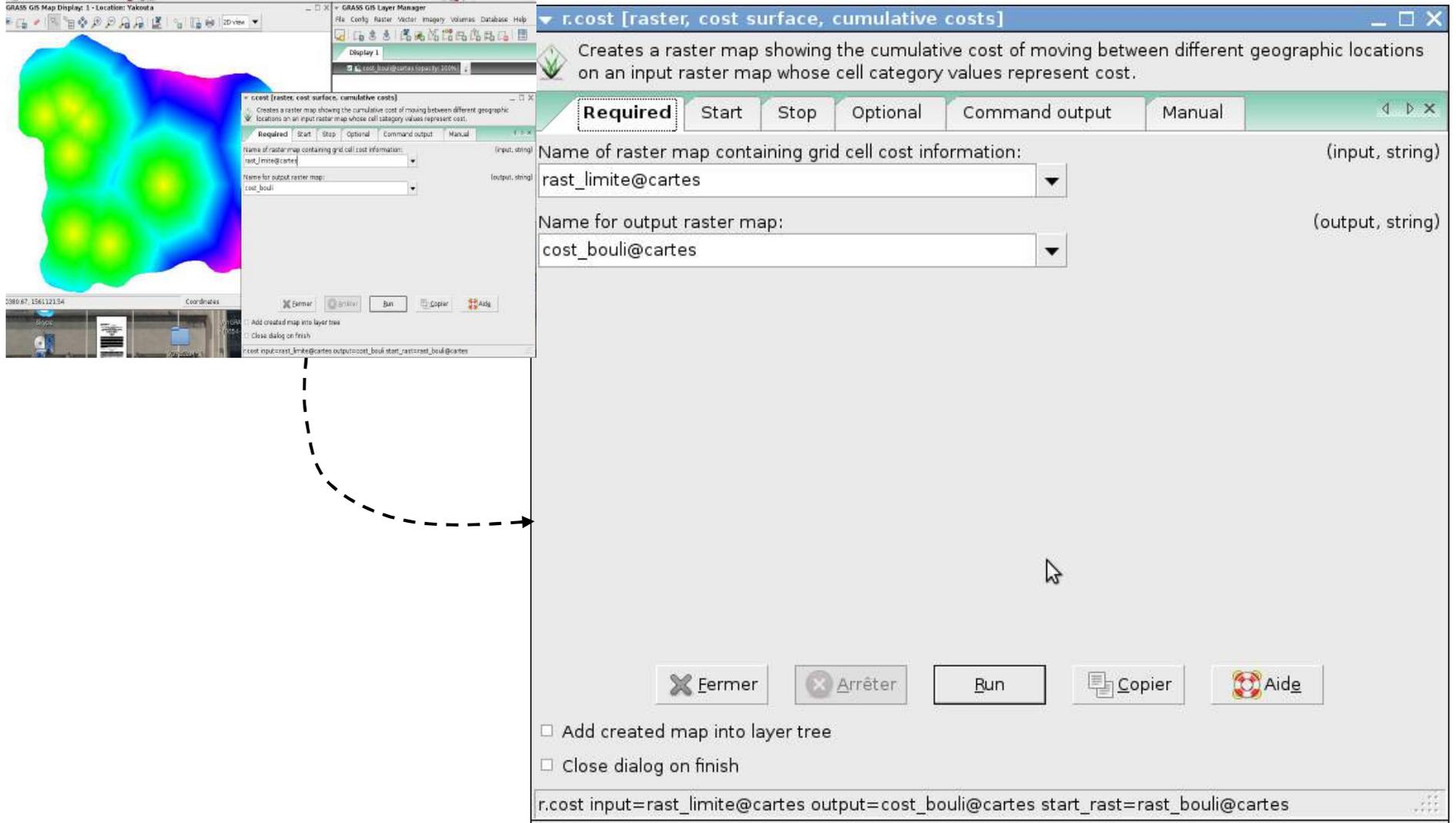


Figure 2 : Présentation de l'interface de r.cost

Ce programme utilise les paramètres géographiques de la « région courante » (coordonnées de la carte courante), et les données de la carte de sortie sont du même format de données que la carte d'entrée (entier ou en virgule flottante).

r.cost est un module de GRASS qui traduit un effet d'ondulation linéaire à partir de l'origine de l'action. L'onde produite a son maximum là où l'action se réalise et diminue progressivement pour s'annuler plus loin. Dans notre étude, l'action est représentée par l'aménagement, la pratique ou l'infrastructure mis en place pour la gestion de l'eau dans le bassin versant. La méthode d'interpolation r.cost fait intervenir la distance pour produire les effets de façon concentrique autour des actions identifiées. Pour les pratiques de saison sèche, son application ne pose pas de problèmes car il est question d'une certaine manière de leur accessibilité, ce qui fait intervenir les distances. Mais tel n'est pas le cas pour les pratiques de la saison pluvieuse car l'effet (l'impact) d'un cordon pierreux ou d'une bande enherbée ne se ressent pas du tout en amont, mais seulement en aval, et pas de manière concentrique, autour de la zone qui reçoit l'aménagement. Cette méthode n'est donc pas très adaptée mais dans un souci de simplification, nous l'avons appliquée à ces pratiques pour montrer les potentialités et l'intérêt de la méthodologie.

Les cartes issues de la modélisation spatiale comportent des valeurs absolues qui sont variables en fonction de l'importance des thèmes modélisés. Dans l'optique de réaliser les superpositions des couches pour les besoins de l'analyse, il est nécessaire de standardiser toutes les informations à une même proportion. Nous avons opté de ramener toutes les valeurs à des proportions relatives de 0 à 100. Cette agrégation tient au postulat que la gestion la plus efficace se rapprocherait plus de la valeur maximale (100) tandis que la moins efficace se rapprochera plus de la valeur minimale (0).

1.5.4.4 Méthode d'analyse de l'efficacité des stratégies

Notre approche est basée sur l'Analyse Multicritère à Référence Spatiale (AMC-RS) qui intègre le caractère géographique et le nombre important de paramètres d'analyse. L'application des méthodes d'aide multicritère remonte au début des années soixante-dix (Roy et *al.* 1992). Connel et *al.* (2000) cités par Ba (2009) suggèrent leur utilisation pour le développement d'une gestion convenable des ressources en eau. Elle a ainsi été préconisée pour la résolution de problèmes d'ingénieries ou de gestion liés aux ressources en eau. Le choix de cette approche

se justifie pour notre étude car, comme l'affirment Joliveau et *al.* (2000), la gestion intégrée est également utilisée afin d'optimiser l'association des multiples vocations des bassins versants.

L'AMC-RS repose sur un ensemble de procédures permettant de détailler un problème décisionnel portant sur des situations complexes liées à l'espace. Pour Hamdadou (2007), elle est utilisée pour synthétiser l'information géographique afin de sélectionner les variantes satisfaisant les préférences du (ou des) décideur(s). Les critères peuvent être de nature très différente, quantitative et/ou qualitative.

Dans l'analyse multicritère à référence spatiale, on cherche un domaine de résolution pouvant tenir compte de l'ensemble des critères susceptibles d'influencer la décision. Le critère se définit comme un facteur à prendre en considération pour évaluer un scénario donné ou pour apprécier une occasion d'action (Laaribi, 2000; Hickey et Jankowski, 1997 cités par Prévil et *al.* 2003). Il peut être pris aussi comme une contrainte qui défavorise d'une manière ou d'une autre la décision à prendre.

Ainsi, l'AMC permet de composer avec la multiplicité, la divergence et la nature (quantitative ou qualitative) des critères en vue d'aboutir à des compromis acceptables (Simos, 1990 cité par Prévil et *al.* 2003).

Dans le bassin versant, les critères de gestion de l'eau ont été énumérés par les producteurs lors des enquêtes formelles réalisées et aussi pendant les échanges avec les personnes ressources intervenant dans le site de recherche. Ils sont regroupés en deux principales catégories : Les facteurs et les contraintes de gestion de l'eau.

Facteurs de gestion de l'eau

Les facteurs sont des critères favorables qui contribuent à une bonne gestion de l'eau. Ils ont été recensés et classés par les producteurs lors des assemblées organisées dans les quatre villages échantillons. Les critères ont ensuite subi des pondérations avant leur traitement par une combinaison linéaire. La méthode développée par Saaty (1997) cité par Laaribi (2000) a été utilisée à cet effet. Il s'agit de la méthode des comparaisons par paire fournie par le Processus d'Analyse Hiérarchique (Analytical Hierarchy Process, AHP). Deux catégories de mesures sont ressorties : l'une concerne les activités de saison pluvieuse (tableau 3) et l'autre, celles de saison sèche (tableau 4).

Tableau 3 : Facteurs de gestion de l'eau en saison sèche et leur importance relative

Infrastructures	Fréquences de choix					Pourcentage
	Nakou	Léré	Yakouta	Oulo	Total	
Barrage	4	4	9	9	26	15
Mare	5	5	7	5	22	12
Puits	8	7	3	6	24	14
Forage	9	8	4	7	28	15
Puisard	3	4	1	3	11	6
<i>Bouli</i>	7	8	3	4	22	12
Cours d'eau	2	1	4	1	8	4
Impluvium	0	1	0	0	1	1
Bas-fond	5	3	6	2	16	9
Maraîchage	2	4	8	8	22	12
Total	45	45	45	45	180	100

Source : Entretiens semi-structurés en février 2011

Tableau 4: Facteurs de gestion de l'eau en saison pluvieuse et leur importance relative

Pratiques	Fréquences de choix					pourcentage
	Nakou	Léré	Yakouta	Oulo	Total	
Fumure organique	5	7	5	7	24	22
Cordons pierreux	4	4	3	4	15	13
<i>Zai</i>	2	4	2	0	8	7
Labour (sols aptes)	5	6	6	2	19	17
Bande enherbée	3	3	1	1	8	7
Fixation de dune	0	0	0	4	4	3
Paillage	2	2	4	5	13	12
Zone de culture	7	2	7	5	21	19
Total	28	28	28	28	112	100

Source : Entretien semi-structuré en février 2011

Un des avantages de la combinaison linéaire pondérée est la possibilité d'affecter un poids à chacun des facteurs entrant dans l'agrégation des critères (Eastman 2001, cité par Kêdowidé, 2010). Le poids des facteurs indique leur importance relative par rapport à tous les autres. Un facteur de gestion faible d'une zone donnée peut être compensé par un autre ayant un degré de gestion élevée car l'importance de chacun des facteurs est déterminée par le poids qui lui est affecté. Mais en plus des facteurs déterminant la gestion, des contraintes spécifiques aux saisons sèche et pluvieuse ont été recensées.

Contraintes de gestion de l'eau

Quatre contraintes majeures, susceptibles d'influencer les facteurs de gestion de l'eau en saison pluvieuse, ont été identifiés. Il s'agit :

- des sols à capacité médiocre de rétention de l'eau, leur caractéristique les limite dans la gestion de l'eau. Ce sont en général les sols sableux qui sont d'une grande perméabilité à l'eau ;
- des bas-fonds difficilement ou non aménageables, qui renferment des environnements non favorables à l'exploitation agropastorale ;
- de la pluviométrie qui en période de déficit ou d'irrégularité dans la répartition dans le temps ou dans l'espace constitue une contrainte de production ;
- de la température qui est un paramètre ayant un lien avec la pluviométrie.

Pour la saison sèche, dans le bassin versant, la pluie constitue la principale source d'alimentation des eaux souterraines et de surface. La disponibilité de cette eau est donc tributaire des paramètres pluviométriques dont trois ont été retenus comme les contraintes majeures à la gestion de l'eau en saison. Il s'agit de :

- la pluviométrie ;
- la température ;
- qualité des sols.

L'analyse par l'approche de l'AMC-RS de GRASS (logiciel open source) utilise le module mapcalculator (r.mapcalc). Il permet de mesurer l'efficacité des pratiques de gestion de l'eau sur le bassin versant par la modélisation spatiale. C'est un module qui intègre les systèmes d'information Géographique et les AMC car pris isolément, l'un ou l'autre serait incomplet.

En effet, les SIG permettent le traitement, la gestion, l'analyse, l'intégration et la modélisation des données géographiques ainsi que des processus qui transforment le territoire. Ils peuvent gérer les informations intégrées, à dimensions multiples, représentant des milieux complexes et modéliser des scénarios d'aménagement. Ils aident à hiérarchiser les facteurs à considérer pour la résolution des problèmes en révélant notamment l'intensité autant que la qualité des interdépendances entre les lieux en fonction de la distance géographique, économique, temporelle, culturelle ou sociale qui les sépare (Openshaw et Openshaw, 1997 ; Goodchild, 2000; Burrough et Mc Donnel, 1998 cités par Prévil et *al.* 2003). Dans une étude épidémiologique sur la bilharziose, Kouamé et *al.* (2008) sont parvenus à la conclusion que la télédétection et les SIG peuvent contribuer efficacement à l'appréciation de

l'évolution de la bilharziose par la délimitation des zones à risque de contamination. Mais, malgré ces nombreuses fonctionnalités analytiques, les SIG souffrent encore de plusieurs lacunes dans le domaine de l'aide à la décision à référence spatiale (Serré 2005, Laaribi 2000).

Les méthodes d'AMC seules, selon Chakhar (2006) ; Kêdowidé (2010), sont incapables de tenir compte de tous les aspects des problèmes de décision à référence spatiale. En effet les logiciels d'AMC ne disposent pas de capacités de gestion des données à référence spatiale et ils ne possèdent pas d'outils nécessaires à la représentation cartographique des résultats à même d'améliorer leur compréhension et d'arriver à une meilleure maîtrise du processus décisionnel. Pour Chakhar (2006), la modélisation spatiale multicritère procède par l'algèbre des cartes ou le calcul des cartes. L'Algèbre des cartes (*Map Algebra*) est un outil puissant pour incorporer la modélisation cartographique (*cartographic modeling*) dans les SIG. Elle constitue une méthode générale de modélisation cartographique dans laquelle les différentes opérations cartographiques élémentaires sont représentées sous une structure mathématique où les variables sont des plans d'information (*layer*) et les opérateurs sont ceux de l'analyse et la modélisation spatiale. Ces opérateurs, lorsqu'ils sont appliqués sur les différents plans d'information en entrée, permettent de générer de nouveaux plans d'information comme résultat. Cette méthode utilisée par Kouamé et al (2007) ont permis l'identification des sites de déchets solides dans le district d'Abidjan.

Le module r.mapcalc dont l'interface est présentée par la figure 3 est un programme qui obéit à cette logique. Il permet à des utilisateurs de manipuler, d'analyser et de créer des données cartographiques en exécutant des calculs mathématiques sur des couches de cartes matricielles. Il est développé dans GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), un logiciel de système d'information géographique d'analyse de ressources capable de gérer les deux composantes (AMC et SIG).

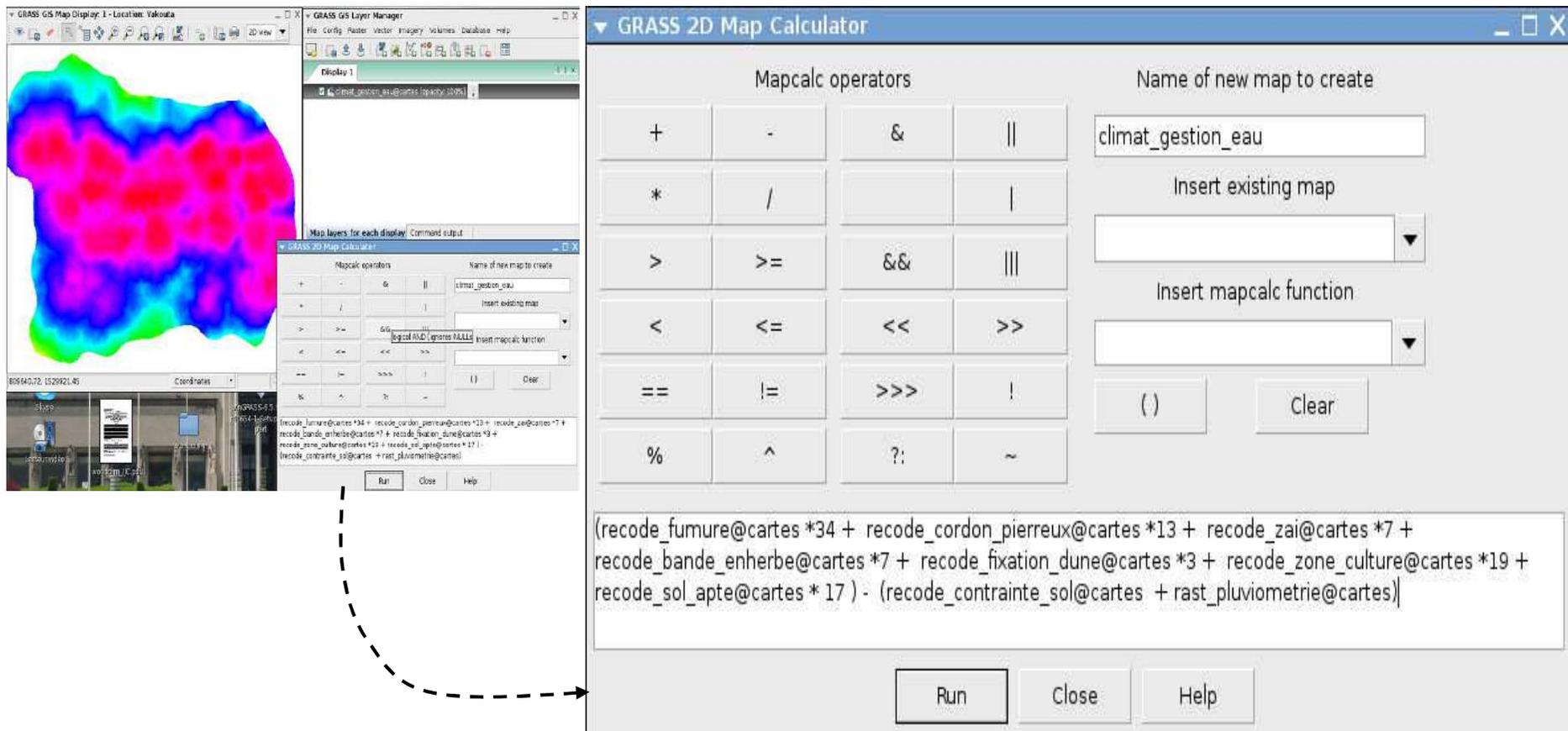


Figure 3 : Présentation de l'interface de r.mapcalc

r.mapcalc est un calculateur de couche qui exécute une (ou des) opération (s) arithmétique (s) et de logique mathématique sur des cartes matricielles (raster). Le produit résultant est une carte raster issue des expressions arithmétiques de cartes matricielles.

La formule générale est :

$$\text{Output raster map} = f(\text{raster map}_1, \text{raster map}_2 \dots \text{raster map}_n)$$

avec :

Output raster map = Nouvelle carte matricielle de sortie

f = fonction mathématique de *r.mapcalc*

(raster map₁, raster map₂ ... raster map_n) = input raster map = série de cartes matricielles d'entrée liées entre elles par des opérateurs.

Les tableaux 5 et 6 font état des fonctions et des opérateurs supportés par le calculateur de cartes matricielles (*r.mapcalc*) :

Tableau 5 : Quelques fonctions utilisées dans le calculateur de cartes *r.mapcalc*

abs (x)	valeur absolue de x
exp (x)	Exponentiel de x
exp (x, y)	Exponentiel (y, x)
flotteur (x)	convertir x de simple précision en virgule flottante
int (x)	convertir x de flottants en entiers
log (x)	logarithme naturel de x
log (x, y)	journal de la base x y
sqrt (x)	racine carrée de x
min (x, y,...)	minimum de x, y, ...
max (x, y,...)	maximum de x, y, ...
round (x)	tour à x entier le plus proche
if (x)	1 si x n'est pas nul, sinon 0
si (x, y)	y si x n'est pas nul, sinon 0
si (x, y, z)	y si x n'est pas nul, z autrement
si (x, y, z, a)	y si x > 0, z, si x est égal à zéro, 1, si x < 0

Tableau 6: Quelques opérateurs utilisés dans le calculateur de cartes *r.mapcalc*

*	multiplication
/	division
%	module
+	plus
-	soustraction
==	égalité
!=	pas égal
<	inférieur à
<=	inférieur ou égal
>	supérieur à
>=	supérieur ou égal à

En se référant aux critères définis dans le paragraphe précédent, l'analyse de l'efficacité des stratégies est faite à partir de deux modèles simples : un modèle d'analyse de gestion de l'eau en saison sèche (MGESS) et un modèle d'analyse de gestion de l'eau en saison humide (MGESH).

Pour l'un ou l'autre des cas, le principe repose sur la formule suivante :

$$\text{Gestion_eau_raster} = \text{r.mapcalc} \sum(\text{Fact_raster}) * 100 - \sum(\text{Contr_raster})$$

avec :

r.mapcalc est le calculateur des cartes

Gestion_eau_raster est le résultat de la simulation en format raster

Fact_raster = les facteurs influençant le modèle

Contr_raster = les contraintes dans le modèle

L'approche ainsi présentée contribue à apporter des réponses aux questionnements formulés dans la problématique et permet de comprendre les mécanismes et les tendances du climat ainsi que l'efficacité des stratégies mises en œuvre par les producteurs dans le bassin versant de Yakouta. Mais quels sont les éléments fondamentaux qui déterminent la gestion de l'eau dans cette zone ? Dans le chapitre deuxième qui suivra, nous tenterons d'analyser les données climatologiques qui la caractérisent après l'avoir située géographiquement.

CHAPITRE DEUXIEME: CARACTERISTIQUES BIOCLIMATIQUES DU BASSIN VERSANT

2.1 Situation de la zone d'étude

L'étude s'est déroulée dans le bassin versant de Yakouta (figure 4), dans la zone agro-climatique du sahel burkinabè. Selon Guinko (1984), cette région est caractérisée par un climat de type sahélien. Le régime pluviométrique est unimodal, la saison des pluies durant de juin à septembre et marqué par une irrégularité spatio-temporelle. La moyenne pluviométrique annuelle varie de 200 à 600 mm. Les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 12°C (minima) et de 47°C (maxima). Les vents sont fréquents avec des vitesses variables, selon les périodes de l'année : en moyenne 2 à 8 m/s en saison pluvieuse (notamment en juillet-août) et 0 à 3 m/s en saison sèche.

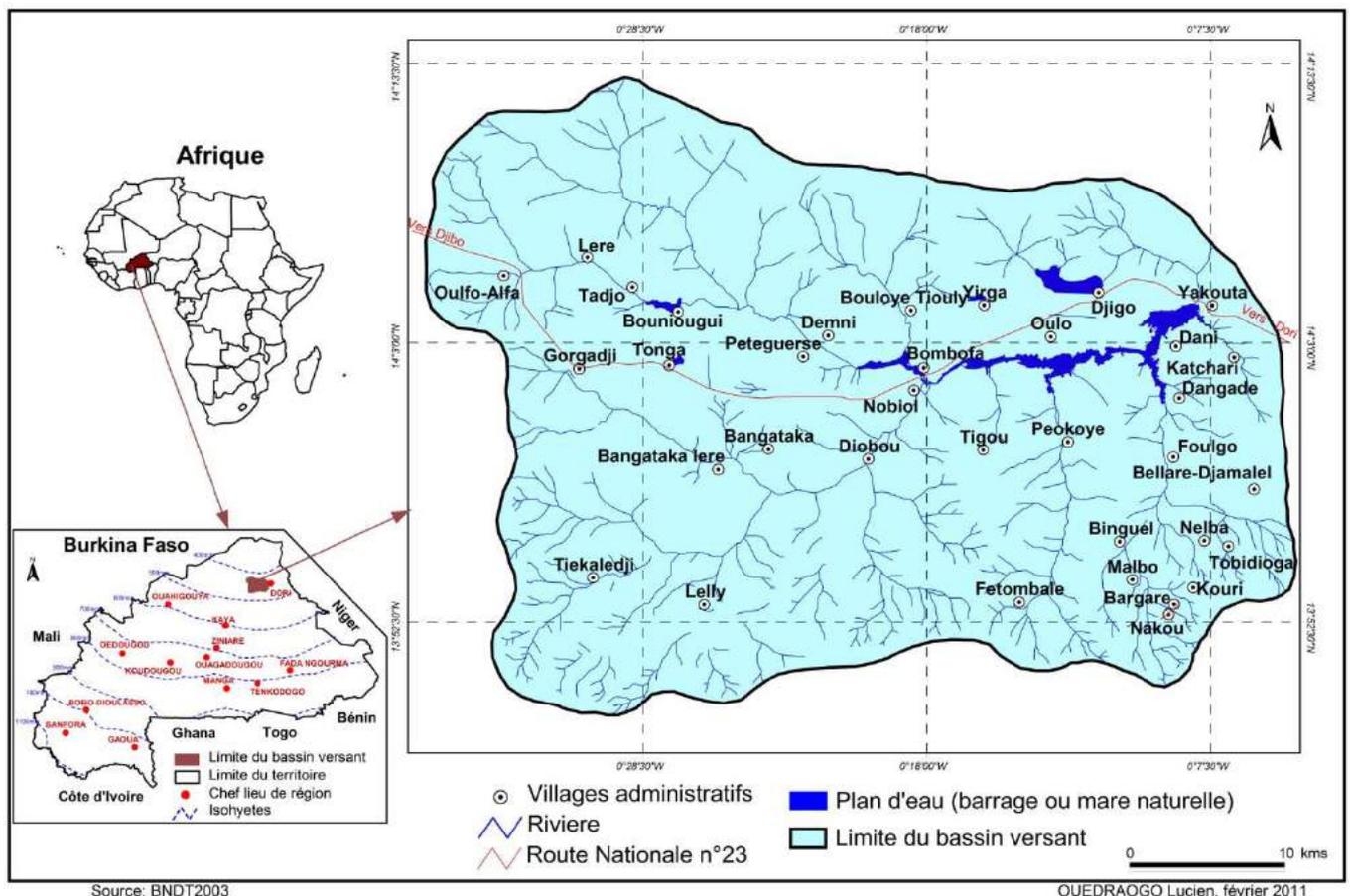


Figure 4: Carte de localisation du bassin versant de Yakouta

Des valeurs extrêmes de 35 m/s pendant 15 mn ont pu être relevées lors des tornades, dans la zone de la mare d'Oursi (Claude et *al.* 1991). L'évaporation journalière est de 7 à 8 mm en période pluvieuse et peut atteindre 10 mm/j au niveau des mares avec une moyenne de 2920 mm/an.

Le bassin versant de Yakouta est localisé au nord du 13^e parallèle, précisément entre 13°49'18,12" et 14°12'45,36" de latitude nord et entre 0°36'30,96" et 0°4'55,2" de longitude ouest. Il s'étend sur 58 km d'est en ouest et sur 43 km du nord au sud. Il couvre une superficie d'environ 1 800 km² et regroupe trente cinq (35) villages administratifs.

Il est situé dans le bassin versant international du Niger (au nord du Burkina Faso) et partagée entre trois circonscriptions administratives qui sont :

- la province du Séno, dans sa partie est avec la commune urbaine de Dori, et dans sa partie ouest avec les communes rurales de Gorgadji et de Arbinda ;
- la province de l'Oudalan avec la commune de Gorom-gorom au nord
- la province du Namentenga par la commune rurale de Bouroum au sud-ouest.

Il occupe presque la totalité de la commune de Gorgadji avec des empiètements sur celles de Dori, Gorom-Gorom, Bouroum et Arbinda (tableau 7).

Tableau 7 : Proportion du bassin versant dans l'occupation des communes

Régions	Sahel				Centre-nord
Provinces	Séno			Oudalan	Namentenga
Communes	Gorgadji	Arbinda	Dori	Gorom-Gorom	Bouroum
Superficie (km ²)	862,02	57,15	766,19	65,25	49,88
Pourcentage	92	2,2	30,7	1,9	3,8

Source : BNDT, 2003

Pour la présente étude, caractériser plus en détail le climat du bassin versant pour comprendre et analyser la gestion de l'eau est une nécessité. Le climat par ces principaux paramètres est en effet l'une des principales sources qui influence énormément la gestion l'eau en milieu sahélien. Il s'agit des paramètres pluviométriques et de températures dont l'analyse sera faite à partir des données recueillies en station et de la perception des populations locales à l'échelle du bassin versant.

2.2 Tendances des données pluviométriques de 1961 à 2008

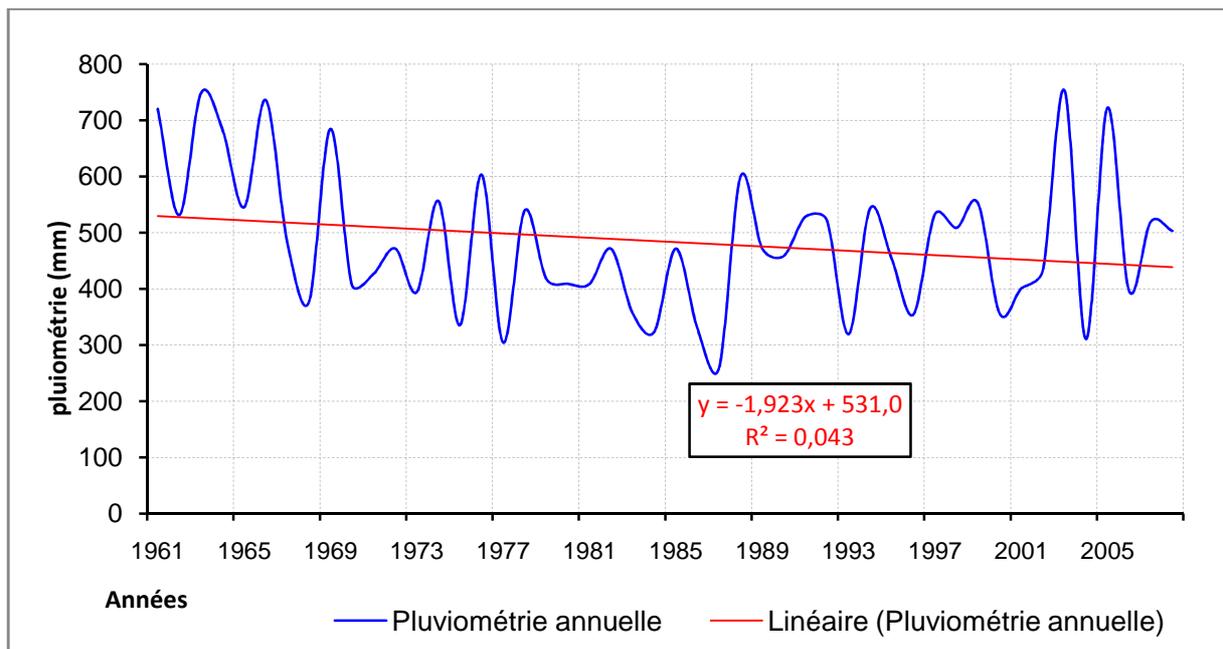
Pour comprendre les tendances de la pluviométrie, nous nous sommes intéressé à caractériser dans la période de 1961 à 2008, les manifestations que présente ce paramètre climatique. Il s'agit de faire ressortir l'allure d'ensemble de son évolution mais aussi de dégager la tendance des périodes qui ont été propices aux activités agricoles.

2.2.1 Evolution générale de la pluviométrie de 1961 à 2008

Les précipitations fournissent la source d'eau principale pour la production agropastorale du bassin versant. Elles sont caractérisées par trois principaux paramètres qui sont : leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient dans le temps et dans l'espace. La connaissance exacte de ces trois caractéristiques est essentielle pour planifier l'utilisation des précipitations par l'agriculture et éventuellement prévoir les possibilités d'irrigation de complément (Guyot, 1999 cité par Séné, non daté).

Notre analyse de l'évolution du climat porte sur les principaux paramètres climatiques qui sont la température et la pluviométrie définies par Ogouwalé (2006), comme les deux variables les plus importantes pour la caractérisation du climat sous les latitudes intertropicales. Pour Rural21 (2010), la température est le premier paramètre touché par le réchauffement climatique et les précipitations sont la deuxième variable climatique majeure.

Les données de notre analyse concernent une période de quarante huit années (1961-2008). Leurs traitements ont pour résultat la figure 5 qui donne l'allure générale de l'évolution de la pluviométrie. Elle se présente en dents de scie sur toute la ligne, preuve de la variabilité annuelle des pluies pendant ladite période. L'année 2003 a enregistré la plus forte pluviométrie (753,2 mm) et 1987 est l'année de la plus faible précipitation (259,1 mm). La moyenne interannuelle de la série est de 464,5 mm.



Sources : DMN (1961-2008)

Figure 5: Evolution de la pluviométrie annuelle entre 1961 et 2008

2.2.2 Tendances pluviométriques de 1961 à 2008

L'outil de caractérisation que nous avons utilisé est l'Indice Pluviométrique Standardisé (IPS). Sa capacité de mise en évidence des tendances a été démontrée dans plusieurs études climatiques sur le Sahel africain : Diallo et *al.* (2011), Centre Régional AGRHYMET (2010), Combal et *al.* (2009), Kanohin et *al.* (2009), Ali et *al.* (2008), CEDEAO-CSAO/OCDE (2007), Philippon (2002) et Nouaceur (1995). Ces auteurs l'ont préconisé à partir de la formule de calcul proposée par Nicholson et *al.* (1988). Nous l'avons adapté à notre étude à partir des données de la station synoptique de Dori, localisée dans la même zone climatique que les études sus-citées. L'équation de la formule est la suivante :

$$\text{IPS}_R^i = \frac{P_R^i - \dot{P}_R}{\sigma_R} \quad \text{avec}$$

IPS_R^i est l'indice pluviométrique standardisé régional d'une année i ,

P_R^i est la pluie moyenne régionale de l'année i ,

\dot{P}_R est la moyenne interannuelle de la pluie régionale

σ_R est l'écart type de la pluie régionale

Quant à la droite de tendance, elle est tracée sur la courbe de l'IPS dans EXCEL 2003. La fonction "*TENDANCE*" permet de calculer les valeurs de la courbe de tendance linéaire par la méthode des moindres carrés.

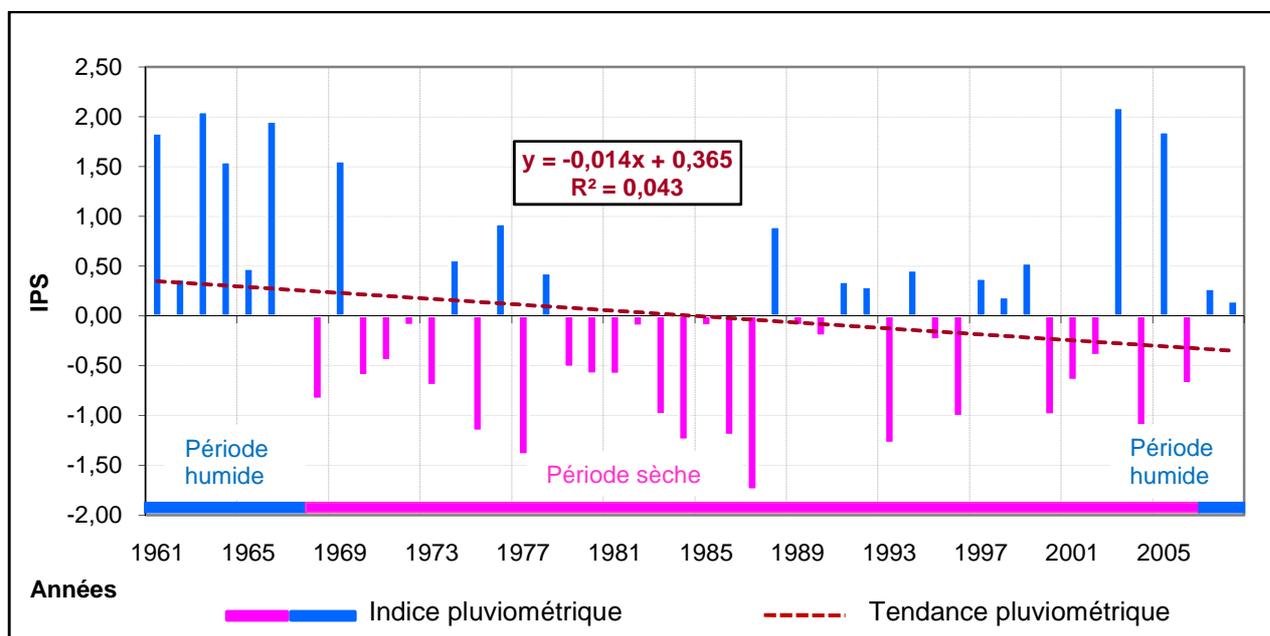
L'IPS d'une année est un indice qui indique si la saison pluvieuse de l'année concernée peut être qualifiée d'excédentaire (dans ce cas il est positif) ou de déficitaire (il est négatif à ce moment). Il permet d'observer la variabilité interannuelle ainsi que les périodes de déficits et d'excédents pluviométriques (Goula et *al.* 2006). La figure 6 est l'IPS de Dori de 1961 à 2008 correspondant au résultat de l'analyse des tendances pluviométriques. Elle présente deux situations essentielles de cette station, notre zone d'étude y comprise. Les bâtonnets (qui représentent les valeurs des IPS) sont situés de part et d'autres de l'axe zéro. Ceux situés au dessus de zéro indiquent les années excédentaires et, ceux en dessous sont les années déficitaires par rapport à la moyenne. Ainsi l'analyse suivante peut en découler.

- La première situation est une période relativement pluvieuse qui s'étale sur quinze années discontinues. Elle est représentée par les bandes bleues au bas du graphique correspondant aux bâtonnets bleus. Elle couvre les tranches de 1961 à 1969 et de 2003 à 2008. Durant ces périodes, toutes les valeurs sont positives à l'exception de quatre années (1968, 2004 et 2006).
- La deuxième situation couvre les années 1970 à 2002, soit trente trois ans, avec une variation temporelle de la pluviométrie (tantôt une année pluvieuse suivie d'une autre excédentaire ou déficitaire etc.). Elle s'étale sur toute la période en bande rouge qui se situe au bas du diagramme et matérialisée par les bâtonnets rouges. C'est donc une période sèche marquée par une instabilité pluviométrique générale ; caractérisée par trois périodes de sécheresse que les populations ont vécue de 1970 à 1973 (quatre ans), de 1979 à 1987 (neuf ans) et de 2000 à 2002 (trois ans).

De façon générale, il y a une évolution régressive de la pluviométrie, ce qui est en conformité avec les dires des producteurs de Yakouta (*paragraphe 2.4.3*). La droite de tendance qui résulte du graphique IPS est aussi révélatrice et confirme cette affirmation. Cette courbe commence par une valeur positive en 1961 (environ 0,3) et se termine par une valeur négative en 2008 (environ -0,3).

Egalement, la fréquence des années déficitaires est supérieure à celle des années normales à excédentaires soit vingt sept (27) contre vingt une (21) sur la série

considérée. Mais on note une tentative de reprise des excédants pluviométriques à partir de 2007.



Sources : DMN (1961-2008)

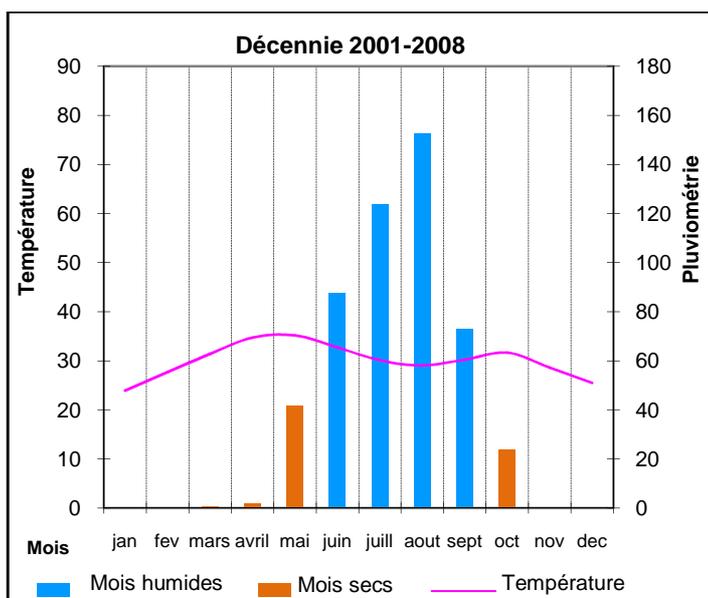
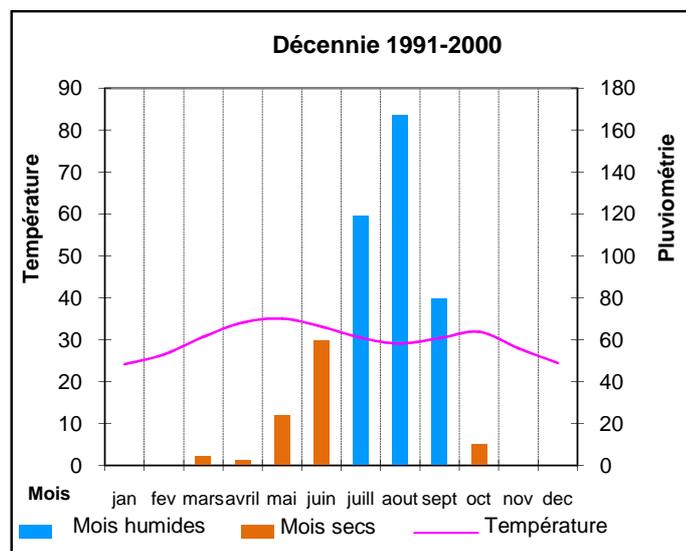
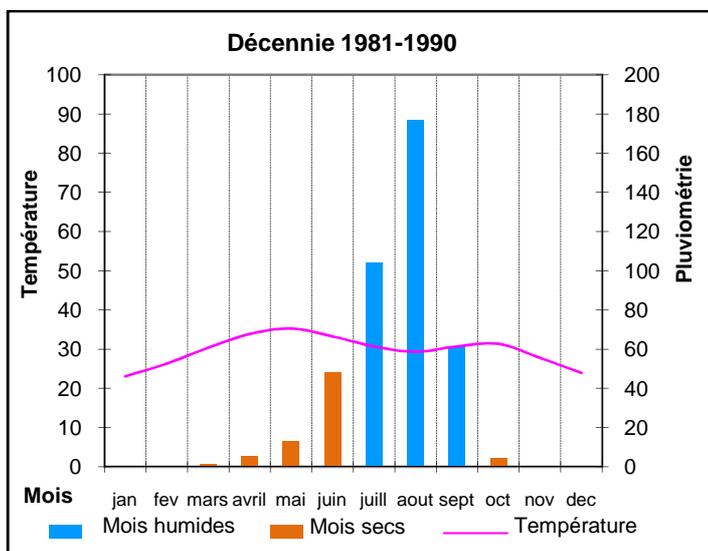
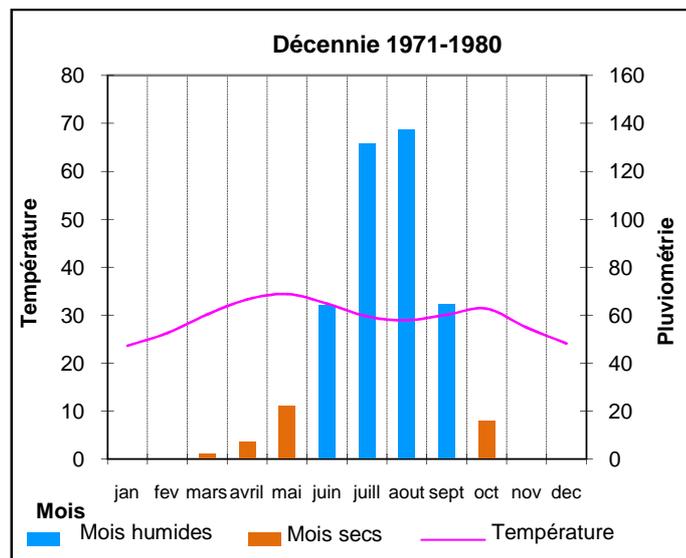
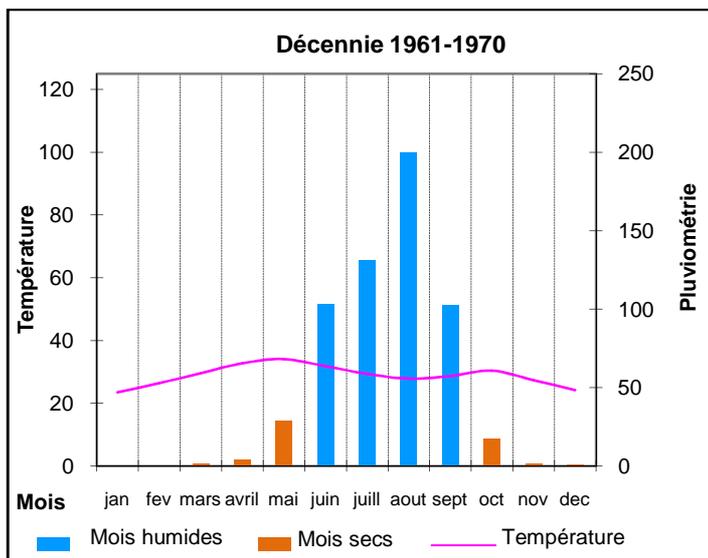
Figure 6 : Indice pluviométrique standardisé (IPS) de la station de Dori

Nous remarquons avec CRA, (2010) que la période d'avant 1969 est caractérisée par une succession d'années humides et celle de 1970 à 1993, par une persistance de plus de vingt années sèches. Les années 1970 ont été marquées par ce qui est communément appelé la rupture climatique (Meddi et Meddi, 2009) au Sahel qui s'inscrit globalement dans la fluctuation du régime pluviométrique observée entre la fin des années 1960 et le début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et Centrale (Mahé et Olivry 1995 ; Paturel *et al.* 1997,1998 ; Servat *et al.* 1998, 1999 cités par Soro *et al.* 2011). A partir de 1970, une sécheresse persistante est intervenue au Sahel. Après 1993, un autre mode de variabilité semble s'instaurer au sein du régime pluviométrique dans le bassin versant de Yakouta. L'évolution interannuelle, considérée à l'échelle de la région entière, a montré ses années humides (753,2mm en 2003) alternant avec des années sèches (259,1mm en 1987). Ce nouveau mode de variabilité rend les prévisions interannuelles encore plus difficiles et impose de nouvelles stratégies d'adaptation. D'une manière générale, la figure 4 traduit une tendance à la baisse de la pluviométrie nonobstant la timide reprise des années 2005 et 2007. L'allure de la courbe de tendance en est la confirmation.

2.2.3 Evolution des périodes pluvieuses de 1961 à 2008

En dehors des quantités de pluies recueillies durant toute la période que nous avons retenues pour notre étude et dont la moyenne est de 464,5 mm, il est important de faire ressortir les périodes réellement favorables aux activités agricoles qui occupent les populations. En effet comme le dit Séné (non daté), si l'abondance des pluies est le facteur climatique principal de l'agriculture pluviale, sa répartition est tout aussi importante, car c'est cela qui pose le problème du risque de déficit hydrique auquel les plantes cultivées doivent faire face. Il s'agit de la connaissance du début et de la fin de la saison des pluies qui constitue la durée de la saison humide, facteur décisif dans l'élaboration du calendrier agricole. La saison des pluies débute dans le Sahel burkinabé généralement au mois de juin et sa fin intervient habituellement en septembre. Mais en fonction des conditions locales, il y a une disparité d'une année à l'autre et d'une période à l'autre.

Nous avons subdivisé la période d'étude en cinq décennies compte tenu de l'irrégularité et de l'hétérogénéité de la pluviométrie constatées pendant les cinquante années. Mais la dernière comptera huit années compte tenu que nos données s'étalent sur quarante huit ans. Nous estimons que ces périodes décennales bien que arbitrairement définies constituent un pas de temps qui permet de constater des évolutions pluviométriques significatives à l'échelle du bassin. Les valeurs moyennes de température et de pluviométrie, plus indiquées, ont servi à la construction des diagrammes ombrothermiques ou courbes de Gaussen.



- Périodes pluvieuses approximatives**
- 1961-1970 est de juin à septembre = **4 mois**
 - 1971-1980 est de juillet à septembre = **3 mois**
 - 1981-1990 est de juillet à août = **2 mois**
 - 1991-2000 est de mi juillet à mi septembre = **3 mois**
 - 2001-2008 est de juin à septembre = **4 mois**

Sources : DMN (1961-2008)

Figure 7 : Courbes ombrothermiques décennales de la station de Dori

Selon la théorie de Henri Gaussen, une période donnée est dite aride, quand $P < 2T$ (P représente les précipitations totales en millimètres de la période donnée et T est la température moyenne en $^{\circ}\text{C}$ sur la même période). Par contre, elle est pluvieuse quand $P > 2T$.

La figure 7 représente les diagrammes ombrothermiques ou courbes de Gaussen pour la série divisée en cinq décennies. Il en ressort ce qui suit :

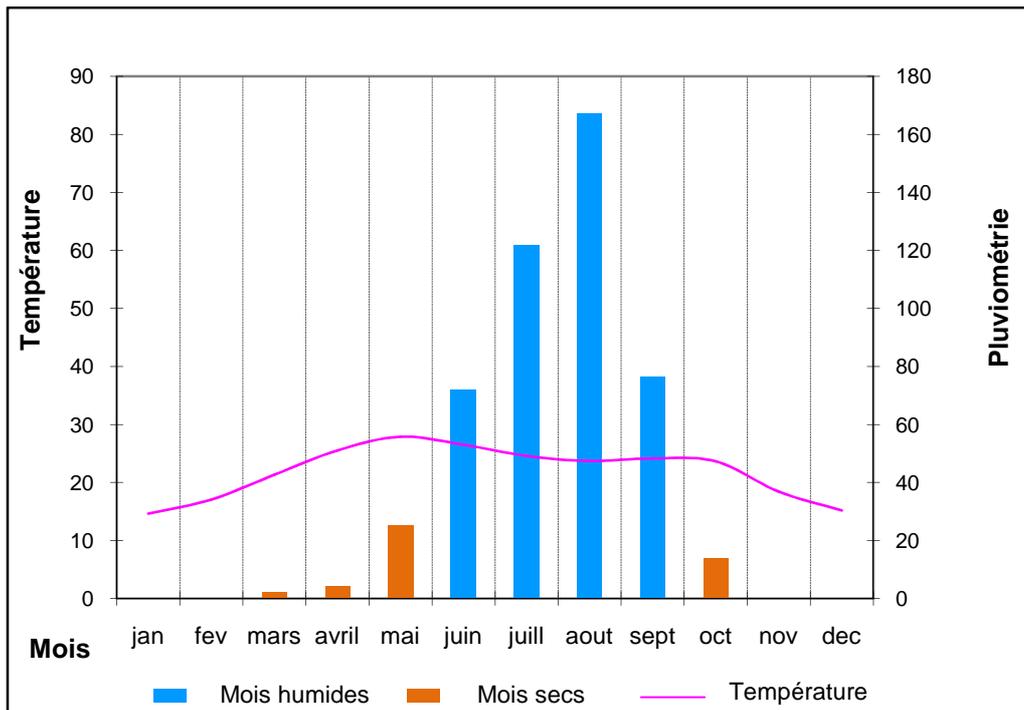
- la période 1961-1970 et celle de 2001-2008 ont enregistré les pluies qui s'étalent sur plus de quatre (4) mois.
- les décennies 1971-1980 et 1991-2000, ont connu des saisons raccourcies par rapport aux premières et se sont étalées sur trois (3) mois environs.
- la décennie 1981-1990 a été marquée par des saisons davantage raccourcies avec une durée qui n'a pas dépassé deux mois (2 mois).

De façon générale, les graphiques se présentent sous différentes formes. Les deux premiers graphiques (1961-1970 et 1971-1980) et le dernier (2001-2008) présentent des bases relativement larges et des sommets arrondis. Ils traduisent une période pluvieuse relativement plus importante et surtout étalée dans le temps. Par contre ceux des périodes 1981-1990 et 1991-2000 présentent des graphiques plus effilés avec des sommets pointus et des bases restreintes. Ils traduisent des périodes de saisons pluvieuses plus « ramassées dans le temps ».

Il y a donc une évolution régressive des périodes de pluie de 1961 à 2008. Elles sont passées de quatre mois en 1961-1970 avec des pluies moins importantes mais plus ou moins bien étalées dans le temps contrairement autres périodes (les plus récentes) à environ trois mois et des pluies concentrées en quelques jours.

2.2.4 Contraintes pluviométriques

L'agriculture est à plus de 90% pluviale dans le bassin versant de Yakouta. La pluviométrie qui devrait constituer un facteur important pour cette activité, est dans bien de cas, une contrainte pour la gestion de l'eau. Les difficultés existent en périodes de déficits pluviométriques fréquemment observés dans cette zone. La brièveté de la saison pluvieuse en est un témoin. La moyenne mensuelle des pluies observée de 1961 à 2008 montre une saison pluvieuse annuelle d'environ quatre mois allant de juin à septembre (figure 8).



Source : Météorologie Nationale du Burkina

Figure 8 : Courbe ombrothermique de Dori de 1961 à 2008

Le vent constitue aussi une contrainte pour les activités agricoles. Il devrait favoriser et accompagner la formation des pluies et se définit comme un déplacement horizontal de l'air. Il se caractérise par sa vitesse, le sens de son déplacement et les agents qu'il transporte pendant son parcours. Au Sahel, le vent souffle en véhiculant la chaleur ambiante parfois insupportable. Pour les producteurs (90% de réponses), ces vents chauds soufflent et rendent la vie difficile aussi bien pour les hommes que pour les animaux. Ce sont des vents qui se manifestent en deux étapes :

La première, la plus courte se déroule d'août à novembre et correspond à la période pluviale. Les vents à cette période sont moins forts (en dessous de 2 mètres par seconde). La reconstitution de la verdure peut en être une explication.

La deuxième se déroule entre décembre et juillet avec deux faits majeurs. D'une part, la manifestation de l'harmattan (ou vent d'est), vent frais et sec qui favorise le développement de beaucoup de maladies respiratoires comme les bronchites, et d'autre part, les vents d'ouest apparaissent avec l'installation de la saison des pluies. Ce sont des vents assez forts, violents et surtout accompagnés d'importante quantité de poussière comme l'indique la figure 9. C'est un phénomène qui était rare autrefois

mais qui s'est installé progressivement depuis pratiquement les périodes de grandes sécheresses des années 1970.



Figure 9: Nuage de poussière qui annonce l'arrivée probable d'une pluie

Les conséquences sont nombreuses sur le pâturage et le bétail lui-même comme le tableau 8 l'illustre. Obligation est faite aux agropasteurs de trouver des solutions de leur survie et celles de leurs animaux.

Tableau 8 : Conséquences principales des vents sur les activités agricoles

Conséquences principales	fréquences	%
Mortalité, maladies et pourrissement des plantes (mil, sorgho...)	120	37,3
Pâturages rares, affaiblissement et mortalité du bétail	62	18,9
Baisse de la nappe, sécheresse fréquente et manque d'eau, disparition des réserves naturelles	68	21,3
Mauvaises récoltes, attaques des insectes, des chenilles et des insectes	31	9,6
Brûlure des plantes (mil, sorgho...)	41	12,9

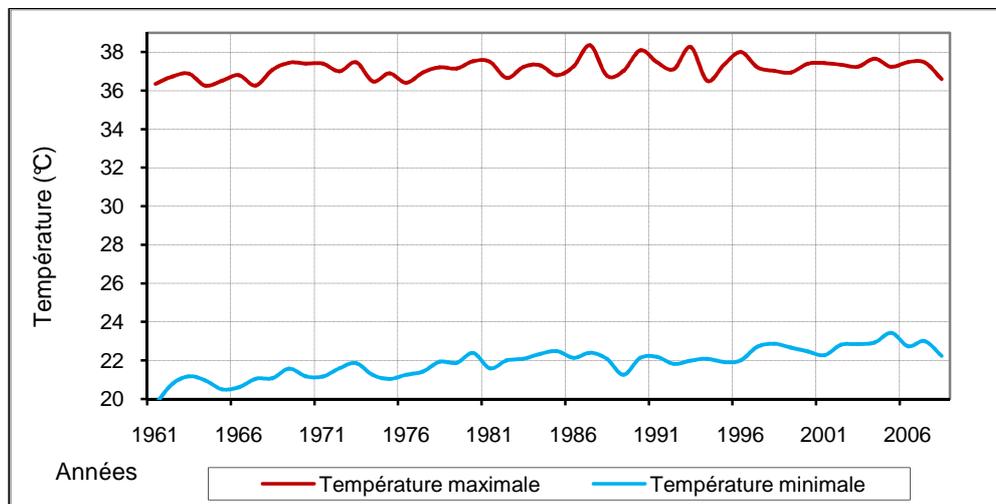
Source : Enquêtes de terrain, avril 2010

Le vent est un facteur écologique à la fois favorable et néfaste à la gestion de l'eau. Le sens dans son déplacement annonce la venue ou non de la pluie. A l'inverse, il augmente l'évaporation de l'eau des sols non couverts, entraîne leur dégradation et favorise l'érosion éolienne lorsque sa vitesse est élevée. Dans ces conditions, il devient un vecteur indirect de transmission des maladies en transportant des germes nocifs.

2.3 Tendances des données de température de 1961 à 2008

2.3.1 Evolution générale des températures de 1961 à 2008

L'analyse de la situation des températures a été faite avec des données de la même série que celles de la pluviométrie de Dori (1961 à 2008) en prenant en compte les deux paramètres essentiels. Il s'agit des températures minimale et maximale qui ont certainement une influence sur le climat, surtout dans sa composante pluviométrique. La figure 10 présente les courbes de l'évolution des températures moyennes annuelles minimales et maximales. L'observation de ces graphiques montre une irrégularité dans le tracé, évoluant en dents de scie. Les deux courbes ont des allures ascendantes avec les valeurs extrêmes suivantes : 19,73°C (en 1961) et 23,42°C (en 2005) pour les moyennes annuelles des températures minimales, 36,25°C (en 1964) et 38,35°C (en 1987) pour les moyennes annuelles des températures maximales. Elles présentent une variabilité interannuelle contrastée qui est beaucoup plus douce pour les températures minimales mais plus accentuées pour les températures maximales.



Sources : DMN (1961-2008)

Figure 10 : Evolution des températures minimales et maximales de 1961 à 2008

2.3.2 Tendances des minima et maxima de 1961 à 2008

Les figures 11, 12, 13 et 14 sont les résultats de constructions de graphiques qui traduisent les anomalies ou écarts à la moyenne mensuelle et annuelle des températures minimales et maximales de Dori de 1961 à 2008. L'analyse faite par

mois et par année permet de ressortir la variabilité (alternance des anomalies) et de dégager l'évolution de la température le long de la série. Les écarts à la moyenne constituent un indice de l'évolution des températures et du climat de façon générale car ils permettent de caractériser leurs tendances le long de la série. Cet indice est calculé à partir de la formule suivante :

$$I_{t_R} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} T_m}{m_i} - \frac{\text{Moyenne} \sum_{i=1}^{n_i} T_a}{n_i}$$

où :

I_{t_R} = Indice de température, T_m = Température moyenne mensuelle,

T_a = Température annuelle, m_i = nombre de mois, n_i = nombre d'année

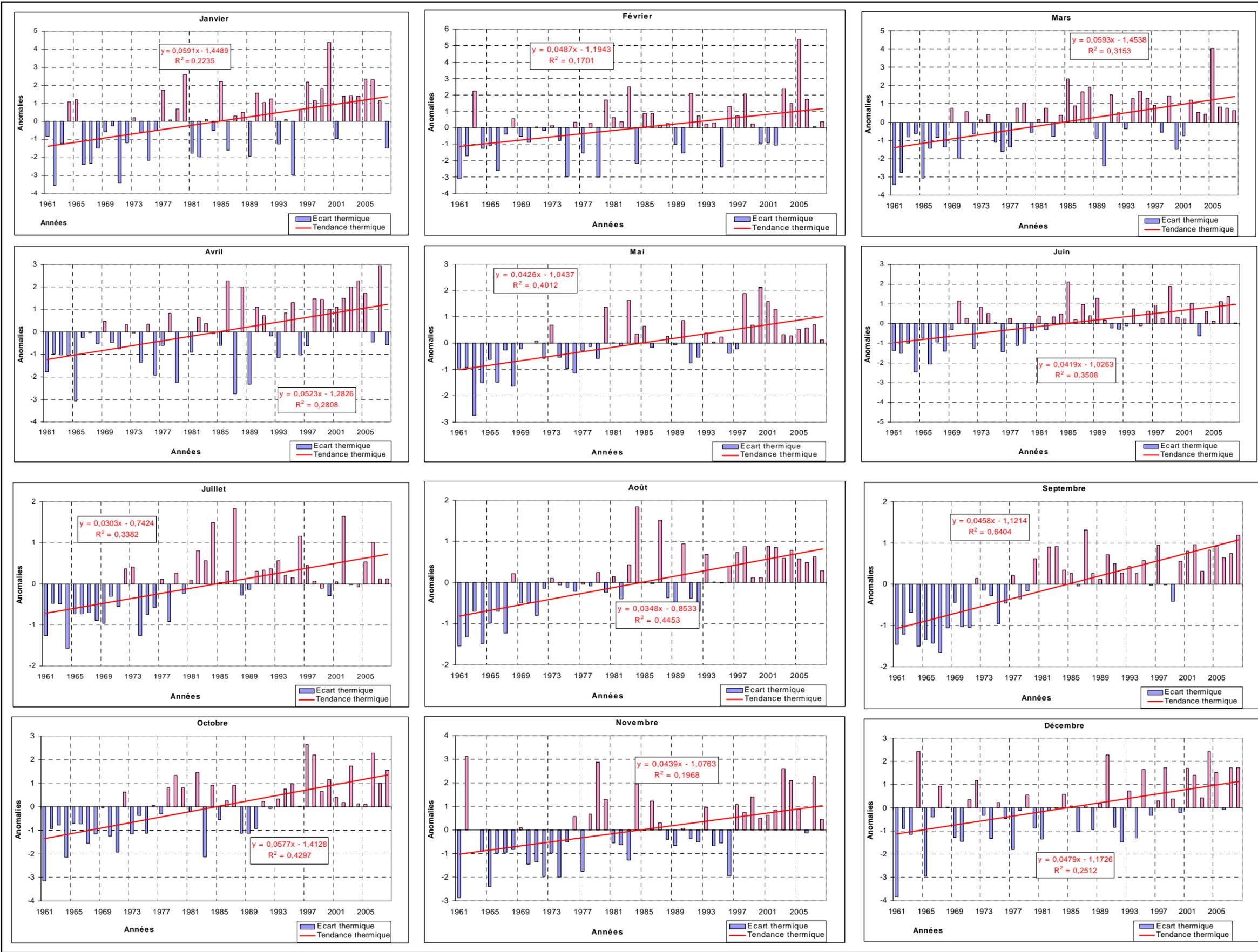
2.3.2.1 Tendances des températures minimales

En janvier, les températures minimales montrent une assez forte variabilité (succession d'anomalies négatives et positives) interannuelle (figure 11). Il n'y a pas une variation homogène dans la répartition des anomalies. Il est de ce fait difficile de distinguer des périodes continues de baisse ou de hausse à cause de l'alternance entre les écarts positifs et négatifs. Le coefficient de détermination R^2 est très faible (0,22) et la droite de tendance a une allure générale ascendante.

En février la variabilité interannuelle se présente presque de la même manière que celle du mois précédant. La droite de tendance a une allure ascendante mais un peu plus souple. Le coefficient de détermination R^2 est encore plus faible (0,17) et la moyenne de la série est de l'ordre de 17,05°C.

En mars, la variabilité est moins marquée qu'en février avec néanmoins une droite de tendance toujours ascendante comme les deux situations précédentes. Le coefficient de détermination R^2 se situe toujours dans le même ordre (0,31). Mais contrairement aux situations précédentes, deux périodes se dégagent dans la représentation:

- une baisse de 1961 à 1968 où on enregistre l'une des plus faibles valeurs notamment 17,89°C en 1961;



Source : DMN (1961-2008)

Figure 11 : Ecart à la moyenne des températures minimales mensuelles de Dori de 1961 à 2008

- une alternance de baisses et de hausses à partir de 1969 avec la plus forte valeur de température 25,35°C en 2005. Au cours de cette période, l'écart par rapport à la moyenne des hausses est beaucoup plus important en fin de série que celui des baisses.

En avril, la variabilité est relativement plus marquée et se traduit par un coefficient toujours faible de 0,28 quoique la droite tendance soit toujours ascendante. Nous observons trois périodes :

- une baisse qui va de la période de 1961 à 1965. Elle est marquée par des anomalies négatives et une température la plus faible (22,46°C) relevée en 1965;
- une période de hausse (anomalies positives) de 1998 à 2008 où nous observons la valeur la plus élevée (28,48°C) en 2007;
- Une longue période intermédiaire de 1966 à 1997 marquée par une alternance d'anomalies négative et positives.

Au mois de mai, nous relevons les mêmes cas de figures de variabilité qu'en avril mais avec un coefficient de détermination un peu plus élevé (0,39). Trois grandes périodes se distinguent :

- une baisse (anomalies négatives) de 1961 à 1969 qui détient la valeur la plus faible de 25,12 en 1963 ;
- une hausse (anomalies positives) sur douze années consécutives (1998 à 2008) avec la plus forte valeur de température minimale de 29,99°C en 2000;
- une période intermédiaire de 1970 à 1996 caractérisée par une alternance des anomalies.

En juin, le diagramme présente la même variabilité que le mois précédent avec des anomalies de températures similaires, mais cependant les écarts sont très faibles et le coefficient de détermination est aussi faible (0,35). Trois principales périodes se dégagent:

- une période de baisse significative de 1961 à 1969 qui détient la valeur la plus faible de 11,09°C en janvier 1962 (tableau 9) ;
- une période où alternent les anomalies négatives et positives de 1970 à 1982.
- une longue période de hausse (anomalies positives) qui va de 1983 à 2008. Elle est caractérisée par quelques écarts à la baisse mais dominée par la fréquence et l'importance des anomalies positives. Ce qui a pour conséquence une tendance

générale à une hausse sensible avec la température la plus élevée de la série de 28,60 en 1985.

Tableau 9 : Valeurs extrêmes des températures minimales de la série (1961 à 2008)

Mois	Températures en degré			
	Faibles	Années	Fortes	Années
Janvier	11,09	1962	19,01	2000
Février	13,93	1961	22,42	2005
Mars	17,89	1961	25,35	2005
Avril	22,46	1965	28,48	2007
Mai	25,12	1963	29,99	2000
Juin	21,09	1962	28,60	1985
Juillet	22,98	1964	26,37	1987
Août	22,16	1961	25,54	1984
Septembre	22,48	1967	25,46	1987
Octobre	20,48	1961	26,28	1997
Novembre	15,52	1961	21,50	1962
Décembre	11,31	1961	17,60	1964

Sources : DMN (1961-2008)

En juillet, le diagramme présente une variabilité assez exprimée. Il est caractérisé par une succession de hausse et de baisses (anomalies négatives et positives) avec un coefficient de détermination très faible (0,33). Trois principales périodes composent le diagramme :

- une première avec des températures basses par rapport à la moyenne de 1961 à 1971 où la valeur la plus faible de la série (22,98°C) est enregistrée en 1964;
- une deuxième marquée par une succession des anomalies pendant une durée assez courte (1972 à 1978) ;
- une troisième, longue de trente ans (1979 à 2008) marquée par des températures en hausse. Cette période domine toute la série et imprime une tendance en hausse sensible et une température moyenne de 24,55°C.

Le mois d'août est à peu près similaire au mois de juillet mais avec un coefficient de détermination plus significative même s'il n'est pas élevé (0,44). La variabilité est relativement faible sur toute la série et peut se subdiviser en trois principales périodes :

- une première période marquée par des valeurs basses par rapport à la moyenne qui va de 1961 à 1967. Cette période se caractérise par la valeur de température la plus faible de 22,16°C relevée en 1961 ;

- une deuxième période intermédiaire est faite par des valeurs en hausse avec des anomalies positives de 1993 à 2008. La droite de tendance est ascendante ; et la valeur moyenne de température pour la série est de 23,72°C ;
- une troisième période s'étale de 1968 à 1992, caractérisée par une succession de hausses et de baisses des valeurs des écarts de températures. C'est dans cette période que nous rencontrons la plus forte valeur de la série (25,54°C en 1984).

Le mois de septembre marque une rupture avec le reste de la série. Il est caractérisé par un fort coefficient de détermination de 0,65 donnant une variabilité moins prononcée des écarts. Les anomalies (négatives et positives) sont réparties de façon plus homogène sur toute la série. Néanmoins, trois principales périodes la composent :

- une période de baisse de 1961 à 1971 où nous retrouvons la valeur la plus faible de la série avec 22,48°C en 1967;
- une période intermédiaire de courte durée de 1972 à 1979 ;
- une hausse de 1980 à 2008 dont la valeur la plus forte est de 25,46°C en 1987. La valeur moyenne de température de la série est de 24,15°C.

En octobre, la variabilité est plus élevée qu'en septembre avec un coefficient de détermination R^2 égal à 0,43. Mais cette variabilité est moins prononcée que les autres premiers mois de l'année. La tendance générale est à la hausse comme la droite de tendance l'illustre. Trois parties dans la série peuvent une fois encore être dégagées:

- une baisse de 1961 à 1971 d'où nous retrouvons la valeur la plus faible de la série (20,48°C en 1961) ;
- une hausse de 1991 à 2008 avec la plus forte valeur (26,28°C) relevée en 1997 ;
- une période intermédiaire faite d'anomalies positives et négatives de 1972 à 1990.

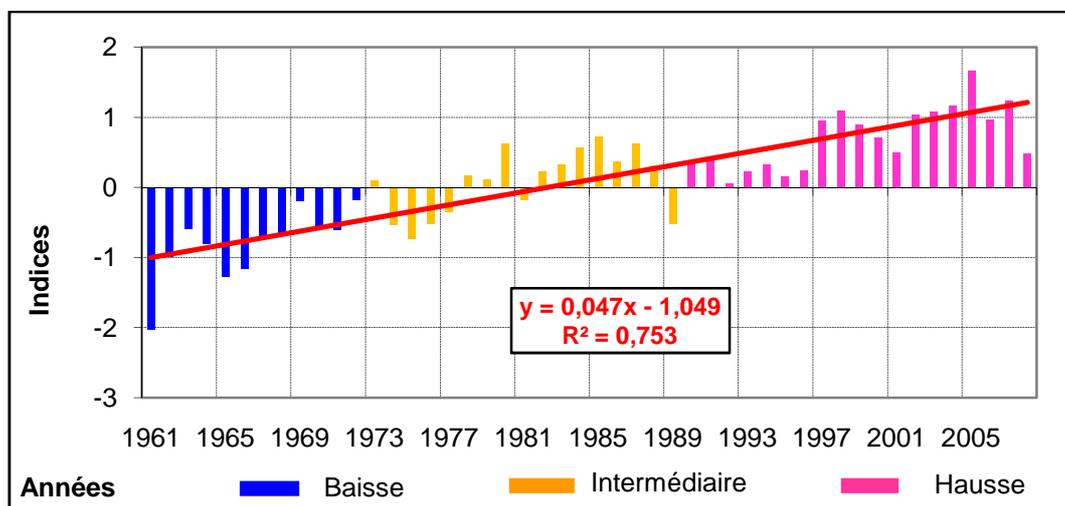
En novembre, contrairement au mois précédent, la variabilité est assez importante avec un coefficient R^2 très faible (0,19). Deux parties principales composent la série :

- une longue période de variation des anomalies de 1961 à 1996 caractérisée par la succession d'années à faibles valeurs (la plus faible enregistrée en 1961 avec 15,52°C) et celles à fortes valeurs (la plus forte valeur en 1962 avec 21,50°C) ;

- une période de 1997 à 2008 dont la tendance générale est à la hausse avec une moyenne de 18,39°C ;

Le mois de décembre se caractérise par une variabilité importante avec un coefficient de détermination très faible (0,27). La tendance générale qui se dégage est à la hausse car autant il ya des valeurs à la baisse au début de la série, autant celles à la hausse le sont aussi à la fin de la série mais avec beaucoup plus d'importance. La valeur de température la plus faible s'observe en 1961 (11,31°C) alors que la plus forte est relevée en 1964 (17,64°C).

Les températures minimales mensuelles dans le site d'étude ont évolué d'une manière irrégulière. Tous les mois sont caractérisés par une variabilité forte avec des tendances plus ou moins marquées sauf le mois de septembre qui a allure plus homogène et un coefficient de détermination significatif (0,65). Ils présentent dans leur ensemble des courbes de tendance ascendante, une preuve que la température a évolué à la hausse avec le temps. Cette situation se confirme avec la figure 12 qui est une représentation des moyennes annuelles de la série. Elle permet de distinguer trois phases essentielles dans l'évolution de la température minimale de 1961 à 2008.



Sources : DMN (1961-2008)

Figure 12 : Ecart à la moyenne des températures annuelles minimales, 1961 2008

Une première période en début de série caractérisée par des écarts négatif à la moyenne des températures minimales de 1961 à 1972 (bâtonnets bleus), une deuxième en fin de série marquée par une hausse de 1990 à 2008 (bâtonnets

rouges). Entre les deux se trouve une phase intermédiaire où s'alternent des écarts négatifs et positifs de 1973 à 1989 (bâtonnets jaunes).

D'une façon générale, on peut dire qu'il ya une variation notable dans le temps des températures minimales depuis 1961.

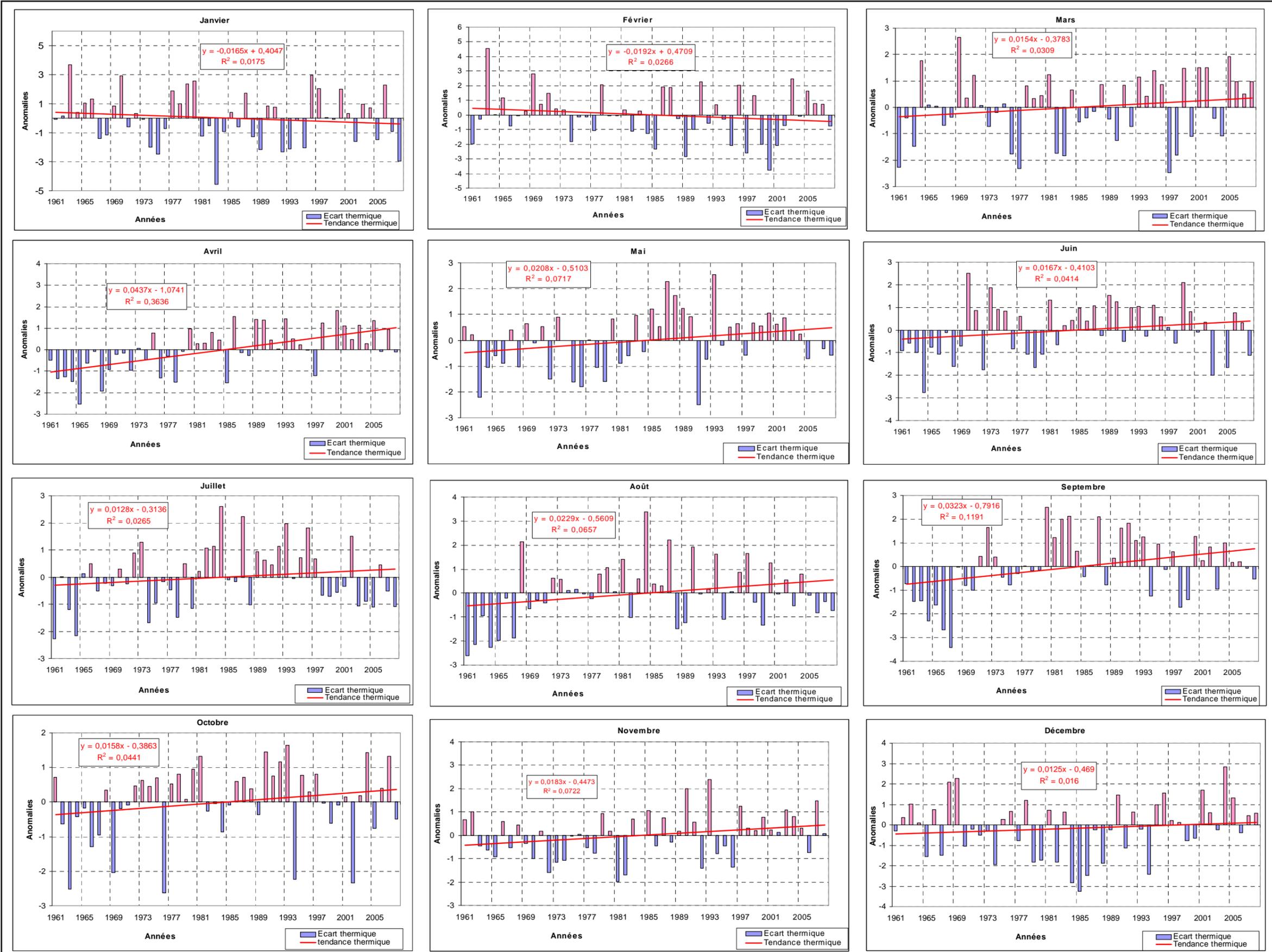
2.3.2.2 Tendances des températures maximales

La figure 13 ci-après est la représentation de graphiques qui font état des écarts à la moyenne des températures mensuelles maximales dans le bassin versant. Leurs tracés montrent qu'il n'y a pas, comme pour les minima, une variabilité notable dans l'évolution de la série. Seul le mois d'Avril a une variabilité plus prononcée avec le coefficient estimé à 0,36. Tous les autres mois sont marqués par des variabilités non-significatives avec l'alternance des anomalies de la série. Les R^2 ont des valeurs extrêmement faibles (par exemple, 0,1 environ pour les mois de décembre et de janvier). Nous constatons également que c'est la période de mars à mai qui a été la plus chaude. Elle occupe, comme l'atteste le tableau 10, les plus fortes valeurs de la série qui peuvent atteindre 42°C pour les mois de mars 1969, avril 1993 et mai 1987.

Tableau 10 : Valeurs extrêmes des températures maximales de la série (1961 à 2008)

Mois	Températures en degré			
	Faibles	Année	Fortes	Année
Janvier	28,08	1983	36,34	1963
Février	32,18	2000	40,49	1963
Mars	36,95	1997	42,06	1969
Avril	39,34	1965	43,30	1993
Mai	39,13	1991	43,90	1987
Juin	36,04	1964	41,30	1970
Juillet	33,29	1961	37,79	1987
Août	32,40	1961	37,40	1984
Septembre	32,54	1967	38,46	1980
Octobre	36,39	1976	40,65	1993
Novembre	35,21	1981	39,56	1993
Décembre	30,51	1985	36,62	2004

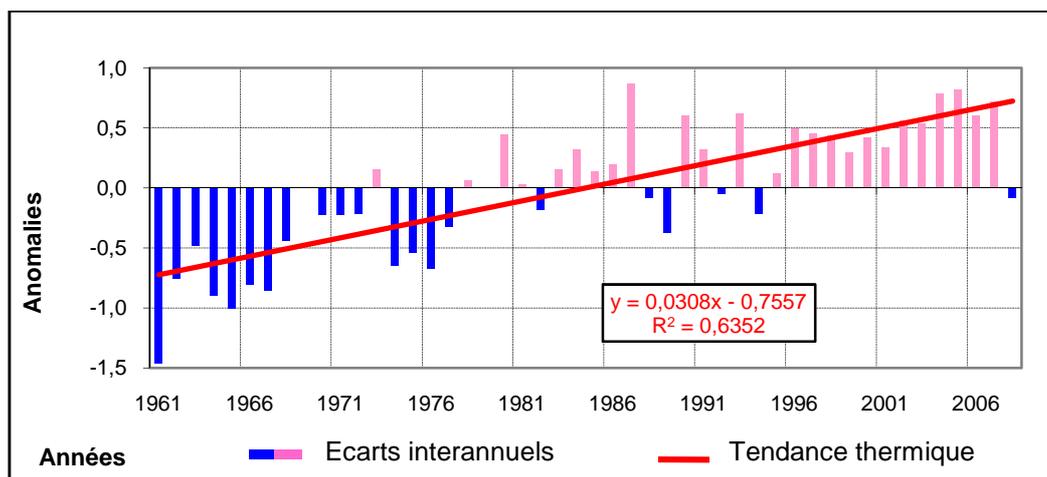
Sources : DMN (1961-2008), météorologie de Dori (2009-2010)



Source : DMN (1961-2008)

Figure 13: Ecart à la moyenne des températures maximales mensuelles de Dori et environs de 1961 à 2008

En récapitulatif, l'allure générale du graphique permet de distinguer trois périodes comme pour les températures minimales (figure 14). Une première période de basses températures va de 1962 à 1972, une deuxième où alternent des températures variables de 1973 à 1993 et une troisième de 1995 à 2008 caractérisée par des températures en hausse.



Sources : DMN (1961-2008)

Figure 14 : Ecarts interannuels de températures moyennes de 1961 à 2008

La zone d'étude se caractérise par des écarts de températures mensuelles marquées par de fortes variabilités avec des écarts parfois très importants. Le coefficient R^2 calculé est en général non significatif et peut justifier cette variabilité constatée qui se manifeste par des successions de hausses et de baisses des indices. Par contre les écarts des températures moyennes annuelles de la même série (les figures 12 et 14) présentent une certaine homogénéité dans la succession des valeurs avec des coefficients de détermination plus significatifs (respectivement 0,75 et 0,63). Les indices de températures de cette zone sont caractéristiques à celles de toute la région du Sahel burkinabé. L'évolution temporelle des températures montre une tendance à la hausse dans les principaux domaines climatiques (Bationon, 2009). Selon les études de SP/CONNED (2007), l'envahissement du pays par des masses d'air sec et chaud du nord-est, l'harmattan, est responsable de cette hausse des températures moyennes qui semble plus élevée en région sahélienne qu'ailleurs. Les nuits sont froides en saison sèche alors que les jours sont chauds. Les mois de décembre 1961 et janvier 1962 (11,09 et 11,31°C) ont été les plus frais de la série tandis qu'avril 1993 et mai 1987 ont été les plus chauds avec 43,30° et

43,90°C. Pour la CEDEAO-CSAO/OCDE/CILSS (2008), les températures en Afrique de l'Ouest, et particulièrement dans le Sahel, ont évolué quelque peu plus rapidement que la tendance mondiale, avec des augmentations allant de 0,2°C à 0,8°C par décennie depuis la fin des années 1970 dans les zones sahélo-saharienne, sahélienne et soudanienne. Cette situation a été confirmée par 94,1% des producteurs enquêtés qui estiment qu'il fait de plus en plus chaud surtout en saison sèche. Les analyses climatiques de CRA (2010) révèlent la station de Tillabéry dans la zone sahélienne du Niger comme une parfaite illustration. En effet, depuis 1980, la hausse des températures s'y est nettement accélérée et devient continue. La période actuelle (1990-2007) a été particulièrement chaude. Les écarts de température entre la période actuelle et la période 1951-1979 ont atteint, pour les températures moyennes, + 0,99 °C. La hausse des températures minimales est de +1, 44 °C contre +0,53 °C pour les maxima. Pour le cas du bassin versant, sur la période 1961 à 2008, il y a eu un changement sensible des valeurs thermiques qui ferait penser à une modification du phénomène climatique. Le réchauffement global conjugué à la variabilité accrue des précipitations et la recrudescence de phénomènes extrêmes (sécheresse, inondations) a déjà des impacts importants sur les systèmes naturels et humains. C'est pour cela qu'avec http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20fr/chapter_5_fr.pdf, nous pouvons dire que la diminution des précipitations et les sécheresses dévastatrices dans la région du Sahel au cours des trois dernières décennies du XX^{ème} siècle font partie des changements climatiques les plus prononcés, toutes régions confondues. Aussi, intéressons-nous à quelques aspects de perception du phénomène climatique par les producteurs.

2.4 Perception du climat par les producteurs agricoles

2.4.1 Indicateurs de la prévision des saisons de pluie

Dans toutes les sociétés, l'homme observe, calcule, explique, raisonne sur les phénomènes climatiques. Ces connaissances transmises par le langage peuvent se valoriser de génération en génération. Grâce à elles, l'homme se projette dans un futur plus ou moins proche et organise ses activités. Aussi, les populations peuvent – elles relativement prévoir le temps à venir à partir de l'observation des mouvements

des corps célestes (soleil, lune, constellation), de la phénologie de certaines plantes, du comportement des animaux, des changements physiques ou chimiques de l'atmosphère (couleur du ciel, direction du vent, etc.), des systèmes symboliques. Leurs moyens utilisés sont beaucoup plus limités que ceux de la météorologie moderne, relevant des satellites et de la modélisation. Cependant, pour Bergeret (2002), l'efficacité de la prédiction dans un microclimat donné ou dans des climats à risque, peut être plus performante que celle des météorologues.

Dans le bassin versant, les producteurs ont identifié des signes qui annoncent la qualité du déroulement de la saison hivernale à venir. C'est une forme de prédiction climatique locale basée sur l'observation des phénomènes environnants notamment : le comportement des arbres, l'occupation des zones de passage d'eau par les fourmies, les caractéristiques des vents et du brouillard, la position des étoiles. Ainsi,

- quand les arbres se reverdissent (font de nouvelles feuilles) par leurs sommets, c'est un signe que la saison pluvieuse ne sera pas bonne. En revanche, elle sera bonne s'ils commencent à les perdre par le bas ;
- si les fourmillières (insectes) colonisent les lieux de passage des eaux pluviales à l'approche de l'hivernage, la saison des pluies sera médiocre car l'eau sera insuffisante pour les cultures. Par contre, si elles remontent en hauteur sur les versants, c'est le signe qu'il y aura suffisamment d'eau. Les producteurs suivent donc leurs mouvements qui leur permettent de prédire le comportement des saisons ;
- pendant la saison des pluies (*Ndungu*), quand les vents soufflent du sud vers le nord, c'est le signe d'une mauvaise saison des pluies, mais s'ils soufflent d'ouest en est, les pluies seront suffisantes et les récoltes abondantes ;
- dès les premières pluies, la stabilité de l'air (c'est-à-dire que les vents ne soufflent pas trop après les pluies) annonce une saison bénéfique pour tous ;
- lorsqu'un brouillard apparaît à l'approche de la saison des pluies (*Gataadgé*) au lever du soleil ou au crépuscule, la saison pluvieuse répondra aux attentes ;
- la position de l'étoile « *zahara* » dénommée étoile du crépuscule qui apparaît à l'ouest annonce une bonne saison. A l'inverse si elle apparaît à l'est, la saison sera mauvaise ;
- si les premières pluies tombent avec de la grêle, c'est un signe de bonne saison agricole ;

- l'apparition de traits blancs sur certains arbres (*balanites aegyptiaca*, *combretum sp*) annonce une bonne campagne pluvieuse.

2.4.2 Découpage de l'année dans le bassin versant de Yakouta

Il n'existe pas de termes exacts dans les langues locales pour désigner le climat. Il est perçu comme l'alternance entre une ou deux périodes de pluie et une ou deux périodes sèches, chacune pouvant elle-même être divisée (Brou et Chaléard, 2007). De la vision des producteurs du bassin versant, l'année est subdivisée en périodes, différentes de la division classique de l'année civile de douze mois. Les résultats sont consignés dans le tableau 11.

Tableau 11 : La répartition de l'année en fonction des principales activités agropastorales dans le bassin versant

Saisons (mois)	Caractéristiques	Dénominations	Observations (Activités exécutées)
Saison froide (Décembre à février)	Froid et vent frais (harmattan)	<i>Dabundé</i>	- Cultures de contre saison - Construction de briques et de maisons - Exode rural
Saison chaude (Mars à avril)	Chaleur intense	<i>Kiedu</i>	- Conduite des animaux à la recherche de l'eau et du pâturage - Entretien des champs par la fumure organique - Cultures de contre saison - Construction de briques et de maisons - Exode rural
Période pré-hivernale (Mai à juin)	Début des premières pluies, Reverdissement de la nature	<i>Gataadgé</i>	- Réfections des toits des maisons - Préparation des champs - Conduite des animaux au pâturage et aux abreuvoirs
Saison des pluies (Juillet à septembre)	Installation de l'hivernage Reverdissement de la nature	<i>Ndungu</i>	- Semis, sarclage et labours des champs - Surveillance des animaux pour éviter les dégâts dans les champs
Période post-hivernale (Octobre – Novembre)	Arrêt des pluies	<i>Ngnamdé</i>	- Récolte du niébé, du mil, de l'arachide - Récolte et préparation du fourrage pour les animaux. - Préparation des jardins maraîchers

Source : Enquêtes de terrain, septembre 2010

Ainsi, l'année est divisée en cinq principales saisons qui rythment le quotidien des producteurs. Ces saisons sont caractéristiques des manifestations du temps qu'il fait et des principales activités menées périodiquement.

2.4.3 Vision du changement du temps par les producteurs

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. La pluviométrie peut donc être considérée comme le paramètre le plus indiqué pour caractériser ou analyser l'évolution du climat au Sahel (CRA, 2010).

Mais notre analyse portera en plus de ce paramètre traité à l'aide des données météorologiques, une appréciation locale et populaire du climat. C'est une vision paysanne sur les principales composantes du climat telles que définies par les producteurs, portant essentiellement sur la répartition temporelle et quantitative liée aux manifestations des pluies et des températures. Cette approche a permis de mettre en perspective la démarche théorique basée sur le calcul des paramètres climatiques (pluviométrie et températures) avec le vécu quotidien des producteurs.

2.4.3.1 Les pluies

De l'échantillon, les investigations que nous avons réalisées donnent 319 ménages sur 322 (soit 99,1%) qui estiment qu'il y a une péjoration du climat de façon générale. Au niveau des principaux paramètres, 211 ménages (soit 65,5%) pensent qu'il pleut de moins en moins ; 300 autres (93%) déclarent que les températures sont en hausse et 219 (68%) affirment que l'évaporation persiste au maximum au cours de la saison froide sèche. Ces résultats corroborent avec ceux de Ouédraogo et *al.* (2010), qui ont trouvé que environ 86% des populations estiment que les précipitations ont connu une baisse en zone sahélienne du Burkina, ce qui est en adéquation avec les analyses des relevés météorologiques de la période 1961-2008. Nous pouvons tirer la conclusion à partir des résultats de ces enquêtes que les paysans perçoivent clairement les changements dus à la baisse des précipitations et à la hausse des températures.

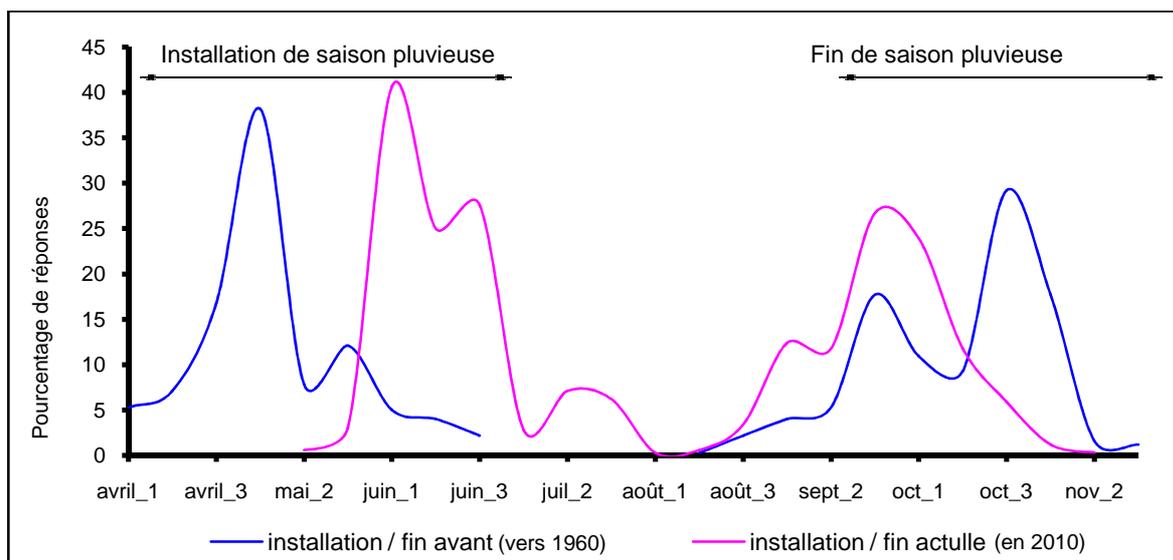
Sur le plan spatial, en se référant à la figure 15, nous observons que la perception des producteurs peut se traduire par la mise en évidence du décalage des débuts et des fins de la saison de pluies. Si nous considérons les pics des graphiques comme

un consensus des appréciations, nous dirons que la saison pluvieuse débutait dans le passé (vers 1960) entre fin avril et début mai contre mi-juin actuellement. Quant à sa fin, elle intervenait en fin d'octobre et début novembre contre fin septembre et début octobre de nos jours (en 2010).

Nous déduisons alors que la saison pluvieuse de nos jours a un début tardif (mi-juin) et un arrêt précoce (septembre). Elle était donc plus longue dans le passé qu'actuellement. Nous assistons à une diminution progressive de la période pluviale. Environ 76,4% l'ont déclarée et ont insisté sur les perturbations qu'elle engendre. Pour 61,5% d'entre eux, la saison a connu une restriction de l'ordre de trente à quarante cinq jours depuis les cinquante dernières années.

La période de forte intensité de pluviométrie qui était connue par les producteurs entre juillet et août (pour 91%) a changé de nos jours. Parmi eux, 81,1% qui affirment qu'elle a basculé vers les mois de juillet et septembre.

L'humidité est de moins en moins présente pour jouer son rôle d'accompagnement des plantes en périodes de stress hydrique. Cette humidité se manifeste pour le berger peul par l'apparition de la rosée qu'il observait chaque matin et à partir de laquelle il prenait un « bain » en conduisant ses animaux au pâturage. De façon unanime les populations constatent que la rosée est de moins en moins au rendez-vous dans leur terroir.



Source : Données d'enquêtes, avril 2010

Figure 15: Vision paysanne sur l'évolution de la durée de la campagne agricole

2.4.3.2 Les températures

Un des paramètres que les producteurs prennent en compte dans l'appréciation du climat est la température. 93,2% de l'échantillon a confié que les températures sont en hausse ces dernières années. Le constat est le réchauffement du temps présent qui a des conséquences néfastes sur la production agro-pastorale. Les producteurs relèvent les principales conséquences qui sont : la mortalité des animaux, l'apparition des maladies des animaux et la destruction des cultures en saison pluviale. Cet état est aggravé par des vents violents accompagnés de poussière en début de saison des pluies.

2.4.4 Causes du changement climatique vues par les producteurs

Les causes du changement climatique sont diversement expliquées par les producteurs. Deux raisons ont retenu notre attention.

La majorité (56%) lie ses manifestations à la dégradation des valeurs traditionnelles de la société car le capital social joue un rôle fondamental dans la vie des populations du bassin versant; les solidarités traditionnelles permettent une prise en charge de la pauvreté à travers des mécanismes d'éthique religieuse et coutumière. Dieu « manifeste son mécontentement sur les êtres humains » par le changement climatique de nos jours car certaines mœurs ne sont plus respectées. Le gaspillage, le manque de partage, l'abandon progressif de la solidarité, le non respect des uns aux autres sont des valeurs sociales négligées aujourd'hui. A ce propos, lors de nos entretiens, un producteur a renchéri en déclarant que « la méchanceté des hommes et leur égoïsme ont entraîné la colère de Dieu qui se manifeste par le changement climatique ». Le reste de l'échantillon (44%) se réfère aux mauvaises pratiques du système de gestion de l'environnement dans la région. La coupe abusive du bois, les feux de brousse et les systèmes agro-pastoraux inadaptés ont été incriminés.

Le climat (température et pluviométrie) constitue à n'en pas douter un élément déterminant pour la planification des activités dans le bassin versant. Il peut être un atout ou une contrainte pour la production en fonction des opportunités qu'il offre. Mais d'autres paramètres pourraient jouer les mêmes rôles peut-être à des degrés divers que nous tenterons d'élucider dans le chapitre qui suivra.

CHAPITRE TROISIEME : CARACTERISTIQUE BIOPHYSIQUES DU BASSIN VERSANT DE YAKOUTA

La gestion de l'eau dans le bassin versant de Yakouta est actuellement sous la direction du CLE mis en place en juin 2006. Il regroupe tous les villages riverains du plan d'eau du barrage de Yakouta et travaille sous la responsabilité du CISE, structure régionale de gestion des ressources en eau. Ces structures œuvrent en synergie dans l'exécution du programme de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau, sous l'égide de la DGRE. Le CLE de Yakouta, de nos jours, travaille à éveiller la conscience des populations sur les problèmes liés à la gestion du barrage afin de trouver les solutions de préservation de la ressource en eau.

A partir de cette prise de conscience, la mise en œuvre du cadre réglementaire sera effective par l'application des textes relatifs au principe de Préleveurs-Payeurs et Pollueurs-Payeurs. Cette réglementation permettra au CLE d'avoir des ressources matérielles et financières pour mettre en œuvre des projets (PLCE, 2009).

Le dispositif de suivi mis en place est encore embryonnaire. Seules les stations pluviométriques en place permettent d'enregistrer les données. Les piézomètres sont dans une léthargie ne permettant pas de disposer des données en vue d'assurer un bon suivi hydrologique du barrage. Cependant, sur le plan spatial, d'autres ressources existent et peuvent contribuer à faire l'état des lieux et comprendre le fonctionnement du système hydrologique du bassin versant.

3.1 Ressources en bas-fonds du bassin versant

La notion de bas-fond est celle adoptée par le Consortium Bas-fonds lors de son atelier annuel de novembre 1995. Elle est basée sur la définition de Raunet (1985) élargie par Zeppenfeldt et Vlaar (1990) qui stipule que : « Les bas-fonds sont des fonds plats ou concaves des volons et axes d'écoulement temporaires qui sont inondés pendant des périodes d'au moins quelques jours et dans lesquels on trouve des sols aux caractéristiques hydromorphes ».

Les bas-fonds recueillent l'eau pendant un certain temps de la saison pluvieuse et sa gestion pendant la période morte s'avère impérative. Selon l'étude de l'inventaire des bas-fonds fait par l'INERA en 2004 sur financement du PNGT/SILEM, la superficie totale des bas-fonds dans le bassin versant est de 15555,5 hectares.

Cette étude fait ressortir une typologie sur leur aménageabilité en se basant sur une cartographie, des enquêtes socio-économiques et des observations sur le terrain. La typologie prenait en compte l'aménageabilité biophysique, socio-économique et écologique avec des critères qui se rapportent à ces domaines. La classification donne des bas-fonds « aménageables, difficilement aménageables et non aménageables ». Les statistiques y afférentes sont :

- *les bas-fonds aménageables* couvrent 6338,79 hectares soit 40,75% de la superficie de l'ensemble des bas-fonds,
- *les bas-fonds difficilement aménageables* représentent 3075,26 hectares soit 19,77%,
- *les bas-fonds non aménageables* sont estimés à 6141,47 hectares soit 39,48%.

Les bas-fonds aménageables qui représentent 40% du potentiel offrent des facilités dans la gestion de l'eau. Les contraintes de gestion sont minimales à ce niveau. Les 60% autres présentent des contraintes de gestion d'eau assez révélées car toutes les conditions ne sont pas réunies pour leur aménagement.

3. 2 Ressources hydriques

Les ressources hydriques dans le bassin sont constituées par les eaux de surface et les eaux souterraines.

3.2.1 Ressources en eaux de surface

Les eaux de surface sont formées par des réservoirs qui recueillent les eaux pluviales. Elles regroupent essentiellement les retenues d'eau (les mares naturelles et barrages artificiels), le réseau hydrographique (les rivières et les ruisseaux) comme indiqués sur la figure 16.

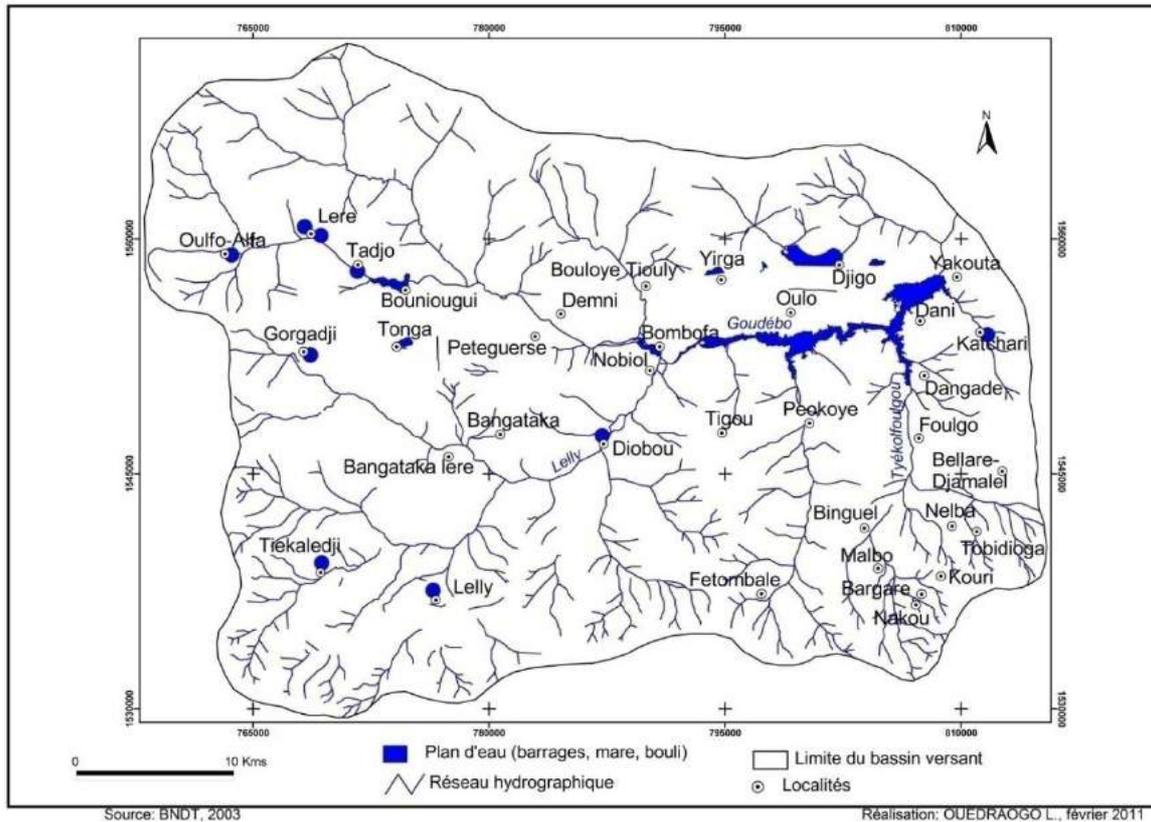


Figure 16: Ressources en eau de surface du bassin versant de Yakouta

3.2.1.1 Mares naturelles

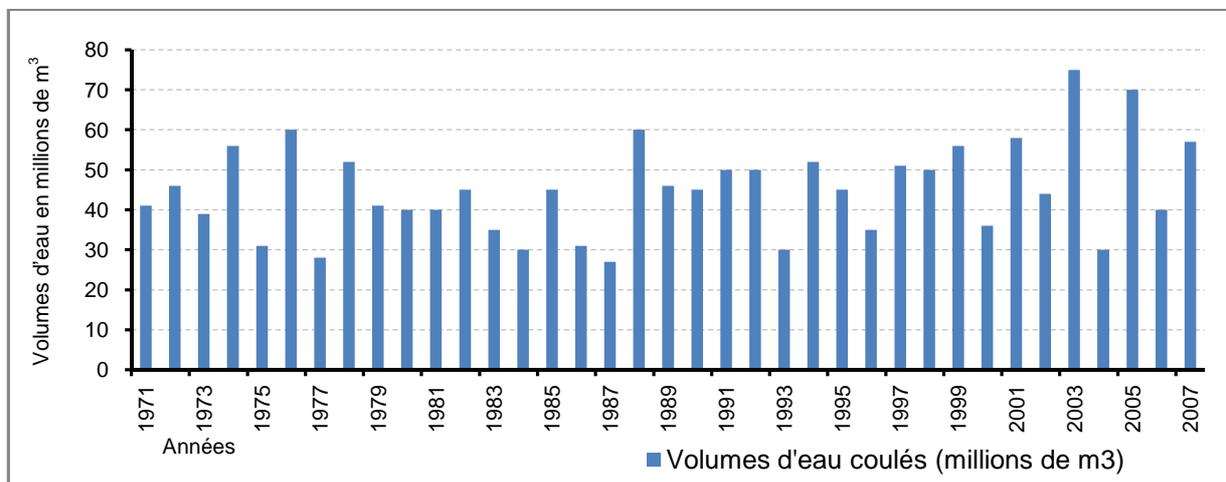
Les mares naturelles sont, pour la plupart, formées le long du cordon dunaire. C'est l'érosion éolienne qui, au fil du temps, les a mises en place en obstruant les voies des cours d'eau. Nous dénombrons essentiellement cinq mares d'importance variable dans la zone : La mare de Djigo, la plus importante, couvre 460 ha ; les autres mares sont celles de Tonga (37 ha), Yirga1 (39 ha) et Yirga2 (14 ha), et Yakouta (50 ha) (confère carte ci-dessus).

3.2.1.2 Retenues artificielles

Il existe trois retenues d'eau artificielles. D'une part le barrage de Yakouta, le plus important, mis en place entre 2001 et 2006. Son exutoire est localisé à l'est du bassin et s'étend vers l'ouest sur environ 21 kilomètres. Il couvre une superficie de 1612 ha avec une capacité de stockage de 26,5 millions de m³. La retenue d'eau de Bouniougui, situé à l'ouest du bassin versant, couvre une superficie de 127 ha et s'étend sur environ 2,5 km.

Enfin, celle de Bombofa, au centre du bassin versant, est presque le prolongement de celle de Yakouta et couvre 206 ha étalés sur 4,750 km.

Selon le rapport du Programme de Lutte Contre l'Enseblement (PLCE, 2009), le service hydrologique national a exploité une station hydrométrique sur une période de 17 ans à Yakouta. L'exploitation de ces données en rapport avec la pluviométrie de Dori a donné un coefficient d'écoulement moyen de 6%. Le même coefficient d'écoulement est estimé à 1,9% en année décennale sèche et de 11% en année décennale humide. A partir de la pluviométrie de Dori, les volumes écoulés calculés en utilisant un coefficient moyen de 6% sont donnés dans la figure 17.



Source : PLCE, 2009

Figure 17 : Variation des volumes d'eau coulés à Yakouta (1971 à 2007)

Le graphique ci-dessus présente une allure irrégulière avec un pic de 70 millions de m³ en 2003 et une base d'environ 27 millions de m³ en 1987. L'analyse de ce graphique montre que le bassin versant a un potentiel de stockage d'environ 50 millions de m³ d'eau par an tandis que le réservoir de stockage est dimensionné à 26,5 millions de m³. Théoriquement, nous concluons que le barrage doit pouvoir se remplir chaque année à condition que la pluviométrie atteigne celle de 1987.

3.2.1.3 Rivières.

Les rivières sont constituées d'une multitude de cours d'eau peu encaissés qui drainent toutes les eaux du bassin versant vers le barrage de Yakouta. Elles sont assez bien réparties mais concentrées plus au sud qu'au nord. Le *Goudébo* est la

principale rivière du bassin versant sur laquelle est construit le barrage de Yakouta. Deux rivières (le *Lelly* et le *Tyékolfougou*) sont ses principaux affluents qui l'alimentent à partir du sud du bassin versant. Il est lui-même affluent du *Gourouol* où il se jette à environ 50 km dans la commune rurale de Falagountou, à moins de 10 km de la frontière du Burkina-Niger. Leur longueur approximative est estimée à 1032 km avec une densité de 0,57 km par km².

3.2.1.4 Mares artificielles

Elles sont composées d'aménagements construits sur l'initiative des populations appuyées par des projets de développement. C'est le cas des *bouli* dans des zones dépressionnaires qui retiennent l'eau pendant quelque temps de l'année. Cette eau, destinée à plusieurs villages, sert surtout à l'abreuvement du bétail. Dans le bassin versant, les mares artificielles ont été aménagées dans les villages de Léré, Oulfo-Alfa, Tadjou, Lely, Diobou, Tiekalédji, Gorgadji (dans la commune de Gorgadji), et Katchari (dans la commune de Dori). La quasi-totalité des villages éloignés des grands plans d'eau possèdent d'autres petites retenues d'eau. Ces retenues, formées de petites carrières, rend l'eau pluviale disponible pendant deux à trois mois après la saison pluvieuse, favorisant ainsi la fabrication des briques et le prélèvement de matériaux de construction à usage d'habitation.

3.2.2 Ressources en eau souterraine

Les ressources en eau souterraine sont des réserves d'eau naturelle emmagasinée dans le sous-sol par suite d'infiltration des eaux de pluie. Elles sont influencées par la structure géologique en place due à deux couches superposées (schéma directeur des ressources en eau de la région du Liptako N'Gourma) :

- les altérations sablo-argileuses
- le socle altéré et fissuré.

Ces deux couches définissent un niveau d'emmagasinement en fonction de la porosité efficace des roches.

Selon PLCE (2009), le bassin versant du barrage de Yakouta dispose d'un potentiel en eau de 1328 millions de m³ d'eau souterraine ; mais la part des eaux souterraines mobilisables représente environ 5% du potentiel total soit 66,4 millions de m³.

Les ressources en eau souterraine utilisées sont traduites sur le terrain par des forages et des puits à grands diamètres. Au total, dans le bassin versant de Yakouta,

on dénombre 132 forages fonctionnels et 65 puits intarissables dont la répartition par village est consignée dans le tableau 12 (DGRE, 2009).

Tableau 12 : Répartition des villages du bassin versant par commune

Communes	Villages	Forage (nombre)	Puits (nombre)
Dori (63 forages et 30 puits)	Bombofa	5	1
	Bargare	1	1
	Bellare-Djamalel	1	0
	Binguel	1	1
	Bouloye Tiouly	5	4
	Dangade	1	1
	Dani	3	1
	Djigo	3	1
	Fetombale	6	3
	Foulgo	2	1
	Katchari	2	1
	Kouri	2	0
	Malbo	3	2
	Nakou	0	2
	Nelba	1	1
	Nobiol	4	0
	Oulo	7	0
	Peokoye	4	2
	Tigou	2	1
Tobidioga	3	2	
Yakouta	3	3	
Yirga	4	2	
Gorgadji (69 forages et 35 puits)	Bangataka	5	1
	Bangataka Léré	2	2
	Bouniougui	5	5
	Demni	4	5
	Diobou	6	4
	Gorgadji	15	8
	Tiekalédji	8	4
	Lelly	9	2
	Léré	2	2
	Oulfo-Alfa	3	1
	Peteguerse	5	1
	Tadjo	1	0
	Tonga	4	0
Total		132	65

Source : DGRE, 2009

Pour les besoins de l'Adduction d'Eau Potable (AEP), le ratio population / points d'eau (forage ou puits) donne 262 habitants pour un point d'eau. Ce ratio est au dessus de la norme nationale qui est de 300 habitants / 1 forage ; nous estimons, au vu de ce résultat, que l'accès à l'eau dans le bassin versant est satisfaisant. Mais,

qu'en est-il de la distribution de ces ouvrages par rapport à la localisation des villages ? En considérant la norme définie pour les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) qui est de 500 mètres, la figure 18 traduit spatialement l'accès à l'eau des habitations dans le bassin versant.

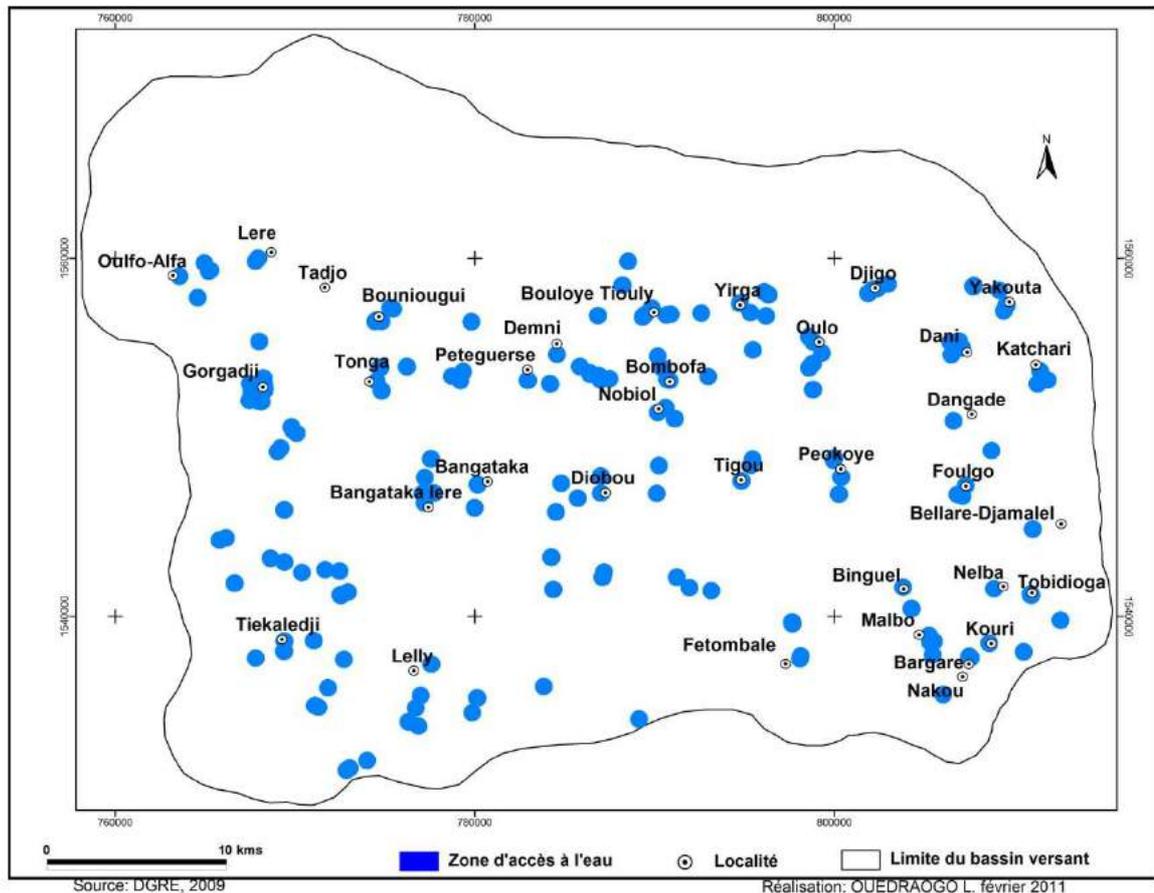


Figure 18 : Carte de la distribution spatiale des points d'eau

La carte d'accès à l'eau potable nous renseigne que vingt huit (28) villages sur trente cinq (35) sont dans les zones de couverture normale en eau potable telles que définies par les OMD. Le taux d'accès de 80% qui en résulte est relativement satisfaisant. Les villages non couverts (Léré, Tadjo, Nakou, Lelly et Fetombale) sont paradoxalement les plus distants des barrages et des mares. Ce taux cache des disparités car, nonobstant l'implantation du barrage, des populations (parmi les plus éloignées) ne le connaissent que de nom.

3.3 Ressources en sols du bassin versant

Les types de sols du bassin ont été tirés à partir de la carte pédologique de reconnaissance de la république de Haute Volta et de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM). L'élaboration de la carte a eu pour support la feuille du centre nord de 1973 à l'échelle 1/500 000. Il se dégage quatorze types de sols dans le bassin versant et une occupation spatiale diversifiée. La figure 19 qui en résulte, illustre que les types de sols sont représentés à des proportions différentes. Nous constatons une concentration de petites unités dans le sud-est du bassin versant.

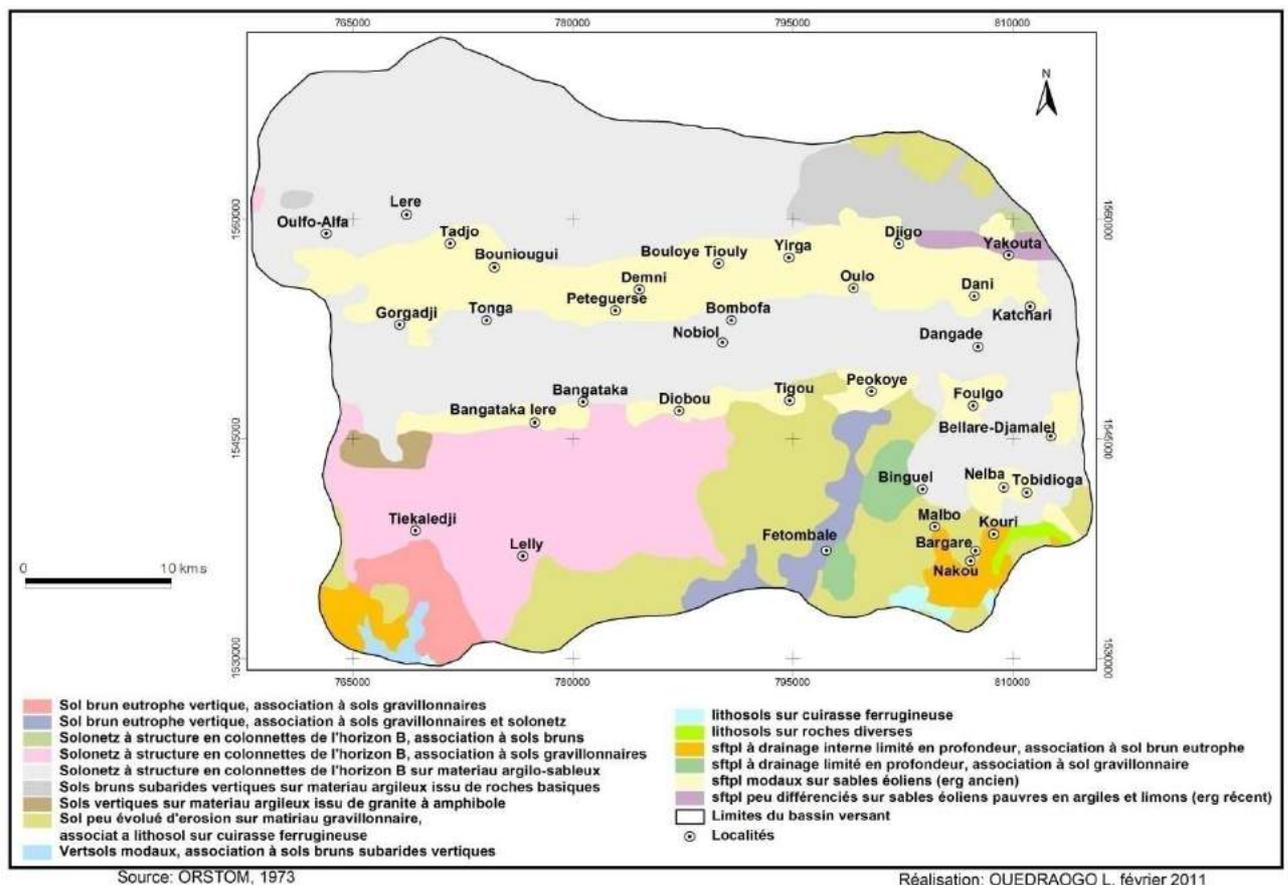


Figure 19 : Carte des sols du bassin versant

Le reste du bassin, c'est-à-dire le centre, le nord et l'ouest, est dominé par deux principaux types de sols : Les solonetz à structure en colonnettes de l'horizon B sur matériau argilo-sableux (775,55 km² soit 43,03%) d'une part et les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux sur sables éoliens (erg ancien) sur 307,35 km² soit 17,05 % d'autre part.

La distribution des localités dans la zone d'étude révèle que ces deux types de sols regroupent 27 villages soit 77% des localités. Nous pouvons donc affirmer que ces sols conviennent mieux aux producteurs. Ceci est confirmé avec les résultats de la superposition de la carte d'occupation des terres avec les sols. En effet, il se dégage de cette superposition que les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux sur sables éoliens (erg ancien) sont à 57% (soit 30735,2 ha) occupés par des cultures pluviales. La répartition spatiale des unités de sols avec leurs aptitudes et capacité de gestion d'eau est consignée dans le tableau 13. En s'y référant et en observant la figure 19, nous remarquons une diversité pédologique sur le site d'étude avec une dizaine de types de sols de potentialités diverses. Selon Thiombiano (2000), ce sont les sols brunifiés et les sols hydromorphes qui ont plus de qualités physiques et chimiques car ils présentent des teneurs en argiles et une capacité d'échange plus élevée avec par conséquent un potentiel de fertilité nettement supérieur à celui des autres types de sols.

Dans le bassin versant, les types de sols concernés par ces qualités acceptables s'étendent sur environ 4,48 % de la superficie du site de recherche soit environ 8081 ha. Ils sont dans l'ensemble localisés au sud au sud-est du site et se trouvent dans les villages Nakou, Kouri, Bargaré, Malbo et occupant chacun de petites superficies. Théoriquement, cette partie du terroir possède les meilleures terres. Mais le constat de l'occupation de ces sols est tout autre. Les sols peu qualifiés occupent la majeure partie (plus de 90%) du bassin versant. Ils sont les plus colonisés par les cultures. Il y a donc comme un paradoxe dans l'appréciation populaire pour l'utilisation des terres avec la situation géographique des sols les plus productifs. La question persistante est de savoir pourquoi cette non concordance.

Tableau 13 : Répartition des unités de sols avec leurs aptitudes et leur capacité de gestion d'eau

Types de sols	Aptitude agronomique	Capacité/gestion	Superficie (ha)	% cultivé
lithosols sur cuirasse ferrugineuse	Inapte pour toute spéculation	Capacité de rétention en eau utile très faible à nulle	661,7	11,74
lithosols sur roches diverses	Inapte pour toute spéculation		500,5	3,94
Sols peu évolués d'érosion sur matériau gravillonnaire, association à lithosol sur cuirasse ferrugineuse	Marginale à inapte aux cultures pluviales		23901,4	17,08
Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage interne limité en profondeur, association à sol brun eutrophe	Moyennement apte à apte au mil, niébé, fourrage, marginal pour le sorgho	Capacité de rétention en eau utile faible	3710,7	15,78
Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés à drainage limité en profondeur, association à sol gravillonnaire	Marginal aux cultures vivrières, inapte au riz		2216,5	13,31
Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés modaux sur sables éoliens (erg ancien)	Moyennement apte au mil, marginal au fourrage, inapte au sorgho, maïs		30735,2	57,53
Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés peu différenciés sur sables éoliens pauvres en argiles et limons (erg récent)	Moyennement apte au mil, niébé. Marginal pour le fourrage, inapte pour le riz, sorgho, maïs		1149,3	20,01
sol brun eutrophe vertique, association à sols gravillonnaires	Moyennement apte à apte aux céréales, fourrage	Capacité de rétention en eau utile très élevée	3326,4	30,14
sol brun eutrophe vertique, association à sols gravillonnaires et solonetz	Moyennement apte à apte aux céréales, fourrage		3443,6	12,44
solonetz à structure en colonnettes de l'horizon B association à sols gravillonnaire	Marginal à inapte pour le riz et moyenne pour les cultures pluviales	Capacité de rétention en eau utile très élevée, mais imperméable	24807,4	21,43
solonetz à structure en colonnettes de l'horizon B sur matériau argilo-sableux	Marginal à inapte pour le riz et moyenne pour les cultures pluviales		77555,5	20,97
sols bruns subarides vertiques sur matériau argileux issu de roches basiques	Moyennement apte à apte au sorgho, maïs	Capacité de rétention en eau utile très élevée	6022,8	0,28
sols vertiques sur matériau argileux issu de granite à amphibole	Moyennement apte au riz, fourrage. Marginal pour le mil, niébé		1141,5	1,73
vertsols modaux, association à sols bruns subarides vertiques	Moyennement apte au riz, fourrage. Marginal pour le mil, niébé		779,8	35,33

Source : ORSTOM 1973 et BDOT 2002

Les raisons suivantes pourraient être données comme explications :

- le système de production extensif exige de l'espace pour l'agriculture et l'élevage. Ce qui contraindrait les producteurs à occuper même les sols pauvres pour l'agriculture ;
- la facilité de travail de ces sols marginaux peut motiver beaucoup de producteurs qui ne disposent que de simples outils aratoires (*la hiler*) de culture ;
- le bassin versant est une zone à vocation pastorale. Les occupants ne fournissent pas d'effort important pour pratiquer l'agriculture, activité secondaire à l'élevage ;
- culturellement, le peul est plus destiné dès son jeune âge à l'élevage. D'après Ouédraogo (1994), tout garçon nouveau né, reçoit de ses parents un veau à son baptême. Se convertir à la terre (pratiquer l'agriculture) à un certain âge peut sembler la croix et la bannière. Il développera des initiatives pour s'adapter à cette activité sans fournir beaucoup d'efforts ;
- le mil qui fait partie des habitudes alimentaires des populations est une culture qui réussit bien sur des sols même peu riches.

3.4 Contraintes biophysiques

3.4.1 Qualité des sols

Les sols du bassin versant sont dans l'ensemble dégradés sous l'influence des conditions climatiques peu favorables. Les sécheresses successives des années 1970 et 1980 ont contribué à accélérer le processus de dégradation sur 95% de la superficie du bassin versant. Sous l'effet de l'érosion éolienne et hydrique, la dégradation des sols s'est accélérée rendant la gestion des eaux encore plus compliquée, dans un environnement où l'eau constitue une denrée rare. Sur les quinze types de sols identifiés dans la zone d'étude, une dizaine présente des caractéristiques physiques et chimiques peu favorables à la production agricole.

Au-delà des conditions pluviométriques qui déterminent avec l'évapotranspiration potentielle les périodes de croissance des végétaux dans les diverses zones agro-écologiques du Burkina, il est à noter que la disponibilité en eau dépend également de la capacité de rétention en eau du sol (Pallo et Thiombiano, 1989). Les mêmes auteurs soulignent que les paramètres concernés sont la texture, la teneur en

matière organique et l'épaisseur des différents horizons. Les sols sahéliens souffrent d'un déficit hydrique récurrent dû à leur faible teneur en matière organique d'une part et à la texture moyenne ou grossière de l'horizon de surface d'autre part. Les données disponibles indiquent que la Réserve Utile (RU) a une valeur très faible dans les zones semi-arides. Une telle valeur impose en outre une fréquence d'irrigation inférieure à 7 jours lorsque l'irrigation est possible. Cette contrainte est souvent jugulée grâce aux micro-cuvettes créées par les buttes, qui favorisent la rétention des eaux pluviales et leur infiltration dans le sol.

3.4.2 Contraintes liées aux types de végétation

La végétation du bassin versant est composée essentiellement de steppe arbustive à 37,5% suivi de steppe herbeuse à 13,8%. Ce type de végétation est caractéristique des formations sahéliennes marquées par un niveau élevé de dégradation. En se référant à la figure 24 (paragraphe 6111), il est à noter que la zone d'étude est dégradée à plus de 50% si nous considérons que ce sont les steppes arborées, arbustives et les forêts galeries qui renferment les indicateurs de non dégradation. Ce niveau de dégradation ne contribue pas à une bonne gestion des ressources en eau car une grande quantité de l'eau de pluie qui tombe va s'écouler et aller plus loin faute de végétation pour la maintenir. Cette eau dans son trajet emportera sans conteste avec elle les nutriments du sol et donnant naissance à l'érosion et au ravinement du milieu.

Le type de formation en place ne favorise donc pas la gestion de l'eau au niveau du bassin versant surtout quand nous savons que la base de la production est orientée vers l'eau pluviale. La maîtriser au profit des plantes, des animaux et de façon générale de la nature n'est pas une chose aisée.

Sur le plan biophysique, les potentialités et les contraintes font du bassin versant une zone d'intérêt pour des investigations dans l'objectif de mieux cerner la gestion de l'eau. Mais pour mieux apprécier cette entité géographique, il serait important de comprendre ce qu'il en est de ses réalités socioéconomiques.

CHAPITRE QUATRIEME : POTENTIALITES, ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES ET LEURS CONTRAINTES

Comme tout milieu de recherche, le bassin versant de Yakouta dispose des atouts mais aussi des contraintes socio-économiques. La gestion de l'eau en est une illustration capitale de part le caractère agropastoral de ce milieu. Les activités qui s'y mènent contribuent d'une façon ou d'une autre à l'utilisation de diverses manières de cette ressource. Nous aborderons dans ce chapitre les principales activités socio-économiques (agricoles, pastorales et domestiques etc.) qui sont sources de la gestion de cette eau. Les difficultés aussi rencontrées dans l'exécution des travaux seront l'objet d'une attention particulière.

4.1 Potentialités socio-économiques

Les potentialités socio-économiques de la gestion de l'eau sont liées aux ressources humaines et aux activités pour lesquelles elles sont mobilisées. A Yakouta ces principales activités se résument à l'agriculture, l'élevage, l'artisanat, la pêche, le commerce et l'orpaillage.

4.1.1 Population

Dans le bassin versant du barrage de Yakouta, nous dénombrons 35 villages avec une population totale estimée à 43151 habitants dont 21143 femmes et 22008 hommes (RGPH, 2006). Les habitants sont répartis dans 22 villages de la commune urbaine de Dori, et 13 villages de la commune rurale de Gorgadji. Les principaux groupes ethniques qui y cohabitent sont *les Fulbé, les Rimaïbé, les Bella, les Sonraï, les Gourmantché, les Mossé, les Fulsé et les Bissa*.

L'historique des villages du bassin versant se rattache à l'histoire globale de la région du Liptako dont Dori est la capitale. L'organisation sociopolitique traditionnelle est centralisée autour de l'Emir du Liptako qui exerce son pouvoir sur l'ensemble des villages, des familles et des groupes implantés dans sa zone d'influence. C'est lui qui intronise les chefs de village, chargés de régler les conflits au sein de leurs localités, de percevoir les contributions de la population et de gérer le foncier villageois avec la l'appui des chefs de lignages. Les chefs de lignages sont chargés de gérer les conflits en leur sein.

4.1.2 Activités de production végétale

L'agriculture fait partie des activités les plus représentées dans la zone d'étude. Elle est pratiquée en association majoritairement avec l'élevage à hauteur de 81%, et présente les caractéristiques suivantes :

- elle est extensive et utilise du matériel traditionnel avec un apport très faible d'intrant. Thiombiano (2000) l'a estimé à moins de 20 kg de NPK/ha. La *hiler* ou « *Darawo* » est l'instrument utilisé pour le travail du sol par la quasi-totalité des agriculteurs ;
- elle est de type céréalier car utilisant un système de culture tourné vers le mil développé sur les dunes de sable (ergs anciens) et le sorgho pratiqué dans les bas-fonds. Ces cultures représentent 82,3% des variétés locales. Environ 20,8% des producteurs associent des variétés améliorées de niébé, de sésame, de mil ou le sorgho dans leur systèmes de culture ;
- elle est pluviale et dure environ trois mois (mi-juin à mi-septembre). Quelques productions de maraîchage sont pratiquées aussi autour des plans d'eau surtout aux abords du barrage de Yakouta.

Sur le plan organisationnel, il existe des structures locales (GVH, GVF, groupement de maraîchers, d'éleveurs, de pêcheurs ou d'agriculteurs etc.) mises en place par les agents d'encadrement, mais leurs adhésions ne sont pas d'envergure. Seulement 35% de l'échantillon déclarent appartenir à l'une ou l'autre des organisations. Par contre 65% ne sont membres d'aucune structure, ou ignorent leur existence.

Les systèmes d'entraide sont très courants dans la zone d'étude ; 84,8% des ménages ont recours à cette pratique dans les travaux des champs en saison de pluie et pour certaines activités (fabrication de briques, constructions ou réfection de maisons, artisanat etc.) en saison sèche.

L'observation de la répartition des adhésions par ethnie présente des réponses négatives dépassant partout 50% sauf dans le cas des *Mossé* où 56,5% déclarent appartenir à une organisation paysanne.

Quelques aménagements à but de développer les cultures maraîchères ont réalisés dans deux localités : Bouniougui et Oulo. L'aménagement en aval du barrage de Bouniougui couvre 10 hectares, et celui de Oulo en amont du barrage de Yakouta est estimé à 35 hectares. Ce dernier a été aménagé par le Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH) pour la production de semences d'oignon et de pomme de terre.

L'agriculture dans le bassin versant est essentiellement pluviale. Mais la saison des pluies dans cette partie du pays va rarement au-delà de trois mois avec un cumul pluviométrique annuel inférieur ou égal à 600 mm. Les résultats d'enquêtes d'avril 2010 renseignent que l'agriculture pluviale est exercée par 94% des producteurs. Aussi, la rareté de l'eau contraint-elle les producteurs à développer des stratégies d'économie de cette denrée pour leur survie.

Les pratiques d'économie de l'eau se traduisent par les initiatives mises en place par les producteurs pour des situations de crise climatique. Elles concernent aussi bien les activités agricoles, pastorales que domestiques.

4.1.3 Activités de production animale

De la diversité d'activités pratiquées dans le bassin versant, l'élevage est celle qui mobilise la majorité des producteurs. Tout comme l'agriculture, il est de type extensif et traditionnel (78% des producteurs) avec des embouches timidement pratiquées par certains acteurs (17%), notamment les femmes. Il est dominé par les quatre espèces que sont les bovins, les ovins, les caprins et les asins. Cependant, il existe aussi des chameaux, des chevaux et des animaux de la basse cour.

Nonobstant l'étendue des espaces latéritiques, le bassin versant offre des conditions pastorales très acceptables avec la présence des bas-fonds, des mares, des rivières et surtout des barrages. En dépit de l'importance de l'élevage dans le bassin versant, les travaux d'enquêtes soulèvent une question essentielle sur les effectifs du bétail. En effet, il est extrêmement difficile d'évaluer la taille du cheptel de l'éleveur. Il n'est pas dans les habitudes du Peul de dénombrer ses animaux et d'en transmettre l'effectif à qui veut.

L'eau au Sahel demeure une ressource fondamentale qui permet de satisfaire les besoins élémentaires du bétail et des familles. Selon IIED (2006), les modalités et les conditions d'accès à l'eau déterminent également leur aptitude à accéder aux zones de parcours et influencent leurs capacités à survivre dans un environnement imprévisible où les ressources sont instables et dispersées.

La disponibilité de l'eau et du pâturage est fortement influencée par les changements saisonniers qui déterminent les stratégies à mettre en place.

D'une manière générale, durant la courte saison des pluies (3 mois), les pâturages naturels habituellement dominés par des graminées annuelles sont en pleine croissance et c'est à cette période de l'année que leur valeur nutritionnelle est la plus

élevée. Pendant la saison des pluies, les mares naturelles se remplissent et sont facilement accessibles aux troupeaux permettant aux campements de se déplacer librement à travers les parcours. En saison sèche (huit mois), les pluies s'estompent, les mares tarissent et les pâturages se dessèchent. Là où les pâturages existent toujours, ils sont constitués par des stocks fixes de paille sèche dont la valeur nutritive est faible. La quantité de cette ressource s'amenuisera au fur et à mesure qu'elle est consommée par les animaux. Alors que les besoins en eau se posent avec acuité en cette période, c'est au même moment que les ressources fourragères se font de plus en plus rares.

4.1.4 Activités de pêche

Les activités piscicoles sont pratiquées d'une manière artisanale partout où l'eau est potentiellement présente dans le bassin versant. Les endroits les plus convoités sont les barrages de Bombofa, de Bouniougui et surtout de Yakouta. Le matériel de pêche est composé de filets, de nasses etc. embarqués dans des pirogues. Les producteurs de l'échantillon d'étude réservent très peu de temps à cette activité ; seulement 3,7% des enquêtés semblent l'intégrer. Aussi, cette activité est pour les populations autochtones une subsistance et se pratique surtout en saison sèche. Les fruits de la pêche sont plus destinés à satisfaire des besoins familiaux (consommation), que pour la vente. Leurs lieux d'écoulement sont les marchés locaux (Bombofa, Gorgadji et Dori).

Par contre, au niveau des migrants (venus du plateau central pour la plupart), ces activités se pratiquent à plein temps (toute l'année). Ils évoluent en groupement de pêcheurs (groupement *Neb nooma*). Cette organisation existe autour du barrage de Yakouta. Contrairement aux autochtones, la pêche constitue une activité lucrative pour les migrants. Ils utilisent des pirogues et du matériel plus important et exercent leurs activités aussi bien de jour que de nuit. Les principaux types de poissons rencontrés dans les prises sont les carpes (*Tilapia niloticus*), les silures (*Claria gariepinus*), les sardines et les anguilles (*Protopterus annecteus*). L'écoulement des produits de pêche se fait sur place ou en ville, à Dori.

4.1.5 Commerce

Les activités commerciales dans le bassin versant sont animées par les deux principaux marchés de Gorgadji et de Bombofa.

Le marché communal de Gorgadji est le plus important. Il est fréquenté par tous les villages de ladite commune ainsi que ceux des communes voisines comme Arbinda et Gorom-Gorom. Il est animé régulièrement tous les trois jours. Des produits diversifiés et variés sont disponibles et mis à la disposition des consommateurs. Nous citerons entre autres les céréales, les cycles, les vêtements et autres produits manufacturés, etc. Un marché à bétail existe de façon informelle et animé par des vendeurs et revendeurs de petits ruminants, de volailles et parfois de gros bétail.

Le marché du village de Bombofa, relativement plus modeste, est animé localement avec les villages de Nobiol, Oulo, Demni, Bouloye-Tiouly, Yirga etc. Les populations s'échangent des produits de première nécessité de consommation tels que les céréales, les produits manufacturés, etc. et les produits de l'élevage qui concernent le petit bétail, la volaille et rarement les gros ruminants.

Dans le bassin versant, le commerce est une activité secondaire. Il est soit couplé avec l'agriculture et l'élevage (8,1%) au niveau des hommes, soit pratiqué avec les activités ménagères (1,6%) par les femmes.

En dehors de ces marchés formalisés, il existe dans les villages plus reculés des marchés spontanés disposant de consommables courants tels que les produits pétroliers, les pièces de motocycles de marques asiatiques.

Le marché de Dori, quant à lui, a un caractère provincial voire régional. Il est le pôle d'attraction de toutes les activités économiques de la région du Sahel burkinabé. La proximité du bassin versant à ce marché (15 km) favorise la fréquentation de toutes les localités voisines. Les pratiquants y écoulent ou achètent des produits agricoles (céréales), maraîchers, du bétail etc.

4.1.6 Artisanat

Comme le commerce, l'artisanat est aussi une activité secondaire après l'agriculture et l'élevage. Il intéresse la consommation locale et occupe environ 7,5% de la population. Il concerne la vannerie et la forge.

- La vannerie est réalisée par la majorité des femmes qui confectionnent des nattes et des paniers. Les hommes quant à eux s'intéressent à la réalisation des lits, des seccos, etc.
- La forge est le domaine exclusif des hommes. Les forgerons ont la charge de mettre à la disposition des producteurs des outils agricoles tels que les dadas, les houes, des charrues, la *hiler* etc.

4.1.7 Orpillage

Selon Thiombiano (2000), l'orpillage traditionnel et la production semi-industrielle de l'or dans le Sahel burkinabé ont débuté en 1983. Ils occupent 5000 à 10000 personnes et génèrent environ 4 milliards de FCFA/an ; le produit de cette activité équivaldrait à la production de 80000 tonnes de mil correspondant au travail d'environ 32000 agriculteurs.

Dans le bassin versant, l'exploitation de l'or n'est pas notée comme une activité essentielle mais il en existe des sites artisanaux. Nous en avons découvert lors de notre sortie exploratoire sur le terrain en février 2010. Ces sites, situés à Tigou, sont exploités pendant la saison sèche par les villageois après les activités champêtres.

4.2 Contraintes socio-économiques

L'agriculture et l'élevage, activités socio-économiques, sont aux prises avec les caprices climatiques liés aux déficits chroniques de la pluviométrie et la hausse des températures. L'agriculture est pluviale et vulnérable face à une pluviométrie incertaine et non maîtrisée.

L'élevage est de caractère extensif et soumis aux aléas climatiques, à la dépendance de la rareté du pâturage naturel.

L'activité maraîchère se trouve à un stade embryonnaire. Les producteurs sont installés en amont de la digue et cela s'avère un handicap pour la gestion de l'eau. La qualité de l'eau est hypothéquée car cette activité utilise une quantité importante de pesticide et d'engrais chimiques. Il est temps de protéger l'eau du barrage qui constitue une denrée précieuse aussi bien pour la population animale que humaine. En effet, beaucoup de riverains consomment l'eau du barrage (directement ou indirectement) sans oublier que l'approvisionnement en eau de boisson de la ville de Dori est fait à partir de ce barrage.

CONCLUSION PARTIELLE

Cette première partie du travail a permis d'établir le cadre théorique de notre recherche. Après avoir posé la problématique, des questions, hypothèses et objectifs de recherches ont été définis. La démarche méthodologique a été élaborée et permet de comprendre et de cerner les contours bioclimatiques, biophysiques et humains du bassin versant de Yakouta. Il comporte d'énormes potentialités de ressources en eau basées sur la principale retenue d'eau qu'est le barrage de Yakouta. Ce potentiel est augmenté des plans d'eau naturels (mare de Djigo) et de l'exploitation des ressources souterraines car tous les villages (sauf Nakou) possèdent chacun au moins un forage ou un puits à grand diamètre. Mais des contraintes d'ordre biophysique sont un facteur contraignant dans la gestion de l'eau. Ces contraintes sont entre autres, les caprices climatiques (le déficit pluviométrique, les vents violents et les écarts de températures nocturnes et diurnes importants), qui par leurs manifestations régulières, compromettent les efforts quotidiens des populations.

Les perceptions paysannes de la variabilité du climat corroborent les observations météorologiques et la littérature sur les crises climatiques au Sahel (Ouedraogo et al, 2010). En effet, les analyses des paramètres climatiques sont révélatrices sur l'évolution irrégulière du climat à l'échelle locale. Cette évolution se traduit par des constats qui sont faits aussi bien par la science (sur la base des relevés météorologiques) que par des observations faites par les producteurs (« météorologie populaire »). Les anomalies pluviométriques sont ainsi caractérisées par des ruptures spatiales ou temporelles le plus souvent imprévues. Pour Meddi et al. (2009), la détection d'une rupture dans les séries permet de mettre en évidence l'évolution du régime pluviométrique de la région étudiée. Cette évolution, négative ou positive, intéresse les utilisateurs et gestionnaires des ressources hydrauliques.

Sur le bassin versant de Yakouta, les producteurs affirment que le climat (pluie et température) connaît des mutations. De manière empirique, les producteurs perçoivent, suivent et identifient les déterminants du climat même si c'est à l'échelle locale. Le changement du temps est bien perçu à travers les constats suivants : l'irrégularité et la rareté des pluies aussi bien dans le temps que dans l'espace, le début tardif et l'arrêt précoce de la saison des pluies, les variations des températures, les vents violents, la dégradation des terres etc. Pour Diallo (2011)

l'analyse des anomalies de la température moyenne confirme cette perception de sensation de chaleur. En effet, de 1961 à 2010, la tendance générale est à la hausse dans les trois zones agro climatiques du Burkina avec cependant un effet prononcé dans la zone sahélienne (+1,24°C à Dori) où est localisé le bassin versant de Yakouta. Plus encore, pour Ouédraogo et *al.* (2010), les paysans perçoivent les changements des précipitations à travers ses effets directs sur les sols et le couvert végétal.

A Yakouta, la prévision du temps pour planifier les activités à long terme s'appuie sur la connaissance empirique du cycle climatique. Le temps qu'il fait est alors défini dans son rapport au temps qui passe. Le calendrier solaire détermine les saisons plus ou moins tranchées et qui peut varier selon les régions. Les producteurs divisent généralement les saisons selon les variations de températures et de précipitations ; ils intègrent parfois des nuances liées à leurs activités, à d'autres observations quotidiennes des animaux et plantes terrestres ou à leur contemplation du cosmos.

Ces changements constatés par les producteurs, constituent-ils une manifestation d'un changement durable du climat dû à l'action de l'homme ou résultent-ils simplement d'une variabilité naturelle du climat ? Il est difficile de trancher de manière absolue à partir de la présente étude. Mais les résultats de nos enquêtes comparés aux analyses des observations climatologiques permettent d'affirmer qu'il y a une tendance à une péjoration générale des principaux paramètres climatiques de 1961 à 2010 ; toutes choses qui font penser à un changement du climat. Toutefois, une analyse approfondie de données climatiques fiables, plus détaillées (relevés décennaux par exemple) couplée à des mesures de terrain sur une période plus longue et comparée à des résultats historiques pourraient mieux confirmer ou infirmer cette affirmation. Les producteurs de Yakouta sont en phase avec les tentatives d'explications de la science mais lient le phénomène à la colère divine sur les êtres humains. De leurs dires, Dieu est le seul maître qui agit sur l'environnement et la vie des êtres vivants. Pour venir à bout de cette situation, ils développent des stratégies qui leur permettent de faire face aux incertitudes de production causées par ces aléas du climat.

DEUXIEME PARTIE :

**ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET
GESTION DE L'EAU DANS LES ACTIVITES SOCIO-
ECONOMIQUES**

CHAPITRE CINQUIEME : ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET LA GESTION DE L'EAU DANS LE MONDE

Au cours des cinquante dernières années, en relation avec l'apparent réchauffement global du climat, de nombreux travaux ont été effectués sur la problématique de l'interaction entre les phénomènes d'effet de serre augmenté par les activités humaines et les variations climatiques naturelles (Ogouwalé, 2006). Pour la relation entre le changement climatique et la gestion de l'eau, il importe de faire le point sur la situation et les notions qui leur sont propres ou spécifiques. Le présent chapitre s'appuie sur les travaux de recherche que nous avons menés en 2008 et 2009 pour l'obtention du Master. Il sera question de faire l'état des lieux des stratégies de lutte ou d'adaptation face aux aléas climatiques, la gestion de l'eau à échelle mondiale, africaine et nationale, des approches conceptuelles des spécialistes du domaine.

5.1 Revue de la littérature sur les manifestations du changement climatique

Selon GIEC, (2001), la Terre reçoit du Soleil un rayonnement continu, mais seule une partie de ce rayonnement, environ 70%, traverse l'atmosphère et atteint le sol en surface. Les 30% restant sont renvoyés dans l'espace sous forme de rayonnement infrarouge. L'atmosphère terrestre est composée de divers gaz dont des gaz dits à « effet de serre », qui représentent moins de 1% de la composition totale de l'atmosphère. Ces gaz, constitués de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄), de protoxyde d'azote (N₂O), d'ozone (O₃), de chlorofluorocarbones (CFC) et de la vapeur d'eau agissent comme une couverture, ou une serre, au dessus de la surface de la terre, piégeant ainsi une partie du rayonnement infrarouge provenant du Soleil. Sans cet effet de serre, la température de la planète baisserait de 30°C et se situerait à -18°C au lieu de +15°C ; l'eau ne serait pas à l'état liquide et il n'y aurait pas de vie sur terre.

Le climat de la Terre n'a pas cessé de fluctuer à travers les âges. Des données provenant de l'analyse de sédiments marins, de dépôts terrestres de faune, de la flore et du loess ; l'étude des anneaux de la croissance des troncs d'arbres et des carottes de glace montrent que la fin de l'ère Quaternaire, c'est-à-dire le dernier million d'années, se caractérise par des périodes glaciaires et interglaciaires d'environ 100 000 ans (Petit et *al.* 1999). Les changements climatiques sont dus à des variations internes du système climatique et à des facteurs extérieurs naturels et anthropiques.

Les gaz à effet de serre ne sont pas émis en proportion égale. Le CO₂ est la principale source des GES puisqu'il représente plus de 60% de l'effet de serre anthropique. Les émissions annuelles actuelles de CO₂ sont estimées à 27 milliards de tonnes, soit environ 1% de la masse totale de CO₂ dans l'atmosphère (UNEP/IUC, 1998). Depuis 1750, les activités humaines ont provoqué une augmentation, sans précédent, des concentrations des GES dans l'atmosphère (GIEC, 2001).

- La concentration du dioxyde de carbone (CO₂) a augmenté de 31%, un niveau jamais atteint depuis 420 000 ans, et probablement pas depuis 20 millions d'années a été observée. 75% des émissions anthropiques de CO₂ sont dues à l'utilisation de combustibles fossiles, le reste provient de la modification de l'utilisation des sols, surtout le déboisement. La moitié des émissions anthropiques de CO₂ est absorbée par la terre et les océans;
- L'augmentation de la concentration du méthane (CH₄) est estimée à 151% et elle continue mais à un rythme moins soutenu. Un peu plus de la moitié de ces émissions sont d'origine humaine: combustibles fossiles, bétail, culture du riz, décharges;
- La concentration de l'oxyde nitreux (N₂O) est à 17%, et continue de croître. Un tiers des émissions actuelles de N₂O provient d'activités humaines: terres cultivées, aliments pour bétail, industrie chimique;
- les gaz halocarbonés (par exemple les chlorofluorocarbures) sont des GES qui appauvrissent la couche d'ozone. Interdits depuis la mise en œuvre du Protocole de Montréal, la concentration de ces gaz augmente moins rapidement, voire une tendance à la baisse. Cependant, les gaz utilisés pour les remplacer, comme les Hydrocarbure Per Fluoré (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆), sont aussi des GES dont les concentrations atmosphériques augmentent nettement.

La durée de vie des GES dans l'atmosphère revêt une importance considérable. Si certains gaz ne subsistent que quelques années (par exemple, 9 à 15 ans pour le CH₄), d'autres ont une durée de vie nettement plus longue, comme le CO₂ (50 à 200 ans) ou les PFC, 2 600 à 50 000 ans.

Les principales activités humaines émettent des GES, en particulier, la combustion de charbon, de pétrole, de gaz naturel pour la production d'énergie, le déboisement, certaines pratiques agricoles et industrielles. Ces gaz altèrent la composition de l'atmosphère et contribuent au changement climatique. L'utilisation des énergies fossiles est comptable pour environ trois-quarts des émissions de CO₂. Les émissions d'origine anthropique de méthane sont surtout dues à l'agriculture et aux déchets. La concentration des GES dans l'atmosphère résulte de la différence nette entre leur production par des sources (utilisation de combustible fossile, agriculture) et leur absorption par des puits, c'est-à-dire les végétaux terrestres et les océans. L'homme peut donc contribuer à accroître les GES de deux manières: en renforçant les sources anthropiques ou en affaiblissant les puits. Ces sources sont souvent plus faciles à quantifier que les puits qui sont très importants car ils permettent d'éliminer une partie du CO₂.

D'après le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur les Changements Climatiques, « un nombre croissant d'observations nous donnent aujourd'hui une image d'ensemble d'une planète qui se réchauffe et de plusieurs autres changements dans le système climatique » (GIEC, 2001). Au XX^e siècle, la température moyenne globale à la surface du sol et de la mer s'est accrue d'environ 0,6°C. Cette hausse moyenne s'explique par les températures élevées de la période 1995-2000. Les pointes du réchauffement ont été notées au XX^e siècle entre 1910 et 1945 et entre 1976 et 2000. La décennie 1990-2000 a été la plus chaude du siècle (Norrant, 2007) et 1998, l'année la plus chaude depuis 1861. Le réchauffement est plus marqué dans l'hémisphère Nord depuis 1000 ans que dans l'hémisphère Sud. Pour la période d'avant 1861, il ya très peu de données sur le climat pour permettre une telle évaluation. Les manifestations du changement climatique observées ont été suivies de prise de conscience à des degrés divers, à des échelles différentes: mondiale ou planétaire, continentale ou africaine, nationale ou burkinabé. Aussi, quel en est l'état actuel de la situation à l'échelle mondiale ?

5.1.1 Echelle mondiale

La montée des eaux des océans, le recul des glaciers, les hivers plus doux, les précipitations plus importantes dans certaines parties du monde et les sécheresses plus longues dans d'autres sont autant de signes tangibles de la modification du système climatique de la Terre. Le climat de la planète a certes connu des variations sensibles au cours des derniers millénaires, mais jamais ces changements n'étaient intervenus aussi rapidement (Ferrier, 2003).

Selon le GIEC, le changement climatique est un parfait exemple de problème pour lequel la détermination d'objectifs et de normes est délicate mais indispensable si l'on veut parvenir aux résultats souhaités. La gravité de ce problème signifie que tous les pays sont vulnérables et que sa solution passe par un engagement collectif de la communauté des nations dans le cadre d'un accord au niveau planétaire.

Les chercheurs et les scientifiques affirment que la baisse du niveau des eaux est partiellement imputable à leurs utilisations croissantes à des fins de consommation. Mais plus inquiétants à leurs avis sont les changements climatiques qui affectent le monde, réduisant les précipitations qui remplissaient autrefois les lacs. Ces changements qui surviennent partout dans le monde aujourd'hui sont attribués aux activités humaines, en particulier celles qui consomment du pétrole et d'autres combustibles fossiles polluants.

La création du GIEC (Ouédraogo, 2009) est une preuve de prise de conscience à l'échelle mondiale. C'est un organe intergouvernemental ouvert à tous les pays membres de l'OMM et du PNUD. Il a pour mandat d'évaluer de manière méthodique et objective des informations d'ordre scientifique, technique, socioéconomique fournies par les pays membres. Ces informations sont sélectionnées parmi des études publiées dans des revues scientifiques par des organismes pluridisciplinaires internationaux.

Sa mission principale est de comprendre les fondements scientifiques des risques liés aux changements climatiques d'origine anthropique, afin d'en établir les conséquences et d'envisager des stratégies d'adaptation et d'atténuation.

Après de dizaines d'années de controverses sur les causes et les incidences possibles du réchauffement planétaire, des études publiées par 2500 scientifiques de 130 pays dans le cadre des travaux du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, établi par les Nations Unies, ont finalement tranché sur la question. En février 2007, le groupe a prouvé de façon scientifique et irréfutable que

l'utilisation des combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel produisent tous les ans dans l'atmosphère des milliards de tonnes de gaz à effet de serre (Norrant, 2007 ; GIEC 2007a).

La communauté scientifique considère depuis longtemps qu'une hausse de 2°C par rapport au niveau atteint pendant la période préindustrielle constitue un seuil au-delà duquel des changements climatiques dramatiques sont probables (GIEC 2007b).

Sur le plan mondial, la revue de la littérature montre que le problème est traité à une échelle beaucoup plus globale. Mais cela ne remet pas en cause l'intérêt que la communauté internationale porte sur le phénomène du changement climatique.

L'intérêt de la communauté internationale pour les changements climatiques et, d'une manière plus générale, pour les questions environnementales, est assez récent. La première grande conférence sur l'environnement humain n'a eu lieu qu'en 1972 à Stockholm. Par la suite, des conventions internationales ont été adoptées concernant soit un problème spécifique soit une région particulière. A la fin des années 1980, l'environnement est considéré comme un problème global et complexe que des conventions régionales ou sectorielles ne peuvent pas aborder complètement. En 1992, la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED, ou "Sommet de Rio") a défini un ambitieux programme de développement durable décrit dans l'Agenda 21, mais sa mise en pratique s'est révélée laborieuse. Aujourd'hui, plus de 200 accords multilatéraux sur l'environnement sont en vigueur et plus d'un millier d'accords régionaux ou bilatéraux sont adoptés. Cette structure internationale de gestion de l'environnement, mise en place spontanément reflète la grande diversité des enjeux et des intérêts (Ferrier, 2003). Pour lutter contre la menace importante des changements climatiques, deux accords majeurs ont été adoptés par la communauté internationale sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies. Il s'agit de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) signée en 1992 à Rio de Janeiro par plus de 175 pays et le Protocole de Kyoto, adopté en 1997. Ce Protocole fixe des engagements chiffrés de limitation ou de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine humaine, pour la période 2008-2012.

Dans le cadre de ce protocole, plusieurs mécanismes d'aide aux Etats membres à atteindre leurs objectifs de stabilisation ou de réduction des émissions de GES à un coût économiquement acceptable ont été initiés. Le recours de plus en plus important à ces mécanismes a entraîné la naissance d'un marché de carbone

aujourd'hui en pleine expansion. Non seulement l'utilisation de ces mécanismes contribue à réduire les émissions de GES, mais elle permet aussi de créer, à l'échelle internationale, des débouchés commerciaux grâce au transfert de technologies propres ainsi que des sources de revenus additionnels destinés aux entreprises étrangères et aux communautés locales. Ces mécanismes sont au nombre de trois : le mécanisme pour un développement propre (MDP), la mise en œuvre conjointe (MOC) et l'échange international des droits d'émissions. Si au plan mondial, la situation climatique générale est ainsi peinte, quels en sont les signes perceptibles pour le cas spécifique de l'Afrique ?

5.1.2 Echelle continentale

Dans son rapport de 2007, le GIEC prévoit un réchauffement climatique plus important en Afrique que partout ailleurs. La hausse de la température moyenne entre 1980/99 et 2080/99 pourrait atteindre 3 à 4°C sur l'ensemble du continent soit 1,5 fois plus élevé qu'au niveau mondial. Cette hausse sera moins forte au sein des espaces côtiers et équatoriaux (+3°C) et la plus élevée dans la partie ouest du Sahara (+4°C) comme l'indique la figure 20 (a et b).

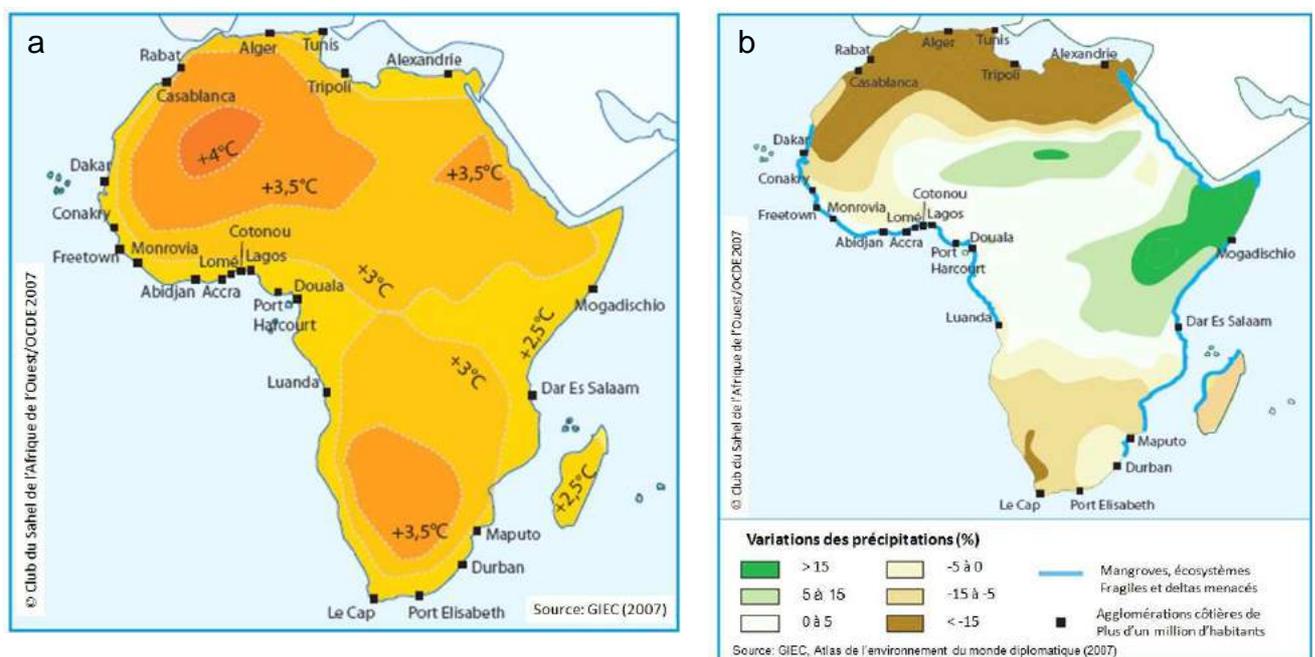


Figure 20: Variation des températures et des précipitations en Afrique

En revanche, des incertitudes demeurent sur les résultats des projections concernant les précipitations. L'Afrique du nord, l'Afrique australe ou l'Afrique de l'est figurent parmi les régions où l'incertitude est la moins forte. La côte méditerranéenne de

l'Afrique, comme le pourtour méditerranéen dans son ensemble, pourrait connaître une diminution des précipitations (15 à 20%) entre 1980/99 et 2080/99. A l'autre extrémité du continent, l'hiver et surtout le printemps en Afrique australe pourraient être également moins pluvieux. Dans la ceinture tropicale, les résultats des modèles montrent un accroissement de la pluviométrie en Afrique de l'est, qui se prolonge dans la corne de l'Afrique.

L'incidence accrue des inondations et de la sécheresse, la réduction de la production agricole, la détérioration de la sécurité alimentaire, la propagation des maladies et l'augmentation du risque de conflits en raison de la raréfaction des terres et de l'eau sont d'ores et déjà évidents dans de nombreuses régions africaines (PNUD 2007). La communauté internationale et les gouvernements africains ont pris certains engagements et ont fixé un certain nombre d'objectifs afin de lutter contre les changements climatiques en Afrique ; ils ont par ailleurs pris des mesures pour tenir ces engagements.

Lors de la dixième réunion du Forum pour le Partenariat avec l'Afrique (FPA) tenue à Tokyo, au Japon en avril 2008, les participants ont fait l'état des changements qui affecteront probablement le climat de l'Afrique et les conclusions suivantes sont ressorties :

- l'Afrique du Nord et l'Afrique australe se réchauffent déjà plus vite que la moyenne de la planète. Selon un scénario moyen d'émissions de GES, l'Afrique devrait voir ses températures moyennes s'élever de 3 à 4°C d'ici la fin du siècle par rapport aux niveaux de la période 1980-1999;
- le réchauffement s'accompagnera probablement d'une plus forte variabilité des régimes pluviométriques, de précipitations plus extrêmes, et de pénuries d'eau allant en s'aggravant. En 2020, entre 75 et 250 millions d'êtres humains risquent d'être confrontés à un manque d'eau accru. Le problème se posera de façon particulièrement aiguë en Afrique du Nord ;
- le niveau des mers s'élèvera. Selon les prévisions, le nombre de victimes potentielles d'inondations côtières, qui était de 1 million en 1990, pourrait passer à 70 millions en 2080, provoquant des mouvements massifs de populations.

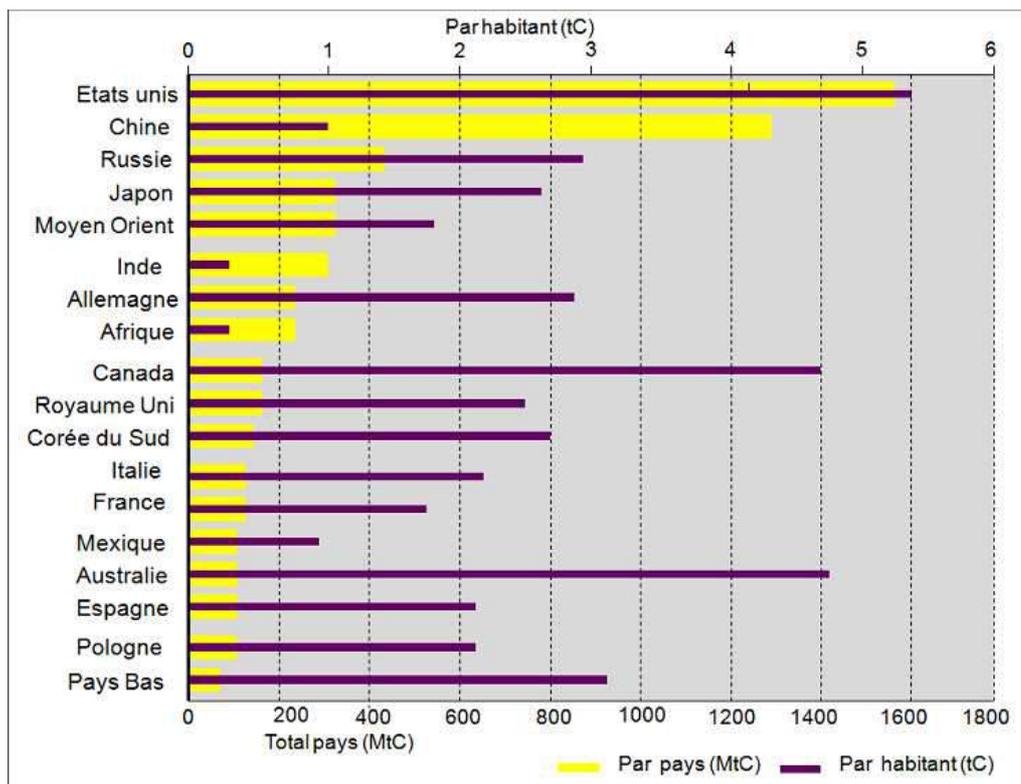
Il est vraisemblable que les événements climatiques extrêmes et imprévisibles se multiplieront, se traduisant notamment par des épisodes récurrents de sécheresses et d'inondations, des cyclones tropicaux de plus forte intensité et des tempêtes plus violentes et plus fréquentes (FPA, 2007).

Si l'Afrique n'est pas le seul continent à être confronté à l'évolution du climat, elle y est particulièrement vulnérable, du fait notamment de son étroite dépendance à l'égard de l'agriculture sous pluie, de sa faible capacité de stockage de l'eau, de sa pauvreté endémique, de son exposition aux urgences humanitaires et de sa faible capacité d'adaptation. De même, par rapport à d'autres régions du monde, l'Afrique subsaharienne est fortement bridée par le manque d'informations sur le climat, sans lesquelles il sera difficile d'élaborer et de mettre en œuvre des mesures d'adaptation. Le changement climatique aura probablement une incidence notable sur les perspectives de croissance économique. Les principaux secteurs économiques de l'Afrique sont vulnérables face à l'évolution et à la variabilité du climat, en particulier l'agriculture où le rendement à l'hectare, déjà en diminution, pourrait régresser encore. Les études par pays soulignent aussi l'impact significatif des inondations et des sécheresses sur l'évolution du PIB. Par ailleurs, le changement climatique pèse généralement sur la disponibilité et la fiabilité des approvisionnements en énergie et, de ce fait, sur d'autres secteurs de l'économie.

Le continent africain représente moins de 4% des émissions planétaires totales de gaz à effet de serre (figure 21). C'est le continent le moins responsable des changements climatiques mondiaux. Mais les initiatives prises en matière d'atténuation parallèlement au développement seront à l'avenir indispensables.

La prise d'engagements forts en matière pour l'atténuation des émissions par la communauté internationale constituera un facteur clé de réduction de l'incidence néfaste des changements climatiques en Afrique.

Dans le contexte des changements climatiques, l'atténuation fait référence à l'intervention humaine destinée à réduire les sources de dégagement de gaz à effet de serre ou à accroître les puits pour ces gaz. On peut notamment citer l'utilisation plus performante de combustibles fossiles pour l'industrie ou la production d'électricité, le passage à l'énergie solaire ou à l'éolien, ainsi que le développement des forêts et la multiplication des « puits de carbone » destinés à retirer le gaz carbonique de l'atmosphère.



Source : AIE-OCDE (adapté)

Figure 21 : Emission de GES dans le monde en 2004

Il est vital, par conséquent, de renforcer les capacités de production d'énergie tant pour accompagner durablement la croissance et la diversification de l'économie que pour assurer le développement humain. L'Afrique possède d'immenses ressources énergétiques, inégalement réparties et peu mises en valeur. Les possibilités de développer les énergies propres y sont considérables (moins de 4% du vaste potentiel hydroélectrique sont aujourd'hui exploités). Les gouvernements des pays d'Afrique ont mis en chantier la réforme de leur réglementation afin d'attirer les producteurs d'électricité indépendants et envisagent une gestion infrarégionale des bassins versants. Les partenaires au développement revoient à la hausse leur soutien en faveur d'un meilleur accès à l'énergie et font appel au secteur privé. Mais il faudra consentir d'énormes investissements exigeant au minimum le doublement des financements (qui devront passer de 2 à 4 milliards de dollars par an), un nouveau renforcement de l'aide et surtout la mobilisation massive de fonds privés. Les biocarburants présentent certes un potentiel remarquable, mais devront faire l'objet d'une évaluation rigoureuse par rapport aux autres utilisations des terres pour la production alimentaire.

Un autre moyen de limiter les émissions consiste à accorder des indemnités pour la déforestation évitée. A l'échelle mondiale, la déforestation est responsable de 20% environ des émissions annuelles totales. Les forêts perdent tous les ans une superficie équivalente à 4 fois le territoire de la Belgique. Le Brésil et l'Indonésie sont les pays les plus touchés, mais 6 des 10 plus importantes pertes de forêts se sont produites en Afrique subsaharienne. Plusieurs initiatives en faveur d'une gestion durable des forêts ont été lancées, dont deux des plus connues sont le Partenariat pour les Forêts du Bassin du Congo (PFBC), géré par la Banque Africaine de Développement, ainsi qu'un nouveau Fonds de partenariat pour la réduction des émissions de carbone forestier (FCPF), conduit par la Banque mondiale et aujourd'hui en phase pilote, visant à récompenser financièrement la réduction des émissions induites par la déforestation et la dégradation des forêts. Actuellement, les mesures prises pour éviter la déforestation ne peuvent prétendre bénéficier du mécanisme pour un développement propre. Mais dans le cadre du plan d'action de Bali (Indonésie), les négociations autour d'un cadre international post-2012 prendront en compte les options stratégiques et les mesures d'incitation qui pourraient favoriser et soutenir une réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts africaines.

5.1.3 Echelle nationale

Dans les zones arides et semi-arides, la gestion durable des ressources en eau est un challenge permanent dont la difficulté s'accroît depuis plusieurs décennies à cause, d'une part, des impacts du changement climatique et, d'autre part, de l'accroissement des populations et de leurs besoins en eau (Servat et Mahé, 2009).

Le Burkina, pays sahélien situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest subit les manifestations du changement climatique qui se traduisent par la dégradation des ressources naturelles, notamment les sols, les plantes et l'eau (Ouédraogo, 2009).

Selon le SP/CONEDD (2007b), la disponibilité en eau au Burkina varie considérablement avec les conditions pluviométriques. Au cours des 50 dernières années, les disponibilités en eau ont baissé de façon drastique en rapport avec les aléas pluviométriques. L'écoulement annuel des eaux dans les quatre bassins versants nationaux est actuellement estimé à 7,5 milliards de mètres cubes. Environ 2,66 milliards de mètres cubes d'eau sont annuellement stockés sur une superficie de près de 100.000 ha constituée de barrages, de lacs naturels et de retenues d'eau.

Les ressources en eau totales du pays (eau de surface et eau souterraine) sont estimées à 402 milliards de mètres cubes, variant dans une fourchette de 268 à 534 milliards de mètres cubes selon les années.

La pluviométrie moyenne annuelle du Burkina a connu une baisse sensible (figure 22) avec un déplacement latitudinal des isohyètes moyennes vers le sud en l'espace de trois normales (1931-1960, 1951-1980 et 1971-2000).

Même si la situation au Burkina n'est pas actuellement catastrophique, il y a lieu de s'en préoccuper (Sawadogo, 2007) : les températures connaîtront une hausse de 0,8% à l'horizon 2025 et de 1,7% à l'horizon 2050. La pluviométrie connaîtra une diminution de 3,4% en 2025 et de 7,3% en 2050 alors que le secteur agricole en dépend totalement. En outre la satisfaction des besoins en eau des populations, du bétail et des cultures, connaîtra des difficultés car les disponibilités en eau seront faibles. (SP/CONEDD, 2007a ; Groupe d'experts PANA du Burkina Faso, 2003 ; Traoré, 2005).

Aussi, au niveau institutionnel, pour faire face au changement et aux variations climatiques, un groupe de spécialistes interdisciplinaire, sous l'autorité du Ministère de l'Environnement, a-t-il mis en place en 2006, le Plan d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA). Des projets prioritaires ont été identifiés et concourent à la préservation des ressources naturelles, pour une meilleure adaptation au changement climatique.

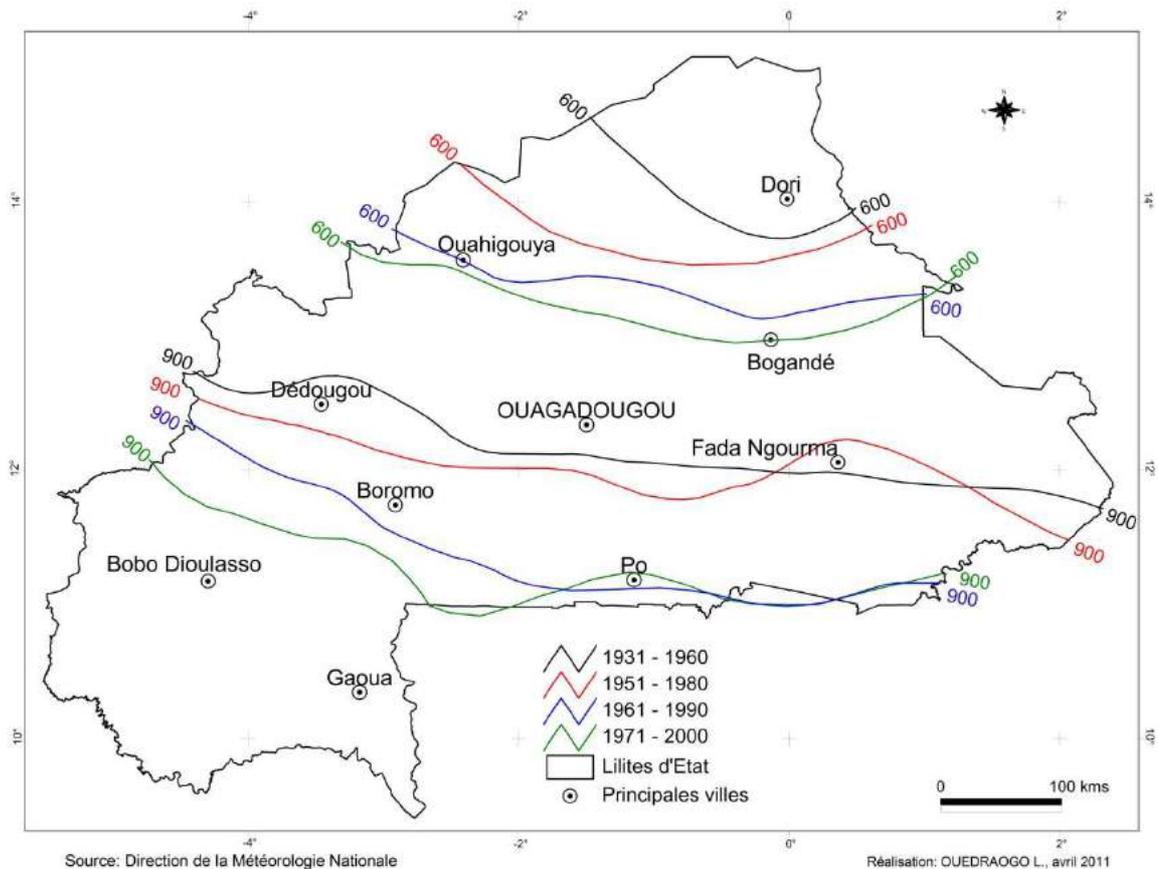


Figure 22: Migration des isohyètes 600 mm et 900 mm

Ce plan est accompagné par plus d'une dizaine de documents de politiques et stratégies sectorielles élaborés entre 1995 et 2004 pour la planification et mis en œuvre par les départements ministériels pour le développement du pays (SP/CONEDD, 2007a). Au nombre de ces documents, on retient :

- le cadre stratégique de lutte contre la pauvreté (CSLP),
- la stratégie de développement rural (SDR),
- le plan national de lutte contre la désertification (PNLCD),
- le plan d'action national pour l'environnement (PANE),
- la politique nationale forestière,
- les stratégies et plans d'action de la mise en œuvre des conventions de Rio qui sont le programme d'action national de lutte contre la désertification (PAN LCD), la stratégie nationale et plan d'action en matière de diversité biologique et la stratégie nationale de mise en œuvre de la convention sur les changements climatiques,
- la politique nationale de l'eau du Burkina Faso,

- le Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE),
- la politique énergétique du Burkina Faso,

Il est à noter également l'exécution d'un certain nombre de programmes pour rendre opérationnel ces politiques et stratégies suscitées. Il s'agit :

- du Programme National de Partenariat pour la Gestion Durable des Terres (CPP),
- de la deuxième phase du Programme National de Gestion des Terroirs (PNGT 2),
- du Programme d'Investissement Communautaire en Fertilité Agricole (PICOFA),
- de la ratification de la CCNUCC le 2 septembre 1993 et celle du protocole de Kyoto le 31 mars 2005, la soumission de la communication nationale initiale du Burkina Faso ainsi que sa stratégie de mise en œuvre, traduisent la ferme volonté du Gouvernement à contribuer à la protection de l'environnement et du système climatique (SP/CONEDD 2007).

Pour l'essentiel, ces stratégies qui sont reprises dans le document de convergence qu'est le CSLP, visent une gestion rationnelle et durable ainsi qu'une exploitation équitable des ressources naturelles pour le développement harmonieux et la prospérité du pays.

Tous ces mécanismes, s'ils sont coordonnés dans leurs exécutions devraient avoir des retombées sur la disponibilité des ressources en eau. Aussi, la synthèse qui suivra nous guidera et nous aidera davantage à cerner les mécanismes de gestion de l'eau aux plans mondial, continental et national.

5.2 Revue de la littérature sur la gestion de l'eau dans un contexte de changement climatique

Selon Diallo et Kiéma (2010), les trois quarts de la surface du globe sont couverts par de l'eau contre un quart pour les terres émergées. De cette ressource, l'eau douce ne représente que 3% des ressources en eau de la planète et seul 1% est disponible pour des activités humaines, parmi lesquelles l'agriculture et l'élevage. Le volume d'eau nécessaire à la production végétale et animale dépend des conditions du sol, de la variété des cultures, des températures et de la disponibilité du pâturage. Le changement climatique va très certainement accentuer les déséquilibres entre le disponible et les besoins en eau et, comme l'accès à l'énergie, la gestion efficiente

de cette ressource devient l'un des principaux défis géostratégiques du 21^e siècle. Partout dans le monde, des initiatives se développent pour mieux gérer l'eau disponible.

La capacité de s'adapter à la modification du climat est liée aux progrès technologiques, aux aménagements institutionnels et aux possibilités de financement, de production et d'échanges d'informations.

Pour les pays en développement, qui n'ont qu'un accès limité à ces capacités d'adaptation, le changement du climat est appelé à avoir des impacts sur les écosystèmes, sur le progrès socio-économique et sur la santé, autant d'éléments indispensables à un développement durable. Le défi pour ces pays consistera à élaborer des options d'adaptation (en faisant appel à des pratiques traditionnelles renforcées) des systèmes écologiques et socio-économiques au changement climatique, à intégrer ces options dans leurs politiques de développement durable. Mais si ces stratégies d'adaptation sont orientées vers des domaines qui sont jugés vulnérables au changement climatique, dans les pays de l'Union Européenne les domaines qui font l'objet d'attention sont : L'eau, les écosystèmes, la biodiversité, l'alimentation, les régions côtières et la santé. (Commission de la Communauté Européenne, 2007).

L'union européenne s'est déjà engagée à réduire ses émissions de 20% en 2020 par rapport aux niveaux de 1990 et de 30% sur la même période si d'autres pays prennent des engagements analogues, Elle va baisser de 20% sa consommation d'énergie et porter à 20 % sa contribution à la promotion des énergies renouvelables. Mais la nature des risques associés aux changements climatiques varie en fonction des régions et des pays. Aussi, la capacité d'adaptation est fonction de cette réalité. Le niveau de développement humain, les capacités technologiques et institutionnelles ainsi que les ressources financières ont tous une influence sur l'appréhension de ces capacités (PNUD, 2007). Ainsi les exemples de gestion de l'eau de certains pays au plan mondial, africain et national en sont illustratifs.

5.2.1 Echelle mondiale

Plusieurs stratégies sont développées à travers le monde par les populations en fonction de leurs réalités socioculturelles et biophysiques. Ainsi à travers quelques pays ci-dessous cités, nous découvrirons certaines d'entre elles.

- **Aux Royaume-Unis**, United Kingdom Climate Impacts Programme (UKCIP) a élaboré des études détaillées, région par région, et des études sectorielles portant sur les défis liés à l'adaptation. Les stratégies de gestion des inondations sont mises au point dans la perspective d'une augmentation du niveau des mers et des précipitations. Les évolutions anticipées en matière de modèles climatiques, de tempêtes et de précipitations devraient conduire à des risques accrus d'inondations. A la différence de ceux des Pays-Bas, les systèmes de défense contre les inondations britanniques sont conçus pour affronter les crues les plus importantes enregistrées tous les 100 à 200 ans.
- **En Allemagne**, de vastes régions font face à des risques accrus d'inondations consécutifs aux changements climatiques. A cet effet, en 2002 et en 2003, l'Allemagne a adopté une loi portant sur le contrôle des crues qui incorpore l'évaluation des changements climatiques à la planification nationale, et impose de strictes exigences en matière de désignation de zones inondables et d'établissements humains.
- **La Californie**, déjà soumise à un stress hydrique important, dispose d'un système étendu de réservoirs et de canaux de transfert d'eau permettant de maintenir sa distribution dans les zones arides. Dans la mise à jour de son projet pour l'eau publiée en 2005, le Département des ressources hydrauliques (Department of Water Resources ou DWR) définit une vaste stratégie de réponse aux débits d'eau réduits, en particulier des mesures de rationalisation de la consommation dans les zones urbaines et d'agriculture. Des investissements importants au niveau du recyclage de l'eau, avec une cible de 930 millions de mètres cubes à l'horizon 2020, soit environ deux fois les niveaux actuels, sont également prévus.
- **Dans l'ouest du Bengale en Inde**, les femmes habitant des villages du delta du Gange construisent des plates-formes de bambou appelées *machan* sur lesquelles elles peuvent se réfugier au-dessus des eaux en crue lorsque les moussons sévissent.
- **Au Bangladesh**, les agences donatrices et les ONG travaillent avec les populations des îles facilement inondables pendant la mousson, pour ériger au

dessus des eaux des montants sur pilotis ou des levées de terre. Quant aux agricultrices, elles construisent des «jardins flottants» : des radeaux de jacinthe sur lesquels il est possible de cultiver des légumes dans les régions inondables.

- **Les communautés du Viet Nam** consolident d'antiques systèmes de digues et de levées pour se protéger contre les raz de marée importants. Dans le delta du Mékong, les collectivités agricoles prélèvent une taxe en vue du financement de la protection côtière et de la réhabilitation des mangroves, barrière naturelle contre les ondes de tempête.
- **En Equateur**, des investissements s'accroissent sur des systèmes de récolte d'eau à échelle limitée. Les fermiers construisent des réservoirs d'eau traditionnels en forme de U, ou *albarradas*, pour retenir l'eau pendant les années les plus humides qui servira à recharger les aquifères pendant les années de sécheresse.
- **Au Maharashtra, en Inde**, les fermiers font face à la sécheresse en investissant sur l'aménagement des bassins versants des systèmes de récolte d'eau de pluie en petites dimensions.
- **Au Népal**, les communautés des zones inondables mettent en place des systèmes d'alerte précoce, tels que des miradors, permettant de renforcer les digues de prévention du débordement des lacs glaciaires.
- **Au Sri Lanka**, les fermiers expérimentent avec des variétés de riz capables de résister à l'intrusion saline et à la réduction de la quantité d'eau.

En ce qui concerne les pays de l'Union Européenne, nous pouvons citer les actions suivantes :

- l'utilisation plus rationnelle des ressources en eau limitées,
- l'adaptation des normes et des règlements du secteur des infrastructures aux futures conditions climatiques et phénomènes météorologiques extrêmes,
- la construction de murs contre les inondations et l'augmentation de la hauteur des digues face à l'élévation du niveau de la mer,
- la mise au point de cultures tolérant la sécheresse,

- le choix d'essences et de pratiques forestières moins vulnérables aux tempêtes et aux incendies,
- l'élaboration de plans d'aménagement de l'espace, et la création de corridors terrestres au service de la migration des espèces.

L'adaptation peut englober des stratégies nationales ou régionales et des mesures concrètes prises au niveau communautaire ou individuel. Menée à bien par anticipation ou à posteriori, elle concerne aussi bien les systèmes naturels que les systèmes humains.

Si de par le monde, des stratégies sont mises en œuvre pour la gestion de l'eau, l'Afrique n'est pas en reste de ces initiatives ; le paragraphe suivant nous en fera l'économie.

5.2.2 Echelle africaine

En Afrique, les communautés rurales ont développé des capacités adaptatives dans divers domaines. Les sécheresses, notamment celles des années 1968-1973 et 1984-1985 au Sahel, ont obligé les populations à améliorer leurs outils de gestion communautaire et à développer de nouvelles stratégies d'utilisation des ressources naturelles. (Dorsouma et *al.* 2008, www.vertigo.revues.org/index5356.html). Les principales stratégies selon les mêmes sources peuvent se résumer comme suit:

- l'association de l'agriculture et l'élevage dans un contexte climatique défavorable où le bétail est choisi pour ses capacités de résistance. Par exemple les chèvres sont préférées en raison de leur besoin plus réduit en alimentation ;
- les nouvelles politiques nationales de promotion des foyers améliorés et des énergies renouvelables, la gestion participative des ressources naturelles sont parallèlement développées aux pratiques traditionnelles de prélèvement de bois, principale source d'énergie des populations dans les pays du Sahel ;
- du fait de la diminution de la pluviométrie, de la modification des régimes des eaux de surface et de la baisse du niveau des nappes phréatiques, se sont développées, ces dernières années, de nouvelles pratiques locales de maîtrise et de stockage des eaux pluviales (grands canaris domestiques, bassins de stockage, digues de retenue, seuils de ralentissement des eaux de ruissellement de surface, puits traditionnels, forages, etc.) ;
- par ailleurs, l'accentuation continue de l'aridité a poussé une frange de la population vivant dans les zones côtières africaines à se tourner davantage vers

la pêche. Par la même occasion, se sont développées des pratiques de conservation et de transformation du poisson, ainsi que la valorisation de l'eau de mer (cuisson des aliments, désalinisation) pour faire face à la rareté de l'eau douce ;

- la diversification des secteurs économiques, autres que la production agricole pour faire face à l'imprévisibilité des récoltes, est aussi une stratégie courante pour pallier les aléas climatiques : gestion du bétail, commerce, pêche, et migration temporaire etc. ;
- en Afrique, le capital social joue également un rôle fondamental ; les solidarités traditionnelles permettent une prise en charge de la pauvreté à travers des mécanismes d'éthique religieuse et coutumière ;
- l'émigration à des fins professionnelles constitue une étape ultime des stratégies locales face aux variations climatiques. A l'époque, pratiquée pendant les périodes de faible pluviométrie ou de sécheresse pour compenser la baisse des revenus liées à l'agriculture, elle était suivie d'un retour au bercail. Mais, actuellement, du fait des conditions de vie difficiles dans les régions semi-arides et arides, exacerbées par la pauvreté, la sécheresse et la désertification, une nouvelle forme d'émigration sans retour se met en place. Bien que vivement combattue par les pays d'accueil, elle permet pour l'heure à ceux qui ont pu s'installer de contribuer au développement de ces pays et aussi à celui de leur pays d'origine ;
- le pastoralisme et la mobilité ont constitué pendant des milliers d'années une réaction stratégique des populations sahéniennes à la variabilité pluviométrique et à la rareté des pâturages (PANA Mauritanie, 2004). Dans les pays du Sahel, les nomades et transhumants ont, par cette mobilité, adapté leur production aux situations éco-climatiques difficiles et développé tout un système de gestion des ressources naturelles fondé sur le consensus et la solidarité pastorale.

Aussi, les pratiques tels que le développement des variétés plus tolérantes à la sécheresse, le raccourcissement du cycle végétatif, l'emploi des variétés précoces et le recours à la culture de décrue des bassins versants, le développement de l'agriculture irriguée par la maîtrise de l'eau, le maraîchage, la culture sous serre, l'intensification agricole, constituent des stratégies d'adaptation du secteur agricole suite notamment au raccourcissement de la saison pluvieuse.

D'autres mesures existent. Il s'agit de la mise à la disposition des populations des stocks de sécurité de manière gratuite ou à un prix raisonnable, la libéralisation et la détaxe de l'importation des céréales, la sollicitation de l'aide internationale. Dans le cas des inondations ayant occasionné des sinistres alimentaires, les mêmes mesures ci-dessus ont été utilisées. A cela, il faut ajouter le déplacement des populations sinistrées des zones de crues vers des sites plus appropriés (PANA Mali, 2007), la gestion des systèmes marins et côtiers par leur conservation ainsi que le dessalement de l'eau de mer pour pallier la pénurie d'eau douce.

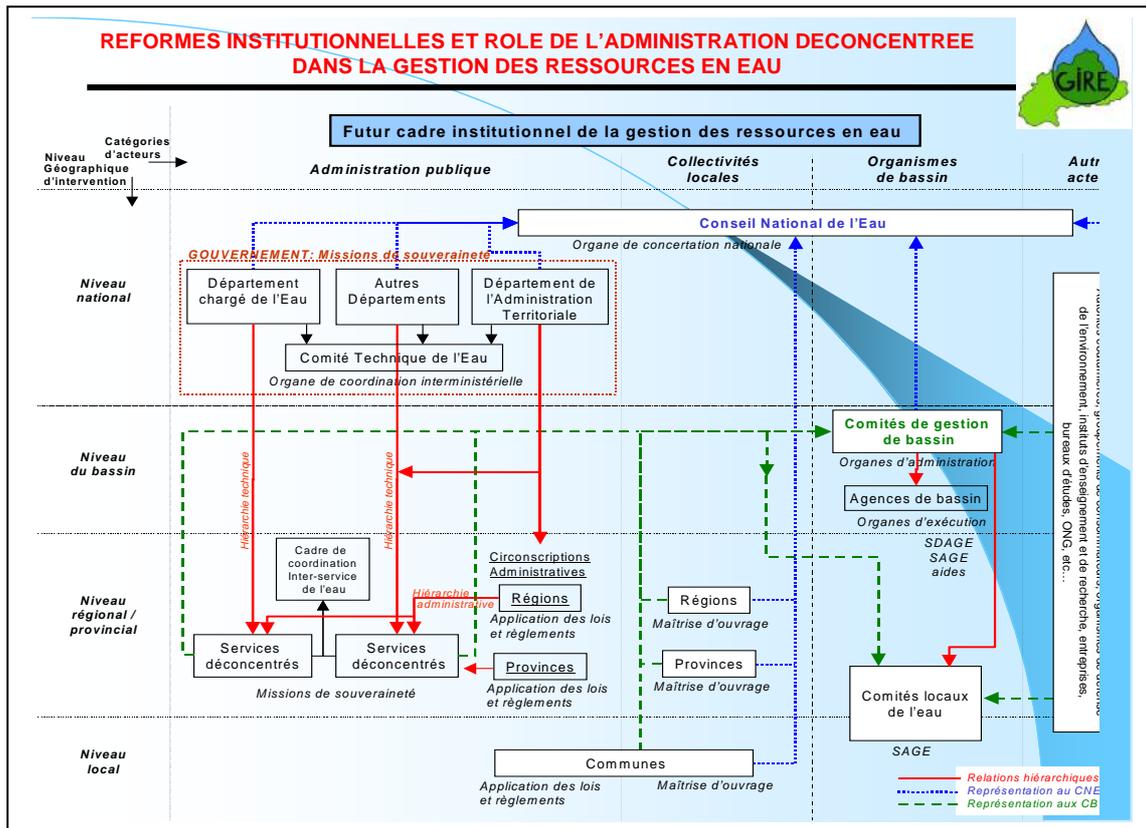
La gestion de l'eau est spécifique et fonction de la position géographique du pays considéré. Elle nécessite des dispositions particulières à prendre et le Burkina n'échappe pas à cette règle. Le chapitre troisième qui suivra, fera l'économie de la réglementation en la matière au niveau national.

5.2.3 Echelle du Burkina

L'impact du changement climatique sur les ressources hydriques se manifeste par des sécheresses ou des inondations avec des conséquences sur la population à travers le développement des maladies, des dégâts importants, des déplacements de populations, etc. (ONU 2010 cité par Diallo et Kiéma 2010).

Le Burkina Faso, pays sahélien, doit faire face à la raréfaction des ressources en eau suite aux longues années de sécheresse (années 70 et 80). Le défi dans ces conditions est de pouvoir assurer au mieux les besoins en eau par une utilisation judicieuse des ressources. Cela passe par un accès facile à l'eau potable des populations, la promotion des cultures irriguées afin d'accroître la production agricole de contre saison, l'augmentation de la production animale et halieutique, le développement d'une agriculture pluviale mieux adaptée aux conditions climatiques actuelles par des aménagements à la parcelle et des variétés améliorées. Mais ces objectifs ne peuvent être atteints que si l'utilisation des ressources en eau disponibles ne fait l'objet de législation et de réglementation dans leur gestion.

Au niveau national, l'Etat joue un rôle central dans la gestion de l'eau à travers le Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique (MAH) et ses structures déconcentrées ainsi que d'autres ministères (figure 23). A coté de l'Etat, œuvrent d'autres acteurs notamment les ONG, les associations de développement qui, à travers des projets souvent à envergure locale, appuient les communautés pour la mobilisation de l'eau.



Source : extrait du PAGIRE

Figure 23 : Cadre institutionnel de la gestion des ressources en eau au Burkina

Il est donc créé un environnement institutionnel (annexe 4) qui favorise la mise en place d'infrastructures et des mécanismes de gestion des ressources disponibles avec et au profit des populations.

5.2.3.1 Construction de barrages et retenues d'eau

L'eau représente un secteur vital, très sensible à l'économie des pays de la région sahélienne en général et celle du Burkina en particulier. Pour palier le déficit chronique, les autorités se sont engagées dans de vastes campagnes de mobilisation des eaux de surfaces et souterraines par la construction des barrages et des retenues d'eaux. Il a réalisé plus de 1500 barrages au cours des trois dernières décennies. Selon le document « *politique et stratégie en matière d'eau* » de juillet 1998 du Ministère de l'Environnement et de l'Eau, les plans d'eau (les mares temporaires, les mares permanentes, les barrages et les retenues d'eau) couvrent une superficie de plus de 100 000 ha. Comme les retenues d'eau dépendent fortement de la pluviométrie, et pour accompagner sa politique de mobilisation de l'eau il met en œuvre depuis plusieurs années une campagne d'ensemencement des

nuages pour provoquer la pluie appelée « pluies provoquées ». Cette technique offre des perspectives intéressantes d'augmentation des ressources en eau de l'atmosphère. Les résultats du programme des pluies provoquées sont entre autres la réduction des effets de la sécheresse et l'amélioration de la production agricole, la remontée des nappes souterraines, le remplissage des retenues d'eau (pour le maraîchage et l'élevage), des barrages hydroélectriques et la disponibilité en eau potable. Les résultats positifs de ce programme d'ensemencement des nuages ont conduit le CILSS à étendre cette initiative d'ensemencement des nuages ou pluies provoquées à l'ensemble des pays du Sahel sous le nom du programme régional d'Augmentation des Précipitations par Ensemencement des Nuages au Sahel (APENS).

5.2.3.2 Quelques résultats d'impact des aménagements de gestion de l'eau au plan national

Les impacts de certaines technologies de gestion d'eau sur la production agricole et la sécurité alimentaire suscitent l'intérêt des producteurs et même des décideurs politiques. La littérature donne une série de résultats obtenus dans des centres de recherches avec des applications réussies en milieu réel par des projets et programmes de développement.

Dans la zone d'action du programme Conservation des Eaux et des Sols et d'Agroforesterie (CES/AGF), les cordons pierreux induisent une augmentation des rendements de 23% pour le sorgho blanc et 15% pour le sorgho rouge dans les champs de case ou de village. Cette augmentation est de 28% pour le sorgho blanc dans les champs de brousse (Bélemviré et al, 2008).

Au niveau de la zone d'intervention du projet PATECORE le rendement moyen du sorgho sur les terres aménagées est de 774 kg/ha contre 651 sur celles non aménagées; ce qui représente une augmentation de l'ordre de 19%. Les rendements du mil sur les terres aménagées ont été inférieurs à ceux des témoins (470 kg/ha contre 531 kg/ha) (Ouédraogo, 2005).

Les études menées par l'INERA dans le cadre du programme RSP Centre (1993-1994) ont montré que le *Zai* entraîne un accroissement du rendement de 86 % dans le Plateau Central. Ce qui fait de ce dernier, une technologie prometteuse pour cette région du Burkina. Associé au paillage, le *zai* donne également de bons rendements de 1050 kg/ha contre 668 kg/ha pour les témoins soit un accroissement de près de

57%. L'association avec la paille semble avoir eu un effet dépressif sur le rendement du *zai* (Bélemviré et al, 2008).

Les résultats des travaux de Ganaba (2009) sont révélateurs sur l'impact des pratiques sur la production fourragère. Il ressort de ces études entreprises dans le Sahel burkinabè que les aménagements de demi-lunes, de cordons pierreux, les digues filtrantes, le sous-solage et le scarifiage ont eu un impact positif sur la reconstitution de la végétation herbacée et ligneuse. *Cassia obtusifolia* colonise les micro-bassins des demi-lunes, les abords immédiats des cordons pierreux et des digues filtrantes et concurrence les autres plantes notamment les ligneux. Les aménagements favorisent également l'apparition et le développement d'une végétation pérenne de *Acacia nilotica*, *Acacia tortilis*, *Balanites aegyptiaca*, *Leptadenia hastata*, *Ziziphus mauritiana*. L'aménagement en demi-lunes donne de meilleurs résultats sur la densité et la composition floristique de la végétation herbacée et ligneuse. Le taux de survie des régénérations ligneuses est de 9,45% dans les parcelles pastorales et 2,65% dans les parcelles agricoles. Les espèces ligneuses les plus résistantes qui ont survécu sont *Acacia senegal*, *Acacia tortilis*, *Balanites aegyptiaca*. Ce sont des plantes fourragères et à usage multiple (Ganaba, 2009).

Quant à Kiéma et al. (2008) qui se sont penchés sur les « effets des cordons pierreux sur la régénération d'un pâturage naturel de glacis au Sahel », leurs résultats montrent une augmentation en moyenne de 2,8 fois (+ 697 kg de matière sèche/ha en septembre) le niveau de production fourragère. La valeur pastorale globale du pâturage a aussi été augmentée par:

- l'amélioration de 1 à 1,8 fois de la richesse floristique ;
- l'accroissement de 2,2 à 3,9 fois du recouvrement du sol par rapport au témoin.

La production fourragère et la capacité de charge des pâturages aménagés ont également été améliorées en moyenne de 7,89 fois par rapport aux pâturages non traités. En ce qui concerne la strate ligneuse, l'étude révèle une forte régénération d'espèces fourragères à raison 281 pieds / ha sur la zone aménagée contre 26 pieds / ha sur le témoin soit un accroissement moyen de 255 pieds / ha.

Cependant, les observations ont montré que l'évolution de la végétation était tributaire de la pluviométrie au cours des années de suivi. Sur les mêmes parcelles, la production fourragère a varié d'au moins 1,5 fois entre la campagne la plus pluvieuse et la moins arrosée. Les caractéristiques édaphiques du site (pourcentage

de placages sableux) et le niveau topographique (haut ou bas de pente) sont aussi déterminants dans cette variation malgré les travaux d'aménagement.

Tous ces résultats parmi tant d'autres sont une preuve que les aménagements ont des retombées certaines sur la productivité des cultures dans les zones de déficit pluviométrique, notamment dans le contexte de changement climatique. Compte tenu de la complexité de ce terme, qui renferme beaucoup de notions, le paragraphe suivant tentera d'apporter quelques éléments d'éclairage avant l'entame de l'étude.

5.3 Définitions et concepts

Les concepts suivants couramment utilisés dans le document seront élucidés pour favoriser leur compréhension. Nous emprunterons pour la plupart d'entre eux, les notions données par le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat et reprises par le Forum pour le Partenariat avec l'Afrique (2006).

5.3.1 Gestion de l'eau

La gestion de l'eau vue dans notre contexte est l'utilisation de l'ensemble de réalisations et la mise en œuvre de stratégies, de mécanismes ou de techniques pour une mobilisation efficiente de l'eau à des fins d'exploitation au profit de l'homme, du bétail et des plantes (des cultures notamment). De ce fait, l'eau par son abondance ou son absence peut être un facteur favorable ou une contrainte au développement des systèmes de production en milieu rural.

5.3.2 Adaptation

L'adaptation est un processus d'ajustement des systèmes naturels et humains à un stimulus climatique constaté ou anticipé, à ses effets et ses impacts. Il désigne un changement de procédures, de pratiques et de structures visant à limiter ou supprimer les dommages potentiels ou à tirer bénéfice des opportunités créées par les changements climatiques. Il induit des ajustements afin de réduire la vulnérabilité au changement climatique de certaines communautés, régions ou activités/secteurs. Nous distinguons plusieurs sortes d'adaptation:

- *Adaptation anticipative*

C'est l'adaptation qui se déroule avant que les effets des changements climatiques soient observables. L'adaptation anticipative est appelée aussi adaptation proactive.

- *Adaptation autonome*

C'est l'adaptation qui ne constitue pas une réaction réfléchie aux stimuli climatiques, mais qui résulte de changements écologiques des systèmes naturels ou d'une évolution des conditions socio-économiques propres aux systèmes anthropiques et ceci sans intervention. Elle est appelée aussi adaptation spontanée.

- *Adaptation planifiée*

C'est l'adaptation qui résulte des décisions stratégiques délibérées, fondées sur une perception claire des conditions qui ont changé – ou qui sont sur le point de changer - et sur les mesures qu'il convient de prendre pour revenir ou parvenir à la situation souhaitée.

- *Adaptation réactionnelle*

C'est l'adaptation qui a lieu après que les effets des changements climatiques aient été observés.

- *Adaptation à caractère privé*

C'est l'adaptation qui est amorcée et réalisée par des individus, des ménages ou des entreprises privées. Ce type d'adaptation sert d'ordinaire les intérêts de ceux qui la mettent en œuvre.

- *Adaptation à caractère public*

C'est l'adaptation amorcée et réalisée par des services publics. Ce type d'adaptation sert généralement aux intérêts de la collectivité.

5.3.3 Atténuation

L'atténuation est l'intervention anthropique pour réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre.

Elle est beaucoup plus orientée vers des actions qui agissent sur des phénomènes globaux tels l'émission des gaz à effet de serre et le réchauffement climatique général de la terre. Ainsi le quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat GIEC, (2007) indique que de nombreuses régions du monde doivent déjà affronter les effets négatifs d'une hausse des températures mondiales moyennes de 0,76° C par rapport à 1850. Dans l'hypothèse où l'on ne mènerait pas de politique efficace d'atténuation du changement climatique au niveau planétaire, les estimations les plus optimistes du GIEC en ce qui concerne le réchauffement de la planète se situent dans une fourchette d'augmentation d'ici à 2100 allant de 1,8° C à 4° C par rapport à leurs niveaux respectifs de 1990.

5.3.4 Changement climatique

Le changement climatique désigne une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Il peut être dû à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres. On notera que la Convention Cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC), dans son article 1, définit «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 ». La CCNUCC fait ainsi une distinction entre le «changement climatique» qui peut être attribué aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et la « variabilité climatique » due à des causes naturelles.

5.3.5 Variabilité climatique

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. Elle peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe).

5.3.6 Vulnérabilité

Définie de manière générale, la vulnérabilité est le degré selon lequel un système est susceptible d'être atteint du fait d'une exposition à des perturbations ou à des stress. Dans le contexte des changements climatiques, elle peut être définie comme le degré selon lequel un système est sensible - ou incapable de faire face - aux effets adverses des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes.

La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur du rythme de l'évolution, de la variation du climat, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation.

5.3.7 Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a été créé en novembre 1988 par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Il est un organe intergouvernemental ouvert à tous les pays membres de ces deux organisations. Il offre aux décideurs et aux autres parties s'intéressant au changement climatique une source d'information objective sur l'évolution du climat. Sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, il met à la disposition de ces membres les plus récentes informations à caractère scientifique, technique et socioéconomique produites dans le monde afin de mieux cerner les risques que présente le changement climatique induit par l'activité humaine, ses conséquences effectives ou à prévoir, et les options envisageables pour s'y adapter et en atténuer les effets.

5.3.8 Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)

La Convention a été adoptée le 9 mai 1992 à New York et signée en 1992 lors du sommet de la terre à Rio de Janeiro par plus de 150 pays y compris la Communauté Européenne (CE). Son objectif ultime est de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». Elle contient des engagements pour toutes les parties. Conformément à la Convention, les pays signataires visaient à ramener les émissions de gaz à effet de serre non réglementées par le Protocole de Montréal à leurs niveaux de 1990 à l'an 2000. La Convention est entrée en vigueur en mars 1994.

5.3.9 Gaz à effet de serre (GES)

Les gaz à effet de serre sont des composants gazeux de l'atmosphère, naturels et d'origine humaine qui absorbent efficacement le rayonnement infrarouge, émis par la surface de la terre, l'atmosphère et les nuages. Le rayonnement atmosphérique est émis dans tous les sens et notamment vers la surface de la terre. Par conséquent, ces gaz retiennent la chaleur dans le système surface-troposphère, un phénomène intitulé « effet de serre naturel ».

La vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), l'oxyde nitreux (N₂O), le méthane (CH₄) et l'ozone (O₃) sont les principaux gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère terrestre.

Les GES résultant uniquement des activités humaines, sont les hydrocarbures halogénés et autres substances contenant du chlore et du brome, dont traite le Protocole de Montréal en plus d'autres gaz à effet de serre tels que l'hexafluorure de soufre (SF₆), les hydrofluorocarbures (HFC) et les hydrocarbures per fluorés (PFC).

5.3.10 Phénomène climatique extrême

Le phénomène climatique extrême est un phénomène qui est rare dans le cadre de sa distribution de référence statistique à un endroit spécifique. Les définitions de « rare » varient, mais un phénomène climatique extrême serait normalement aussi rare ou plus rare que le 10^e ou 90^e percentile. Aussi, les caractéristiques d'un extrême climatique peuvent varier selon les endroits. Un phénomène climatique extrême est une moyenne d'un nombre de phénomènes climatiques pendant un certain temps, une moyenne elle-même extrême.

5.3.11 Couche d'ozone

L'ozone (O₃) est un constituant gazeux de l'atmosphère qui se forme naturellement, mais aussi par suite de réactions photochimiques faisant intervenir des gaz dus à l'activité humaine. La stratosphère contient une couche, dite couche d'ozone, dans laquelle la concentration de l'ozone est la plus élevée. Cette couche s'étend sur environ 12 à 40km. La concentration d'ozone est maximale entre 20 et 25km environ. Cette couche est appauvrie par des émissions anthropiques de composés à base de chlore et de brome. Chaque année, au cours du printemps dans l'hémisphère austral, un appauvrissement très important de la couche d'ozone se produit au-dessus de l'Antarctique, dû lui aussi à des émissions de composés industriels à base de chlore et de brome alliées à des conditions météorologiques particulières à cette région.

5.3.12 Système climatique

Le système climatique est un système extrêmement complexe comprenant cinq grands éléments (l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, les terres émergées et la biosphère) et qui résulte de leurs interactions. Ce système évolue avec le temps

sous l'effet de sa propre dynamique interne et en raison des forçages externes tels que les éruptions volcaniques, les variations de l'activité solaire ou les forçages anthropiques (par exemple les variations de la composition de l'atmosphère ou les changements d'affectation des terres).

5.3.13 Bassin versant

Le bassin versant correspond au territoire sur lequel l'ensemble des eaux (cours d'eau, ruissellement) s'écoulent et finissent par rejoindre un plan d'eau (zone la plus basse du territoire). Son contour est délimité par la ligne de partage des eaux qui passe par les points les plus élevés et détermine la direction de l'écoulement des eaux de surface. Le bassin versant est un écosystème qui inclut autant les eaux de surface (lac, cours d'eau, milieu humide) que les eaux souterraines. Il constitue donc la meilleure entité pour comprendre une gestion globale et intégrée de l'eau. (<http://www.rappel.gc.ca/bassin-versant.html>).

5.3.14 Perception

Selon le Larousse (2007), la perception est le fait de saisir un événement ou le déroulement d'un phénomène par le sens ou par l'esprit.

Percevoir la variabilité climatique c'est la saisir donc par l'esprit. La perception paysanne de la variabilité climatique s'entend donc comme la vision ou l'interprétation de ce phénomène par les populations, elle peut être définie comme la façon des paysans de comprendre, de représenter ou d'interpréter les variations du climat qu'ils observent (Yanogo, 2012).

Les concepts liés au changement climatique sont divers et complexes car ils renferment des notions relatives à plusieurs termes qu'il faut appréhender de façon globale et spécifique. Il en est de même pour ses manifestations qui doivent être analysées à différentes échelles de temps et d'espace. C'est ainsi que dans la gestion de l'eau, les adaptations mises en place par les acteurs sont fonction du niveau auquel nous nous trouvons.

Au niveau mondial des institutions sont créées pour faire face aux effets et aller contre les causes du phénomène par l'atténuation et l'adaptation. Le GIEC est une illustration qui met à la disposition du public des résultats assez fiables pour comprendre l'évolution du climat.

Il en est de même pour l'échelle continentale ou sous-régionale avec des regroupements institutionnels tels le CILSS, l'ACMAD et d'autres initiatives comme les PANA. Dans le domaine de la gestion de l'eau en agriculture, les pratiques tels que le développement des variétés plus tolérantes à la sécheresse, le raccourcissement du cycle végétatif, l'emploi des variétés précoces et le recours à la culture de décrue des bassins versants, le développement de l'agriculture irriguée par maîtrise de l'eau, le maraîchage, la culture sous serre, l'intensification agricole sont autant de pratiques qui sont développées.

Au plan national, cette organisation est faite autour du potentiel de ressources en eau de surface et souterraine disponible. Le MAHRH est l'organe central qui régule les activités hydrauliques à travers l'interdépendance qui existe entre la disponibilité en eau, les activités de développement en milieu rural, avec la pluie qui rend sensibles et précaires la préservation de l'environnement et les conditions de vie de nombreux groupes sociaux. Les régions du pays les plus affectées dans ce domaine par le changement climatique se situent dans la partie centrale (plateau central) couvrant le bassin hydrographique du Nakambé et dans la partie nord regroupant le bassin du fleuve Niger.

A l'échelle locale (bassin versant de Yakouta), des stratégies d'adaptation sont entreprises par les producteurs que nous tenterons de développer dans le chapitre sixième.

CHAPITRE SIXIEME : STRATEGIES ADAPTATIVES EN MATIERE DE GESTION DE L'EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE YAKOUTA

Au Sahel, la maîtrise de l'eau constitue un défi permanent pour les populations locales qui sont confrontées quotidiennement aux effets de la récession pluviométrique (Thioubou, 2001). Les agriculteurs y ont depuis longtemps adopté des pratiques aléatoires en vue d'adapter leur système de production aux aléas climatiques qui caractérisent leur milieu (Jouve, 1991). Le chapitre sixième répertorie les différents types de stratégies endogènes et exogènes dont les producteurs du bassin versant disposent en vue d'une utilisation efficiente de l'eau. Les principaux secteurs concernés sont les activités agricoles, pastorales et domestiques.

6.1 Pratiques et techniques agricoles

6.1.1 Techniques d'économie de l'eau à la parcelle

Les pratiques agricoles d'économie de l'eau sont toutes les formes d'utilisation des ressources en eau dans les champs agricoles au profit de la plante. Elles sont basées sur la manière d'exploitation des espaces de culture mais surtout les aménagements réalisés sur les parcelles de production et à cet effet, Balaghi et *al.* (2007) affirment qu'elles doivent passer par:

- la réduction des surfaces nues, exposées au dessèchement, par un couvert végétal qui permet de transformer l'eau de pluie en biomasse ;
- l'utilisation de variétés à faible consommation en eau et produisant le maximum par unité de pluie utilisée (précocité, résistance aux insectes et maladies, architecture de la plante) ;
- l'irrigation d'appoint qui apporte des quantités faibles d'eau aux stades sensibles du cycle de culture et permet à la plante de survivre durant les périodes de sécheresse.

Pour Koussoubé et *al.* (2009), ces initiatives, représentées par les techniques de conservation des eaux et des sols (CES) et des systèmes de cultures associées, constituent les nouvelles orientations du monde agricole dans son élan d'accroître les productions et de maintenir les écosystèmes surtout sahéliens déjà fragiles.

Dans le bassin versant de Yakouta, les principales techniques que nous avons recensées se résument à l'utilisation des espaces de culture mais surtout les aménagements, réalisés sur les parcelles, l'utilisation des variétés améliorées et la culture maraîchère.

6.1.1.1 Zones de culture pluviale

Les principales unités d'occupation rencontrées dans le bassin versant sont : Les steppes arborées, arbustives et herbeuses, les zones de cultures pluviales, les formations ripicoles, les zones dénudées et les plans d'eau. Les espaces cultivés représentent en 2011 32,31% soit 58738,02 hectares du bassin et confirment l'importance de l'agriculture pour les producteurs. Elle constitue en effet une activité capitale pour les producteurs du bassin versant de Yakouta. La figure 24 traduit l'évolution des superficies des différentes unités d'occupation qui s'est opérées entre 1986 et 2011. Son observation permet de tirer les conclusions suivantes :

La zone de culture, les plans d'eau, les steppes herbeuses et les zones dénudées sont des unités qui ont évoluées à la hausse de 1986 et 2011. Les autres formations au contraire (les formations ripicoles, les steppes arborées et les steppes arbustives) ont diminué en importance durant ladite période. La tendance est donc à la dégradation des terres avec la regression des « formations naturelles » au profit des zones anthropisées.

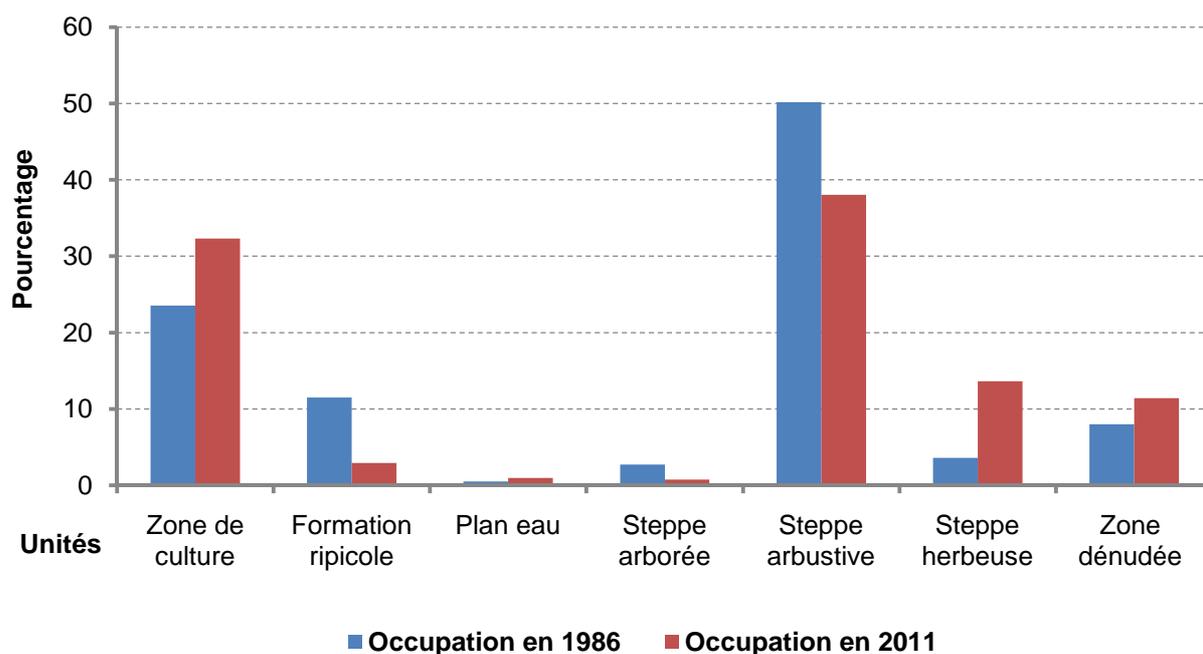
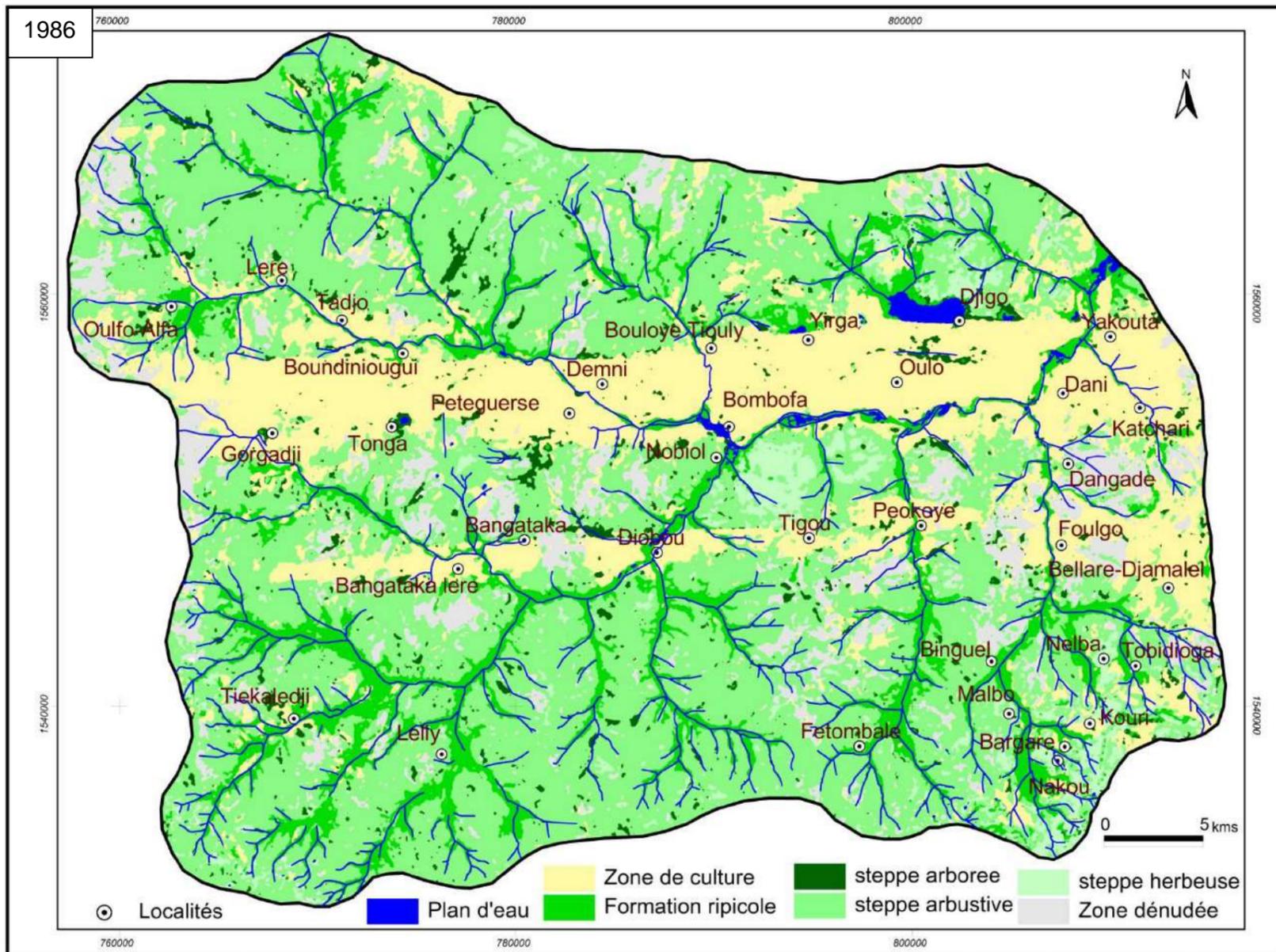


Figure 24 : Occupation des terres dans le bassin versant entre 1986 et 2011

On remarque surtout une augmentation des zones de cultures (de 23,55 à 32,31%), des steppes herbeuses et des zones nues au détriment des formations ripicoles (de 11,5 à 2,91%) et des steppes arbustives (de 50,17 à 38,03%). Il y a donc un changement de systèmes d'exploitation pour les producteurs qui colonisent les zones basses (bas-fonds) pour l'agriculture autrefois réservées au pâturage.

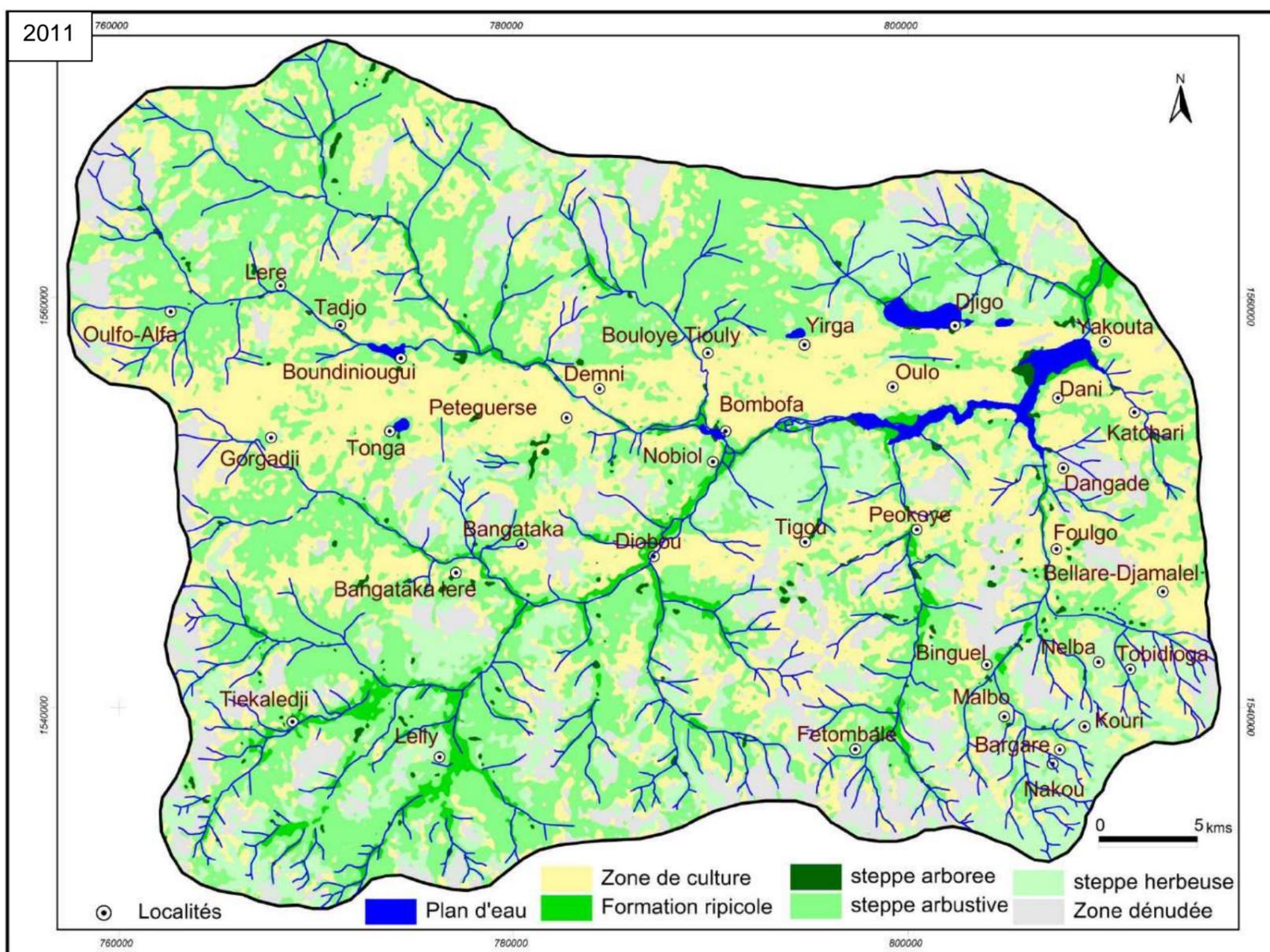
Cultiver la terre est une activité qui contribue à la gestion de l'eau. En effet quel que soit le système de culture mis en place (culture intensive ou extensive), les sols cultivés conservent mieux l'humidité que ceux qui ne le sont pas. Selon Maraux et *al.* (2007), il est bien établi que le labour favorise la circulation de l'eau dans le sol et, en particulier, l'accroissement de l'infiltration des pluies et de l'écoulement de l'eau saturante.

Sur la base de leurs connaissances, les producteurs de la zone sahéenne ont développé des stratégies d'occupation de l'espace qui tiennent compte du comportement et du fonctionnement des milieux (Poda, 1995 cité par Thiombiano 2000). Face aux conditions climatiques difficiles, les producteurs colonisent de préférence les terres favorables aux activités de production pour leur survie. Ainsi en se référant aux cartes d'occupation des terres de 1986 et 2011 de la figure 25, on constate que toutes les dunes sont totalement exploitées. Au nombre de trois, ce sont les zones de prédilection pour l'agriculture. La plus importante se situe au centre du bassin versant et s'étend du village de Yakouta jusqu'à Gorgadji. La deuxième, discontinue et moins importante, se situe au sud, du village de Foulgo à l'est jusqu'à Bangataka à l'ouest. La troisième dune se situe à l'extrême nord-ouest, au-delà du village de Léré.



Source: LANDSAT ETM+, 27 janvier 1986

OUEDRAOGO L. février 2012



Source: LANDSAT TM, 1er février 2011

OUEDRAOGO L., juillet 2011

Figure 25: Cartes d'occupation des terres du bassin versant de Yakouta, 1986 et 2011

Ces trois zones constituées de lignes d'amas de sable (ergs anciens et récents), apparaissent comme celles qui regorgent de potentialités agricoles. Plus de la moitié des villages (20 villages sur 35) sont situés sur ces ergs anciens. Dans la réalité, ces zones seraient occupées parce qu'elles sont caractérisées par des sols sableux, faciles à travailler. La *hiler*, instrument principal de travail dans ces zones sableuses permet de sarcler le sol (figure 26a), de débarrasser les plants des mauvaises herbes et de favoriser l'infiltration de l'eau de pluie. Selon Raulin (1984) cité par Thiombiano (2000), l'utilisation de la *hiler*, instrument aratoire datant de la fin du premier millénaire favorise le labour superficiel sur une épaisseur de 5 cm et assure une facile perturbation de la structure du sol tout en permettant la destruction des pellicules plasmiques superficielles. Cette technique fait accroître le taux d'infiltration de l'eau dans le sol.

Pour le travail des zones non sableuses (sud et nord de la zone), la *daba* est l'instrument de culture utilisé (figure 26b). Elle est le seul instrument traditionnel adapté au travail de ces types de sols car, comme le précise Thiombiano (2000), l'accroissement de la rugosité du sol semble être une préoccupation constante des paysans en milieu cultivé.



Figure 26 : a = Sarclage avec l'*hiler*, b = billonnage avec la *daba*

C'est le seul outil traditionnel disponible pour arriver à cette fin. Comme Zougmoré et al. (2003) les ont notées, les mesures de ruissellement réalisées pendant trois années ont donné les résultats suivants : après le travail du sol (labour, grattage manuel), le ruissellement n'a lieu qu'après un cumul de pluie de l'ordre de 60 mm. Les meilleures conditions d'infiltration du sol créées par cette intervention expliquent que le sol absorbe toute la quantité d'eau des deux ou trois premières pluies.

Le positionnement des villages à proximité des plans et cours d'eau principaux fait partie des stratégies d'adaptation. La plupart des villages (22 villages sur 35) sont situés à moins d'un kilomètre des sources d'eau. Les producteurs sont, d'une manière ou d'une autre, conscients des difficultés auxquelles ils doivent faire face pour assurer leur existence. Ils le traduisent donc par le choix judicieux des terres cultivables, les types de matériel qui conviennent et leurs positionnements par rapport aux principaux cours d'eau.

En dehors de ces initiatives, d'autres stratégies sont développées pour parer aux adversités de la nature. Il s'agit de la pratique du *zai*, des cordons pierreux, des bandes enherbées, le paillage ou branchage et la fumure organique qui constituent des aménagements réalisés aux champs. Les tableaux qui suivront permettront une meilleure illustration de ces pratiques. Pour les tableaux 14, 16, 17, 22 et 23, le total des choix est toujours égal à 100% (322 ménages) car nous n'avons laissé au paysan le choix que d'une seule réponse, correspondant à sa pratique la plus fréquente, même s'il en pratique plusieurs.

Tableau 14: Pratiques d'économie de l'eau dans le bassin versant, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête

Pratiques d'économie de l'eau	Répondus	Pourcentages
Fumure organique	110	34
Diguettes ou cordons pierreux	50	15,5
Paillage et ou Branchage	53	16,5
<i>Zai</i>	15	4,6
Bandes enherbées	40	12,4
Sans réponse	55	17
Total	322	100

Source : Enquêtes de terrain, avril 2010

6.1.1.2 Aménagements aux champs

L'eau, en tant que facteur de développement local, revêt une importance capitale pour les producteurs. La bonne utilisation de la ressource en eau participe de l'amélioration des conditions sanitaires, du développement économique et social. Unaniment, les producteurs sont convaincus que l'agriculture de vie ou de survie passe par une bonne gestion de l'eau. C'est pourquoi, ils appliquent des techniques culturelles innovantes dont les plus visibles sur le terrain sont : le *zai*, les cordons pierreux, les bandes enherbées, le paillage, les billons, la fumure organique.

a. Pratique du *zaï*

Le *zaï* est une méthode traditionnelle de restauration des sols dans des zones à pluviométrie déficitaire. En langue locale moré, *zaï* veut dire « se lever tôt pour préparer sa terre de façon précoce ». Il consiste à faire de poquets sur le sol (plus ou moins dégradés) et les remplir de la fumure organique avant la saison pluvieuse (figure 27). Ainsi, on récupère des terres arides, dégradées, dénudées, décapées et encroûtées où plus de 80 % de l'eau de pluie tombée ruisselle.



Préparation d'un champ avec du *zaï*

Un champ de sorgho en *zaï*

Figure 27 : Mise en place du *zaï* dans le village de Léré

Une étude menée en zone de culture pluviale au Niger sur les *tassa* (l'équivalent du *zaï* au Burkina Faso) par Bouzou et Lamso (2004) est arrivée à des résultats concluants. Elle a démontré que dans un contexte de faible pluviométrie et de sol de faible productivité, les *tassa* sont des techniques bien adaptées qui permettent de réduire le ruissellement, donc d'économiser de l'eau. Ils permettent aussi d'éviter les pertes en terre et d'assurer une bonne production agricole. Par rapport à la technique traditionnelle, le ruissellement et l'érosion sont réduits 10 fois ; la production en grain passe de 420 kg/ha sur le témoin à 1149 kg/ha sur le *tassa*.

A Yakouta, la pratique de cette technique est estimée à 4,66% environ au sein des producteurs du bassin versant. Elle est très faible et son impact peu visible sur le terrain. Elle ne semble pas faire partie des habitudes de la population. Par ailleurs, types de sols cultivés (généralement sableux) ne sont pas très adaptés à cette technique culturale. En effet, les rares cas de *zaï* rencontrés se situent sur des sols

argileux ou gravillonnaire) alors que la plupart des producteurs exploitent sur les ergs anciens.

b. Mise en place de diguettes et cordons pierreux

Les diguettes en terre sont des ouvrages (bande de terre surélevée) imperméables, qui retiennent toute l'eau et favorisent son infiltration maximale. Compte tenu de leur moindre efficacité, les diguettes en terre ne sont utilisées que lorsque les conditions ne permettent pas de réaliser les ouvrages en pierres. Ce sont les cordons pierreux (figure 28) qui, à la différence des diguettes en terre bloquent la lame d'eau ruisselée et constitue des obstacles filtrants qui ralentissent la vitesse de ruissellement. Ils sont constitués de blocs de pierres ou de cuirasses colmatés avec de la terre. Ils permettent la sédimentation et le dépôt des particules (sables, mais aussi la terre fine, la matière organique) en amont de la diguette et une augmentation de l'infiltration des eaux ruisselantes. Dans la zone d'action du programme Conservation de Eau et des Sols et d'Agroforesterie (CES/AGF) du plateau central au Burkina, l'utilisation des cordons pierreux ont induit une augmentation des rendements de 23% pour le sorgho blanc et 15% pour le sorgho rouge dans les champs de case ou de village. Cette augmentation est de 28% pour le sorgho blanc dans les champs de brousse (Bélemviré et *al.* 2008 et Traoré et *al.* 2008). Kini (2007) quant à lui souligne que les tests de mesure d'amélioration des rendements pour les aménagements de type cordons pierreux ont révélé des gains de l'ordre de 100 kg/ha pour le sorgho et le mil. Les cordons sont généralement réalisés à l'échelle du champ individuel ou d'une portion de terroir, sur les versants ou les flancs de colline. Un inventaire des ouvrages d'économie de l'eau a été réalisé dans le bassin versant, il a été noté que 13 villages disposent de cordons pierreux. La superficie totale de ces investissements est estimée à environ 655 hectares sur 22181 hectares (tout aménagement confondu) correspondant à un pourcentage de 3,1%.



Figure 28: Mise en place de cordons pierreux à Léré

La pratique des cordons pierreux n'est pas très développée dans le bassin versant car 15,53% seulement des populations sont concernées. Dans le plateau central par contre, le taux d'adoption des cordons pierreux par les producteurs est compris entre 80 et 90% (Ouédraogo et *al.* 2006 cités par Kini, 2007). Les raisons évoquées sont la non disponibilité des matériaux et l'inadaptation des sols (sols sableux).

c. Mise en place des bandes enherbées

Les bandes enherbées sont des aménagements qui consistent à laisser pousser l'herbe en bande d'une largeur allant de un à deux mètres autour de la parcelle ou du champ à cultiver comme le montre la figure 29.

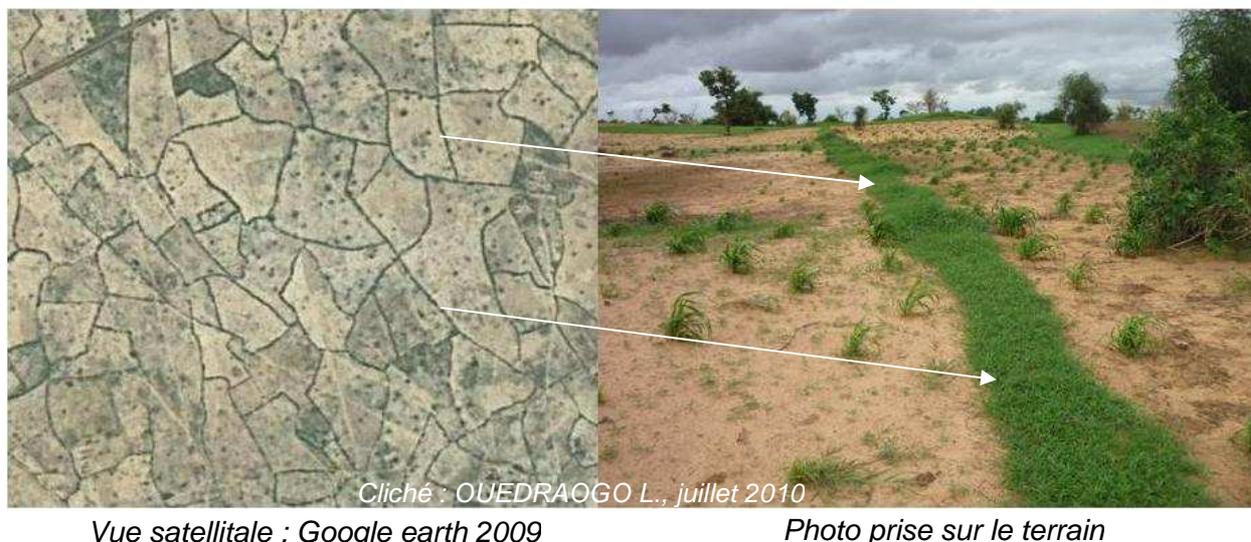


Figure 29: Disposition de bandes enherbées à Djigo

Des dires des producteurs, elles servent beaucoup à délimiter les champs entre les propriétaires ou entre les propriétés familiales atténuant par conséquent les conflits fonciers. Mais pour Kessler et Boni (1991) cités par CAPES (2006), les bandes qu'on peut souvent observer comme limitation des champs servent elles-mêmes de structures antiérosives. Elles permettent de freiner les eaux de ruissellement et de favoriser leur infiltration. Bouzou (1988) souligne que sur une parcelle traitée avec des cordons de pierres associées aux bandes alternées de niébé, le ruissellement et l'érosion sont bien inférieurs (4,2 à 5,2%) que sur la jachère (13,7 à 31,4%).

Dans la zone d'étude, cette pratique est très répandue et perceptible par télédétection (figure 29). Elle occupe une superficie estimée à 290 km² (16% de la zone d'étude), mais elle n'a été signalée que par une infime partie (seulement 12,42% en se référant à la figure 30) des producteurs lors de nos investigations. Nous la retrouvons surtout sur les ergs (sols sableux).

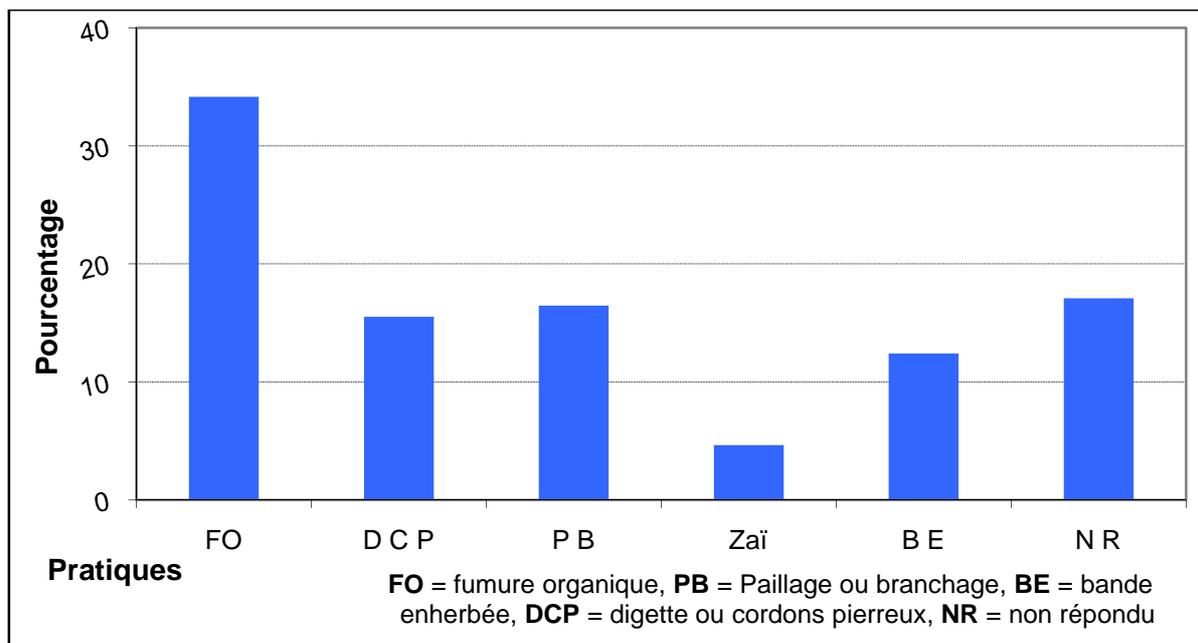


Figure 30: Répartition des pratiques d'économie de l'eau

d. Paillage et branchage

Cette pratique consiste à étaler de la paille, des tiges de cultures ou des branchages d'arbres pour conserver l'humidité du sol. Elle a été nommée « *mulch* » par Boufaroua (non daté) au Maghreb (Tunisie). Selon Morton (1985) cité par Thiombiano (2000), les résidus de récolte (tiges, souches) et les produits d'émondage (branche de *Faidherbia albida*) épandues contribuent à des degrés divers à la protection des sols contre l'ensoleillement, à la réduction des effets splash, à la réduction du ruissellement et de la déflation éolienne. Ils contribuent à stimuler l'activité des termites qui vont casser la croûte superficielle du sol en creusant des galeries sous les paillis. Il en résulte un ameublissement du sol et une augmentation de sa porosité qui permettent une meilleure infiltration de l'eau. Ambouta et al. (2000) montrent qu'au Niger, sur une parcelle traitée avec le paillage le ruissellement et l'érosion ont été nuls la première année et que l'année suivante, le coefficient de ruissellement annuel moyen n'a atteint que 15,4% et l'érosion 0,018 t/ha. Au Burkina, Mando (1997) souligne le rôle très important des termites et du *mulch* sur la réhabilitation des sols encroûtés. Le paillage fait partie des formes qui limitent les effets des caprices climatiques sur le sol. Selon les résultats de nos enquêtes, 16,46% de l'échantillon font du paillage une stratégie pertinente face à l'évaporation, aux fortes températures et à l'irrégularité des pluies.

e. Billons

Le billonnage, technique couramment employée sur plusieurs cultures, semble bénéfique. Les résultats obtenus sur des parcelles en billons, surtout sur les sols limoneux, montrent une réduction significative de l'érosion et du ruissellement. Le relief formé diminue significativement le ruissellement : il permet de piéger l'eau et d'augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol (Mazour et *al.* 2006). De même, Karimou Ambouta et Bouzou Moussa (2004) ont observé qu'en plus de l'accroissement de la rugosité de surface générée, qui augmente du même coup la rétention de l'eau en surface après la pluie, l'ensemble de la couche travaillée a développé une cohésion plus faible. Elle présente un aspect plus grumeleux, signe d'une amélioration de la structure de la couche de surface qui a été probablement à l'origine de la reprise de la végétation herbacée naturelle.

Les billons font partie des techniques que les populations utilisent en vue d'assurer le maximum d'eau aux cultures. A Yakouta les billons (figure 31) se réalisent vers la fin de la saison pluvieuse (septembre), durant le dernier labour pour permettre aux plantes de bénéficier des dernières pluies. Ils sont pratiqués sur les sols en général lourds ou semi-lourds situés dans les zones interdunaires et birrimiennes.

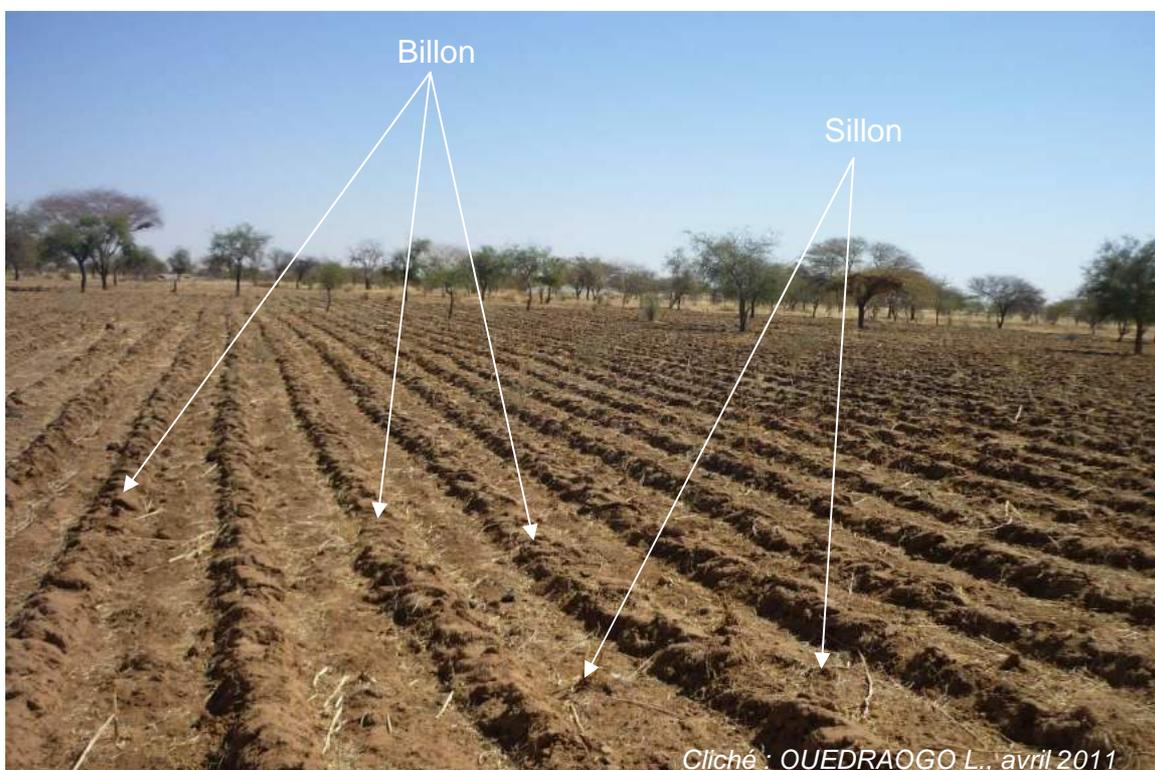


Figure 31 : Disposition de billon dans un champ de sorgho à Gorgadji

6.1.1.3 Cultures maraîchères

Les cultures maraîchères (figure 32) sont très peu développées dans le bassin versant nonobstant l'existence des potentialités des ressources en eau. Les deux barrages de Yakouta et de Bouniougui ne tarissent pas mais il n'y a pas suffisamment d'aménagements réalisés pour accueillir les producteurs désireux de se consacrer au maraichage. Seuls dix (10) hectares sont aménagés et exploités timidement en aval du barrage de Bouniougui. En amont de celui de Yakouta, dans le village de Oulo, 35 hectares sont aménagés par le MAH pour la production des semences de pomme de terre et de l'oignon.

Les producteurs qui s'intéressent à cette activité représentent 31% de notre échantillon et colonisent les abords de ces principales retenues d'eau. Le barrage de Yakouta est leur principale source pour la culture maraîchère ; 80% des producteurs de l'échantillon l'ont affirmé. Les autres l'exercent autour des *bouli*, des puisards, des marigots etc. Un inventaire réalisé en avril-mai 2010 a recensé 45 jardins d'une superficie allant de 0,017 à 9,92 hectares, soit une moyenne de 1,96 hectare par exploitation maraîchère. La superficie totale est de 98,45 hectares en dehors des aménagements réalisés par les services techniques qui font 45,79 hectares.

Hormis quelques jardins tenus par des femmes (26,7% des maraîchers), la majorité des cultures (73,3%) est pratiquée par des hommes. C'est une activité de subsistance pour la majorité d'entre eux et de complément de la pitance quotidienne (condiments par exemple). De nos investigations, nous relevons que 54,5% des maraîchers l'exercent pour des besoins familiaux et 18% pour des besoins commerciaux.

L'utilisation de l'eau pour le maraichage est liée à sa disponibilité. Plus elle est disponible en quantité suffisante, plus sa valorisation est une réalité à travers sa gestion. Les résultats de nos enquêtes nous le confirment avec 38,6% et 46,5% de producteurs maraîchers respectivement à Oulo et à Yakouta (localités situés à moins de deux kilomètres du barrage principal). Par contre, pour les sites de Léré et de Nakou (localités à plus de cinq kilomètres), il y a respectivement 12,9% et 2% des producteurs qui en font une préoccupation. L'eau, denrée très précieuse y est peu disponible pour la consommation humaine et animale à certaine période de l'année. Ce constat est aussi valable pour la localisation des jardins maraîchers. En effet les plus grandes parcelles se retrouvent autour du barrage de Yakouta et de Bouniougui. Elles peuvent atteindre par endroit plusieurs hectares contre de petites superficies

autour des bas-fonds où l'eau est retenue pendant quelques temps après la saison des pluies. Les cultures maraîchères pratiquées dans le bassin versant concernent des tubercules (manioc, patate, pomme de terre etc.), les céréales (maïs, haricot vert etc.) et les légumes (chou, tomate, aubergines, oignon, salade, concombre, courge, gombo, pastèque, oseille etc.).

Parcelle de maïs



Cliché : OUEDRAOGO L, avril 2010

Prise d'eau par canalisation



Cliché : OUEDRAOGO L, mai 2010

Parcelle de pomme de terre



Cliché : OUEDRAOGO L, mai 2010

Prise d'eau par pompage



Cliché : OUEDRAOGO L, mai 2010

Figure 32 : Systèmes de production maraîchère dans le bassin versant

L'importance du nombre de parcelles par type de culture est à hauteur de 67,7% pour le manioc et 62,5% pour niébé comme l'indique le tableau 15. Ces deux cultures, très peu exigeantes en eau n'ont pas besoin d'un arrosage systématique tous les jours. Adaptées à ces milieux climatiques, elles sont pratiquées par les autochtones.

Tableau 15 : Cultures maraîchères selon le nombre de producteurs impliqués

Cultures	Pourcentage
Manioc	67,7
Niébé	62,5
Gombo	60,4
Pomme de terre	57,3
Piment	54,2
Autres	49
Aubergine	35,4
Oignons	19,8
Oseille	13,5
Salades	9,4
Tomate	8,3
Choux	4,2

Source : Enquêtes de terrain, avril 2010

Mais les statistiques peuvent cacher des réalités. Un grand nombre de producteurs pratiquent les cultures de manioc (67,7%) et de niébé (62,5%) notamment sur de petites parcelles autour des retenues d'eau. Cependant, les cultures de choux, tomate, oignons occupent les producteurs avec les proportions respectives de 4,2%, 8,3% et 19,8% sur de grandes superficies. La répartition des producteurs est donc inversement proportionnelle aux superficies des parcelles exploitées.

Les cultures maraîchères sont pour les autochtones, des activités secondaires mais elles permettent à ceux qui les exercent non seulement d'occuper leurs temps durant la saison sèche mais d'avoir un peu de moyens pour subvenir à leurs besoins avant la reprise de la prochaine saison pluvieuse. Ils exploitent de petits lopins de terres avec des superficies inférieures à 1 ha. La figure 30 indique les systèmes d'irrigation rencontrés dans le bassin versant. Il y a le système traditionnel est fait à l'aide d'arrosoirs manuels par les petits producteurs, en général les femmes. Une canalisation conduit l'eau le plus proche possible de la parcelle et facilite son irrigation.

Pour les migrants, principalement les *Mossé*, les *Dafin*, les *Samo* et les *bissa*, les cultures maraîchères constituent une entreprise. Ils occupent les plus grandes parcelles et emploient une main d'œuvre importante. Leur système d'irrigation est motorisé avec des canalisations (canaux primaires et secondaires) permettant la conduite de l'eau jusqu'à la planche. Les activités sont menées au cours de sept mois au moins (de novembre à mai) sur des propriétés privées. En effet, ils pratiquent ces cultures maraichères sur des terrains achetés auprès des

propriétaires fonciers. La valeur d'un hectare de terrain de nos jours est de l'ordre de 300 000 FCFA. Mais les exploitants tirent profit de leurs cultures en rentabilisant leurs productions. Les principaux débouchés sont le marché provincial de Dori (choux, carottes, courges, aubergines, oseille etc.) et surtout les marchés extérieurs comme le Ghana, la Côte d'Ivoire et le Bénin (tomate et oignons). Aussi des stratégies sont adoptées par les maraîchers en vue d'optimiser la gestion de l'eau à la planche. Les principales initiatives sont répertoriées dans le tableau 16.

Tableau 16 : Stratégie d'optimisation de l'utilisation de l'eau à la planche, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête

Stratégies	Pourcentage
Fumure organique (binage)	19,6
Irrigation (ouverture de canaux)	17,4
Binage (labour à plat)	10,9
Binage, fumure organique, arrosage, engrais minéral	28,2
Binage/Sillons et fumure organique	10,9
Fumure organique, fumure minérale et binage	13,0

Source : Enquêtes de terrain, avril 2010

La culture maraîchère est donc une forme pour les producteurs de s'adapter à la variabilité climatique. Le prélèvement de l'eau d'irrigation est appréciable mais le système d'exploitation est tel qu'il est difficile de quantifier l'eau destinée au maraîchage. Pour les producteurs autochtones, Il faut utiliser le peu d'eau offerte par la nature pendant la saison pluvieuse pour se faire des revenus en saison sèche. Cette activité leur permet une non-dépendance totale à leur production pluviale au cours de la période sèche. Ceci est d'autant plus vrai pour les petits exploitants mais surtout pour les plus grands qui se font de bonnes affaires.

6.1.2 Stratégies dans l'utilisation des cultures

Les cultures pratiquées dans le bassin versant sont essentiellement les céréales telles que le mil (*Pennisetum typhoides*) et le sorgho (*Sorghum bicolor*). Les autres spéculations, de moindre importance, sont le haricot ou niébé (*Vigna unguiculata*),

l'arachide (*Arachis hypogaea*), le sésame, le voandzou, le maïs (*Zea mays*) etc. Les producteurs acquièrent les semences de diverses manières (tableau 17).

Tableau 17 : Mode d'acquisition des variétés, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête

Type d'acquisition	Pourcentage	Effectifs
Don	31	9,7
Achat	83	25,6
Echange	4	1,3
Héritage	204	63,4
Total	322	100

Source : Enquête de terrain, 2010

Le mil, céréale la plus cultivée, convient aux habitudes alimentaires et aux types de sols du bassin versant, et partant de toute la région. Les dunes sont occupées pour la culture de cette céréale non exigeante en eau dont le cycle est relativement plus court que le sorgho.

Les autres céréales, comme le sorgho, sont cultivées sur les autres types de sols qui répondent mieux à leurs cycles végétatifs. Dans la pratique, il est rare de retrouver les champs en cultures pures. Les cultures sont généralement en association (63,5% des producteurs) comme présentées dans le tableau 18.

Tableau 18 : Variétés locales associées

Variétés	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Mil/Niébé,	195	60,6	60,6
Sorgho/Niébé	58	18,0	78,6
Mil/Sorgho/Sésame	12	3,7	82,3
Sans réponses	57	17,7	100
Total	322	100	

Source : Enquête de terrain, 2010

L'association la plus pratiquée est une céréale avec une légumineuse : mil/niébé ou sésame ou sorgho/niébé ou sésame. Cette stratégie se justifie car Gandah (1991) affirmait que des données récentes concernant le mil et l'association mil/niébé montrent que l'efficacité de l'eau est améliorée dans le cas de l'association par rapport à celle de la culture pure. Quant à Nouri et Reddy (1991) qui ont entrepris

des études en station, ils sont arrivés à la conclusion que l'association du mil avec le niébé a donné une production supérieure de 20 à 40% par rapport aux cultures pures. L'efficacité d'utilisation d'eau était 36% supérieure à celle du système pur du mil. Des études conduites par Zougmore et *al.* (2003) ont permis de conclure que l'association culturale sorgho–niébé est une méthode efficace contre le ruissellement et l'érosion au niveau de la petite échelle. La production s'est avérée également intéressante ($>1 \text{ t ha}^{-1}$ de grains), ce qui constitue un atout certain pour une large utilisation de cette technique. D'autres recherches menées par Lawané et *al.* (2009) au Tchad, Traoré et *al.* (2010) sont arrivées à des conclusions similaires.

Les producteurs ont donc une bonne connaissance de leur milieu dans lequel ils tirent leur production de subsistance. Les stratégies mises en place répondent à des circonstances données (sécheresse, inondations etc.) et sont transmises de génération en génération au fil du temps. Ils sont d'avis que les variétés locales ne sont pas toujours adaptées aux conditions actuelles (85,7%) de pluviométrie car 70,2% des enquêtés affirment que la saison des pluies, se raccourcit de plus en plus et les poches de sécheresse sont fréquentes. Mais la proportion de producteurs qui s'intéressent aux variétés améliorées n'est pas très importante. Seulement 20,8% de notre échantillon en utilisent non pas spécifiquement pour une seule variété mais dans des combinaisons diverses comme indiquées au tableau 19. Leur logique rejoint Dansi *et al.* (1997) cités par Baco et *al.* (2007) qui ont montré que l'association de variétés à précocité différente permet aux paysans un échelonnement de la récolte dans le temps et donc de disposer d'un stock vivrier jusqu'à la nouvelle récolte. La pratique de la culture polyvariétale donne aux paysans la capacité de gérer les incertitudes et les risques en sélectionnant les variétés qui répondent mieux à leurs objectifs. Le constat révèle que les producteurs lient les variétés plus aux types de cultures (mil, sorgho etc.) et non à leurs dénominations scientifiques.

Tableau 19: Principales variétés améliorées associées

Variétés	Effectifs	Proportions
Mil/niébé/sorgho	22	6,9
Mil/niébé	20	6,2
Mil/niébé/sorgho/sésame	13	4,0
Mil/sorgho	12	3,7
Sans réponses	255	79,2
Total	322	100

Source : Enquête de terrain, 2010

De manière générale, les variétés de cultures sont choisies et sélectionnées en fonction de leur précocité, leur goût et leur adaptation aux conditions bioclimatiques de la zone.

6.2 Pratiques et techniques d'élevage

6.2.1 Fondements de l'adaptation des activités pastorales

En plus de l'importance de l'agriculture, le bassin versant présente une forte composante pastorale associée à des activités secondaires à telle enseigne que les résultats de nos investigations donnent des proportions qu'illustre le tableau 20.

Tableau 20 : Répartition des producteurs selon le type d'activité

Activités	Effectifs	Pourcentages	% cumulé
Agriculture et élevage	261	80,9	80,9
Agriculture, élevage et commerce	26	8,1	89
Agriculture, élevage et artisanat	15	4,7	93,7
Elevage, artisanat, commerce et autres	5	1,6	95,3
Agriculture, artisanat et autres	9	2,8	98,1
Agriculture, élevage et confection de briques	6	1,9	100
Total	322	100	

Source : Enquêtes de terrain, avril 2010

A partir de ce tableau, nous constatons que la composante agriculture/élevage occupe la grande majorité avec 81% de l'échantillon soit 261 personnes sur 322.

Alors, chaque activité est toujours couplée à une autre. Cette pratique est l'une des formes pour les producteurs de pouvoir faire face aux conditions précaires d'instabilité pluviométrique.

Pendant la saison pluvieuse, le bétail est conduit loin des habitations, dans les zones de pâturage abondant pour libérer les zones agricoles au profit de l'agriculture. Le phénomène contraire se produit en saison sèche. Les champs et les pourtours des points d'eau deviennent des espaces propices de pâturage pour le bétail (à cause de la présence d'eau et de résidus de récolte). Le succès de l'élevage dépend alors de l'équilibre optimal entre les pâturages, le bétail et les populations dans ces milieux variables et incertains.

Le système d'élevage rencontré sur le site est de type extensif selon 78% de l'échantillon. Le fondement de cette activité dans le bassin versant de Yakouta et dans les zones d'élevage en général est l'eau d'une part et le pâturage d'autre part. Les éleveurs occupent généralement des espaces où les ressources naturelles sont rares. Là, les conditions climatiques extrêmes limitent les options pour une utilisation optimale des terres, voire l'adoption d'autres modes de vie qui sont de ce fait liés aux aléas de la nature, au climat. Il leur faut développer donc des initiatives pour gérer ces ressources souvent presque inexistantes.

6.2.2 Adaptation des systèmes pastoraux

Pendant la saison des pluies les ressources sont abondantes et l'équation de survie ne se pose pas. Le bétail, durant cinq mois au moins, (de juin à octobre), dispose aisément d'eau et de pâturage. Le caractère agropastoral du milieu exige une surveillance accrue du bétail par les bergers pour éviter les dégâts dans les champs. Du reste, des dires des producteurs de la zone, cette disposition met les champs à l'abri des dégâts. A la fin de la saison des pluies, les stratégies sont diversifiées. Toutes concourent à préparer du fourrage pour la saison sèche. Il s'agit de la collecte des résidus de récoltes (feuille de d'arachides, tiges de mil ou de sorgho etc.) ou de l'herbe récoltée dans la nature illustrée dans la figure 33.



Figure 33 : Fourrage en stock (résidus de récolte et d'herbe)

Une autre stratégie consiste à mettre en place des sites antiérosifs pour le développement du pâturage. Selon Ganaba (2005), les aménagements de demi-lunes, de cordons pierreux, les digues filtrantes, le sous-solage et le scarifiage ont eu un impact positif sur la reconstitution de la végétation herbacée et ligneuse. *Cassia obtusifolia* colonise les micro-bassins des demi-lunes, les abords immédiats des cordons pierreux et des digues filtrantes et concurrence les autres plantes notamment les ligneux. Dans plusieurs villages, des espaces dégradés, en général des zones de pâture ont reçu des aménagements, surtout des cordons pierreux. Nous en trouvons 5,28 ha à Yakouta, 197,65 ha à Oulfo-Alfa, 39,61 ha à Oulo, etc. Ces aménagements favorisent également l'apparition et le développement d'une végétation pérenne de *Acacia nilotica*, *Acacia tortilis*, *Balanites aegyptiaca*, *Leptadenia hastata*, *Ziziphus mauritiana* (Ganaba, 2005). Ces espèces sont pour la plupart, des plantes fourragères et à usage multiple, toute chose qui concourt à alimenter le bétail.

Pendant la saison sèche le problème est vécu autrement. L'eau et le pâturage deviennent rares et précieux. Le bétail doit endurer la faim et la soif pendant au moins sept mois (novembre à mai). Comme l'illustre le tableau 21, la gestion du bétail est fonction des propriétaires mais les formes fondamentales rencontrées sont la divagation, la conduite au pâturage et la stabulation ou une combinaison de l'une et l'autre des trois formes.

Tableau 21 : Principaux modes de gestion du bétail

Types de gestion	Effectifs	Pourcentages
Abreuvement, Divagation et Complémentation	123	38,20
Conduite au pâturage, Complémentation	141	43,79
Divagation, Complémentation	50	15,53
Stabulation	8	2,48
Total	322	100

Source : Enquêtes de terrain, avril 2010

Des adaptations sont nécessaires aux producteurs qui développent toujours des stratégies dans le sens de mobiliser les deux ressources : l'eau et le pâturage. Les bergers, à titre illustratif, deviennent beaucoup plus mobiles qu'ils ne l'étaient pendant en saison des pluies. Il faut aller à la recherche de l'une et l'autre de ces ressources car les deux se complètent. Comme le soulignent Nori et *al.* (2008), la mobilité est une nécessité écologique et économique. Elle offre la meilleure stratégie pour gérer une faible productivité nette, le caractère imprévisible et le risque associés aux zones arides et semi-arides. Le bétail, dans tous les cas, a une grande disponibilité à chercher le pâturage naturel en dehors de la conduite habituelle. A la limite, tout ce qui est verdure à cette période est consommé hormis les plantes toxiques.

S'agissant de l'eau, une véritable compétition existe entre le bétail et les hommes. Dans le bassin versant, les principaux éléments d'adaptation rencontrés sont les suivants : Les plans d'eau, les points d'eau et les puisards comme indiqué dans le tableau 22.

Tableau 22 : Sources d'abreuvement du bétail, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête

Sources	fréquences	Pourcentage
Retenue d'eau	168	52,1
Forage	16	5,0
Puits	24	7,5
Puisards	46	14,3
Retenue/Forage	22	6,8
Autres (bas-fond, ruisseaux)	46	14,3
Total	322	100

Source : Enquêtes de terrain, avril 2010

6.2.2.1 Utilisation des plans d'eau

La colonisation des abords des plans d'eau tels les barrages, les *bouli* et des mares naturelles (figure 34) est une réalité. Les trois barrages de Yakouta, Bombofa et Bouniougui sont des sites d'accueil du bétail venant du bassin versant et d'ailleurs. Des trois, seul celui de Yakouta est pérenne et, à l'approche des saisons de pluie, il reçoit une certaine charge vu que c'est le seul repère pour tous les éleveurs. Les mares naturelles les plus importantes, au nombre de quatre, sont situés dans les villages de Djigo, Tila et Tonga. Les *bouli* sont aussi construits un peu partout dans les villages distants des plans d'eau pour faire face à la pénurie d'eau dès la fin de l'hivernage.



Figure 34: Abreuvement du bétail au barrage

6.2.2.2 Utilisation des points d'eau

Les abreuvements du bétail se font aussi autour des points d'eau à savoir les forages et les puits. En ces lieux, il y a une concurrence entre les hommes et le bétail (figure 35). Elle est très manifeste en saison sèche au moment où l'eau est rare et les besoins de consommation se trouvent à leur maximum. Au total, selon l'inventaire fait par la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE 2009), sur un potentiel de 261 points d'eau, 197 fonctionnels ont été dénombrés. Parmi ces points d'eau, 132 forages et 65 puits modernes sont identifiés.



Figure 35: Abreuvement au forage

6.2.2.3 Ouverture des puisards

Les puisards constituent également une forme d'adaptation pour disposer de l'eau pendant la période sèche. Ils sont une réalité à des moments critiques de la saison sèche. En effet c'est généralement à partir du mois de mars ou avril que les producteurs les réalisent.

Ce sont des puits modestement creusés dans les lits des cours d'eau ou des mares naturelles après leur tarissement. D'une profondeur de 1 à 4 mètres environ et de 1,5 mètre de diamètres, (figure 36), ils sont les lieux où le bétail s'abreuve. L'exhaure de l'eau est faite de seau artisanalement fabriqué (à partir d'un bidon de 20 litres) ou d'une grossealebasse. L'eau est déversée dans un abreuvoir creusé juste à côté et protégé par des branchages pour éviter que les animaux ne pénètrent à l'intérieur.



Figure 36 : Abreuvement au puisard

6.2.3 Intégration agriculture élevage

Une des innovations importantes que le Sahel a vécue depuis quelques décennies est la naissance et la généralisation de l'agropastoralisme, c'est-à-dire l'association de l'agriculture et de l'élevage au sein d'une même exploitation. Cette nouvelle forme d'exploitation des ressources est née de la stratégie des agriculteurs et des pasteurs de limiter les risques face à l'incertitude climatique. La pratique agricole chez les pasteurs leur permet de limiter les achats de céréales durant la période de soudure et les agriculteurs, en investissant dans le bétail, cherchent à diversifier et capitaliser leurs sources de revenus (CEDEAO-CSAO/OCDE, 2008). La fonctionnalité du système cultural dépend de l'activité pastorale qui apporte des moyens de fertilisation et de traction à l'activité agricole (Zoungrana, 2003).

Dans le bassin versant de Yakouta, les agropasteurs intègrent élevage et agriculture, activités en tandem dont les revenus se complètent face aux mauvaises campagnes agricoles (déficit pluviométrique). L'élevage joue un rôle d'épargne et de régulation des ressources destinées à la consommation des ménages.

La carte d'occupation des terres du bassin versant montre que les steppes constituent l'autre unité aussi importante (56,81%) qui se dégage avec les zones de cultures. Les steppes arbustives et, dans une certaine mesure, les jachères y constituent les zones réservées aux pâturages pour le bétail alors que les cultures pluviales sont destinées à l'agriculture. La dominance de ces deux unités d'occupation traduit donc l'importance de ces principales activités que sont l'agriculture et l'élevage. En effet les deux activités dominant et occupent une forte proportion des populations (plus de 80%).

L'intégration de l'agriculture et de l'élevage contribue à aider, un tant soit peu, les producteurs à utiliser efficacement l'eau dans les champs. Cela est surtout vrai pour les champs qui bénéficient des contributions du bétail en fumure organique ou en culture attelée.

6.2.3.1 Utilisation de la fumure organique

La fumure organique provient du passage de la biomasse dans l'appareil digestif des animaux qui décompose celle-ci plus rapidement que les micro-organismes aérobies du sol et restitue ainsi les éléments nutritifs plus tôt que la décomposition des plantes (Bayer *et al.* 1999). Par voie fécale, le bétail est capable de permettre un recyclage

de près de 50 % de la matière organique, 48 % de l'azote et 85 % du phosphore ingérés (Hiernaux et *al.* 1997).

Au Sahel, l'entretien du taux de matière organique des sols est un objectif majeur pour lutter contre leur dégradation, restaurer leur capacité productive et améliorer l'efficacité de l'eau (Jouve, 2007). Le bétail permet d'obtenir du fumier qui contient la matière organique pour les terres cultivées. L'apport du fumier au sol augmente la fixation des éléments nutritifs (capacité d'échange cationique), améliore les conditions physiques en augmentant la capacité de rétention d'eau tout en améliorant la stabilité du sol (Steinfeld et *al.* 1997). Il crée donc un microclimat plus adapté à la microflore et à la microfaune du sol.

Le rôle d'économie de l'eau provenant de l'application de la fumure animale est probablement important même si cela n'a pas encore fait l'objet d'investigations avancées. Les producteurs l'ont compris et affirment que la plus importante manière pour eux de s'adapter dans l'économie de l'eau pour l'agriculture, c'est l'utilisation de la fumure organique. En effet, 83,2% de l'échantillon utilise la fumure sous toutes ces formes, simple ou associée à d'autres techniques comme les cordons pierreux. La contribution du fumier est primordiale parce que dans le bassin versant, c'est le seul moyen plus accessible aux exploitants d'améliorer la teneur du sol en matière organique, la zone étant potentiellement productrice de fumier. Le fumage des champs s'opère fréquemment par épandage direct en fumier brute (figure 37) ou en compost, par le parcage des animaux ou par la vaine pâture sur les parcours.



Figure 37 : Fumure organique appliquée dans un champ à Katchari

Le compost est peu présent car seulement 32,6% de l'échantillon déclare posséder des fosses fumières. Ils justifient ce faible pourcentage en évoquant, entre autres, la cherté dans la réalisation de la fosse, la non maîtrise de la technique de compostage etc.

En général, le fumage des champs est une pratique très répandue car les producteurs jugent que la matière est disponible, peu chère, rentable et maîtrisée.

6.2.3.2 Culture attelée

La culture attelée est la contribution de la force animale à l'agriculture. Elle apporte un plus au développement de l'agriculture par la technique culturale qu'elle contribue à mettre en place. Le labour a une forme contributive à la gestion de l'eau dans les champs. Quantitativement, elle permet de mettre en valeur des superficies importantes sans une grande utilisation de la force humaine. Le potentiel animal (bovins et ânes) dans le bassin versant est appréciable mais le constat est que peu de producteurs l'utilisent dans l'agriculture.

Nos investigations sur le terrain font ressortir l'existence de vingt cinq (25) charrues soit un taux d'équipement de 7,7% avec seulement 8 bœufs, 2 chevaux, 1 chameau et 133 ânes de trait. Parmi ces animaux de trait, il est noté que tous les ânes sont affectés à la traction des charrettes. Les animaux d'attelage jouent leur rôle plus dans le transport que dans l'agriculture. En effet, dans la zone d'étude, en dehors des vélos, les moyens de déplacement sont les charrettes à attelage asin (déplacement pour le marché, le champ, approvisionnement d'eau etc.).

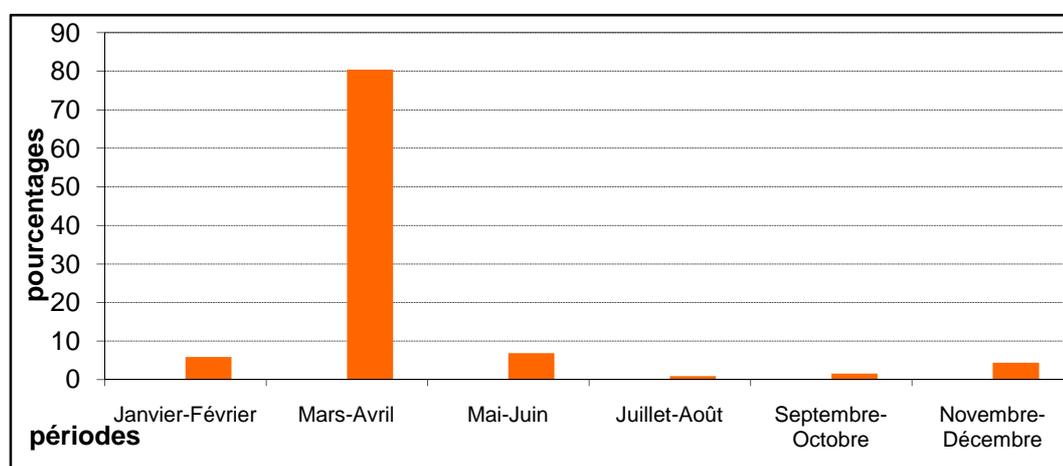
La culture attelée contribue faiblement à la gestion de l'eau dans le bassin versant pour le nombre très faible d'équipement en charrues et en animaux d'attelage. La plupart des producteurs prétextent le manque de moyens. D'autres avancent des raisons d'ordre sociologique parce que la population est en majorité Peul ; et selon Ouédraogo (1994), l'éleveur Peul n'aime pas voir « souffrir » un bœuf que lui-même considère comme un « être humain ». Les rares Peul qui font la culture attelée ont recours aux agriculteurs pour le dressage de leurs animaux. Mais une autre explication plausible encore peut être la méconnaissance des avantages que peut apporter le bétail dans les cultures car en dehors des bovins, le potentiel asin est aussi appréciable (1,6 âne en moyenne par ménage).

6.3 Stratégies adaptatives dans les activités domestiques

Les activités domestiques sont celles qui sont conduites au sein des familles et qui nécessitent une utilisation quelconque de l'eau. Il s'agira de comprendre comment les familles gèrent l'eau, denrée de plus en plus rare dans la zone d'étude.

La consommation familiale de l'eau peut se résumer à son utilisation pour la cuisine, la boisson humaine, les constructions ou les réfections de maisons, la confection de briques, l'artisanat, etc. Les sources d'eau pour toutes ces activités sont diverses en fonction de la saison. C'est en saison sèche surtout qu'elles sont bien marquées.

En saison sèche, les conditions climatiques sont défavorables avec des températures assez élevées pouvant atteindre 44°C entre mars et mai (44,19°C en mai 1993 selon la météorologie nationale). Ce constat est bien partagé par les populations qui vivent les réalités et qui attestent à 80,4% que ce sont les mois de mars et avril qui sont les plus chauds de nos jours (figure 38). Cette situation fait augmenter les besoins de consommation en eau aussi bien animale qu'humaine. La demande devient forte et donne naissance à une compétition autour de l'eau.



Source : enquête de terrain, avril 2010

Figure 38 : Période à température la plus élevée

Pour toutes ces activités, les populations s'approvisionnent à partir des eaux de surface (mares, marigots, barrages, *bouli* etc.) ou par des sources souterraines (puits, forages, puisards etc.) comme indiqué par la figure 39.

La disponibilité de l'eau est pour eux un critère qui détermine la priorité de leurs fréquentations. Ainsi les résultats des enquêtes font ressortir une forte fréquentation du barrage avec 37,6%, suivie des forages avec 25,1%. Le barrage en effet dispose en permanence de l'eau en toute saison pour les animaux et pour les activités humaines. Il en est de même des nombreux forages et les puits recensés dans la quasi totalité des villages permettant d'offrir de l'eau potable de consommation aux hommes et au bétail.

La distance d'approvisionnement est presque la même en toute saison. Aussi, en hivernage la proportion de producteurs qui s'approvisionnent à moins d'un kilomètre est relativement plus grande (52,8%) qu'en saison sèche (46,3%). Quant à ceux qui parcourent de grandes distances (2 km et plus) pour se procurer de l'eau, ils sont 5,6% en saison pluvieuse contre 7,5% en saison sèche.



Figure 39: Sources d'approvisionnement en eau

Les moyens d'approvisionnement sont divers et selon les capacités de chacun. Les uns utilisent des fûts à bord de charrettes à traction asine et les autres (qui sont les plus nombreux) se contentent de seaux, de bidons transportés par des charrettes, à dos d'ânes ou de chameaux, à vélos ou à la tête etc. (figure 40).



Figure 40: Moyens courants de transport de l'eau

Dans tous les cas, la charrette à traction asine est un moyen de transport et de déplacement répandu dans la zone d'étude. En moyenne 41% de l'échantillon disposent d'une charrette. Mais les statistiques d'approvisionnement d'eau obtenues des enquêtes montrent que 34,5% utilisent des seaux et 15,8% des bidons comme indiqués dans le tableau 23.

Tableau 23 : Instruments d'approvisionnement en eau des ménages, en nombre de réponses données en première position dans l'enquête

Moyens de transport	Effectifs	Pourcentage
Charrettes (seau/bidons/barriques)	63	19,6
Pousse-pousse, transport d'âne ou vélo	14	4,3
Seaux	111	34,5
Bidons	51	15,8
Seaux et bidons	83	25,8
Total	322	100,0

Sources : Enquêtes de terrain d'avril 2010

L'utilisation de l'eau en cette période est soumise à une priorisation en fonction de la nécessité ou de l'importance des usages qui se présentent. Pour notre échantillon, une classification en quatre usages est faite avec en priorité la boisson et

l'abreuvement du bétail, puis la cuisine, la vaisselle et la lessive. Nous remarquons à partir du tableau 24 que le classement des priorités suit la même progression quel que soit le genre. Plus il ya de réponses masculines plus il y en a aussi chez les femmes et inversement.

Tableau 24: Usage de l'eau selon la priorité et le genre

Priorité dans la consommation de l'eau		Masculin	Féminin
Boisson	Effectif	262	60
	<i>pourcentage</i>	81,4	18,6
Cuisine	Effectif	252	56
	<i>pourcentage</i>	78,5	17,4
Abreuvement du bétail	Effectif	258	59
	<i>pourcentage</i>	80,4	18,4
Vaisselle	Effectif	150	26
	<i>pourcentage</i>	46,7	8,1
Lessive	Effectif	118	15
	<i>pourcentage</i>	36,8	4,7

Source : Enquête de terrain, avril 2010

En saison pluvieuse, l'eau devient moins rare qu'en saison sèche, disponible et accessible. Disponible aux consommateurs grâce à la pluie, elle est collectée à l'aide de seaux, bidons, barriques, canaris etc. aux fins des besoins domestiques (abreuvement des animaux d'embouche, lessive, toilette et même de boisson etc.). Dans certains villages (Djigo, Oulo) des impluviums sont implantés dans les concessions (figure 41) où l'eau est plus difficile d'accès, ou dans des lieux publics comme les écoles. Dans le bassin versant les impluviums ont vu le jour pour la première fois en 2006 sous l'égide de l'Association Node Node (A₂N) en vue d'aider les populations en difficulté d'acquérir l'eau. De nos investigations, d'autres projets se sont joints à cette initiative salvatrice, agrandissant ainsi le cercle des villages bénéficiaires de ces ouvrages.



Figure 41 : Impluvium dans le village de Oulo (quartier Tila)

L'impluvium est un ouvrage fait de bassin fermé et surélevé servant à recueillir l'eau de pluie tombée sur le toit d'une maison. L'eau est stockée dans le bassin à partir de tubes PVC qui se raccordent à la maison par un chéneau fait en tôle.

L'impluvium a une capacité de 50 m³ environ. Plein d'eau, il peut disposer de l'eau jusqu'à trois mois après la saison sèche. En dehors de ce dispositif spécifique, ce sont les mêmes méthodes de saison sèche qui sont utilisées en saison pluvieuse, à la différence que l'accès aux points d'eau est régi par le paysage agraire.

Il existe donc une gamme variée de stratégies plus ou moins recensées dans le bassin versant mais pratiquées ou utilisées à des niveaux différents. De plus, leurs impacts sont variables d'une pratique à une autre ou d'un ouvrage à l'autre car ils n'ont pas la même envergure. Le chapitre septième consacré à l'analyse de leurs impacts aussi bien en saison sèche qu'en saison pluvieuse nous donnera plus de possibilités à mieux comprendre la situation.

CHAPITRE SEPTIEME : IMPACT SPATIAL DES STRATEGIES DE GESTION DE L'EAU

Avec les perspectives de sécheresse, chaque goutte de pluie doit être utilisée en favorisant trois grandes mesures : collecter le maximum de pluie, minimiser les pertes en eau du sol, et utiliser l'eau de façon efficiente (Balaghi et *al.* 2007).

Les producteurs ont donc des raisons d'adopter des pratiques pour gérer l'eau dans les conditions qui sont les leurs. Ces pratiques adaptatives de gestion d'eau ont pour finalité d'augmenter la production végétale. Elles concourent à améliorer les productions céréalières et fourragères. Les stratégies pratiquées dans la zone ont été répertoriées par les populations pendant nos enquêtes de terrain. Elles regroupent aussi bien les aménagements à la parcelle que les ouvrages hydrauliques. Lors de ces échanges, il a été difficile de faire une différence entre les pratiques pures de gestion de l'eau et celles qui sont en relation avec la gestion de la fertilité. Pour les producteurs, toutes les deux formes contribuent à une même finalité à savoir l'augmentation de la rentabilité de la production végétale en passant par une mise à la disposition de la plante d'un minimum d'eau et de nutriment. Ils estiment que l'utilisation de la fumure organique autant qu'elle contribue à augmenter la qualité organique du sol, lui permet aussi de conserver un temps soit peu de l'humidité au profit des plantes. Ainsi les pratiques suivantes sont un ensemble de paramètres de gestion répertoriées : l'occupation (l'utilisation) des terres, les bas-fonds, les plans d'eau, les rivières, les points d'eau, les sols, les aménagements (cordons, bandes enherbées, billons, fixation des dunes etc.), les jardins, les puisards, les impluviums, la pluviométrie, la température. Ils ont été spatialisés pour faciliter les analyses car qu'ils relèvent d'aménagements, de planification urbaine ou environnementale ou encore de risques naturels, les phénomènes spatialisés font intervenir des facteurs complexes (d'Ercole et Thouret, 1995 cité par Paget et *al.* 2008). Dans le bassin de Yakouta, les impacts des réalisations paysannes sont fonction des types d'activités qui sont menées par les producteurs. Elles sont moins différentes entre les catégories socioprofessionnelles (agriculteur, éleveur etc.) mais beaucoup plus variables d'une saison à une autre.

Pour mieux élucider les impacts spatiaux de ces pratiques, nous distinguerons les pratiques de gestion de saison pluvieuse et celles réalisées en saison sèche.

7.1 Gestion de l'eau en saison pluvieuse

Les aménagements de conservation des eaux et des sols dans les régions semi-arides constituent un moyen adéquat et très innovant pour mettre à la disposition des paysans, installés dans des environnements fragiles et à faibles activités économiques, des quantités supplémentaires en eau nécessaires pour l'augmentation des productions agricoles des parcelles (Boufaroua non daté).

A Yakouta, la gestion de l'eau en saison pluvieuse est concentrée autour des activités ou des pratiques et des aménagements qui contribuent à améliorer la productivité agricole, pastorale et domestique. Ces pratiques et activités sont : l'occupation des terres (zones cultivées), des bas-fonds, les aménagements (cordons pierreux, bandes enherbées, le *zaï*, fixation des dunes et les billons) et la qualité des sols.

7.1.1 Les zones cultivées

La zone de culture du bassin versant concerne les zones où les activités agricoles sont menées en saison pluvieuse. Ces zones dont la terre fait l'objet d'un travail (semis en poquets, sarclage et labours) font l'objet de l'attention des producteurs visant à rentabiliser leur production. Dans le bassin versant, la simulation faite montre qu'elle est effective car son étendue spatiale est réelle. Elle s'étend sur presque tout le bassin versant comme l'indique la figure 42.

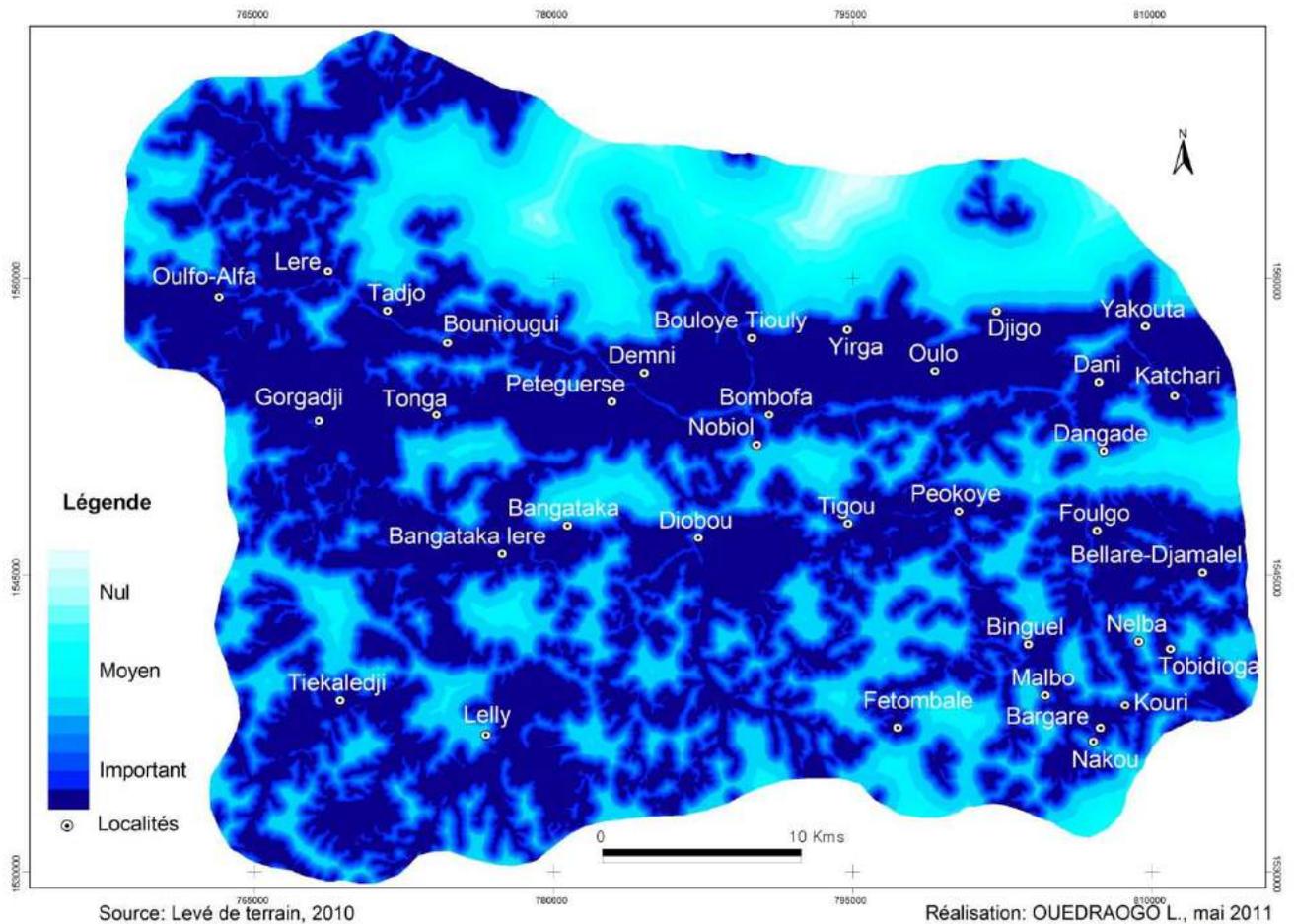


Figure 42 : Carte d'impact spatial de la zone de culture

La zone de culture a un impact certain sur la gestion de l'eau même si les pratiques restent extensives. Les statistiques issues de la simulation consignées dans le tableau 25 en sont une preuve. Nous enregistrons 56,85% de la surface cultivée subit un impact, donc au delà de la moyenne.

Tableau 25 : Impact spatial de la zone de culture

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	103271,9	56,85
Moyen	54683,5	30,10
Nul	23714,9	13,05
Total	181670,3	100

7.1.2 Les cordons pierreux

Les cordons pierreux sont des aménagements physiques de gestion d'eau et de la fertilisation des sols. C'est ce que de nombreux auteurs comme Marchal (1983) ; Dugué (1984-1989), Rochette (1989), Kaboré (1995), Hien (1995), De Graaf (1999), Hien et al. (2004), Kambou (1996), Zombré (2003), Zougmoré (2003), Ouédraogo (2005), Sawadogo (2006), Traoré (2006) cités par Bélemviré et al. (2008) ont noté dans leurs travaux de recherche.

Dans le bassin versant, la simulation ressort que leur impact est peu perceptible car cette pratique y est peu diffusée en témoigne la figure 43.

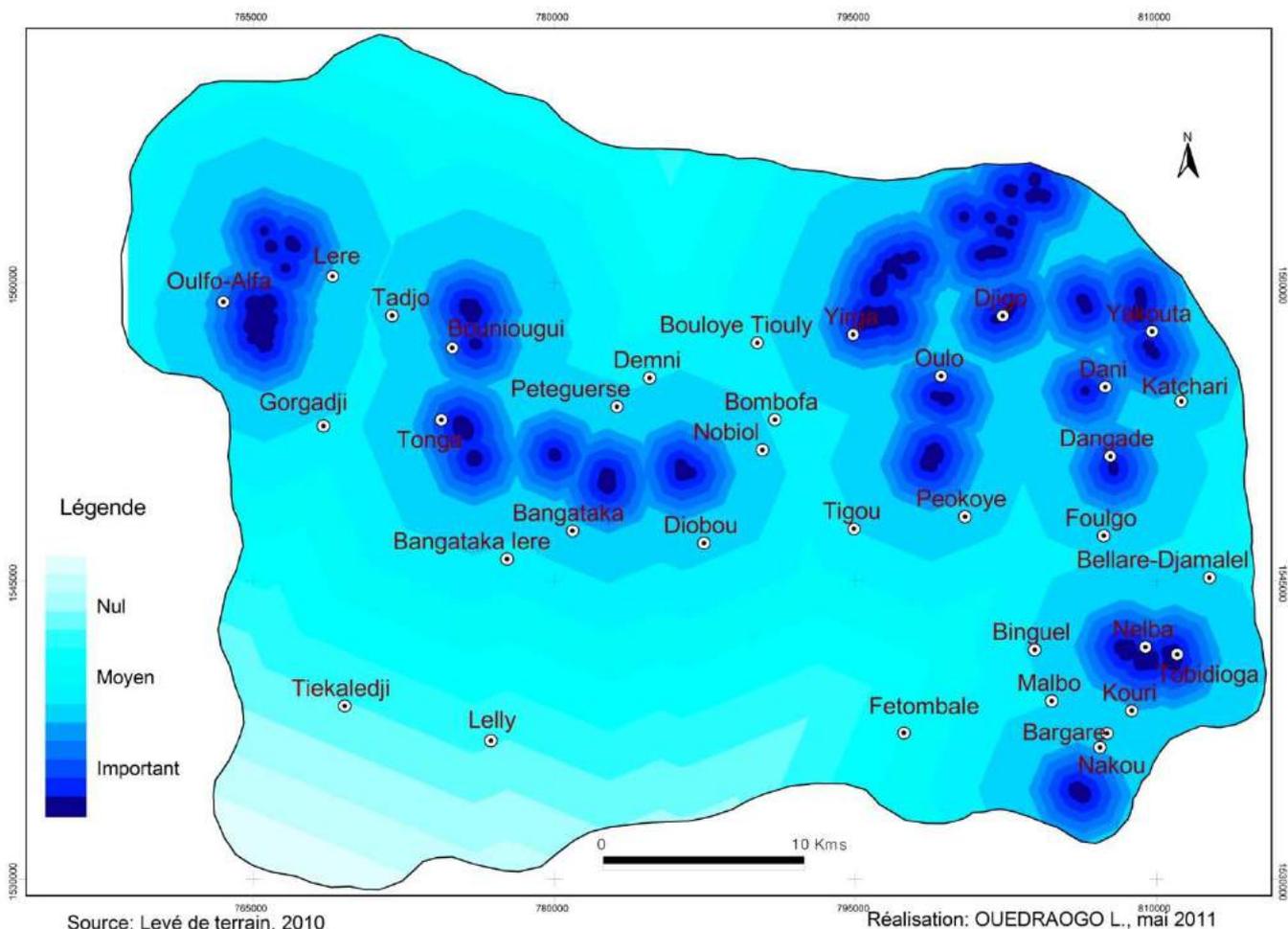


Figure 43: Carte de l'impact spatial des cordons pierreux

Les statistiques du tableau 26 confirment que son importance est très faible avec moins de 10% (7,66%) d'impact spatial alors que, plus les superficies sont aménagées, plus importante devrait être la rentabilité.

Tableau 26 : Impact spatial des cordons pierreux

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	13928	7,66
Moyen	71677,8	39,45
Nul	96064,5	52,89
Total	181670,3	100

7.1.3 Les bandes enherbées

Les bandes enherbées sont une pratique courante des producteurs du bassin versant. A priori, de leur avis, elles n'ont pas pour objectif premier de contribuer à la gestion de l'eau mais leur présence induit un impact indirect sur le milieu. Cette pratique est surtout remarquable sur les dunes anciennes comme la figure 44 le confirme

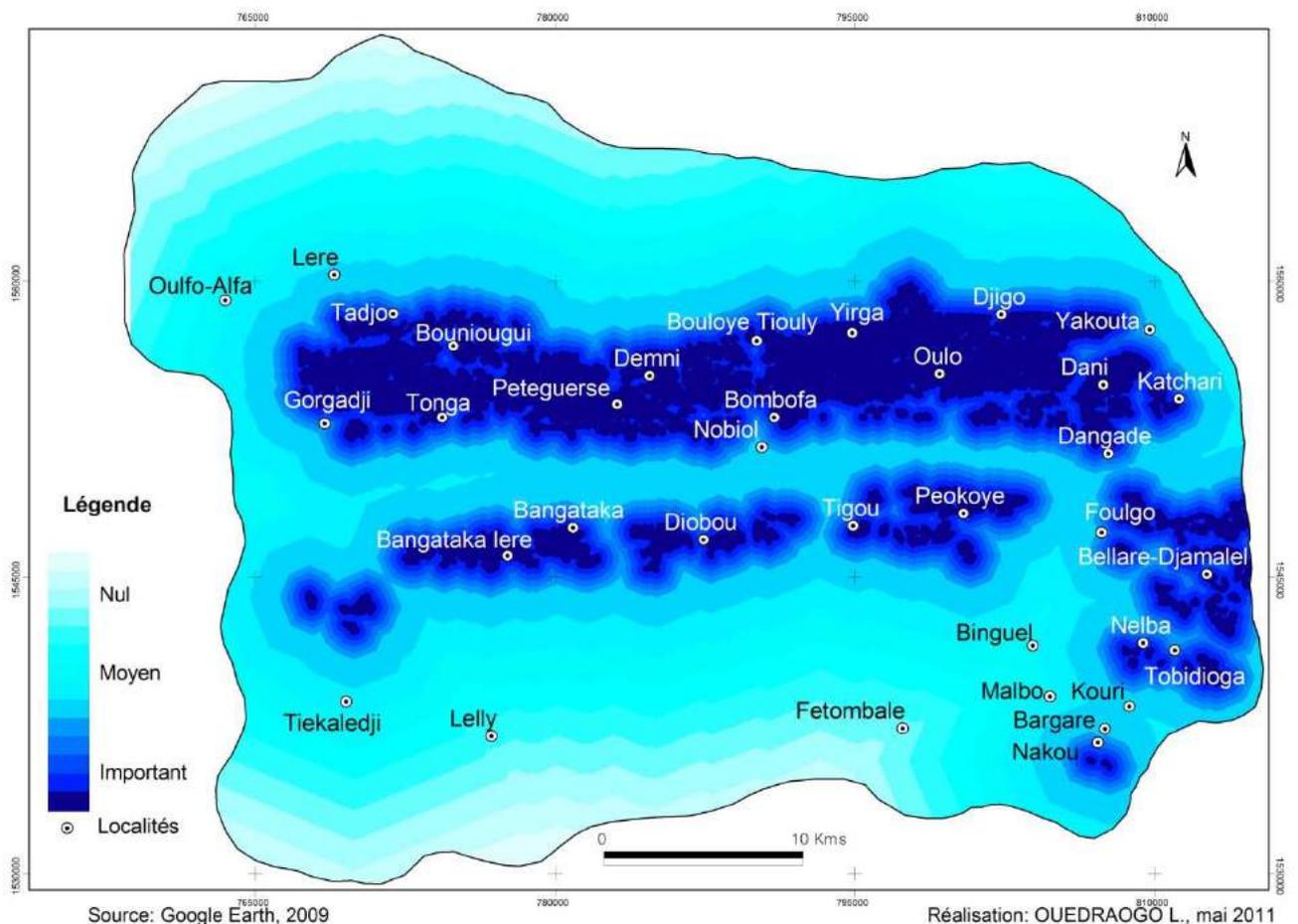


Figure 44 : Carte de l'impact spatial des bandes enherbées

Le tableau 27 résume les données chiffrées sur l'impact des bandes enherbées dans le bassin versant. Ces statistiques font ressortir un degré d'impact spatial de 21,92%.

Tableau 27 : Impact spatial des bandes enherbées

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	39829,4	21,92
Moyen	52351,7	28,81
Nul	89489,3	49,25
Total	181670,4	100

7.1.4 Le zaï

Le *zaï* est pratiqué dans le bassin versant comme le montre la figure 45. Il a été recensé dans les villages de Nobiol, Yirga, Gorgadji et de Léré. Dans l'ensemble cette technique culturale est à un stade embryonnaire.

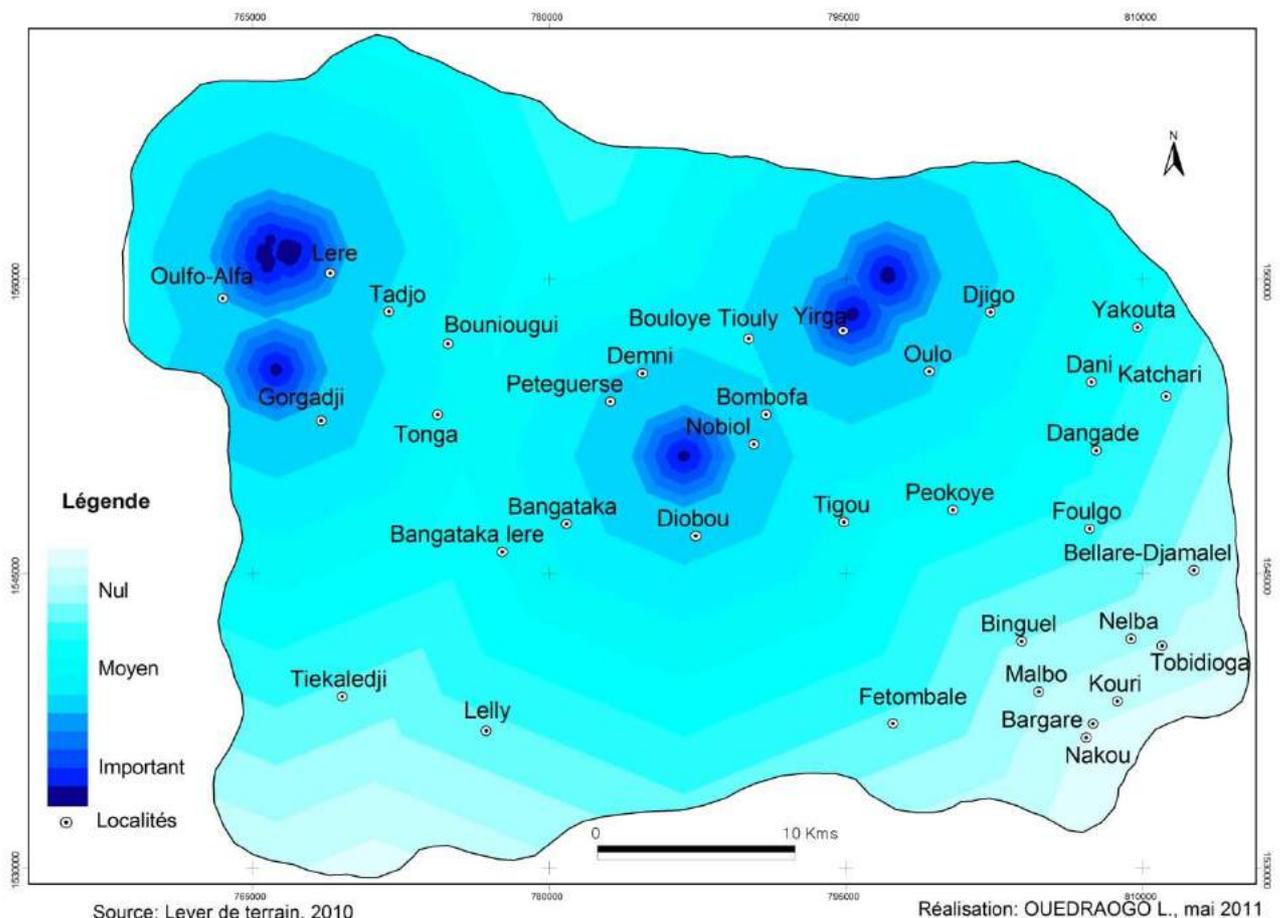


Figure 45 : Carte d'impact spatial du *zaï*

L'explication de la situation arriérée de la pratique du *zaï* est que, le sol en général sableux ne convient pas à de telles pratiques. Pour certains agriculteurs, le travail du *zaï* est très pénible. Au total, environ 48 hectares de superficie en *zaï* ont été inventoriés sur le terrain avec un impact après l'analyse estimé à 2924 hectares (1,60%) comme le tableau 28 l'indique.

Tableau 28 : Impact spatial du *zai*

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	2924,5	1,60
Moyen	33897,3	18,65
Nul	144848,5	79,75
Total	181670,3	100

7.1.5 La fixation des dunes

La fixation des dunes est surtout introduite dans quelques villages dans le cadre de la lutte contre l'ensablement du barrage. La pratique semble nouvelle car elle est l'œuvre d'intervention des services techniques après la mise en place du barrage de Yakouta. Dans le bassin versant, trois village sont concernés (Yakouta, Oulo et Bouniougui) mais c'est seulement à Yakouta que l'effet est perceptible (figure 46).

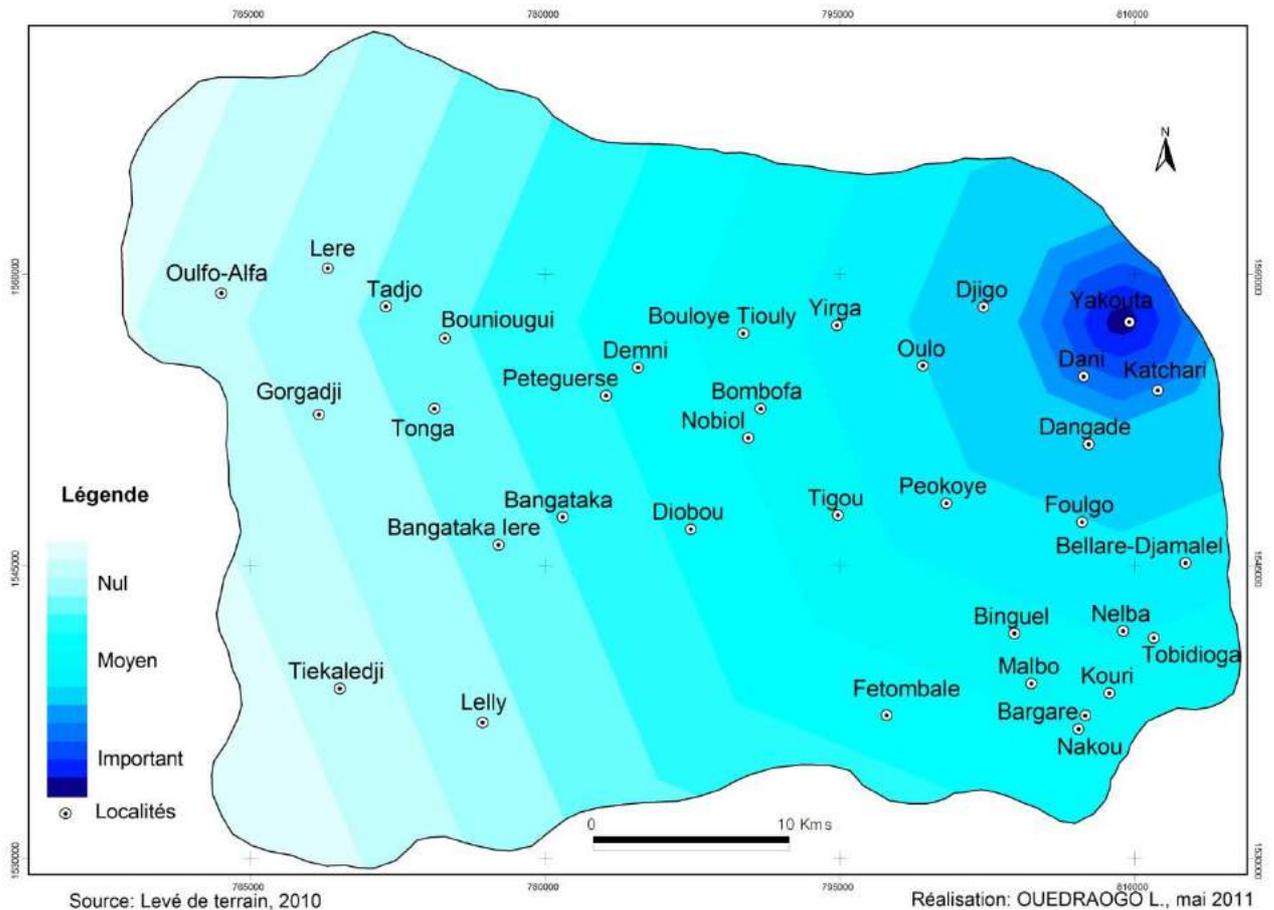


Figure 46: Carte d'impact spatial de la fixation des dunes

Les statistiques du tableau 29 indiquent moins de 1% d'impact spatial pour 1752,5 hectares.

Tableau 29 : Impact spatial des fixations des dunes

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	1752,5	0,96
Moyen	19338,9	10,64
Nul	160578,9	88,40
Total	181670,3	100

7.1.6 Les billons

Les billons sont en général pratiqués sur les sols non sableux. C'est la raison avancée par les producteurs qui ne les pratiquent pas. L'impact des billons est faible sur le bassin versant. Les superficies consacrées à cette pratique sont très insignifiantes. Deux sites ont été relevés à Léré et à Peokoye (figure 47).

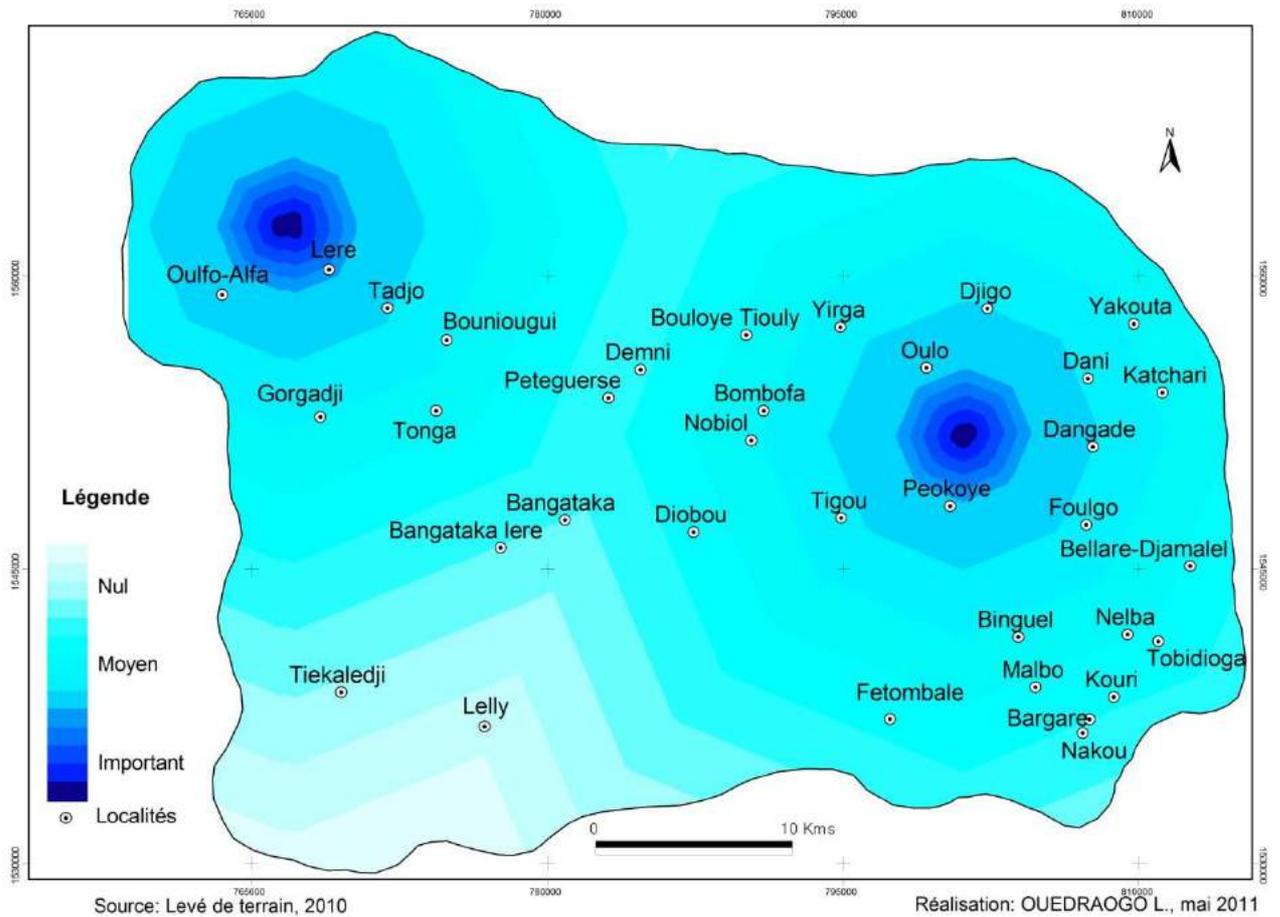


Figure 47 : Carte d'impact spatial des billons

Au total, le tableau 30 indique que ces pratiques couvrent 1852 hectares soit un impact d'environ 1%.

Tableau 30 : Impact spatial de la culture en billon

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	1851,7	1,01
Moyen	26012,5	14,31
Nul	153806,1	84,68
Total	181670,3	100

7.1.7 Les sols

Il s'agit des sols présentant de bonnes aptitudes ou moyennement bonnes quoique déficient au plan agronomique. Une très bonne partie du bassin est concernée par ces sols comme le montre la figure 48.

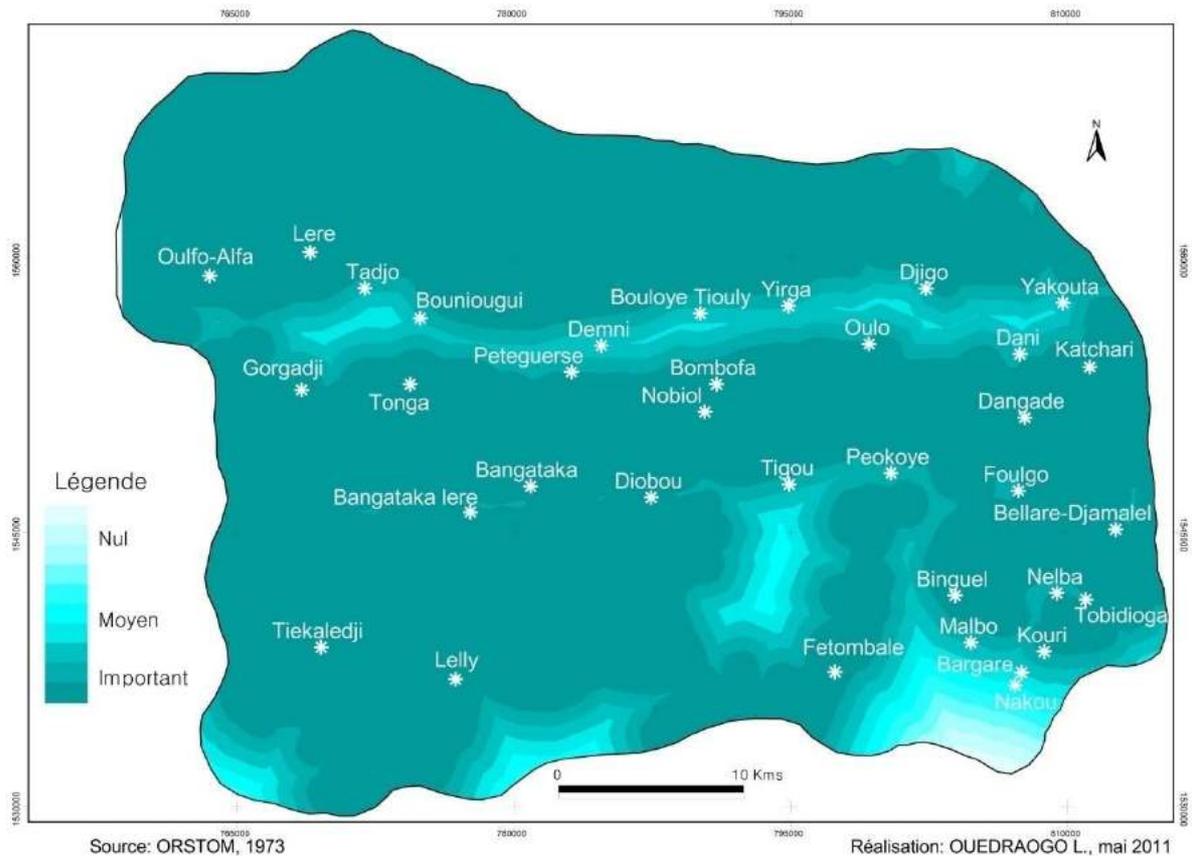


Figure 48 : Carte d'impact spatial des sols

Hormis quelques villages tels que Nakou, Bargare, Bouniougui, Demni etc., les autres sont sous l'effet de ces sols. Le tableau 31 indique 70,40% de couverture.

Tableau 31 : Impact spatial des sols

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	127882,2	70,40
Moyen	31957,2	17,59
Nul	21833,2	12,01
Total	181672,6	100

7.1.8 Les bas-fonds

Les bas-fonds aménageables concernés par la simulation sont ceux identifiés par les études du Sahel Integrated Lowland Ecosystem Management (SILEM). Sur le plan spatial, ils sont très présents dans la partie sud du bassin (figure 49).

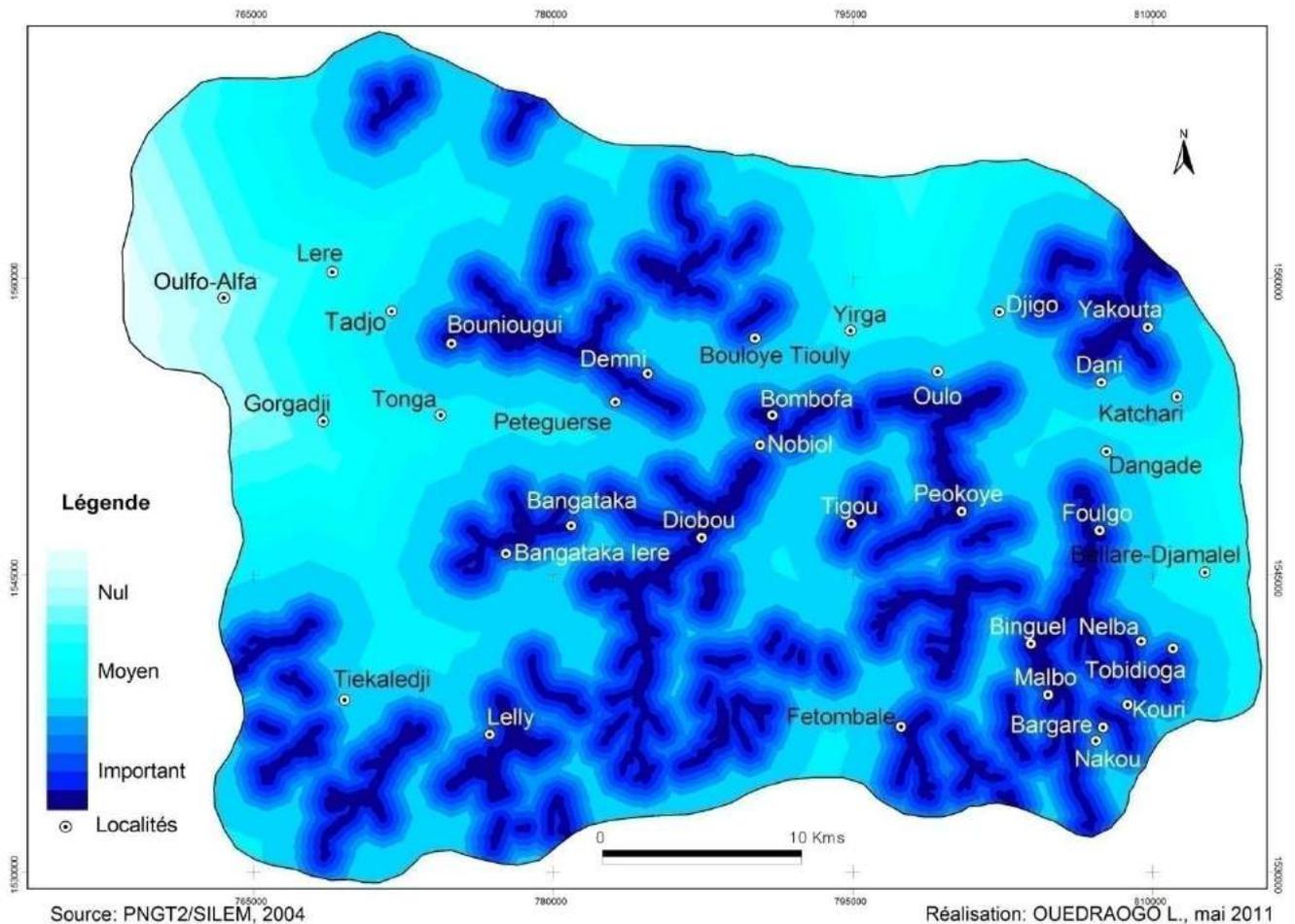


Figure 49 : Carte d'impact spatial des bas-fonds

Les statistiques issues du modèle donnent 25,44% d'impact spatial sur l'ensemble du bassin (tableau 32).

Tableau 32 : Impact des bas-fonds

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	46199,8	25,44
Moyen	86596,7	47,66
Nul	48873,7	26,90
Total	181670,3	100

7.2 Gestion de l'eau en saison sèche

Dans le bassin versant, les pratiques de gestion de l'eau en saison sèche existent autour des activités favorables à l'accès de la ressource en eau. Les pratiques ou réalisations recensées auprès des producteurs sont : Les barrages, les mares, les *bouli*, les cours d'eau, les puits, les forages, les puisards et les impluviums. Ces pratiques sont destinées aux activités d'agriculture (maraîchage), d'élevage (abreuvement du bétail), domestiques (boisson humaine, construction) et halieutiques (pêche).

7.2.1 Les cours d'eau

La densité des cours d'eau du bassin versant est assez importante (0,57 km par km²). Tous les villages disposent au moins d'une portion exploitable en saison sèche pour la confection des briques, la réfection des maisons. L'impact spatial est très remarquable comme l'indique la figure 50.

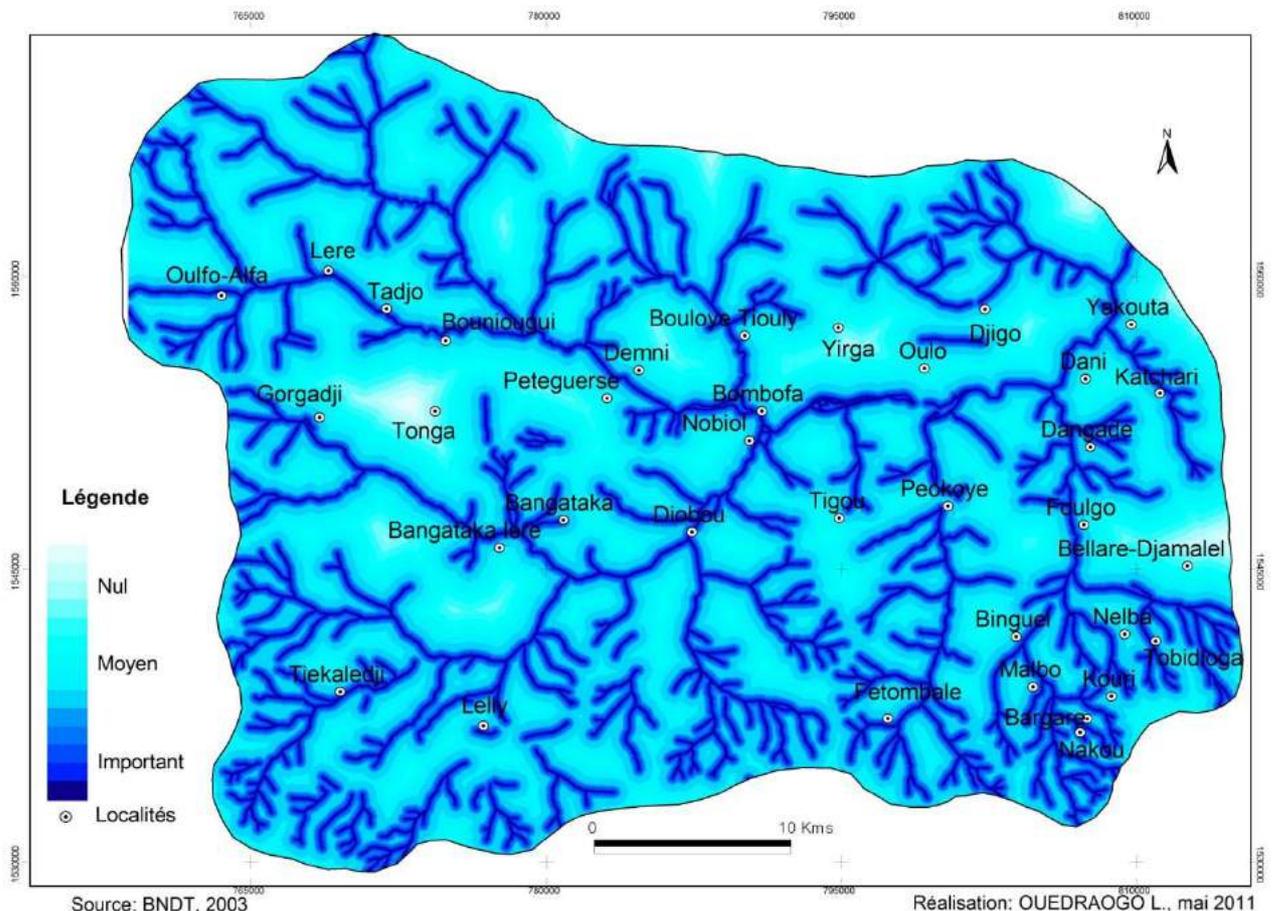


Figure 50: Carte d'impact spatial des cours d'eau

Le tableau 33 illustre les statistiques résultant de l'analyse à partir des cours d'eau. Il présente l'espace sous l'impact important de ces cours d'eau. Il est de 32587,94 hectares soit 17,93% de l'espace d'étude. L'impact moyen est de 45,47%, ce qui est non négligeable.

Tableau 33 : Impact spatial des cours d'eau

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	32587,9	17,93
Moyen	82573,3	45,47
Nul	66509,5	36,60
Total	181670,8	100

7.2.2 Les barrages

Les trois barrages de Yakouta, de Bouniougui et de Bombofa marquent leur présence dans la zone d'étude. La figure 51 en est le résultat issu de la simulation. Elle nous donne l'aire d'influence théorique de ces ouvrages. Les barrages de Bouniougui et de Bombofa couvrent les villages de Tadjjo et de Nobiol. Celui de Yakouta a une influence sur cinq villages : Yakouta, Dani, Oulo, Dangade et Peokoye.

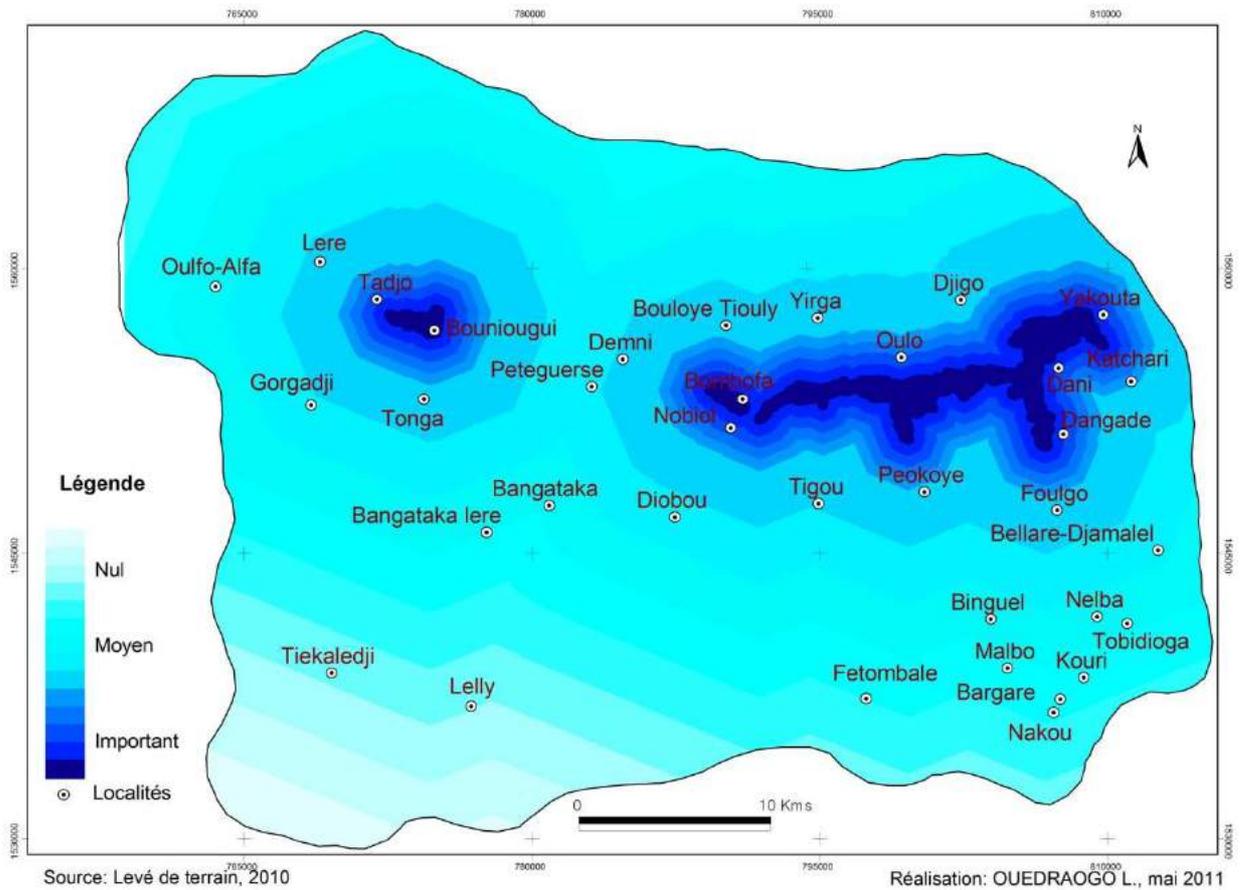


Figure 51: Carte d'impact spatial des barrages

En ce qui concerne les statistiques, le tableau 34 indique que 5,96% du bassin est sous l'influence de ces trois barrages correspondant à une étendue spatiale de 10831,8 hectares.

Tableau 34 : Impact spatial des barrages

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	10831,8	5,96
Moyen	41227,7	22,69
Nul	129610,8	71,35
Total	181670,3	100

7.2.3 Les bouli

Les *bouli* sont les zones de recours d'abreuvement du bétail en saison sèche. Construits en général non loin des villages, ils permettent aux animaux de bénéficier des résidus de récoltes des champs en attendant la longue et dure période de la

saison sèche. Sur le plan spatial, six des huit *bouli* sont localisés dans la commune de Gorgadji (figure 52).

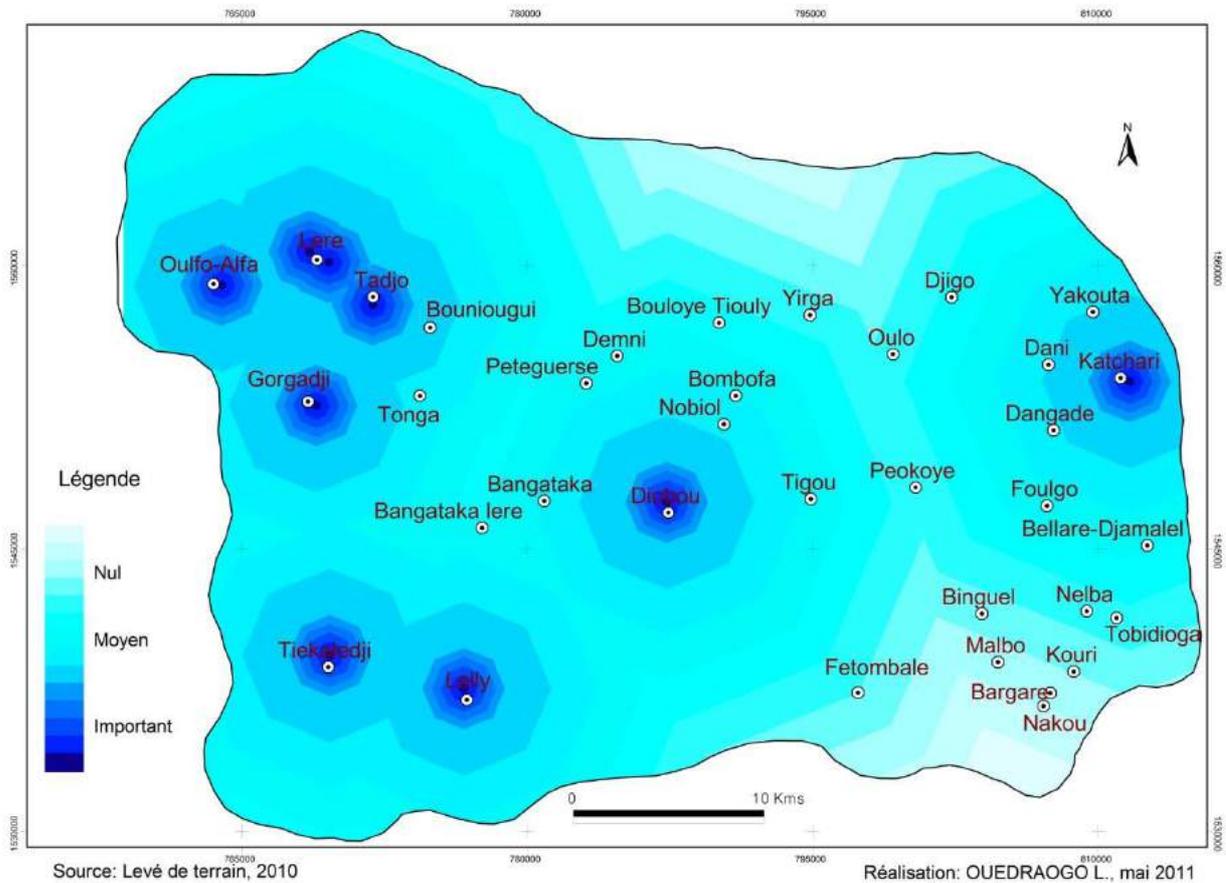


Figure 52: Carte d'impact spatial des *bouli*

A partir des statistiques fournies à travers le tableau 35, nous constatons que les zones d'influence de ces ouvrages sont très faibles. La couverture est d'environ 1,30% soit une superficie de 2363,5 hectares.

Tableau 35 : Impact spatial des *bouli*

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	2363,5	1,30
Moyen	39330,8	21,64
Nul	139976,0	77,06
Total	181670,3	100

7.2.4 Les forages

La gestion de l'eau dans le bassin versant concerne aussi les forages. Sur le plan géographique, tous les villages possèdent chacun au moins un forage (figure 53).

Destinés prioritairement à la boisson humaine, les forages servent également à abreuver le bétail dans des localités qui ne disposent pas de plans d'eau.

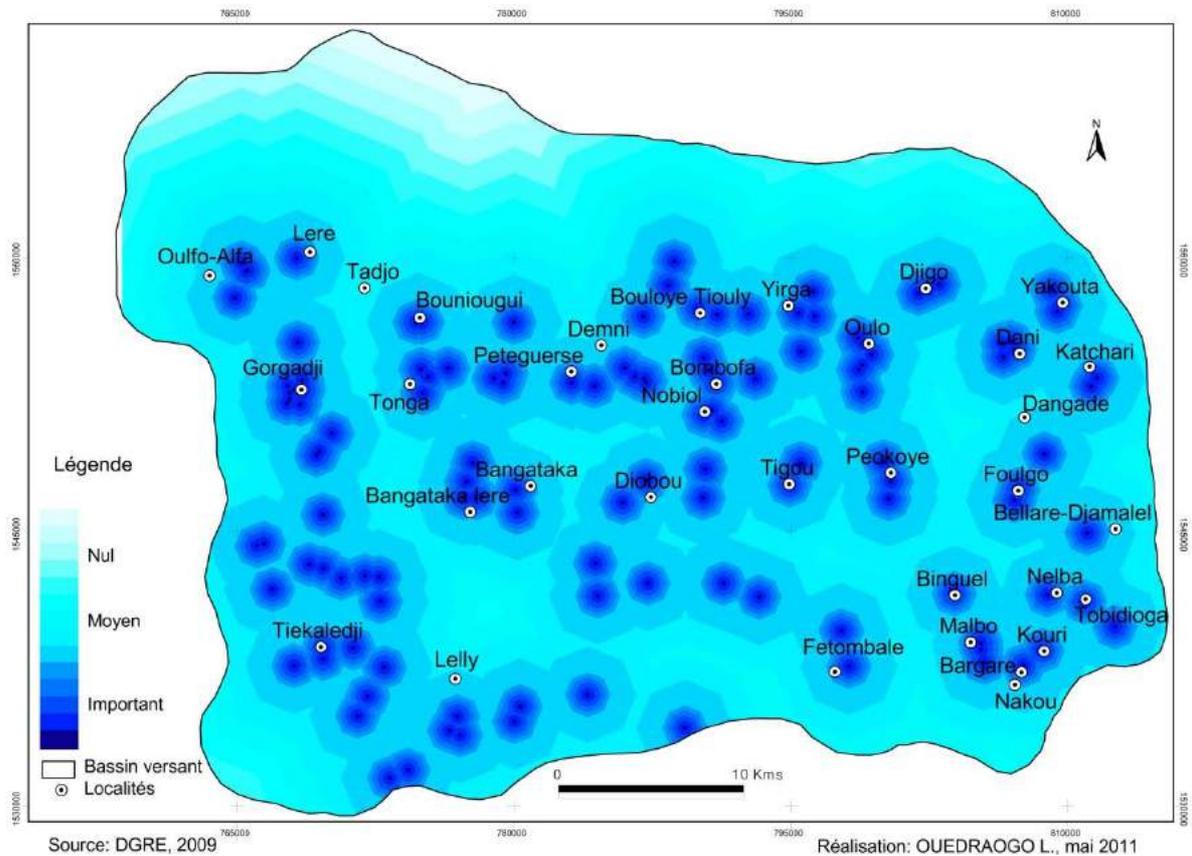


Figure 53 : Carte d'impact spatial des forages

Le tableau 36 donne les superficies de couverture des forages estimées à 9798,3 hectares soit 5,39% du bassin versant. Cette couverture est relativement faible quand on sait que pendant la saison sèche, la demande en eau est très importante.

Tableau 36 : Impact spatial des forages

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	9798,3	5,39
Moyen	93369,9	51,40
Nul	78502,2	43,21
Total	181670,4	100

7.2.5 Les impluviums

Les impluviums sont des châteaux d'eau construits servant à recueillir l'eau de pluie destinée à la consommation domestique. Deux villages du bassin versant possèdent

des impluviums : Djigo et Yirga (figure 54). Ils sont en général construits dans des concessions où la disponibilité de l'eau est médiocre ou encore dans des édifices publics tels que les écoles.

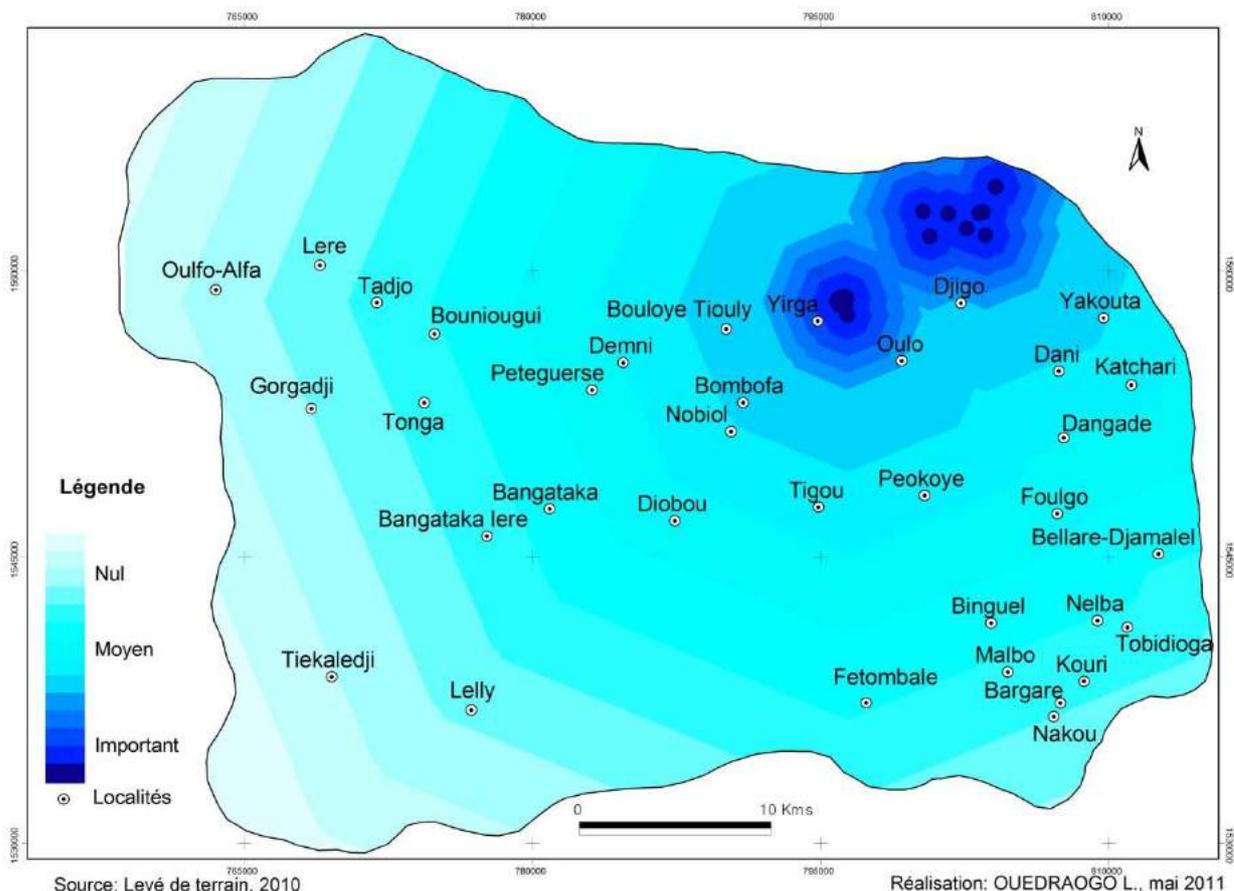


Figure 54 : Carte d'impact spatial des impluviums

Les superficies d'influence de ces châteaux restent liées à l'envergure et la distribution spatiale qu'ils ont dans le bassin versant. Elles sont estimées à 2,33% soit 4249,7 hectares (tableau 37).

Tableau 37 : Impact spatial des impluviums

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	4249,7	2,33
Moyen	23201,7	12,77
Nul	154218,9	84,88
Total	181670,3	100

7.2.6 Les mares

Trois principales mares contribuent à capitaliser les ressources en eau dans le bassin versant. Elles sont dans l'ensemble concentrées dans la commune de Dori, autour des villages de Djigo, Oulo et Yirga (figure 55). Elles couvrent une superficie relativement petite.

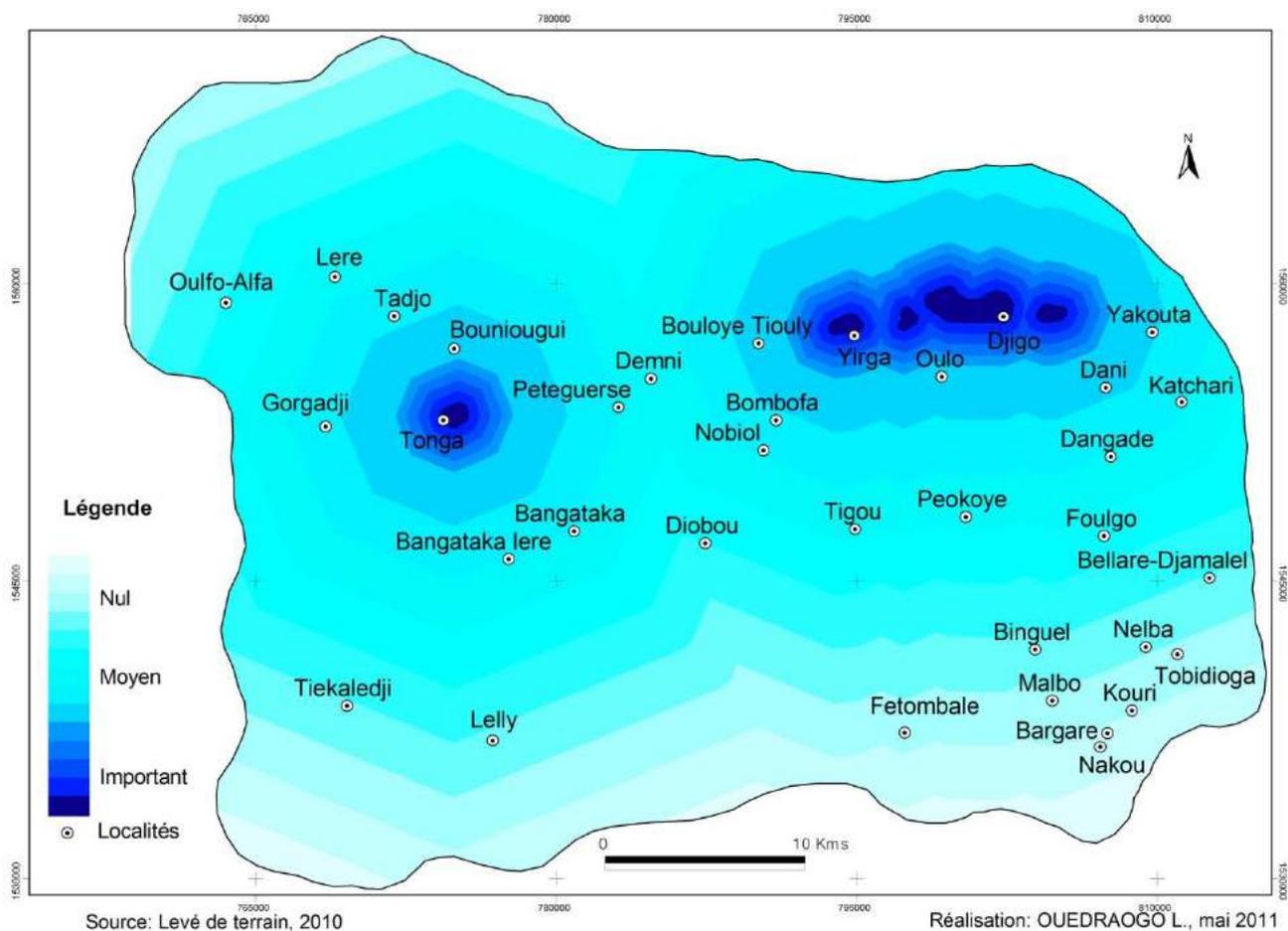


Figure 55 : Carte d'impact spatial des mares

Les statistiques du tableau 38 confirment la modestie de leur zone d'influence estimée à 4096,6 hectares et correspondant à un impact de 2,25%.

Tableau 38 : Impact spatial des mares

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	4096,6	2,25
Moyen	25548,6	14,06
Nul	152025,1	83,68
Total	181670,3	100

7.2.7 Les puisards

Les puisards constituent des ouvrages importants pour les populations nonobstant le caractère aléatoire et temporaire de leur réalisation. Ils sont matérialisés à des moments difficiles de la saison sèche, quand les mares et les rivières ont tari. A ce moment le bétail arrive de partout, parfois de très loin, à la recherche de points d'eau. La figure 56 matérialise leurs emplacements en 2010 et leurs impacts dans l'espace.

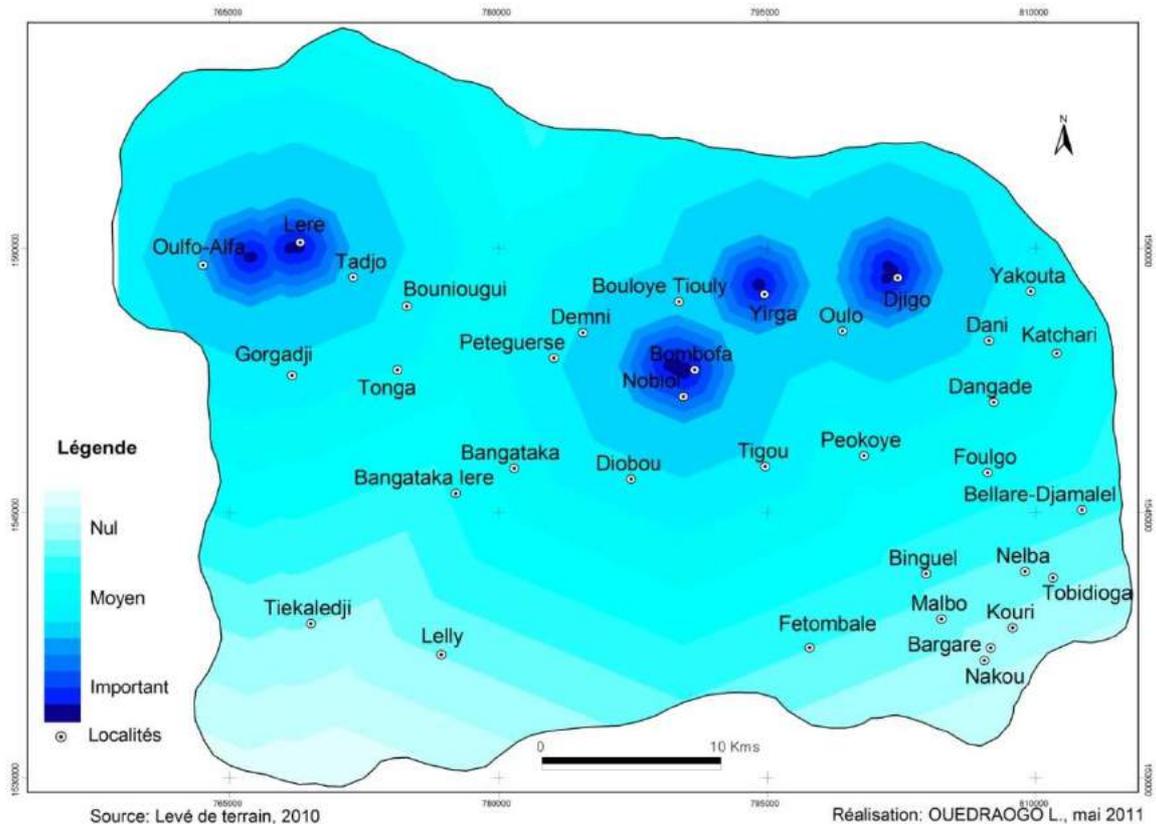


Figure 56 : Carte d'impact spatial des puisards

Les statistiques du tableau 39 présentent la situation de l'emprise spatiale de ces ouvrages. Ils impulsent une très faible influence de 3039,7 hectares, soit un impact de 1,67 %.

Tableau 39 : Impact spatial des puisards

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	3039,7	1,67
Moyen	37176,7	20,46
Nul	141453,9	77,87
Total	181670,3	100

7.2.8 Les puits

Comme les forages, les puits contribuent considérablement à la gestion de l'eau dans le bassin versant. Sur le plan spatial, la majorité (25 sur 30) de villages possède au moins un puits (figure 57). Les puits fournissent l'eau de boisson en priorité aux humains, et à l'abreuvement du bétail.

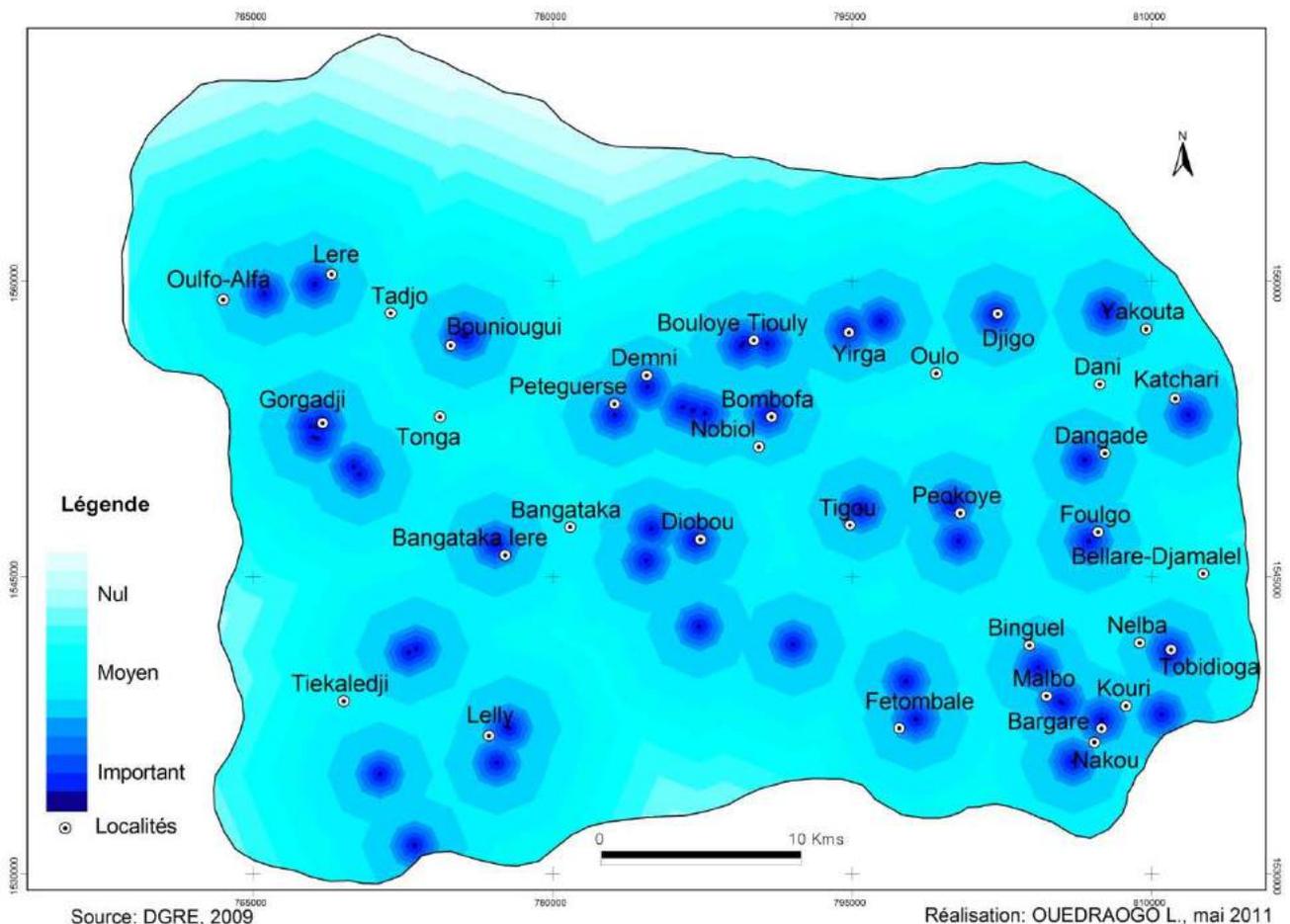


Figure 57 : Carte d'impact spatial des puits

Les statistiques du tableau 40 semblent contredire la représentativité de l'implantation des forages. En effet l'emprise ne représente que 3950,2 hectares, soit

un impact de 2,17% alors que la couverture en eau (nombre de puits par village) est environ 83%.

Tableau 40 : Impact spatial des puits

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	3950,2	2,17
Moyen	60834,5	33,48
Nul	116885,6	64,35
Total	181670,3	100

7.2.9 Le maraîchage

Le maraîchage est une activité secondaire, très peu exercé par les producteurs. Il est une forme de gestion de l'eau de saison sèche et pratiqué dans cinq villages : Yakouta, Dani, Oulo, Bouniougui et Djigo (figure 58).

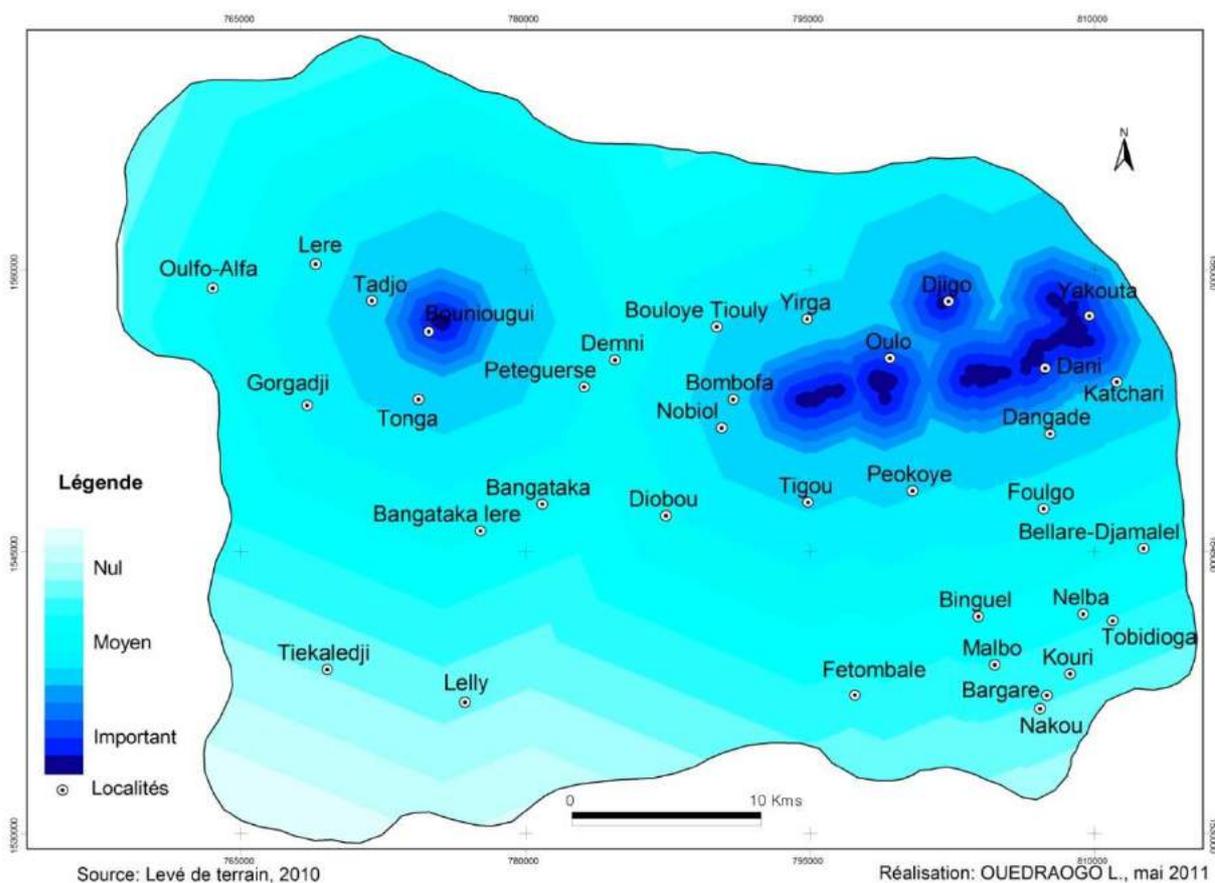


Figure 58 : Carte d'impact spatial du maraîchage

Sur le plan spatial, le maraîchage a un impact d'environ 5996,1 hectares, soit une envergure de 3,30% de la superficie totale (tableau 41).

Tableau 41: Impact spatial du maraîchage

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	5996,1	3,30
Moyen	34776,5	19,14
Nul	140897,7	77,56
Total	181670,3	100

Les ouvrages et sites de gestion de l'eau présentent des couvertures spatiales contrastées aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies. Il y a une multitude de sites mais leur impact de façon générale pris individuellement reste faible. Il se pose donc la question de l'efficacité de toutes ces réalisations. Les résultats donnent des performances mitigées comme l'indique le tableau 42.

Tableau 42 : Performances des stratégies dans le bassin versant

Stratégies de saison sèche	Impacts (%)	Stratégies de saison pluvieuse	Impacts (%)
cours d'eau	17,93	zone de culture	56,85
bouli	1,30	cordons pierreux	7,66
barrage	5,96	bandes enherbées	21,92
forage	5,39	zai	1,60
impluvium	2,33	fixation de dunes	0,96
puits	2,17	billons	1,01
mares	2,25	sols	70,40
puisards	1,67	bas-fonds	25,44
maraîchage	3,30		

Sources : Levé de terrain, 2010 et DGRE, 2009

En saison sèche, ce sont les bas-fonds qui ont plus d'impact sans doute à cause de leur distribution spatiale. Ils sont suivis du barrage qui est un ouvrage important pour la zone et les forages qui sont aussi bien répartis dans le bassin versant. En saison pluvieuse, les sols viennent en tête dans le classement non pas qu'ils constituent le socle pour la production agricole mais, parce que les types de cultures (mil) sont adaptés aux sols sableux, les plus dominants. Pour un rendu plus efficace de ces stratégies, Diallo et Roose (2006), préconisent une association de plusieurs critères (stratégies) qui sont sensés apporter de l'efficacité dans la gestion de l'eau. D'autres

études ont démontré que la productivité des terres dans les zones semi-arides augmente sérieusement avec la combinaison des aménagements de gestion de l'eau et l'amélioration du niveau de fertilisation du sol et de nutrition des cultures : fumier, compost, paillage et complément N + P. Pour Mazour et *al.* (2006), l'utilisation des techniques citées ci-dessus n'a l'impact positif observé que parce qu'elles fonctionnent ensemble et d'une manière combinée.

Le chapitre huitième qui suivra, aidera à élucider cette question par les simulations qui intègrent plusieurs paramètres pour une analyse faite en fonction des saisons.

CHAPITRE HUITIEME : EFFICACITES DES STRATEGIES DE GESTION DE L'EAU DANS LE BASSIN VERSANT

Le premier pas de toute démarche scientifique consiste à observer et à identifier un ensemble de variables susceptibles de décrire le phénomène ou le processus étudié. Cette connaissance demeure encyclopédique et de peu d'intérêt tant qu'un lien ou une relation n'est pas établi entre un premier ensemble de variables (le ou les variables d'entrée) et un autre ensemble de variables assujetties aux premières (le ou les variables de sortie). C'est le langage mathématique qui permet de formaliser cette relation, d'intégrer et de synthétiser les informations par la modélisation. Ce modèle, en tant que représentation du phénomène étudié, peut alors fournir un ensemble de réponses qu'il est ensuite possible de soumettre à la vérification. Le modèle est donc à la fois un outil inductif et déductif.

D'abord en tant qu'outil inductif, il permet la représentation et la description de phénomènes sur la base d'un ensemble de mesures. En tant qu'outil déductif, identifié au phénomène étudié, il permet aussi l'expérimentation théorique du système dans diverses situations (Villeneuve et *al.* 1998). L'AMC-RS a permis de déterminer dans le bassin versant des zones de gestion de l'eau par la combinaison des différents critères identifiés dans le bassin versant.

8.1 Zonage des sites de gestion optimum de l'eau

8.1.1 Zones de gestion optimum de l'eau en saison pluvieuse

Des zones de gestion d'eau ont été identifiées par simulation des critères d'utilisation optimale de l'eau. L'analyse se fonde sur la base de fonctionnement d'un système défini comme « un ensemble d'éléments interagissant entre eux en accord avec certains principes ou règles. Il est déterminé par les interactions qui caractérisent sa frontière, c'est-à-dire, le critère d'appartenance au système (déterminant si une entité appartient au système ou fait au contraire partie de son environnement) » (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me>).

La figure 59 est le concept schématique qui détermine les éléments (facteurs et contraintes) et les opérations influençant le fonctionnement du système. Il est

composé de facteurs, de contraintes et d'opérateurs qui font leurs liens pour aboutir à des résultats.

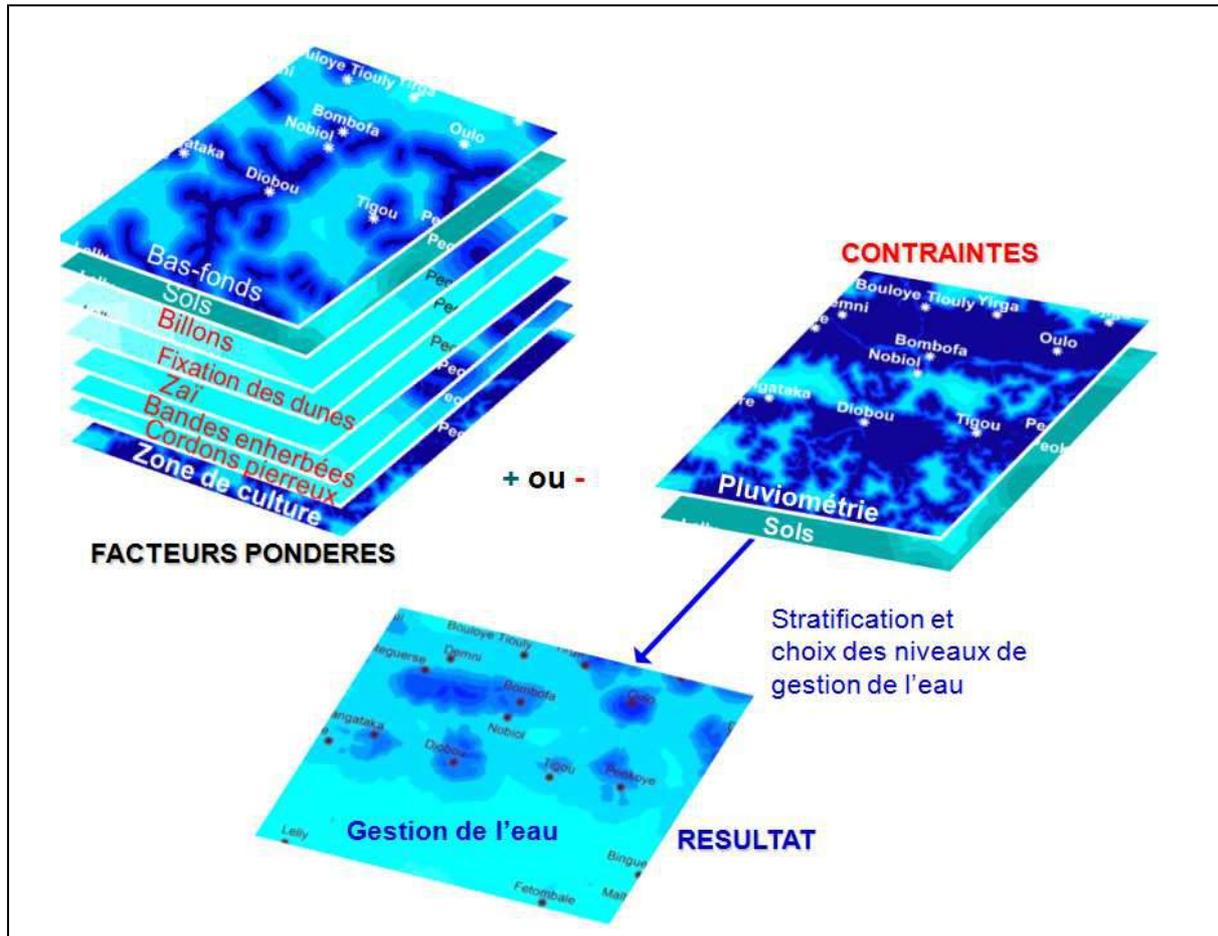


Figure 59 : Concept schématique de l'AMC-RS de saison pluvieuse

Les facteurs sont les critères essentiels qui influencent l'analyse. Les éléments composants, constituent les variables de base qui alimentent et font tourner le système.

Les contraintes font aussi partie intégrante du système mais jouent un rôle contraire aux facteurs. Ils contribuent avec les facteurs à établir un équilibre naturel.

Les opérateurs du système sont des applications arithmétiques (addition et soustraction) en dehors de l'équation intrinsèque du calculateur lui-même.

Les résultats sont le fruit des combinaisons en fonction des poids des facteurs qui entrent dans le système. Cette pondération consiste à attribuer à chaque élément de décision une note, de 0 à 100, en rapport avec son degré d'importance dans la décision à prendre. Le total des notes des éléments à comparer doit être égal à 100. Pour que le poids d'un élément augmente, celui d'un autre doit diminuer.

Pour l'analyse des résultats des deux cas de figures (saison de pluie et saison sèche), nous avons considéré les zones dont les valeurs sont situées entre 95 et 100 comme les zones d'impact notable (impact important), celles dont les valeurs sont comprises entre 80 et 95 pour les zones à moyen impact et les zones où les valeurs sont inférieures à 80 comme les zones ne recevant pas d'impact. Cette hiérarchisation obéit à la classification en trois catégories proposée par Hamdadou, (2007) mais les classes sont arbitrairement fixées en tenant compte de la connaissance du terrain.

Plusieurs scénarii ont été proposés suite à des entretiens avec les populations des villages échantillonnés.

Gestion de l'eau en saison pluvieuse vue par les producteurs

La gestion de l'eau telle que vue par les producteurs de notre échantillon est traduite par la formule ci-dessous :

Gestion de l'eau vue par les producteurs= (fumure@cartes*22+cordon_pierreux@cartes*13+zai@cartes*7+bande_enherbe@cartes*7+fixation_dune@cartes*3+zone_culture@cartes*19+sol_apte@cartes*17+paillage@cartes*12)-rast_pluviometrie@cartes

La figure 60 est le résultat de la simulation. Elle indique que les zones où la gestion de l'eau est plus importante sont localisées un peu partout dans le bassin, particulièrement dans la partie médiane. Cette partie qui est la plus cultivée (dunes de sable) peut être l'explication à la concentration des zones de gestion importante à cet endroit. En plus, elles sont aussi situées dans leur majorité autour des localités. On les retrouve notamment autour des villages de Dani, Katchari, Oulo, Bombofa, Djigo etc. Les champs de case et de village mieux entretenus (qui reçoivent en plus des ordures ménagères et les fumures de parcage) que les champs de brousse sont un fait établi qui expliquerait cette situation.

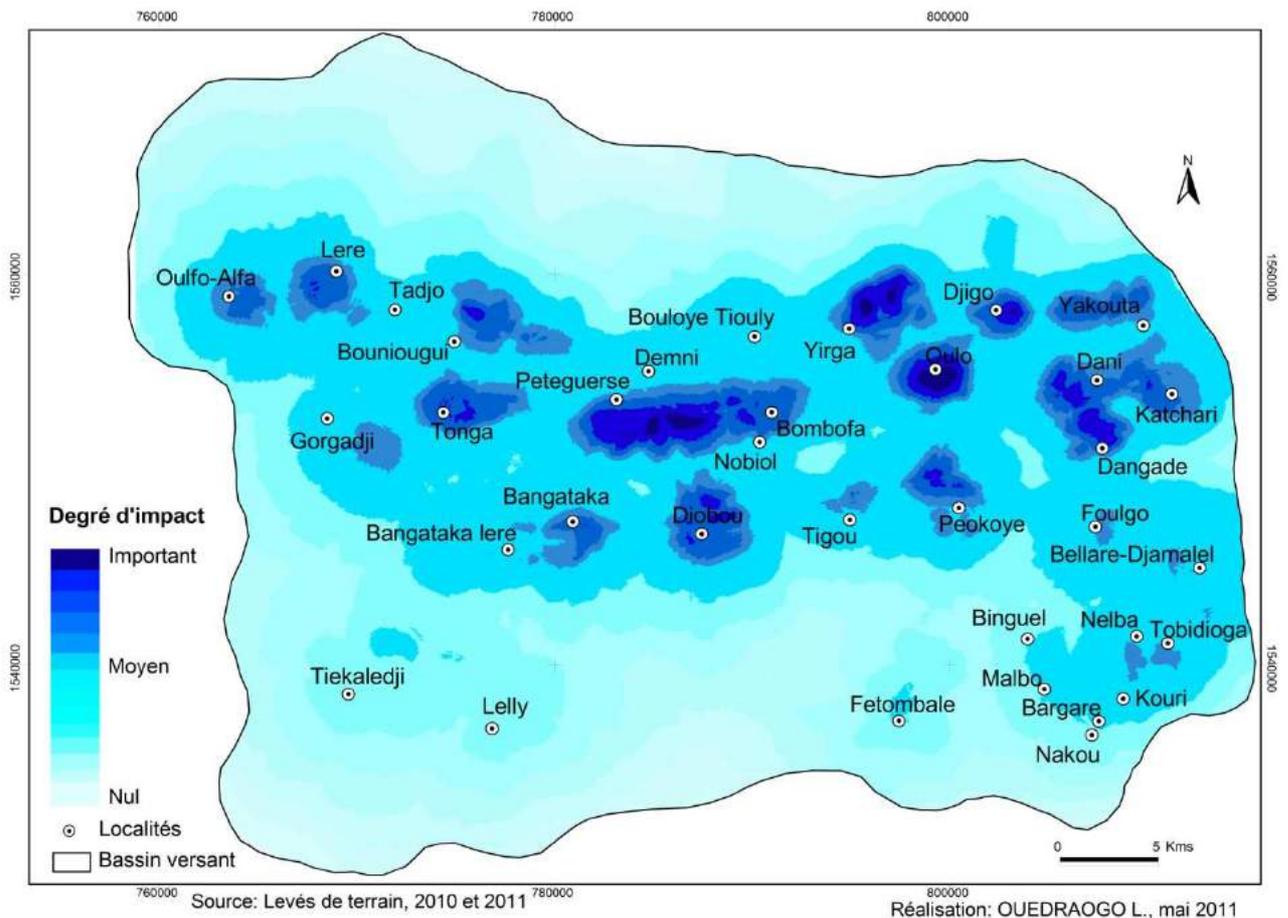


Figure 60 : Carte de gestion d'eau en saison pluvieuse vue par les producteurs

Le tableau 43 illustre les statistiques relatives aux zones de gestion que nous avons regroupées en trois classes. La première classe (important) représente 11,34% soit 20610,72 hectares, ce qui donne 1,9 hectare par ménage pour l'ensemble du bassin versant. Quant à la deuxième classe (moyennement important), elle est de 84,42%.

Tableau 43 : Gestion de l'eau vue par les producteurs

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	20610,72	11,34
Moyen	153349,43	84,42
Nul	7706,76	4,24
Total	181666,92	100

De ce qui précède, c'est-à-dire les critères et la classification faite par les populations, nous avons envisagé des scénarii présentés sous trois cas de figures. Ils font varier les poids de la pluviométrie et se traduisent comme suit :

Scénario 1 : La pluviométrie est un facteur qui intervient à 30%

La formule de l'équation dans ce cas s'écrit de la manière suivante :

Gestion de l'eau en saison pluvieuse (scénario 1) = (fumure@cartes*19+cordon_pierreux@cartes*8+zai@cartes*5+bande_enherbe@cartes*10+fixation_dunne@cartes*2+zone_culture@cartes*8+sol_apte@cartes*10+paillage@cartes*8+pluviometrie@cartes*30)-contrainte_sol@cartes

Les localisations spatiales de la première classe (des sites de gestion importante de l'eau) sont inexistantes. La figure 61A, résultat de l'équation ne montre aucune trace de cette classe. Les zones les plus remarquables (coloration un peu sombre) se localisent au centre nord et au nord ouest du bassin versant. Ce sont les zones de moyenne gestion.

Les statistiques du tableau 44 viennent confirmer la situation avec des valeurs nulles de la première classe. La deuxième classe est très fortement présente avec plus de 85% du bassin versant.

Tableau 44 : Gestion de l'eau en saison pluvieuse du scénario 1

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	00	00
Moyen	155785,66	85,76
Nul	25867,52	14,24
Total	181653,20	100

Scénario 2 : La pluviométrie est un facteur qui intervient à 20% dont la formule d'équation s'écrit :

Gestion de l'eau en saison pluvieuse (scénario 2) = (fumure@cartes*23+cordon_pierreux@cartes*10+zai@cartes*5+bande_enherbe@cartes*12+fixation_dunne@cartes*2+zone_culture@cartes*8+sol_apte@cartes*12+paillage@cartes*8+rast_pluviometrie@cartes*20)-recode_contrainte_sol@cartes

Ce scénario est presque similaire au précédent avec l'inexistence presque totale de la première classe. Elle est néanmoins représentée par une infime proportion de 0,01% soit environ 10 hectares, difficilement repérable sur la figure 61B. La bande un peu sombre qui s'étend d'est en ouest fait partie de la deuxième classe ; elle est la

mieux représentée avec plus de 92% de la superficie du bassin versant comme indiqué dans le tableau 45.

Tableau 45 : Gestion de l'eau en saison pluvieuse du scénario 2

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	10,83	0,01
Moyen	168461,35	92,73
Nul	13194,74	7,26
Total	181666,92	100

Scénario3 : La pluviométrie est un facteur qui intervient à 10% dont la formule d'équation est la suivante :

Gestion de l'eau en saison pluvieuse (scénario 3) = (fumure@cartes*27+cordon_pierreux@cartes*13+zai@cartes*7+bande_enherbe@cartes*7+fixation_dun_e@cartes*3+zone_culture@cartes*19+sol_apte@cartes*14+paillage@cartes+rast_pluviometrie@cartes * 10)-contrainte_sol@cartes

Ce scénario donne des résultats un peu différents que le précédent avec les marques visibles des zones de gestion importante de l'eau. Elles apparaissent en effet autour de quelques localités (Léré, Oulfo-Alfa, Tonga etc.) indiquées sur la figure 61C. Leur importance se matérialise ainsi à travers les statistiques des différentes classes dans le tableau 46. Néanmoins la première classe (important) est peu représentée avec seulement 1,7%. Par contre la zone de seconde importance (moyennement important) occupe une proportion toujours importante avec plus de 93%.

Tableau 46 : Gestion de l'eau en saison pluvieuse du scénario 3

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	3101,52	1,70
Moyen	169575,44	93,36
Nul	8989,95	4,94
Total	181666,92	100

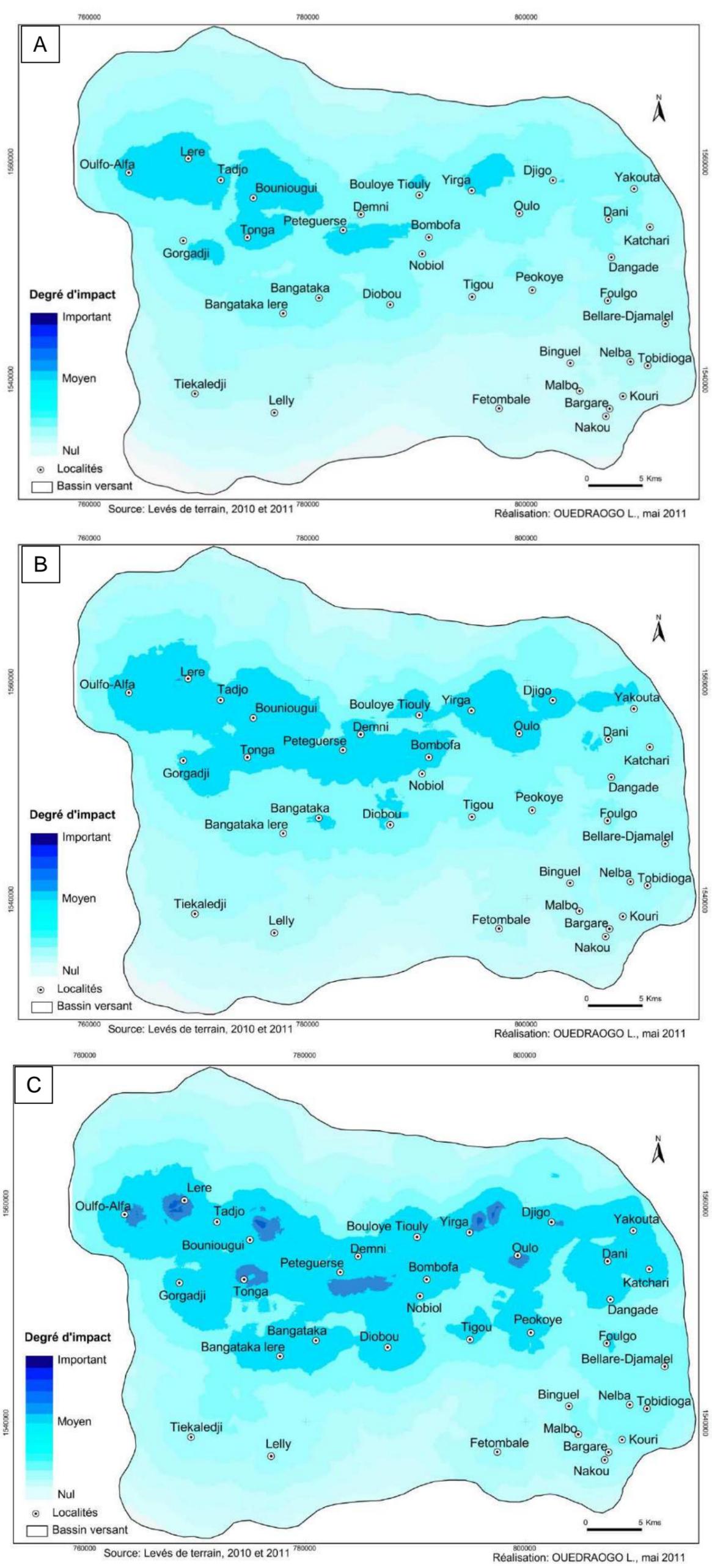


Figure 61 : Cartes de gestion de l'eau en saison pluvieuse: A = scénario 1, B = scénario 2, C = scénario 3

L'analyse des scénarii de gestion de l'eau du bassin versant met en perspective une série de critères socio-économiques qui sont des réalisations que les producteurs ont faites pour mobiliser efficacement l'eau avec un critère naturel qui est la pluviométrie. Les résultats des analyses permettent de tirer la conclusion que la pluviométrie est un élément qui influence la gestion de l'eau en saison pluvieuse. En effet, à partir du tableau 47, nous constatons que lorsque la pluviométrie intervient comme un facteur au poids (en pourcentage) de plus en plus élevé (-1, 10, 20 et 30), le niveau de gestion de l'eau diminue (respectivement 11,34%, 1,7%, 0,01% et 0%). Inversement, lorsque cette contribution décroît, c'est-à-dire qu'elle intervient de plus en plus comme une contrainte, le niveau de gestion augmente.

Tableau 47 : Synthèse des impacts de gestion de l'eau en saison pluvieuse fonction de la pluviométrie

Scénarii	Poids = -1	Poids = 10	Poids = 20	Poids = 30
Degré d'impact	%	%	%	%
Important	11,34	1,70	0,01	00
Moyen	84,42	93,36	92,73	85,76
Nul	4,24	4,94	7,26	14,24
Total	100	100	100	100

Nous pouvons admettre que la gestion spatiale de l'eau est donc inversement proportionnelle à l'intensité de la pluviométrie. Plus la pluviométrie augmente, moins il y a des superficies de gestion d'eau, et à l'opposé, moins il y a de la pluie plus les superficies de gestion d'eau sont grandes. Cela voudrait dire qu'en année de bonne pluviométrie, les producteurs se soucient peu de l'aménagement de leurs terres de culture. Ils savent que la quantité d'eau tombée suffira à la production nécessaire pour leur survie. Par contre, en année de pluviométrie insuffisante, l'utilisation rationnelle de l'eau, aussi minime soit elle pour la plante, contribue à accroître leurs récoltes. Pour ce faire, des initiatives d'aménagements de conservation et d'utilisation de l'eau sont développées par les producteurs dans les champs pour une productivité acceptable des cultures.

8.1.2 Zones de gestion optimum de l'eau en saison sèche

La détermination des zones de gestion optimum de l'eau en saison sèche est fondée sur l'analyse des éléments fondamentaux qui contribuent à acquérir et à utiliser correctement l'eau selon les besoins.

Dans le bassin versant de Yakouta, les principales composantes de cette gestion ont été répertoriées par les producteurs lors des enquêtes semi-structurées réalisées dans les villages échantillon en février 2011. Ces composantes sont structurées comme celles de la saison humide à partir des facteurs, des contraintes et les résultats, matérialisés par la figure 62 (concept schématique).

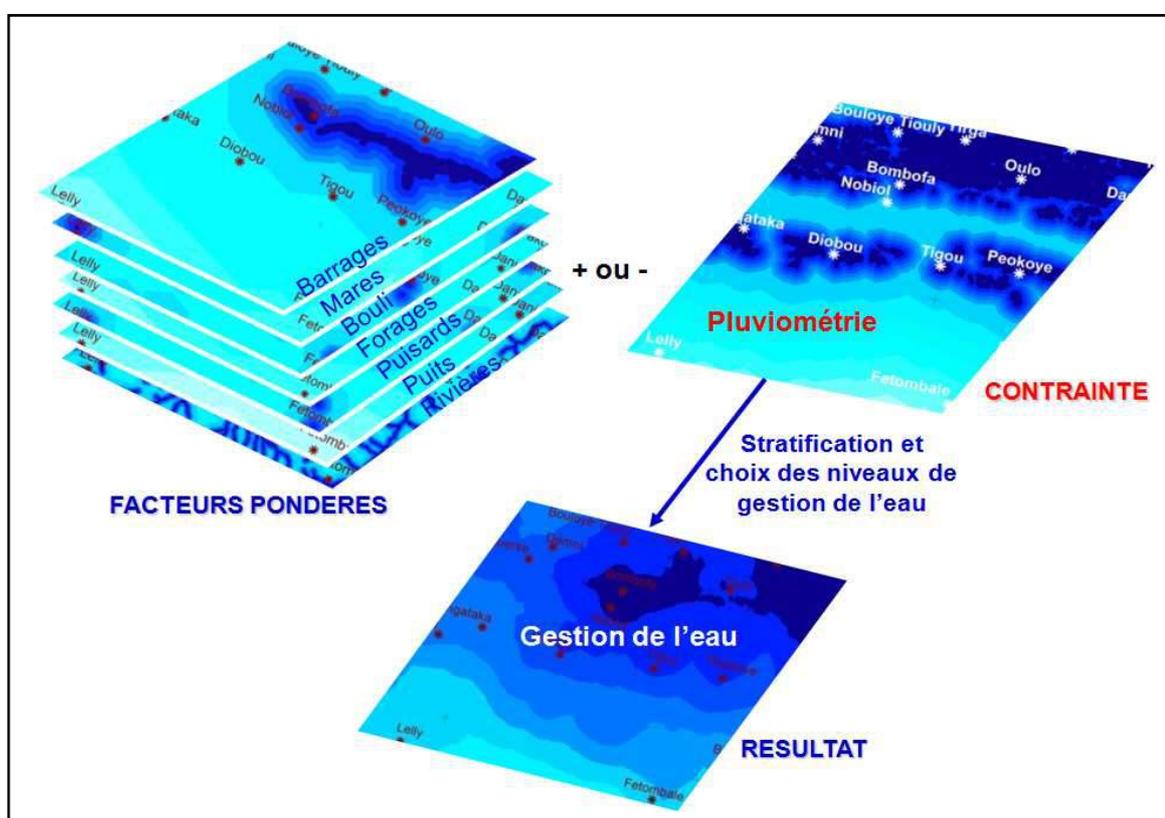


Figure 62 : Concept schématique de l'AMC-RS de saison sèche

Les trois composantes concernent les éléments suivants :

- les facteurs constitué par le maraîchage, les impluviums, les mares, les puits ; les forages, les *bouli*, les rivières et les puisards ;
- les contraintes avec la pluviométrie, la température et les sols ;
- le résultat qui est le produit de la simulation.

Des pondérations proposées par la population en fonction de l'importance qu'elle attribue aux facteurs ont été réalisées. Elles permettent de donner une hiérarchie à ces facteurs qui n'interviennent pas avec les mêmes importances. L'analyse combinée des critères à diverses pondérations fait ressortir les scénarii suivants :

Gestion de l'eau en saison sèche vue par les producteurs

L'équation suivante est la traduction de la gestion de l'eau en saison pluvieuse vue par les producteurs. Elle est formulée comme suit :

$$\text{Gestion de l'eau en saison sèche vue par les producteurs} = (\text{cost_barrage@cartes*15} + \text{cost_bouli@cartes*12} + \text{cost_forage@cartes*15} + \text{cost_impluvium@cartes*1} + \text{cost_maraichage@cartes*12} + \text{cost_mare@cartes*12} + \text{cost_puisard@cartes*6} + \text{cost_puits@cartes*14} + \text{cost_riviere@cartes*4} + \text{cost_bas_fond@cartes*9}) - \text{rast_pluviometrie@cartes}$$

Le résultat est la carte de gestion de l'eau matérialisée par la figure 63. Dans ce scénario, la pluviométrie est une contrainte à la gestion de l'eau. Nous constatons que l'occupation spatiale des zones de très bonne gestion d'eau (couleur bleu foncée sur la figure) est relativement limitée. Cette figure montre qu'elles sont circonscrites autour de sept villages à savoir Yakouta, Dani, Katchari et Djigo à l'est, Bombofa et Nobiol au centre et Bouniougui à l'ouest. Par contre celles moyennement gérées sont considérables. Les superficies qu'elles occupent sont respectivement de 7,43% et 78,05% (tableau 48).

Tableau 48 : Gestion de l'eau en saison sèche (producteurs)

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	13493,87	7,43
Moyen	141793,96	78,05
Nul	26379,09	14,52
Total	181666,92	100

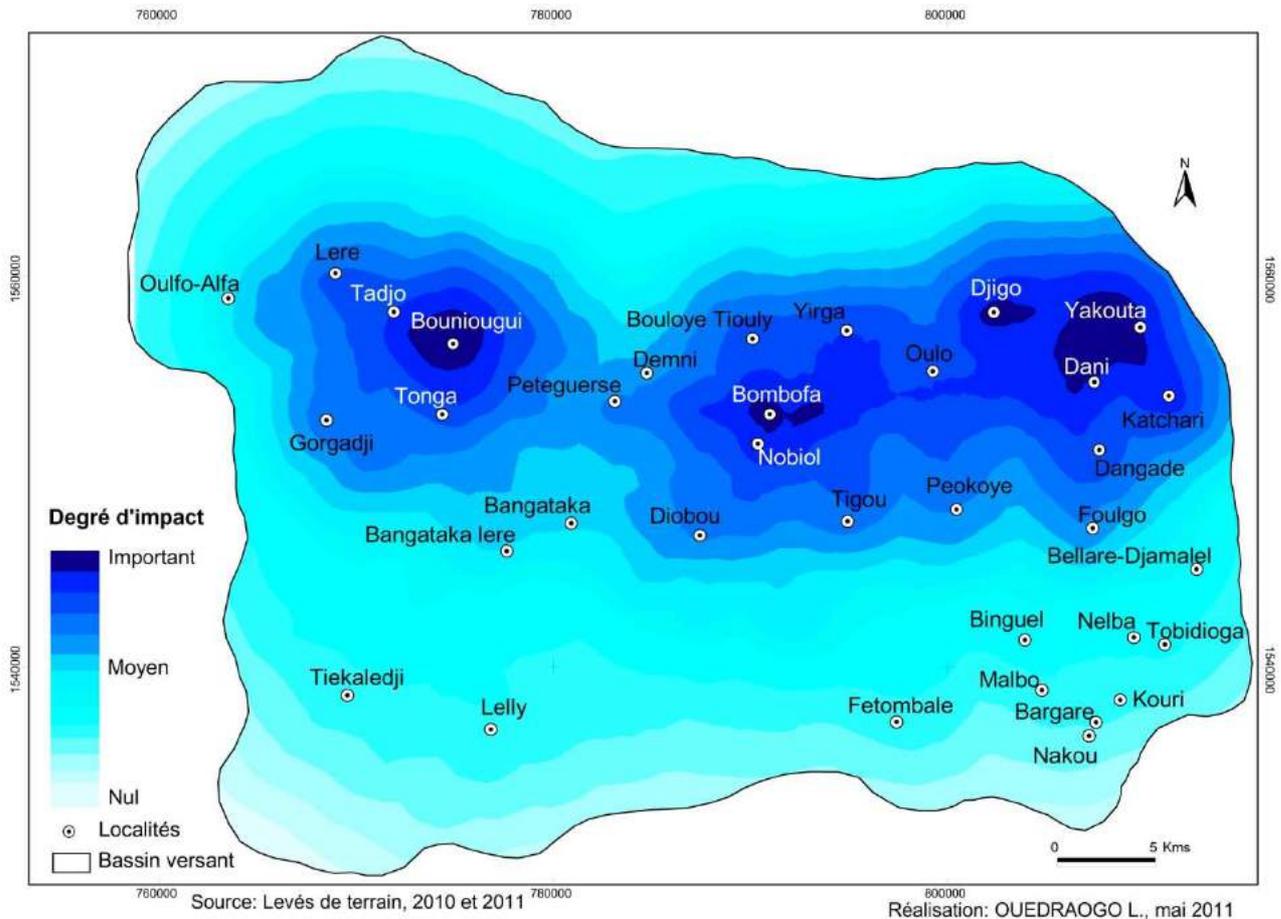


Figure 63 : Cartes de gestion de l'eau en saison sèche vue par les producteurs

Scénario 1: La pluviométrie, facteur intervenant à 1%

L'équation suivante est la traduction du scénario 1

$$\text{Gestion de l'eau en saison sèche} = \text{cost_barrage} @ \text{cartes} * 15 + \text{cost_bouli} @ \text{cartes} * 12 + \text{cost_forage} @ \text{cartes} * 15 + \text{cost_impluvium} @ \text{cartes} * 1 + \text{cost_ma raichage} @ \text{cartes} * 12 + \text{cost_mare} @ \text{cartes} * 12 + \text{cost_puisard} @ \text{cartes} * 6 + \text{cost_puits} @ \text{cartes} * 14 + \text{cost_riviere} @ \text{cartes} * 4 + \text{cost_bas_fond} @ \text{cartes} * 9 + \text{rast_pluviometrie} @ \text{cartes}$$

Dans ce scénario, la pluviométrie participe à l'analyse comme un facteur dont le poids est égal à 1. Avec les autres facteurs, ils totalisent un poids égal à 100. Sur le plan de l'occupation de l'espace (figure 64A), le résultat de l'analyse montre qu'il n'y a pas de différence notable avec le scénario précédent. Les zones concernées par les deux types de gestion sont sensiblement les mêmes.

Les données statistiques du tableau 49 confirment ce constat et mieux, indiquent une légère baisse pour le premier avec 6,99 % et une légère hausse pour le second avec 78,30 %.

Tableau 49 : Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 1)

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	12694,24	6,99
Moyen	142243,27	78,30
Nul	26729,41	14,71
Total	181666,92	100

Scénario 2: La pluviométrie est un facteur qui intervient à 10%.

Le scénario 2 est exprimé par l'équation ci-dessous:

$$\text{Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 2)} = \text{cost_barrage@cartes} * 10 + \text{cost_bouli@cartes} * 12 + \text{cost_forage@cartes} * 15 + \text{cost_impluvium@cartes} * 1 + \text{cost_marichage@cartes} * 10 + \text{cost_mare@cartes} * 9 + \text{cost_puisard@cartes} * 6 + \text{cost_puits@cartes} * 14 + \text{cost_riviere@cartes} * 4 + \text{cost_bas_fond@cartes} * 9 + \text{rast_pluviometrie@cartes} * 10$$

La carte de gestion de l'eau de la figure 64B traduit le résultat du scénario.

Dans ce scénario, la pluviométrie contribue comme facteur avec un poids de 10%. Le résultat présente une légère différence dans l'occupation spatiale pour les deux niveaux de gestion d'eau (important et moyen).

Les deux ont augmenté alors en superficie respectivement de 8,25% et 87,70% comme le tableau 50 l'illustre. Nous constatons surtout à l'observation de la figure 64B que c'est autour du village de Bombofa que l'accroissement spatial du premier niveau s'est opéré.

Tableau 50 : Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 2)

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	14984,49	8,25
Moyen	159315,30	87,70
Nul	7367,13	4,05
Total	181666,92	100

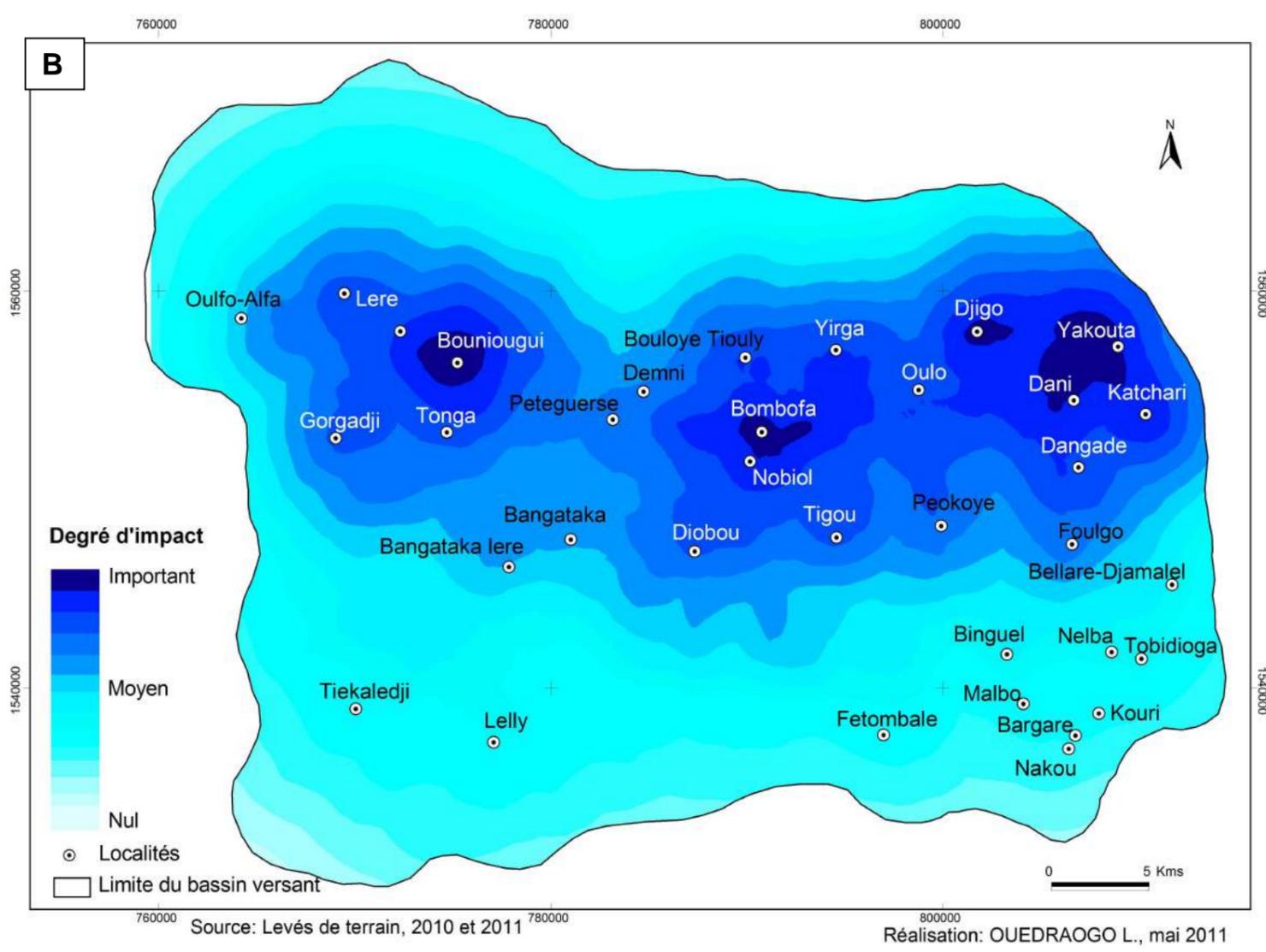
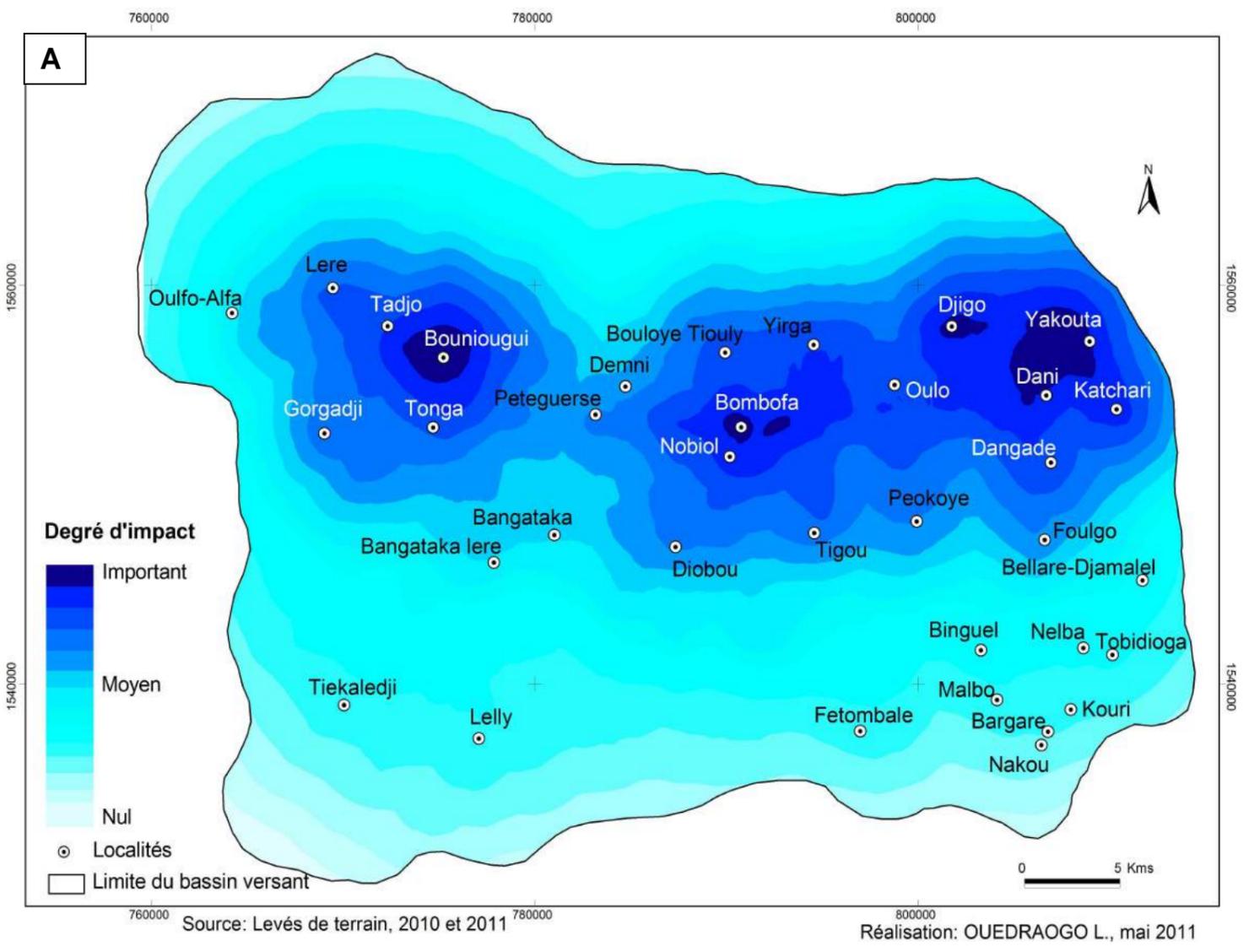


Figure 64: Cartes de gestion de l'eau en saison sèche : A = scénario 1, B = scénario 2

Scénario 3: La pluviométrie est un facteur qui intervient à 20%.

Ce scénario se traduit mathématiquement par cette équation :

$$\text{Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 3)} = \text{cost_barrage@cartes} * 10 + \text{cost_bouli@cartes} * 12 + \text{cost_forage@cartes} * 12 + \text{cost_impluvium@cartes} * 1 + \text{cost_maraichage@cartes} * 10 + \text{cost_mare@cartes} * 9 + \text{cost_puisard@cartes} * 6 + \text{cost_puits@cartes} * 12 + \text{cost_riviere@cartes} * 4 + \text{cost_bas_fond@cartes} * 4 + \text{rast_pluviometrie@cartes} * 20$$

Dans ce scénario, la pluviométrie intervient comme un facteur de 20 %. Sur le plan spatial, nous constatons une augmentation de la première zone dans la partie est du bassin dont l'extension atteint le village de Dangade (figure 65A). Les statistiques du tableau 51 confirment cette augmentation avec les superficies respectives de 8,44% et 88,58% du premier et du deuxième niveau (important et moyen).

Tableau 51 : Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 3)

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	15331,40	8,44
Moyen	160925,08	88,58
Nul	5410,44	2,98
Total	181666,92	100

Scénario 4: La pluviométrie est un facteur qui intervient à 40%.

Le cinquième scénario prend la pluviométrie comme un facteur à hauteur de 40%. C'est une situation nettement favorable car dans ces conditions, la pluie ne constitue plus de soucis pour les producteurs. La formule suivante traduit l'équation de ce scénario.

$$\text{Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 4)} = \text{cost_barrage@cartes} * 10 + \text{cost_bouli@cartes} * 7 + \text{cost_forage@cartes} * 10 + \text{cost_impluvium@cartes} * 1 + \text{cost_maraichage@cartes} * 5 + \text{cost_mare@cartes} * 5 + \text{cost_puisard@cartes} * 4 + \text{cost_puits@cartes} * 10 + \text{cost_riviere@cartes} * 4 + \text{cost_bas_fond@cartes} * 4 + \text{rast_pluviometrie@cartes} * 40$$

La figure 65B présente les résultats de cette simulation qui semblent différents que les précédentes. Sur le plan spatial, il y a un étalement assez net de la zone de

gestion importante, qui gagne presque tous les villages est et centre du bassin versant.

Les statistiques sur les superficies révèlent que le premier (important) a été multiplié par 2 pour avoisiner 20 % (8,44 à 19,67%) tandis que le deuxième (moyen) a connu une diminution à 80,33 % conformément au tableau 52. Nous remarquons également que la troisième classe (nul) est inexistante (0%).

Tableau 52 : Gestion de l'eau en saison sèche (scénario 4)

Degré d'impact	Superficie	Pourcentage
Important	35732,11	19,67
Moyen	145934,81	80,33
Nul	0	0
Total	181666,92	100

Dans les différentes équations, les formules comportent des dénominations dont la compréhension est faite à travers les définitions suivantes :

- `cost_barrage@cartes` = carte raster de l'impact des barrages dans bassin versant,
- `cost_bouli@cartes` = carte raster de l'impact des *bouli*,
- `cost_forage@cartes` = carte raster de l'impact des forages,
- `cost_impluvium@cartes` = carte raster de l'impact des impluviums,
- `cost_mare@cartes` = carte raster de l'impact des mares,
- `cost_puisard@cartes` = carte raster de l'impact des puisards,
- `cost_puits@cartes` = carte raster de l'impact des puits,
- `cost_riviere@cartes` = carte raster de l'impact des rivières,
- `cost_bas_fond@cartes` = carte raster de l'impact des bas-fonds,
- `rast_pluviometrie@cartes` = carte raster de l'impact de la pluviométrie.

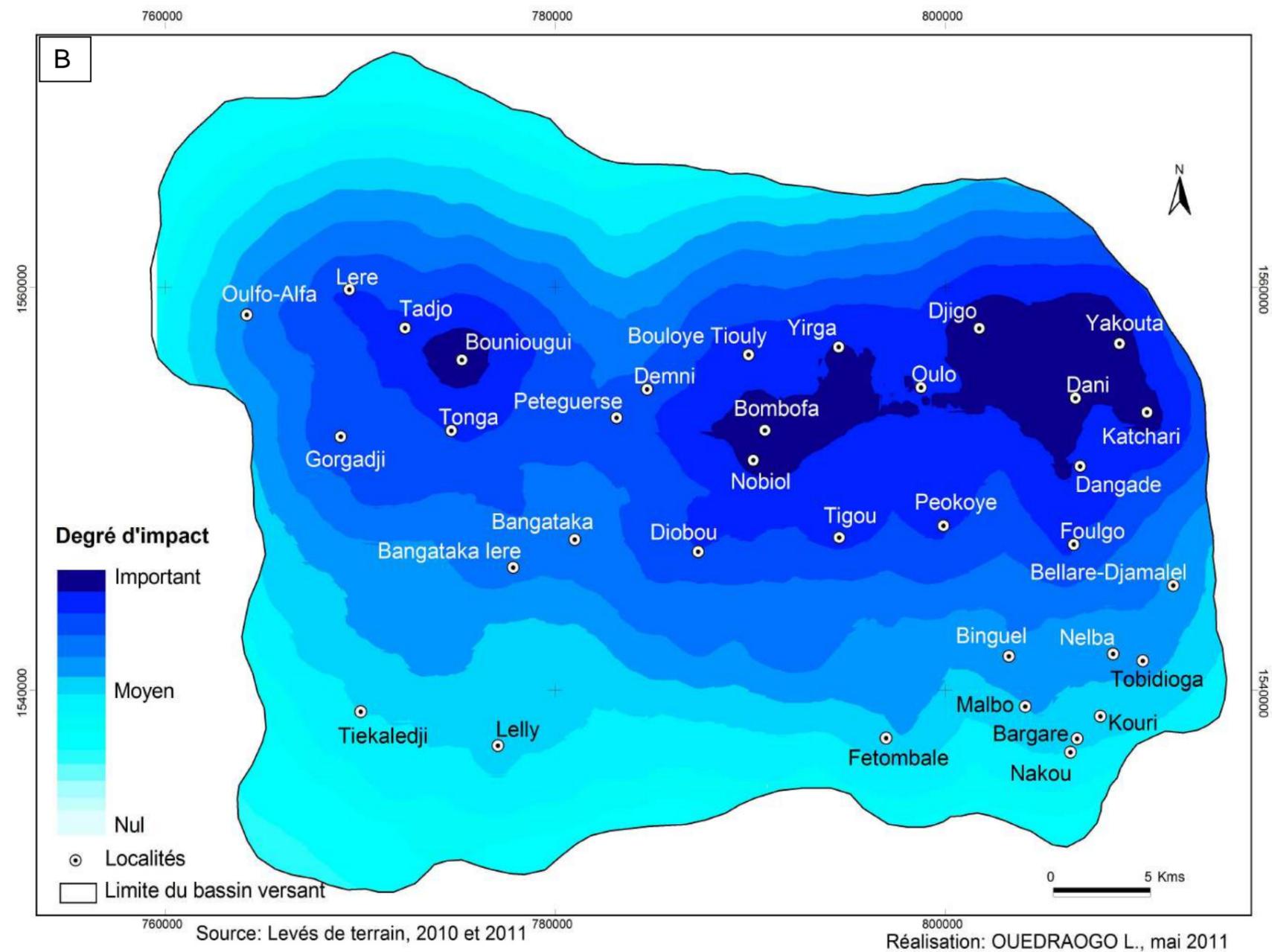
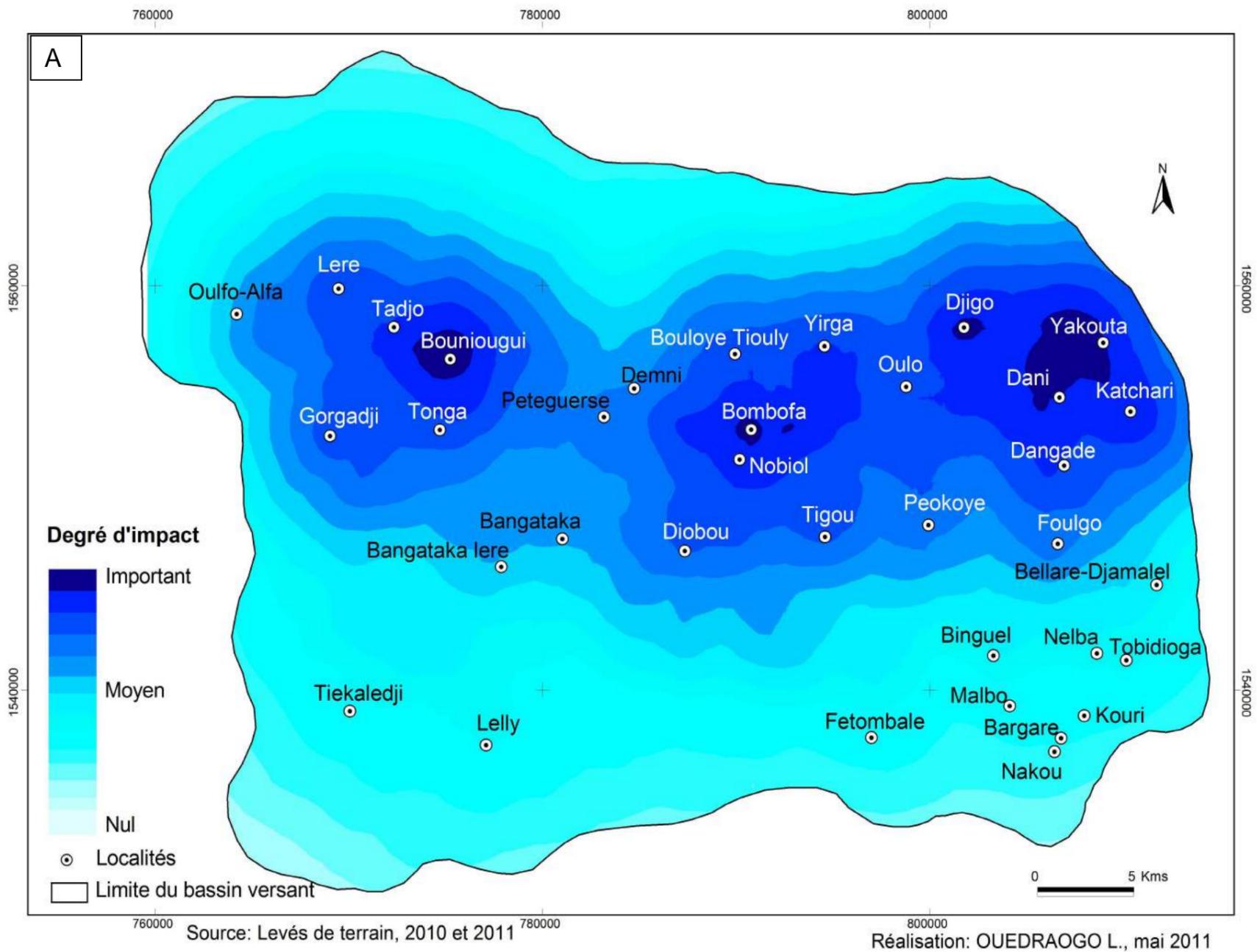


Figure 65 : Carte de gestion de l'eau en saison sèche : A = scénario 3 et B = scénario 4

L'analyse des scénarii permet de conclure que la couverture spatiale de l'impact de la gestion de l'eau en saison sèche est tributaire à la pluviométrie. Quand elle est une contrainte, la gestion couvre une superficie relativement peu importante mais elle augmente à mesure que la pluviométrie devient de plus en plus abondante. Ainsi, la superficie couverte varie de 7,43% (quand la pluviométrie constitue une contrainte) pour atteindre 19,67% lorsque cette pluviométrie intervient comme un facteur avec un poids de 40 (Tableau 53).

Tableau 53 : Synthèse des impacts de gestion de l'eau en saison sèche par rapport au poids pluviométrique

Scénarii	Contrainte (-1)	Facteur = 1	Facteur = 20	Facteur = 40
Degré d'impact	%	%	%	%
Important	7,43	6,99	8,25	19,67
Moyen	78,05	78,30	87,70	80,33
Nul	14,52	14,71	4,05	0
Total	100	100	100	100

A ce moment, le nombre de villages couverts (sur le plan spatial) augmente à la faveur des bonnes conditions pluviométriques. Il passe de 14 à 21 villages sur 35 villages qui sont sur la zone d'étude. En revanche le nombre de villages diminue lorsque la pluviométrie se dégrade. La couverture spatiale devient de moins en moins importante quand la pluviométrie passe d'un rôle de facteur à une contrainte de production. La pluviométrie est donc un élément déterminant dans la gestion de l'eau en saison sèche. Plus elle est abondante, bien répartie dans le temps et dans l'espace, plus les ouvrages profitent de la recharge de la nappe pour bien desservir et fournir l'eau de consommation et de production.

Les résultats issus des analyses montrent que de nos jours, la gestion spatiale d'un territoire doit se faire de façon systémique en intégrant tous les paramètres relatifs à son aménagement durable. Les SIG combinés à l'analyse multicritère offrent ces possibilités géomatiques pour la modélisation spatio-temporelle et l'aide à la décision. Pour le bassin versant de Yakouta, elle est fondée sur l'hypothèse qu'il existe, pour une date donnée, une série de critères spatialisés traduisant les activités des producteurs dans leur quête de bonne gestion quotidienne de l'eau au sein de leur zone de production.

8.2 Analyse de l'efficacité des stratégies de gestion de l'eau

L'analyse de l'efficacité des stratégies de gestion de l'eau s'est faite à partir de deux catégories de données. Il s'agit des résultats de l'identification des zones potentielles de gestion d'eau de saison de pluie issus de l'analyse multicritère et du parcellaire de l'échantillon dans les quatre villages (Yakouta, Nakou, Léré et Oulo). Ces résultats issus de la concertation avec les producteurs dans les sites traduisent au mieux les réalités locales. Les SIG ont permis la superposition des deux couches pour dégager les parcelles situées dans les différentes zones de gestion de l'eau, et ont permis d'apprécier le niveau général de la gestion de l'eau dans le bassin versant. La figure 66 constitue le résultat cartographique de cette superposition. L'observation de cette figure nous renseigne que la répartition spatiale des niveaux de gestion de l'eau est disproportionnée et fonction des sites. Les trois classes ne se retrouvent pas partout et une d'entre elles (la classe « nul ») est inexistante dans tous les quatre sites. Les deux classes (important et moyen) sont présentes à Léré, Oulo et Yakouta tandis que Nakou ne dispose qu'une seule classe (moyen).

Le tableau 54 donne les statistiques sur les niveaux de gestion d'eau par site. Sur un total de 652,9 hectares de parcelles de l'échantillon inventoriées, 233,4 hectares soit 35% sont concernés par une gestion importante de l'eau ; le reste (65%) est consacré à une gestion moyenne. Il indique en plus une différence de niveau d'importance en fonction des villages avec 18,3% à Oulo et 11,6% à Yakouta contre 5,9% à Léré et 0% à Nakou. Ainsi, on peut dire que les adaptations ont une efficacité d'une certaine manière. Les villages les plus proches du barrage de Yakouta (Oulo et Yakouta dans l'échantillon) possèdent une superficie plus élevée de bonne gestion de l'eau au regard de la répartition spatiale des parcelles.

Tableau 54 : Efficacité de la gestion de l'eau dans les sites

Villages \ Efficacité	Léré		Nakou		Oulo		Yakouta		Total	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Important	38,7	5,9	0	0	119	18,3	75,6	11,6	233,4	35,8
Moyen	49,5	7,5	71,1	10,8	249,3	38,3	49,6	7,6	419,5	64,2
Nul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	88,2	13,4	71,1	10,8	368,3	56,6	125,2	19,2	652,9	100

En effet ces localités sont situées sur des dunes de sable et sont très accessibles à tout temps. Ces sont bénéficient des aménagements endogènes (bandes enherbées et fumure organique surtout). Par contre le village de Nakou est difficile d'accès surtout en saison pluvieuse. Il y a aussi que les stratégies ne font pas partie des habitudes de cette localité quand bien même leurs terres (gravillonnaires et argileux) doivent se prêter mieux à ces pratiques.

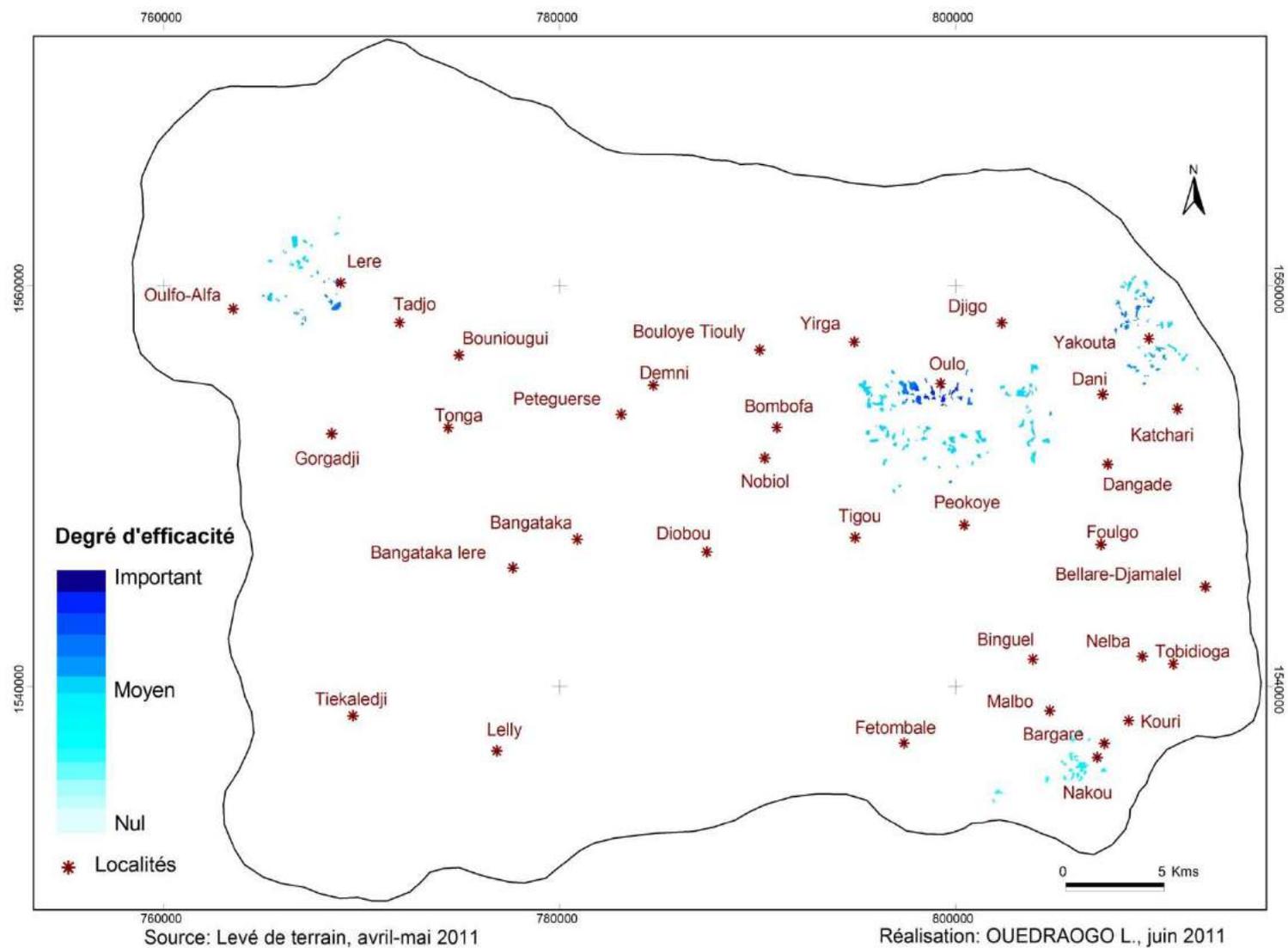


Figure 66: Niveau d'efficacité de gestion de l'eau à la parcelle

Dans les conditions actuelles, le barrage constituerait sans doute un facteur déterminant dans la gestion de l'eau surtout en saison sèche. La localisation des villages et notamment des habitations proches des retenues d'eau sont une preuve de positionnement stratégique des activités de production. Cette stratégie adoptée par la majorité des producteurs leur permet d'endurer moins de longues distances pour se procurer de l'eau de boisson ou d'abreuvement pour le bétail en saison sèche. La majorité (75,9%) du parcellaire est localisée soit au village ou à côté des concessions et le bétail y passe une bonne partie des nuits durant la saison sèche. Ces champs ont donc plus de possibilité d'être mieux entretenus que ceux qui sont en brousse ne recevant pratiquement pas de soins particuliers.

Les parcelles les mieux gérées se localisent sur les espaces dunaires qui sont les zones les plus cultivées du fait que leurs sols soient plus faciles à travailler. D'Acquino (1996) affirmait que les Peul recherchent avant tout les zones sableuses : cordons dunaires ou ensablements éoliens et cette préférence pour les terres sableuses est liée à la facilité qu'elles offrent pour le travail agricole.

Sur la base de l'inventaire réalisé en avril 2011, la superficie moyenne cultivée en céréale par ménage était de 2,67 ha avec un rendement céréalier moyen de 575 kg/ha. La production totale dans le bassin versant donc pour la campagne 2010-2011 sur le bassin est environ 16 080 tonnes.

En considérant les zones de gestion importante, le rendement moyen est estimé à 805kg/ha contre 520kg/ha pour les zones d'importance moyenne à nulle. La différence de production est de 285kg/ha soit une augmentation de 54%. Ces zones donnent donc des rendements légèrement supérieurs à la moyenne. Les valeurs de ces résultats se situent dans la fourchette des résultats de Thiombiano, (2000) qui sont compris entre 500 et 800 kg/ha. Nous pouvons dire que les adaptations sont relativement efficaces mais il faut tenir compte d'autres paramètres (efforts physique, matériel de travail) mis dans la réalisation de ces aménagements. En outre ces moyennes cachent des disparités car il y a des variations notables de rendements en fonction des villages et des producteurs. De façon générale ces rendements se situent entre 4709 kg/ha à Léré et 28,6 kg/ha à Oulo. En considérant les zones de gestion importante de l'eau, les résultats donnent des valeurs relativement moins importantes, se situant entre 2620 kg/ha à Oulo et 75,1 kg/ha à Léré. Cette situation peut s'expliquer par le fait que certaines parcelles bien aménagées (*zai* ou fumure associée à cordons pierreux par exemple) se situent en dehors de ces zones et

donnent des rendements meilleurs que celles où l'eau est supposée être bien gérée. C'est l'exemple de la parcelle du producteur Sawadogo Harouna du village de Léré qui a récolté environ 6000kg de sorgho sur une superficie de 1,27 hectare aménagé en *zaï* soit un rendement de 4724 kg/ha. L'inventaire réalisé en 2011 a donné un total de superficie cultivée égal à 655,27 hectares pour 1282 ménages tandis que la superposition du modèle à ce parcellaire donne 207,89 hectares. Ce qui donne une moyenne de superficie aménagée d'environ 32%. Ce résultat est relativement faible quand on voit que la superficie totale cultivée par ménage est elle-même très faible (0,5 ha par ménage). En plus ces résultats cachent des disparités car le site de Nakou par exemple enregistre une moyenne de 0 ha par ménage alors qu'elle est de 0,19 à Léré et Oulo et 0,15 à Yakouta.

La répartition spatiotemporelle de la pluviométrie annuelle peut aussi influencer les résultats. Le cumul annuel pluviométrique de Dori et ses environs pour la campagne agricole 2010-2011 est estimé à 568,5 mm contre 484,2 mm pour la moyenne des cinquante dernières années. Selon les dires des producteurs, les récoltes ont été satisfaisantes pour ladite campagne. La bonne répartition des pluies dans le temps et dans l'espace en serait l'explication ; Cette pluviométrie s'est répartie sur 44 jours soit une quantité moyenne journalière de 12 mm. Mais les rendements d'une culture dépendent en priorité de la répartition des pluies dans la parcelle. Quand les parcelles sont bien arrosées (sans excès bien sûr), elles n'ont pas besoin d'aménagements spécifiques pour bien produire, car même celles qui ne le sont pas pourraient avoir des rendements aussi intéressants.

CONCLUSION PARTIELLE

Dans toutes les régions du monde, avec sans appuis extérieurs, les agriculteurs innovent, testent de nouvelles pratiques, font évoluer leurs activités pour tirer un meilleur parti de leur environnement ou s'adapter à ces évolutions (Bentz et *al.* 2002). La maîtrise de l'eau pour une agriculture productive et durable est la stratégie de première importance sur laquelle les Sahéliens et leurs décideurs souhaitent conjuguer les efforts. En effet, tous les acteurs s'accordent à considérer qu'un des défis que doit relever la région, dans la perspective d'une réduction de la pauvreté et de l'insécurité alimentaire, concerne la gestion de l'eau. Des producteurs l'ont compris et organisent la gestion de l'eau en appui avec les services techniques

autour des aménagements de CES, la réalisation et la gestion d'ouvrages hydrauliques.

D'une manière particulière, la gestion de l'eau dans le bassin versant de Yakouta touche des espaces d'influence bien définis par la modélisation. Mais au-delà de l'aire géographique circonscrite, il faut reconnaître que dans la pratique, ces espaces peuvent aller plus loin. La figure 51 (carte d'impact spatial des barrages) donne l'espace d'influence des barrages qui se résume à une distance moyenne standard pour toutes les saisons ; mais quand les ressources en eau deviennent plus rares en saison sèche, la zone d'influence s'étend souvent en dehors du bassin versant pour atteindre même les régions voisines.

L'AMC donne des résultats qui nous permettent de tirer les enseignements suivants : Il a identifié des zones potentielles de bonne gestion de l'eau aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Mais nous constatons que l'eau de consommation humaine et animale est mieux gérée qu'en saison pluvieuse. Cette situation serait probablement liée à la disponibilité ou à la couverture spatiale des aménagements et réalisations de gestion d'eau. Nous notons effectivement que les aménagements de saison pluvieuse (*zaï*, cordons pierreux etc.) sont éparses et très peu présents (en dehors de l'utilisation de la fumure organique et les bandes enherbées) dans le bassin versant. Par contre en saison sèche les infrastructures (puits, forages etc.) sont relativement bien distribuées même si leurs utilisations ne sont pas toujours bien faites.

En saison pluvieuse, les résultats de l'AMC montrent que les stratégies mises en place ont un impact relativement faible pour la gestion de l'eau. Ils varient très peu en fonction de la nature et du poids des critères considérés ; même le critère déterminant, qui est la pluviométrie, semble ne pas beaucoup influencer les résultats. Ce critère qui constitue en général une contrainte pour les producteurs (Ganaba, 2009 ; Kiéma et al, 2001) n'améliore pas significativement la gestion de l'eau quand il passe de l'état de contrainte à l'état de facteurs avec un poids de 1, 10 ou même 20. Des recherches menées à Saria (plateau central du Burkina) sur le sorgho (Zougmore et al 2006), ont montré que lorsque la pluviométrie annuelle est bien distribuée dans le temps, les aménagements induisent des accroissements très limités voire des baisses de rendements des cultures. Nous pouvons donc affirmer que dans les zones aménagées, la dégradation de la pluviométrie influence

positivement la gestion de l'eau pendant la saison des pluies et inversement, son abondance a un impact négatif.

Par contre, en saison sèche, on note une évolution progressive à mesure qu'il est pris en compte dans l'analyse. En effet quand il intervient seul comme contrainte, le pourcentage de gestion importante est de 7,43% ; lorsqu'il est pris comme un facteur (la pluviométrie intervient pour 10), l'impact est de 8,25% et quand il est très influent comme facteur avec un poids de 40, l'impact est de 19,67%. La pluviométrie influence donc positivement la gestion de l'eau en saison sèche parce que la disponibilité de l'eau à la faveur d'une bonne pluviométrie permet la recharge de la nappe phréatique qui alimente tous les points d'eau du bassin versant.

La superposition des zones de gestion importante de l'eau dégagées par l'AMC avec les parcelles inventoriées des producteurs donne des rendements en importance d'environ 12% de plus par rapport au rendement général de toute la zone d'étude.

Les stratégies mises en place dans le bassin versant semblent ne pas être liées forcément à la résolution unanime d'un problème structurel que les producteurs vivent mais plus à un solutionnement d'une situation "vue de dehors". La sous-exploitation des barrages (Yakouta, Bouniougui et Bombofa) pour la culture maraîchère, le nombre important de forage en panne (25%) ou de puits en mauvais état (52%) ou encore le faible taux de réalisations d'aménagements de cordons pierreux et du *zaï* sont des signes que la gestion de l'eau ne ferait pas partie intégrante de leurs préoccupations premières. L'aval du barrage de Bouniougui aménagé sur 10 hectares pour la culture maraîchère n'était exploité qu'au cinquième lors de campagne sèche de 2010. La conversion des producteurs à des activités de saison sèche autres que l'élevage semble ne pas convenir à une grande partie de la population majoritairement composée de Peul dont les réalités sociologiques semblent liées à la vie de leur bétail. Selon Ouédraogo (1994), le Peul n'est pas un agriculteur, c'est la dégradation des conditions naturelles (pluies, épidémie...) qui fait qu'il s'intéresse à l'agriculture.

La fiabilité des résultats que nous avons obtenus est fonction de plusieurs facteurs : L'une des difficultés de cette méthode est le choix des limites des classes des facteurs. Il s'opère en fonction d'une part de la faculté de discernement de l'opérateur et de son sens de jugement, et d'autre part, des valeurs des critères (Jourda et *al.* 2006 cités par Kouamé et *al.* 2008). Les limites des classes adoptées

ne sont donc pas figées, mais dépendent de la réalité du terrain et des objectifs à atteindre.

La validité des études sur les phénomènes spatialisés dépend non seulement de la validité des modèles proposés, mais également, de la qualité et de la pertinence des données descriptives de ces facteurs (Paget et *al.* 2008 ; Lili Chabaane et *al.* 2002).

Pour ce faire on doit veiller à :

- la bonne répartition des données et que la "vérité terrain" puisse se réaliser par un géoréférencement correct des aménagements ;
- la prise en compte de tous les critères qui peuvent influencer le modèle (variétés précoces ou améliorées, semis précoces et température) qui sont recensés comme des critères qui contribuent positivement ou négativement à l'adaptation ;
- et la représentativité des critères (aménagements ou ouvrages etc.).

L'AMC basée sur la méthode linéaire pondérée, dans sa finalité a permis d'établir des cartes qui sont des documents cartographiques destinés à éclairer les décideurs et les aménageurs.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le changement climatique est un phénomène complexe dont la compréhension implique la maîtrise d'un bon nombre de concepts liés au climat. Selon des études réalisées par les experts du GIEC, le climat mondial se réchauffe et continuera sa dynamique si des précautions ne sont prises. Ce réchauffement aurait entraîné en un siècle l'augmentation de la température moyenne du globe de l'ordre de 0,74°C. Les conséquences se traduisent par des impacts sur la sécurité alimentaire, la santé humaine et animale, l'activité économique et les ressources hydriques (GIEC, 2001). Plus que tout autre fléau, les changements climatiques demeurent l'une des menaces les plus graves qui pèsent sur le développement durable. Le climat a certes ses variations naturelles, mais aujourd'hui, il y a unanimité sur une des causes des bouleversements observés à l'échelle planétaire liées aux activités humaines. Toutefois, il est difficile d'établir un lien de causalité entre des phénomènes climatiques spécifiques et le réchauffement planétaire. Ce qui a été démontré sans conteste est un lien hautement probable entre le changement climatique et certains événements (les inondations, les sécheresses, les pénuries d'eau, les tempêtes et la variabilité climatique) qui contraignent à l'adaptation. C'est ainsi qu'à toutes les échelles spatiales, des stratégies sont préconisées ou entreprises pour faire face à ces bouleversements.

Sur le plan mondial les actions sont beaucoup plus orientées vers la mise en place de mécanismes institutionnels, des accords et des conventions qui sont des cadres dans lesquels les pays qui s'engagent ont des obligations de respect.

Au plan Africain, des institutions tels que le CILSS sont créées et entreprennent des actions pour faire face aux conséquences de ces changements climatiques. Mais en plus, des programmes comme African Monsoon Multidisciplinary Analyses (AMMA) sont exécutés pour produire des résultats scientifiques permettant de mieux comprendre le phénomène au plan régional.

Au niveau local, dans le bassin versant de Yakouta, le changement climatique a des effets négatifs sur le milieu. En effet, à travers les analyses des principaux paramètres climatiques de la zone (pluviométrie et température) et des dires des producteurs, il ressort que :

- les températures ont subi des hausses avec des écarts diurnes et nocturnes importants. 93,2% des enquêtés ont confié que les températures sont en

augmentation ces dernières années. Les données météorologiques ont confirmé ce fait avec des courbes de tendance dont l'allure générale est à la hausse depuis 1961 ;

- la pluviométrie, elle se caractérise par une instabilité dans le temps et dans l'espace. Les enquêtés ont à 76,4% déclaré et insisté sur ces perturbations constatées. Pour 61,5% d'entre eux, la saison a connu une restriction de l'ordre de trente jours depuis les cinquante dernières années. Quant aux données météorologiques, les analyses corroborent les observations des producteurs. Les courbes qui en ressortent montrent une évolution en concordance presque avec la vision paysanne.

Ce réchauffement du temps présent et la baisse de la pluviométrie ont des effets néfastes sur le milieu physique (assèchement précoce des cours et plans d'eau, baisse de la nappe phréatique, mauvaise répartition des pluies dans le temps et dans l'espace). Les conséquences sont donc directement ressenties sur la production agro-pastorale avec la mortalité des animaux, l'apparition des maladies des cultures en saison hivernale et c'est la vie de façon générale qui est hypothéquée. Ce qui nous permet de conclure que notre première hypothèse spécifique de recherche qui soutient que le changement climatique a des manifestations et des effets négatifs sur le milieu physique et humain est pleinement vérifiée.

Cet état de fait contraint les producteurs à développer des initiatives par rapport à leurs vécus quotidiens pour faire face aux aléas de la pluviométrie qu'ils pensent être le paramètre essentiel du changement climatique. Ils sont le plus souvent soutenus par des projets de développement et de gestion des ressources naturelles (ressources en sols, végétation et eau etc.).

Dans le bassin versant de Yakouta, les producteurs sont conscients de la dégradation de l'environnement en ses différentes composantes et approuvent les bienfaits que donne la mise en place des ouvrages antiérosifs. Selon eux, ces ouvrages permettent de récupérer des terres dégradées et de prévenir des zones menacées par l'érosion. A partir de nos enquêtes, les principales stratégies de production et de gestion de l'eau donnent une moyenne générale de 31,4% d'adoption. De façon spécifique, les proportions sont les suivantes : les cordons pierreux (15,5%), le *zai* (4,66%), les variétés améliorées (20,8%), la culture attelée (7,7%), la culture maraichère (31%), les puits, les forages et les retenues d'eau (en

tant qu'innovations exogènes). Mais il y a aussi des pratiques traditionnelles endogènes telles les bandes enherbées (12,4%), la fumure organique (83,2%), le paillage ou le branchage (16,46%), les billons (34,16%), l'association des cultures (82,3%), l'utilisation des puisards, les mares etc. Ces actions et ouvrages entrepris permettent d'affirmer que la deuxième hypothèse spécifique de notre recherche qui présume que les stratégies de gestion de l'eau mises en place par les producteurs relèvent de recettes traditionnelles autant que d'innovations endogènes et exogènes est totalement vérifiée.

Cependant par rapport à ce qui précède, on constate que les pratiques adaptatives ne font pas l'unanimité au sein des producteurs qui ne leur consacrent que de faibles superficies d'exploitation. Il y a aussi une inégale répartition des pratiques avec des proportions infimes voire nulles dans certains villages. Il y a donc des entraves qui justifieraient cette faible adhésion aux pratiques adaptatives ; parmi elles nous pouvons retenir principalement Des contraintes du milieu physique et Une entrave socioculturelle.

- *Des contraintes liées au milieu physique* : les producteurs estiment que le paysage sableux qui occupe la majorité des terres agricoles de la zone n'est pas propice aux aménagements de conservation des eaux et des sols (CES). En plus, les aléas climatiques entraînent des destructions de cheptels qu'il est très difficile de reconstituer. Les producteurs ont alors recours à l'agriculture pour pallier le manque à gagner créé.
- *Une entrave socioculturelle* fait que le pasteur du bassin versant Yakouta n'est pas « habitué aux travaux physiques intense ». Le berger trouve satisfaction en compagnie de son troupeau d'animaux. Mais avec la modification des conditions d'existence (dégradation des ressources naturelles), il a commencé à intégrer les activités agricoles exercées sur des sols sableux (dunes de sable), les plus faciles à travailler.

De ce fait, l'efficacité de la mesure réelle des aménagements en termes d'impact spatial sur la zone d'étude est mitigée. L'AMC qui utilise les modules r.cost et r.mapcalc du logiciel GRASS a servi de base pour une analyse des critères de gestion identifiés par les producteurs des villages d'échantillon. Selon la vision locale de gestion de l'eau, l'impact spatial est estimé à 11,34% représentant moins de 2 hectares par ménage en saison des pluies. Quant à l'accès à l'eau en saison sèche, il représente 7,43% de la couverture spatiale de la zone d'étude. Compte tenu des

conditions naturelles peu favorables dans cette zone agropastorale, ces valeurs nous semblent relativement faibles. Elles traduisent le bas niveau des pratiques de stratégies de gestion de l'eau surtout pour les activités de production de saison des pluies. Il suffit de parcourir la zone pour s'en convaincre. La troisième hypothèse spécifique de recherche qui stipule que les mesures adaptatives mises en place par les producteurs sont efficaces pour la gestion durable des ressources en eau n'est donc vérifiée que partiellement.

En résumé, les trois hypothèses spécifiques se vérifient à des degrés divers dans le bassin versant. Les conditions naturelles difficiles (aléas climatiques) et le bas niveau d'adhésion aux stratégies de gestion de l'eau des producteurs induisent un impact spatial très faible, qui en serait la justification.

Mais la modélisation spatiale par le calculateur de cartes (r.mapcalc) comme tout autre d'ailleurs, comporte des avantages mais aussi des inconvénients. L'avantage est de mettre à la disposition de la recherche des pistes pour approfondir les investigations d'une part et des résultats pour aider les décideurs à mieux orienter leurs interventions sur le terrain.

Ainsi pour les études futures, la méthodologie peut être appliquée à d'autres espaces géographiques et d'autres thématiques en rapport avec l'espace (dégradation des terres, études d'impact, aménagement de l'espace etc.), et les résultats pourraient donner encore plus de la crédibilité aux recherches antérieures.

Quant aux services de développement, les zones identifiées par l'AMC peuvent servir de sites d'expérimentation pour des tests en milieu réel en considérant le recoupement de plusieurs critères.

L'agroforesterie n'a pas pu être intégrée dans notre analyse alors que l'arbre est présent surtout dans les zones anthropiques. Cela est un signe visible qu'il joue un rôle important dans le système de production du bassin versant. Il constitue certainement pour les producteurs, un paramètre déterminant pour la gestion de l'eau et à ce titre, des investigations futures seront à mener pour déterminer le rôle et l'impact spatial qu'il peut avoir.

Notre étude a été réalisée à l'échelle locale alors que les eaux de surface constituent des ressources transfrontalières, partagées. A ce titre elles sont appelées à respecter des règles de gestion de la ressource pour que les populations qui partagent le même bassin versant puissent en disposer convenablement. Des études approfondies pourront être entreprises afin d'expérimenter les analyses à une

échelle plus grande (par exemple à l'échelle du *Gourouol*, bassin versant partagé entre le Niger et le Burkina).

La méthode adoptée pour l'étude comporte en outre des limites non moins importantes qu'il faille tenir compte dans les recherches futures. Il s'agit d'une part de la difficulté de donner des limites objectives aux différentes classes de gestion de l'eau ; d'autre part la difficile pondération adéquate des critères identifiés. Elles sont toutes tributaires de l'appréciation de l'opérateur ou de tout autre acteur qui intervient dans la prise de décision.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- D'Acquino P. (1996). L'occupation de l'espace dans le Djelgodji (Nord-Burkina Faso). *Cahiers Sciences humaines*, vol. 32 n°2, pp. 311-333.
- Afouda A., Ndiaye T., Niasse M., Lawrence Flint L., Abou M. M. N. et Purkey D. (2007). *Adaptation aux changements climatiques et gestion des ressources en eau en Afrique de l'ouest*. Rapport de synthèse WriteShop du 21 au 24 février 2007, 96 p.
- Al Ali Y. (2007). *Les aménagements de conservation des eaux et des sols en banquettes. Analyse, fonctionnement et essai de modélisation en milieu méditerranée (El-Gouazine, Tunisie Centrale)*. Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier II, Discipline : structure et évolution de la terre et autres planètes, 156 p. + annexes.
- Ali A., Thierry L., Abou A. (2008). Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel. *Sécheresse*; vol. 19, n°4, pp. 227-235.
- Ambouta J. M. K., Bouzou Moussa I. Daouda Ousmane S. (2000). Réhabilitation de jachère dégradée par les techniques de paillage et de zaï au Sahel. *La jachère en Afrique tropicale*. – Ch. Floret, R. Pontanier, Jon Libbey Eurotext, Paris 2000, pp. 751-759.
- Ambouta J. M. K. et Bouzou Moussa I. (2004). Expériences de récupération de sols sahéliens dégradés grâce à l'incorporation de doses variables de fumier et d'un hydrorétenteur fertilisant, *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Vol.15, n 1, pp. 49-55.
- Ba N. F. (2009). *Analyse multicritère pour la priorisation des interventions en matière d'approvisionnement en eau en milieu rural au Sénégal : cas de la région de Diourbel*. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie civil pour l'obtention du grade de maîtrise ès science (M. Sc.), Science et Génie Civil, Université Laval Québec, 86 p. + annexes.
- Baco M. N., Biaou G., Pinton F., Lescure J. P. 2007. Les savoirs paysans traditionnels conservent-ils encore l'agrobiodiversité au Bénin ? *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol. 11, n°

3, pp. 201–210

Badolo M. (2004). *Défi de changement climatique au Sahel: intégrer la science et le savoir traditionnel pour bâtir des stratégies d'adaptation pertinentes*, Colloque "Développement durable : leçons et perspectives", Ouagadougou, Burkina Faso, 1-4 juin 2004, 6 p.

Balaghi R., Jlibene M., Tychon B. et Mrabet R. (2007). Gestion du risque de sécheresse agricole au Maroc. *Sécheresse* vol. 18, n°3, pp. 169-176.

Barro A., Zougmore R., Ouédraogo-Zigani P. (2000). *Réalisation du zaï mécanique en traction animale pour la réhabilitation des terres encroutées*. Fiche technique n°7, INERA Saria, BP 10 Koudougou Burkina Faso. 2 p. <http://www.fidafrique.net/article819.html>, consulté le 18 novembre 2011

Bationon Y. D. (2009). Changements climatiques et cultures maraîchères. Mémoire de Master de Recherche en géographie, Université de Ouagadougou. http://www.memoireonline.com/09/10/3932/m_Changements-climatiques-et-cultures-maracheres13.html, consulté le 23 février 2012.

Bélemviré A., Maïga A., Sawadogo H., Savadogo M. et Ouédraogo S. (2008). *Evaluation des impacts biophysiques et socioéconomiques des investissements dans les actions de gestion des ressources naturelles au nord du plateau central du Burkina Faso*. Rapport de synthèse, version provisoire, 94 p.

Ben Mena S. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Vol. 4, n°2*, pp. 83-93.

Bensaid A., Barki M., Talbi O., Benhanifia K. et Mendas A. (2007). L'analyse multicritères comme outils d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique : Le cas du département de Naâma en Algérie. *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1, pp. 359-371.

Bentz B., Bergeret P., Castellanet C., Delville P. L., Thibaut D., Bal P. et Wybrecht B. (2002).

Appuyer les innovations Paysannes : Dialogue avec les producteurs et expérimentations en milieu paysan. Éditions du GRET, Ministère des Affaires étrangères, 90 p.

Bergeret A. (2002). *Saisons mouvantes, prévisions, présages et décisions chez les peuls du Yatenga (Burkina Faso).* IRD, (dans entre ciel et terre, climat et sociétés de Esther Katz, Annamaria Lammel, Marina Goloubinoff), pp. 213-230.

Bouaicha R. et Benabdelfadel A. (2010). Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc. *Sécheresse vol. 21, n°1*, pp. 1-5.

Boufaroua M. (non daté). *Evolution des techniques de conservation des eaux et des sols en Tunisie*, pp. 625-635.

<http://www.beep.ird.fr/collect/bre/index/assoc/HASH019a/69430dac.dir/21-094-104.pdf>, consulté le 20 juillet 2011.

Bouzou Moussa I. (2000). *Réponses géomorphologiques à la problématique de la conservation des eaux et sols au Niger.* Rapport d'Habilitation à Diriger des Recherches. Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier de Grenoble¹, 185 p. + cartes annexes.

Bouzou Moussa I., Lamso Nomao D. (2004). Le « Tassa » : une technique de conservation des eaux et des sols bien adaptée aux conditions physiques et socio-économiques des glaciers des régions semi-arides (Niger). *Revue de géographie alpine*, vol. 92, n°92-1, pp. 61-70.

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rga_0035-1121_2004_num_92_1_2278, consulté le 5 novembre 2011.

Bouzou Moussa I., Faran Maiga O., Karimou Ambouta J. M., Sarr B., Descroix L. et Moustapha Adamou M. (2009). Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien. *Sécheresse*, vol. 20, n°1, pp. 145-152. <http://www.jle.com/fr/revues/medecine/bdc/e-docs/00/04/49/D4/article.md>, consulté le 5 novembre 2011.

Brou Y. T., Akindès F., Bigot S. 2005. La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cahiers Agricultures vol. 14, n°6*, pp. 533-540.

Brou Y. T. et Chaléard J. L. (2007). *Visions paysannes et changements environnementaux en Côte d'Ivoire*. Armand Colin/Annales de géographie, n° 653, pp. 65-87, DOI : 10.3917/ag.653.0065. <http://www.cairn.info/revue-Annales-de-geographie-2007-1-page-65.htm>, consulté le 23 décembre 2011.

Busquet M. B. (2006). *Des stratégies intégrées durables : savoir écologique traditionnel et gestion adaptative des espaces et des ressources*. <http://vertigo.revues.org/index2279.html>, consulté le 21 septembre 2009.

Butare I., Zoundi J. S. et Diallo A. (2004). *Leçons tirées de lutte contre la désertification au Sahel* : Actes des travaux de l'atelier sous-régional d'échange et de réflexion organisé par le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI), du 12 au 16 juillet 2004, Saly Portuudal, Sénégal, 187 p.

CAPES (2006). *Etat des lieux des savoirs locaux au Burkina Faso*, 234 p.

CEDEAO-CSAO/OCDE (2006). *La zone écologique fragile des pays du Sahel : Atlas de l'Intégration Régionale en Afrique de l'Ouest*, Série environnement, 12 p.

CEDEAO-CSAO/OCDE (2008). *Le climat et le changement climatique : Atlas de l'Intégration Régionale en Afrique de l'Ouest*. Série environnement, 13 p.

CEEPA (2006). *Economic impact assessment of climate change on agriculture in Burkina Faso*, 39 p.

CRA (2010). *Le Sahel face aux changements climatiques, enjeux pour un développement durable*. Bulletin mensuel, numéro spécial, 43 p.

Chakhar S. (2006). *Cartographie décisionnelle multicritère : Formalisation et implémentation informatique*. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur en Informatique. Spécialité : informatique, Université Paris Dauphine D.F.R. Sciences des Organisations. 265 p. + annexe.

CILSS (1991). *La conservation des eaux et des sols au Sahel, l'expérience de la province du Yatenga (Burkina Faso)*, 76 p.

Clavel D., Barro A., Belay T., Lahmar R. et Maraoux F. (2008). *Changements techniques et dynamique d'innovation agricole en Afrique Sahélienne: le cas du Zai mécanisé au Burkina Faso et de l'introduction d'une cactée en Ethiopie*. <http://vertigo.revues.org/index7522.html>, consulté le 21 septembre 2009.

Combal B., Haas E., Andigué J., Nonguierma A. et Bartholomé E. (2009). Operational monitoring of water bodies in arid and semiarid regions with SPOT VEGETATION satellite: Contribution of Eumetcast and recent research projects. *Sécheresse*, vol. 20, n°1, pp. 48-56.

Copa-Cogeca, (non daté). *L'eau et l'agriculture dans le contexte du changement climatique*. Fiche technique.

Cottet J. (2009). *Stratégie de gestion de l'eau et adaptation au changement climatique. Cas du bassin Rhône Méditerranée*, 7 p.
http://docs.china-europa-forum.net/note_changementclimat_rhonemed.pdf, consulté le 23 décembre 2011.

Cotula L., Hesse C., Sylla O., Thébaud B., Vogt G. et Vogt K. (2006). *Droits fonciers et accès à l'eau au Sahel: Défis et perspectives pour l'agriculture et l'élevage*, International Institute for Environment and Development (IIED), dossier n°139, 100 p.

Da C. E. D. (2008). Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au centre-nord du Burkina Faso. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 241-242, pp. 99-110. <http://com.revues.org/index3512.html>, consulté le 05 novembre 2011.

Daouda O. H. (2007). *Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques : Cas du département de Téra au Niger*. Mémoire de master en développement, département environnement, Université Senghor, Alexandrie Egypte, 105 p.

Delfour J. et Jeambrun M. (1970) - *Notice explicative de la carte géologique au 200.000^{ème}*

Oudalan. Edition BRGM, 45 p.

Diallo B. (2010). *Perceptions endogènes, analyses agroclimatiques et stratégies d'adaptation aux variabilités et changements climatiques des populations dans trois zones climatiques du Burkina Faso*. Mémoire d'ingénieur en agrométéorologie, Centre Régional AGRHYMET, 51 p et annexes.

Diallo H., Bamba I., Barima Y. S. S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maiga M. et Bogaert J. (2011). Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse vol. 22, n°3*, pp. 97-107.

Diallo D., Bengaly A., Ouédraogo A., Traoré K. (2007). *Efficacité des pratiques de gestion de l'eau et des sols en agriculture céréalière pluviale au Mali : cas du secteur de Banamba*. Actes des JSIRAUF, Hanoï, 6-9 novembre 2007, 6 p. http://www.infotheque.info/fichiers/JSIR-AUF-Hanoi07/articles/AJSIR_3-3_Diallo.pdf, consulté le 23 décembre 2011.

Diallo M. et Kiéma A. (2010). *L'eau et les changements climatiques. Atelier de formation sur changements climatiques et financement de la recherche agricole*, Ouagadougou du 23 octobre au 6 novembre 2010, 20 p.

Diarra B., Hamala Diakité C. et Macin M. (2007). *Elaboration de stratégie d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques*, 61 p. <http://www.nlcap.net/fileadmin/NCAP/Countries/Mali/O-1-3-032135.060821.MAL.Phase1.Output3.v1.pdf>, consulté le 17 mai 2011.

Dorsouma A. H. et Requier-Desjardins M. (2008). Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique : s'adapter, une approche intégrée. in *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 8, n° 1. <http://vertigo.revues.org/index5356.html>, consulté le 28 mars 2009.

Ducharne A., Théry S., Viennot P., Ledoux E., Gomez E. et Déqué M. (2003). *Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bassin de la Seine*.

<http://vertigo.revues.org/index3845.html>, consulté le 21 septembre 2009.

FEM (non daté). *Financer l'adaptation au changement climatique*, 36 p.
<http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/financing-adaptation-action-FR.pdf>,
consulté le 17 mai 2011.

Ferrier C. (2003). *Changements Climatiques: une analyse interdisciplinaire des institutions et mécanismes du Protocole de Kyoto*, Pré-mémoire, mars 2003, 67 p.

FPA (2008). *Les changements climatiques en Afrique : Engagements pris par les forums Africains et internationaux et résultats obtenus*, document de référence pour Tokyo 2008, 48 p.

FPA (2007). *L'Afrique et le changement climatique*. Aperçu n°1, 4 p.

Ganaba S. (2005). « Impact des aménagements de conservation des eaux et des sols sur la régénération des ressources ligneuses en zone sahélienne et nord soudanienne du Burkina Faso » in *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 6 n° 2
<http://vertigo.revues.org/4314>, consulté le 03 décembre 2010.

Ganaba S., Ouadba J. M. et Bognounou O. (2005). *Exploitation traditionnelle des végétaux spontanés en région sahélienne du Burkina Faso*, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 6 n° 2, mis en ligne le 01 septembre 2005; DOI : 10.4000/vertigo.2783
<http://vertigo.revues.org/index2783.html>, consulté le 21 septembre 2009.

Gandah M. (1991). Synthèse des études sur le bilan hydrique au Niger. *Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone* (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. n°199, pp.357-361.

GIEC (2001). *Incidences de l'évolution du climat dans les régions: Rapport spécial sur l'évaluation de la vulnérabilité en Afrique*. Island Press, Washington, 53 p.

GIEC (2007a). *La sensibilité, l'adaptation et la vulnérabilité des systèmes naturels et humains face à l'évolution du climat, et les conséquences potentielles de cette évolution*. Résumé à

l'intention des décideurs. Rapport 2007 du groupe de travail II,
www.wikipedia.org/wiki/groupe_d'experts_intergouvernemental_sur_l'evolution_du_climat,
consulté le 19 décembre 2008.

GIEC (2007b). *4ème rapport; constat scientifique du réchauffement climatique et inventaire des mesures à mettre en œuvre en matière d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.*
www.actu-environnement.com/ae/news/4e_rapportduGIEC_climat3912.php4, consulté le 19 décembre 2008.

GIRE (1998). *Le Document de Politique et stratégies en matière d'eau. Ministère de l'Environnement et de l'Eau.*
http://www.eauburkina.org/index.php?option=com_content&view=section&id=19&Itemid=121,
consulté le 23 décembre 2011.

Goula B. T. A., Savane I., Konan B., Fadika V. et Kouadio G. B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique Tropicale Humide). In *VertigO – La revue en sciences de l'environnement*, vol. 7 n°1, 12 p.

Groupe d'experts PANA du Burkina Faso (2003). *Synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques : étude de cas du Burkina Faso. Etape 3, 4 et 5 du processus PANA.* Atelier de formation sur les programmes d'action nationaux pour l'adaptation (PANA). Ouagadougou, Burkina Faso, 11 p.

Guillobez S. (1985). *Milieus naturels du Burkina Faso.* IRAT, Montpellier, carte au 1/1.000.000.

Guinko S. (1984). *Végétation de la Haute-Volta.* Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles, Université de Bordeaux II, 2 vol. 394p.

Hamdadou D., Labeled K., Benyettou A. (2007). *Un système interactif multicritère d'aide à la décision en aménagement du territoire : Approche du tri, intégrale de Choquet et SIG.* SETIT 2007, 4th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, March 25-29, 2007-Tunisia. pp 1-10.

Haoues C. (2008). *Evaluation par analyse multicritères du risque d'érosion dans la vallée de l'Oued Labiod (Approche systémique)*. Mémoire de fin d'étude, Département des sciences de la terre, Université colonel El Hadj Lakhdar de Batna, République Algérienne Démocratique et Populaire, pp 125 + annexes.

Haramata, (2005). *Qui contrôle l'eau?* Londres, IIED, *Bulletin des zones arides: Peuples, politiques, programmes*, n°48, 31 p.

Hermassi T., Lamachère J. M., Nasri S. et Habaieb H. (2009). Apport d'une caractérisation du réseau hydrographique sur la forme des crues à l'échelle d'un petit bassin versant en zone semi-aride. *in Sécheresse vol. 20, n°1*, pp. 66-77.

Hottin G. et Ouedraogo O. F. (1975): *Notice explicative de la carte géologique de la République de la Haute-Volta au 1/1 000 000^{ème}*, 57p. Paris

Houet T. (2008). Occupation du sol et gestion de l'eau, modélisation prospective en paysages agricole fragmenté. CFC (n°198, décembre 2008), pp. 59-63.

Houet T., Hubert-Moy L. et Tissot C. (2008). Modélisation prospective spatialisée à l'échelle locale : approche méthodologique. Application à la gestion de l'eau en Bretagne. *Revue Internationale de Géomatique. vol. 8, n°3*, pp. 345-373.

Ilboudo P. (1998). *Inventaire des techniques de lutte antiérosive dans le degré carré de Kaya*. Mémoire de maîtrise, Université de Ouagadougou, Département de Géographie, 110 p. et annexes.

ISTED (2003). *Systèmes d'information géographique et gestion durable de l'eau*, Paris France, 105 p.

Joerin F., Golay F., et Musy A. (1998). *GIS and multicriteria analysis for land management*. Cost C4 Final Conference 1998, 10 p.

Joerin F., Lebreton M. et Desthieux G. (2005). *Des systèmes d'indicateurs pour aider les*

acteurs à manipuler la complexité territoriale, 9 p.

[http://www.unil.ch/webdav/site/ouvdd/shared/Colloque%202005/Communications/C\)%20Mise%20en%20oeuvre/C1/F.%20Joerin%20et%20al.doc.pdf](http://www.unil.ch/webdav/site/ouvdd/shared/Colloque%202005/Communications/C)%20Mise%20en%20oeuvre/C1/F.%20Joerin%20et%20al.doc.pdf), consulté le 23 décembre 2011.

Joliveau T., Molines N., Caquard S. (2000). *Méthodes et outils de gestion de l'information pour les démarches territoriales participatives. Un regard France-Québec*. Centre de Recherches sur l'ENvironnement et l'Aménagement CNRS - UMR 5600. Université Jean Monnet - Saint Etienne. Rapport réalisé dans le cadre du 15ème appel d'offre Jacques Cartier, Novembre 2000

Jouve P. (1991). Sécheresse au Sahel et stratégies paysannes. *Sécheresse vol. 2, n°1*, pp. 61-69.

Jouve P. (2007). *Valoriser l'eau verte en zone aride : Comment améliorer la valorisation des eaux de pluies au Maghreb et au Sahel ?* conférence à la séance des Savoirs partagés d'Agropolis-Museum, 14 p.

http://www.museum.agropolis.fr/pages/savoirs/eau_verte/jouve_eau_verte.pdf, consulté le 23 décembre 2011.

Kanohin F., Saley Mahaman B. et Savané I. (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, n° 2, pp.209-222 © EuroJournals Publishing, Inc. 2009. <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>, consulté le 23 décembre 2011.

Karimou Ambouta J. M., et Bouzou Moussa I. (2004). Expériences de récupération de sols sahéliens dégradés grâce à l'incorporation de doses variables de fumier et d'un hydro-rétenteur fertilisant, *Science et changements planétaires / Sécheresse. Vol.15, n 1*, pp. 49-55.

Kêdowidé C. M. G. (2010). Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection de sites d'agriculture à Ouagadougou. In *VertigoO – La revue en sciences de l'environnement*, vol. 10, n°2, 20 p. <http://vertigo.revues.org/10368>, consulté le 23 décembre 2011.

Kiéma A. (2008). *Effets des techniques de restauration et d'exploitation des pâturages naturels sahéliens sur la dynamique de la production fourragère*. Doctorat unique en développement rural, option : Système de production animale, spécialité : Nutrition et alimentation. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 171 p. + annexes.

Kiéma A., Ouédraogo T., Nianogo A. J. et Sanou S. (2001). Effets des cordons pierreux et du scarifiage sur la régénération des pâturages naturels en région sahélienne du Burkina Faso. *Revue Science et Technique, Série Science Naturelle et Agronomie*, vol. 25, n², pp. 99-113

Kini J. (2007). *Analyse des déterminants de l'adoption des technologies de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso*. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, UFR/SEG. http://www.memoireonline.com/09/11/4812/m_Analyse-des-determinants-de-ladoption-des-technologies-de-conservation-des-eaux-et-des-sols-au-B0.html#toc0, consulté le 21 février 2012.

Kouame A. K. D., Affian K., N'goran K. E., Djagoua E. M. V. et Mobio A. B. H. (2008). La télédétection et les SIG comme moyen de hiérarchisation des localités dans une région endémique de bilharziose: Cas de la région de L'agneby (Sud-est de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*. vol. 22, n¹, pp. 66-83.

Kouamé K. J., Deh S. K., Anani A. T., Jourda J. P., Biemi J. (2007). Gestion des déchets solides dans le District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire) : Apports d'un SIG et des méthodes d'analyse multicritère. Conférence francophone ESRI, Versailles de 10 au 11 octobre 2007. http://www.esrifrance.fr/sig2007/cocody_kouame.htm

Koussoubé A, Da D. E. C., Yakouba H., et Karambiri H. (2009). *Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement agricole dans le bassin versant de Tougou*. Programme AMMA, 2iE, Burkina Faso, 5 p.

Ky/Dembélé C., Ouédraogo S. J., Bationo B. A., Dibloni T. O. (2000). *Comment pérenniser l'action de la diguette en terre par la végétalisation arbustive et herbacée dans la lutte antiérosive*. Fiche technique n⁹ INERA-DPF. <http://www.fidafrique.net/article819.html>, consulté le 18 novembre 2011

Laaribi A. (2000). *SIG et analyse multicritère*, [Hermès - Lavoisier](http://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/sig-et-analyse-multicritere-9782746201224?PHPSESSID=), 192 p.
<http://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/sig-et-analyse-multicritere-9782746201224?PHPSESSID=>, consulté le 18 mars 2011.

Lawané G., Sougnabé S. P., Lenzemo V., GNOKREO F., Djimasbeye N., Ndoutamia G. (2010). *Efficacité de l'association des céréales et du niébé pour la production de grains et la lutte contre Striga hermonthica (Del.)*. Actes du colloque "Savanes africaines en développement : innover pour durer, Garoua : Cameroun (2009)" in cirad-00471450, version 1 - 8 Apr 2010.

Le Goulven P., Lacombe G., Burte J., Gioda A. et Calvez R. (2009). Techniques de mobilisation des ressources en eau et pratiques d'utilisation en zones arides : bilans, évolutions et perspectives. *Sécheresse* vol. 20, n°1, pp. 17-30.

Lili Chabaane Z., Friaa I., Rhouma A. et Ferchichi M. (2002). *Choix d'un site de décharge de déchets industriels : utilisation de SIG et de l'analyse multicritère*, Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10 January 2002, Tunis (EPCOWM'2002), p.425-436.

Mando A. (1997). *The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted Sahelian soils*. Tropical Resource Management Papers. ISSN 0926-9495; N° 16, 1997, 101p.

Maraux F., Dugué P. et Ganry F. (2007). *Amélioration de la fertilité du sol et réhabilitation des terres dégradées : dynamiques socio-techniques en zones sèches d'Afriques de l'ouest et du centre. Agricultural innovation in dryland Africa: What are the key drivers for success? AIDA Conference Accra, Ghana, 22-24 January 2007*, 12 p.

Mazour M., Morsli B. et Roose E. (2006). *Analyse de quelques techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol dans le nord-ouest Algérien*. Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), pp. 193-198.

Meddi H. et Meddi M. (2009). Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. In *Sécheresse*, vol. 20, n°1, pp. 57-65.

Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (2005). *Synthèse du suivi des ressources en eau*, 2004 du Burkina Faso. Edition de décembre 2005.

Ministère de l'Environnement et de l'Eau (1998). *Politique et stratégie en matière d'eau*, Burkina Faso.

http://www.eauburkina.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=76&Itemid=124, consulté le 23 décembre 2011.

Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières. (2007). *Etude de vulnérabilité, identification des principales mesures d'adaptation et des options prioritaires de riposte aux changements climatiques: Secteur de l'agriculture*, 65 pages + annexes.

Nicholson S. E., Kim J., Hoopingarner J. (1988). *Atlas of african rainfall and its interannual variability*. Tallahassee, Florida State University.

http://openlibrary.org/books/OL13963239M/Atlas_of_African_rainfall_and_its_interannual_variability, consulté le 23 décembre 2011.

Nori M., Taylor M., et Sensi A. (2008). Droits pastoraux, modes de vie et adaptation au changement climatique. *Institut International pour l'Environnement et le Développement (IIED)* dossier n°148, 33 p.

Norant C. (2007). Variabilité climatique passée, changement climatique futur : Que peut-on réellement observer ? *In Air Pur*, n°72 - Deuxième semestre 2007, pp. 5-12.

http://www.appa.asso.fr/adminsite/Repertoire/7/fckeditor/file/Revue/AirPur/Airpur_72_Norant.pdf, consulté le 21 novembre 2011.

Nouaceur Z. (1995). Disparités pluviométriques régionales, sécheresse et modification des équilibres de l'environnement mauritanien / Rainfall disparities, drought and modification of the environmental equilibrium in Mauritania. *Revue de géographie de Lyon*. Vol. 70 n°3-4, 1995. pp. 239-245. doi : 10.3406/geoca.1995.4218.

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geoca_0035-113X_1995_num_70_3_4218, consulté le 5 novembre 2011.

Nouaceur Z. (2003). *Crise climatique et mutation des paysages en Afrique subsaharienne : la dynamique des paysages autour de la ville de Nouakchott et dans la région de Rosso (Mauritanie)*. http://www.secheresse.info/article.php3?id_article=221, consulté le 17 mai 2011.

Nouri M. et Reddy K. G. (1991). Utilisation de l'eau par le mil et le niébé en association et en culture pure. *Soil Water Balance in the Sudano-Sahettan Zone* (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. no. 199 pp.421-429.

OCDE / CSAO, (2008). *Climat, changements climatiques et pratiques agro-pastorales en zone sahélienne*, 8 p.

Ogouwalé E. (2006). *Changement climatique dans le Bénin méridional et central: Indicateur, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire*. Thèse présentée pour obtenir le Diplôme de Doctorat Unique, option climatologique, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, 263 p. + annexes.

D'Orgeval T. (2008). Impact du changement climatique sur la saison des pluies en Afrique de l'ouest : Que nous disent les modèles des climats actuels ? *Sécheresse vol. 19, n°2*, avril-mai-juin 2008, 7 p.

Ouattara I., Chouinard O., et Tranchant C. C. (2008). *Changement climatiques, migrations et défis de la gestion de l'environnement : le cas d'un village au cœur de la tourmente au Burkina Faso*, <http://vertigo.revues.org/index6582.html>, consulté le 21 septembre 2009.

Ouédraogo L. (1994). *Expérience d'intégration agriculture/élevage (le cas du V7 de Mankarga) dans la province du Ganzourgou*, Mémoire de maîtrise, Université de Ouagadougou, Département de Géographie, 68 p.

Ouédraogo L. (2009). *Stratégies paysannes d'adaptation au changement climatique*. Mémoire de master de recherche, option Gestion des Ressources Naturelles. Université de Ouagadougou, Département de Géographie, 66 p. + annexes.

Ouédraogo M. (2001). *Contribution à l'étude de la variabilité climatique sur les ressources en*

eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante. Norme hydrologique et modélisation régionale, 257 p.

Ouédraogo M., Dembélé Y. et Somé L. (2010). Perceptions et stratégies d'adaptation au changement des précipitations : Cas des paysans du Burkina Faso, *Sécheresse*, vol. 21, n°2, pp. 87-96.

Oxfam International (2009). *Mettre les petits agriculteurs au cœur de l'adaptation au changement climatique Donner les capacités aux petits agriculteurs à faire face aux impacts du changement climatique*. Document d'information d'Oxfam 135, 51 p.

Paget A., Perret J., Gleyze J. F. (2008). La géomatique au service de la caractérisation automatique des réseaux hydrographiques. *Physio-Géo*, vol. 2, mis en ligne le 20 décembre 2008, Consulté le 22 mai 2011. <http://physio-geo.revues.org/1031>, pp. 144-160.

Pallo F. J. P. et THiombiano L. (1989). Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions du Burkina Faso : Caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole. *sol trop* 89, pp. 307-327.

République du Mali, (2007). *Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques*, 100 p. <http://unfccc.int/resource/docs/napa/mli01f.pdf>, consulté le 17 mai 2011.

République Islamique de Mauritanie, (2004). *Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques* (PANA RIM). 72 p.

http://www.unep.org/roa/amcen/Projects_Programme/climate_change/PreCop15/Proceedings/NAPAs/Mauritania%20NAPA.pdf, consulté le 17 mai 2011.

PANA Burkina Faso (2003). *Synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques : étude de cas du Burkina Faso*. Atelier de formation sur les Programmes d'Action Nationaux pour l'Adaptation (PANA) Ouagadougou, Burkina Faso, 28-31 octobre 2003, 11 p.

Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J. M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis J., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V. M., Legrand M., Lipenkov V., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M. (1999). Climate and Atmospheric History of the

Past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica. *Nature* 399: pp. 429-436. DOI:[10.1038/20859](https://doi.org/10.1038/20859).

Philippon N. (2002). *Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : Méthodes, diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001)*. Thèse présentée pour l'obtention du titre de docteur en Géographie, option climatologie. UFR des Sciences Humaines, Université de Bourgogne, 242 p.

PLCE (2009). *Etude pour l'élaboration du plan de gestion de l'eau de la zone de compétence du comité local de l'eau de Yakouta*. Tome1 : Etat des lieux, rapport final, 49 p. + annexes.

PNUD (2007). Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008. La lutte contre le changement climatique : Un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé, 382 p. www.Hdr.undp.org/en/media/hdr20072008frcomplet.pdf, consulté le 17 mai 2011.

Prévil C. Thériault M. et Rouffignat J. (2003). Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : vers une amélioration du processus décisionnel? *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 47, n°130, pp. 35-61.

République du Mali, (2007). *Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques*, 100 p. <http://unfccc.int/resource/docs/napa/mli01f.pdf>, consulté le 17 mai 2011.

République Islamique de Mauritanie, (2004). *Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques (PANA RIM)*. 72 p. http://www.unep.org/roa/amcen/Projects_Programme/climate_change/PreCop15/Proceedings/NAPAs/Mauritania%20NAPA.pdf, consulté le 17 mai 2011.

Romagny B. et Cudennec C. (non daté). Gestion de l'eau en milieu aride: considérations physiques et sociales pour l'identification des territoires pertinents dans le Sud-est tunisien. *Développement durable et territoires*, Dossier 6 : Les territoires de l'eau. www.developpementdurable.revues.org/180, consulté le 17 mai 2011.

Roy B., Slowinski R., et Treichel W. (1992). Multicriteria programming of water supply systems

for rural areas. *WaterResources Bulletin* vol. 28 n°1. American Water Resources Association. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.1992.tb03151.x/abstract>, consulté le 17 mai 2011.

Rural 21 (2010). *Eau et adaptation au changement climatique*, pp. 24-28 http://www.rural21.com/uploads/media/rural_fr_24-28_1-2020_01.pdf, consulté le 17 mai 2011.

Sami B. M. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* vol. 4, n°2, pp. 83–93.

Saqalli M. (2008). *Le pouvoir des savoirs : enjeux et impacts des concepts sur le développement rural pour le Sahel nigérien*, <http://vertigo.revues.org/index5348.html>, consulté le 21 septembre 2009.

Sauvage T. (2000). *Apport de l'analyse multicritère pour l'aide à la décision dans le domaine de l'externalisation logistique*. Université d'Aix-Marseille II, France, 15 p.

Savadogo M., Somda J., Seynou O., Zabré S., et Nianogo A. J. (eds) (2011). *Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso*. Ouagadougou, Burkina Faso : UICN Burkina Faso, 52 p. ISBN : 978-2-8317-1392-2.

Sawadogo J. M. (2007). *Lutte contre la sécheresse au Burkina Faso. Responsables politiques, paysans et activistes se préparent à la bataille*. Afrique Renouveau, pp. 19-21.

Sawadogo J. M. (2007). *Le Burkina Faso et le déclin du régime des pluies, responsables politiques, paysans et activistes face aux changements climatiques*.

Séné I. M. (non daté). *Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Sénégal: Dynamiques climatiques, économiques, adaptations, modélisation du bilan hydrique de l'arachide et du mil*. Thèse de doctorat de 3e cycle, Université Cheikh Anta Diop, Département de Géographie, 301 p.

Serré D. (2005). *Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations*

Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique. THÈSE pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Marne-La- Vallée Spécialité : Sciences de l'Information Géographique, 240 p. + annexes.

Servat E. et Mahé G. (2009). Eau et zones arides : Enjeux et complexité. *sécheresse*, vol. 20, n°1, pp. 7-8.

Somé L., Kambou F., Traoré S., Ouédraogo B., 2000. Techniques de conservation des eaux et des sols dans la moitié nord du Burkina Faso. in *Sécheresse*, Volume 11, Numéro 4, pp. 267-274.

Soro T. D., Soro N., Oga Y. M. S., Lasm T., Soro G., Ahoussi K. E., Biémi J. (2011). La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), *Physio-Géo*, vol. 5, <http://physio-geo.revues.org/1581>, consulté le 22 mai 2011.

SP/CONEDD (2007a). *Programme d'action nationale d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA du Burkina Faso)*. Ouagadougou, 96 p.

SP/CONEDD (2007b). *Programme d'action nationale d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA du Burkina Faso)*, version simplifiée et illustrée. Ouagadougou, 23 p.

SP/CONEDD (2003). *Synthèse des études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques : étude de cas du Burkina Faso*. Ouagadougou, 11 p.

Thebaud B. (1990). Politiques d'hydraulique pastorale et gestion de l'espace au Sahel. *Cahier Sciences Humaines*, vol. 26, n°1-2, pp. 13-31.

Thiombiano L. (2000). *Etude de l'importance des facteurs édaphiques et pédopaysagiques, dans le développement de la désertification en zone sahélienne du Burkina Faso*. Doctorat d'état ès Sciences Naturelles Mention : Pédologie, vol. 1, 198 p. Université d'Abidjan-Cocody.

Thiombiano L et Andriessse W. (1998a). Research priority setting by a stepped agro-ecological approach: case study for the Sahel of Burkina Faso. *Netherlands journal of agricultural science* vol. 46, n°1, pp. 5-14.

Thioubou A. (2001). L'aménagement intégré des ressources en eau: une réponse à la désertification. Integrated Water Resources Management (Proceedings of a symposium held at Davis, California, April 2000). *IAMS Publ. n° 272*, pp. 113-119.

Traoré C. O., Aune J. B. et Sidibé M. M. (2010). *Rapport Final du Projet Ecoferme au Mali. Synthèse des quatre années 2005-2008*. GCoZA Rapport No. 57. 75 p.

Traoré K., Toé A. M. (2008). *Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso. Rapport final d'étude du Ministère de l'agriculture, de l'hydraulique et des ressources halieutiques*, 99 p.

Traoré L. B. (2005). *Vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques, secteur de l'agriculture au Burkina Faso. Extrait de la première Communication Nationale sur les Changements Climatiques*, document de présentation, 19 p.

Traoré S., Kaboré O., Thiombiano L., Rasolodimby-Millogo J. (2008). Prédiction spatiale et modélisation de la distribution des *Acacia* spp. dans l'Est du Burkina Faso. *Sécheresse*, vol. 19 n°4, pp. 283-92.

Villeneuve J. P., Hubert P., Mailhot A., Rousseau A. N. (1998). La modélisation hydrologique et la gestion de l'eau. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 11, numéro hors série, pp. 19-39, <http://www.erudit.org/revue/rseau/1998/v11/nrseau3294/705327ar.pdf>, consulté le 9 Novembre 2011.

Vlaar J. C. J. (1992). *Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du sahel*. Rapport d'étude dans le cadre de la collaboration entre le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou Burkina Faso et l'Université Agronomique de Wageningen (UAW), Wageningen, les Pays Bas, 99 p. + annexes.

UNEP/IUC (1998). *Diminuer les émissions de gaz à effet de serre en piégeant le dioxyde de*

carbone : est-ce possible ? 24 p. www.unep.org/dec/docs/ipcc_wgii_guide-french.pdf consulté le 7 mars 2012

Yaméogo G. (2009). *Les ressources ligneuses et leur gestion dans le terroir de Vipalogo, province du Kadiogo, Burkina*. Thèse présentée à l'UFR Biosciences pour obtenir le titre de Docteur de l'Université de Cocody-Abidjan, option: Agroforesterie, 212 p. + annexes.

Yanogo P. I. (2012). *Les stratégies d'adaptation des populations aux aléas climatiques autour du Lac Bagré (Burkina Faso)*. Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Option : Gestion de l'Environnement, Université d'Abomey-Calavi, 302 p.

Yergeau M., Goze Bénédié B., Bonn F. et Prévost C. (1991). Satellite et gestion de l'eau au Sahel. *Sécheresse vol. 2, n°1*, pp. 48-60.

Zougmoré R., Kambou F., Ouattara K. (2000). *Utilisation de l'association sorgho-niébé pour réduire le ruissellement et l'érosion*. Fiche technique n°3, INERA SARIA BP 10 Koudougou, Burkina Faso, 3 p. <http://www.fidafrique.net/article819.html>, consulté le 18 novembre 2011.

Zougmoré R., Kambou F., Ouattara K. et Guillobez S. (2003), *L'association culturale sorgho-niébé pour prévenir le ruissellement et l'érosion dans le Sahel au Burkina Faso*. http://web.idrc.ca/en/ev-31937-201-1-DO_TOPIC.html, consulté le 22 février 2012.

Zougmoré R., Mando O., Stroosnijder I., Ouédraogo E. (2006). « Rentabilité économique de la combinaison des mesures de conservation des eaux et des sols avec la gestion des nutriments en zone semi-aride du Burkina Faso ». *Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF* au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), pp.126-132.

Zougmoré R., Zida Z., Kambou F. (2000). *Récupération agronomique des terres encroutées par la technique du zaï*. Fiche technique n°6, INERA Saria, BP 10 Koudougou Burkina Faso, 2 p. <http://www.fidafrique.net/article819.html>, consulté le 18 novembre 2011.

Zoungrana T. P. (1988). *Stratégies et adaptations paysannes face aux traditions et au changement dans le Moogo Central (Burkina Faso)*. Contribution à la lecture d'une dynamique

du changement dans le bassin versant oriental du lac Bazèga. Thèse pour le doctorat de Géographie et Aménagement. Université Lumière - Lyon 2, Académie de Lyon, France, 363 p.

Zoungrana T. P. (1995). Sécheresse et dynamique des agrosystèmes dans la plaine centrale du Burkina / Drought and dynamics of agrosystems in the central plain of Burkina. *In Revue de géographie de Lyon*. Vol. 70 n°3-4, pp. 247-254. doi : 10.3406/geoca.1995.4219.

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geoca_0035-113X_1995_num_70_3_4219.

Zoungrana T. P. (2003). Dynamique des systèmes de cultures et de gestion des ressources naturelles dans le Boulgou (Burkina Faso). *Annales de l'Université de Ouagadougou, série A*, vol. 1, pp. 231-267.

<http://www.statcan.gc.ca/pub/16-002-x/2011001/part-partie2-fra.htm> *Tendance de la température au Canada*, consulté le 21 décembre 2011.

<http://tidiane.blogvie.com/2010/02/26/tp-climatologie-n%C2%B01-etude-de-la-variabilite-climatique/> *TP climatologie n°1 : Etude de la variabilité climatique*, consulté le 21 décembre 2011.

<http://www.inter-reseaux.org/revue-grain-de-sel/49-agriculture-et-aleas/article/pratiques-et-strategies-d> *Pratiques et stratégies d'adaptation des agriculteurs aux aléas climatiques en Afrique subsaharienne*, consulté le 14 mars 2011.

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me>, *Notion de système*, consulté le 22 février 2012.

<http://www.rappel.qc.ca/bassin-versant.html>, *Notion de bassin versant*, consulté le 17 janvier 2011.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'enquête ménage

Enquête sur le climat, les stratégies d'adaptation, la gestion des ressources en eau dans un contexte de changement climatique en zone sahélienne

Nom et prénom de l'enquêté.....

Date de l'enquête :..... Localité X..... Y.....

I. Généralités sur l'enquête

Age.....	Ethnie.....
Sexe /.../ 1=homme 2=femme	Etat matrimonial :
Activités 1, 2, 3 (par ordre d'importance)	
<input type="checkbox"/> agriculture	<input type="checkbox"/> commerce
<input type="checkbox"/> élevage.....	<input type="checkbox"/> Autres (préciser)
Nombre de personnes à votre charge	
<input type="checkbox"/> Masculin	<input type="checkbox"/> Actifs
<input type="checkbox"/> Féminin	<input type="checkbox"/> Inactifs handicapés
Avez-vous une main d'œuvre salariée (O,N) Temporaire Permanente (nombre) Si oui période :	Avez-vous recours aux entraides Si oui types et période

8. Niveau d'instruction: /.../0 = ni lire, ni écrire, analphabète, 1 = alphabétisé: coranique ou langues locales, 2 = Niveau I^{aire}, 3 = II^{aire}, 4 = supérieur

9. L'enquêté est il membre d'une structure paysanne Oui [] non [] ?

Si oui, citer :

.Nombre d'équipements agricoles dont vous disposez		
Charrue.....	Rayonneur.....	
Charrette.....	Houe manga.....	
Butteur.....	Brouette.....	
.Nombre d'animaux dont vous disposez		
1. de trait :	2. d'élevage :	
Anes.....	bœufs.....	Pintade
Cheval.....	cheval.....	Poules
bœuf.....	moutons.....	Canard
Chameaux.....	chèvres.....	Dindons

II. Perception locale du climat

Que pensez-vous de l'évolution générale du climat cette dernière décennie ? Stable	Que pensez-vous de l'évolution générale du climat (+ de 30 ans) ? Stable
Amélioration	Amélioration
Régression.....	Régression.....
Que pensez-vous de l'évolution de la pluviométrie (+ de 30 ans) Stable	quelle était la période d'installation de la saison pluvieuse (mois et décade): Avant (avril□1 2 3, mai □1 2 3, juin □1 2 3, juillet□1 2 3) Actuel (avril□1 2 3, mai□1 2 3, juin□1 2 3, juillet□1 2 3)
Il pleut plus	
Il pleut moins.....	

Quels sont les mois les plus pluvieux ? Avant (juin <input type="checkbox"/> , juillet <input type="checkbox"/> , août <input type="checkbox"/> , septembre <input type="checkbox"/>) Actuel (juin <input type="checkbox"/> , juillet <input type="checkbox"/> , août <input type="checkbox"/> , septembre <input type="checkbox"/>)	Quelles sont les périodes où les pluies sont de fortes intensités Avant (mai <input type="checkbox"/> , juin <input type="checkbox"/> , juillet <input type="checkbox"/> , août <input type="checkbox"/> , septembre <input type="checkbox"/>) Actuel (mai <input type="checkbox"/> , juin <input type="checkbox"/> , juillet <input type="checkbox"/> , août <input type="checkbox"/> , septembre <input type="checkbox"/>)																				
Comment trouvez-vous le cumul pluviométrique annuel de nos jours ? Stable Amélioration Régression.....	Fin de saison hivernale (décade, mois) Avant (août <input type="checkbox"/> 1 2 3, sept <input type="checkbox"/> 1 2 3, oct <input type="checkbox"/> 1 2 3, nov <input type="checkbox"/> 1 2 3) Actuel (août <input type="checkbox"/> 1 2 3, sept <input type="checkbox"/> 1 2 3, oct <input type="checkbox"/> 1 2 3, nov <input type="checkbox"/> 1 2 3)																				
Estimation des poches de sécheresse <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:50%; text-align:center;">Avant</td> <td style="width:50%; text-align:center;">Après</td> </tr> <tr> <td><3jrs <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><5jrs <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><10jrs <input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Avant	Après	<3jrs <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<5jrs <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<10jrs <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	.Fréquence des inondations <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:50%; text-align:center;">Avant</td> <td style="width:50%; text-align:center;">Après</td> </tr> <tr> <td><3jrs</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td><5jrs</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td><10jrs</td> <td>.....</td> </tr> </table>	Avant	Après	<3jrs	<5jrs	<10jrs				
Avant	Après																				
<3jrs <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																				
<5jrs <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																				
<10jrs <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																				
Avant	Après																				
<3jrs																				
<5jrs																				
<10jrs																				
.Fréquence des jours successifs de pluie <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:50%; text-align:center;">Avant</td> <td style="width:50%; text-align:center;">Après</td> </tr> <tr> <td><3jrs</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td><5jrs</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td><10jrs</td> <td>.....</td> </tr> </table>	Avant	Après	<3jrs	<5jrs	<10jrs Quel évènement compromet plus les récoltes ? (classer) <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:70%;"></td> <td style="width:15%; text-align:center;">Haut glacis</td> <td style="width:15%; text-align:center;">Bas glacis</td> </tr> <tr> <td>Poche de sécheresse</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Inondation</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Jours successifs de pluie</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </table>		Haut glacis	Bas glacis	Poche de sécheresse	Inondation	Jours successifs de pluie
Avant	Après																				
<3jrs																				
<5jrs																				
<10jrs																				
	Haut glacis	Bas glacis																			
Poche de sécheresse																			
Inondation																			
Jours successifs de pluie																			
. La saison des pluies se restreint-elle de nos jours ? Oui Non	. Si oui, choisir un ordre de restriction Moins de 15 jours..... Moins d'un mois..... Moins de 45 jours 45 jours et plus																				
. Evolution de la température globale Stable Augmentation..... Diminution.....	. Evolution de la température durant la saison des pluies Stable Augmentation..... Diminution.....																				
. Evolution de la température pendant le froid stable + en + chaud..... - en - chaud.....	. Evolution de la rosée inchangée de + en +..... de - en -.....																				
. Opportunités liées au réchauffement climatique Oui Non Si oui citer Réchauffement favorable à la culture maraîchère ? Oui Non Si oui avantages																				
. Citer quelques inconvénients du réchauffement Citer quelques inconvénients du refroidissement																				
. Evolution des vents de saison des pluies Stable..... + en + violents..... - en - violents.....	. Evolution des vents de saison sèche (10ans ou 30) Stable..... + en + violents..... - en - violents.....																				
. Evolution de l'évaporation (assèchement des terres) Stable Amélioration Régression.....	. L'évaporation est plus marquée Début de saison des pluies..... Pleine saison des pluies..... Fin de saison des pluies..... En période chaude pendant la saison sèche.....																				

	En période froide pendant la saison sèche.....
Causes du changement climatique	
Dieu (punition)	Coutumes bafouées
Homme (activités)	Ancêtres fâchés
Mauvais esprits.....	

III. Stratégies et pratiques d'adaptation en agriculture

En cas de sécheresse		
Demi-lunes.....	Superficie..... ha	Irrigation de complément
Cordons pierreux	Superficie..... ha	Billonnage.....
Fumure organique.....		Autres (préciser)
Zai.....	Superficie..... ha	Nbre champs aménagés.....
En cas d'inondation		En cas de vents violents
Hauts glacis		Billonnage..... Rites traditionnels.....
Moyens glacis		Cloisonnement
Désherbage		Autres.....
En cas de réchauffement important		Redressement des plants
Paillage.....		En cas d'évaporation
Irrigation		Paillage.....
Semis précoce.....		Irrigation
Semis tardif.....		Semis précoce.....
Que faites vous en cas de pluies annuelles insuffisantes et mal réparties ?		Semis tardif.....
Emigration		Cueillette.....
Réduction fréquence et de la quantité alimentaire journalière.....		Vente du bétail.....
Demande d'aide.....		Vente des terres.....
En cas de mauvaise installation de la saison des pluies que faites-vous ?		
Ressemis.....		Transplantation en juillet août.....
Semis à sec.....		Semis de variétés précoces
Abandon des cultures de rente...		Autres
Variétés cultivées		Provenance des semences utilisées
	Mil Sorgho	Don.....
Locales	.....	Achat.....
Améliorées	.....	Echange.....
		Héritage.....
Variétés traditionnelles adaptées aux CC ?		Si elles ne le sont pas, pourquoi ?
Oui		Fréquentes inondations.....
Non.....		Fortes verses.....
		Saison plus courte.....
		Poches de sécheresses fréquentes.....
Système de cultures		
Type de champs	Association (quel type)	Cultures pures
Champs de case.....	.....	.....
Champs de village.....	.....	.....
Champs de brousse.....	.....	.....
Quelles pratiques agricoles utilisez-vous pour l'adaptation au cc ? (Plusieurs réponses possibles)		
Diversification des cultures		Semis de variétés précoces
Rotation des cultures.....		Utilisation d'engrais organique
Association des cultures.....		Utilisation d'engrais minéral
Semis de variétés améliorées		Combinaison d'engrais minéral et organique
Labour avant semis.....		Semis direct.....
Billonnage.....		Sarclage avant semis.....

Oui..... Non.....	Chez le chef de terre..... Chez le chef de village..... Chez le préfet ou le maire..... Chez le haut commissaire.....
----------------------	--

IV. Gestion des ressources en eau

Régime hydrique du cours d'eau Permanent..... Semi permanent..... Intermittent.....	Périodes des hautes eaux (décades) Juillet..... Août..... Septembre....
Périodes des basses eaux (décades) Mars..... Avril..... Mai.....	A quoi sert l'eau (proportion) Activités économiques..... A la boisson..... Autres.....
Activités économiques pratiquées Cultures maraîchères..... Abreuvement des animaux..... Confection de briques..... Utilisation domestique..... Préparation de dolo..... Autres (préciser)	Autres utilisations de l'eau ONEA (boisson) Construction de route..... Construction de maisons Animaux transhumants..... Autres (préciser)
Période d'intense utilisation de l'eau Janvier – février..... Mars - avril..... Mai - Juin..... Juillet - août..... Septembre – octobre..... Novembre – décembre.....	Les activités concernées (classer) Cultures maraîchères..... Abreuvement des animaux..... Confection de briques..... Utilisation domestique..... Préparation de dolo..... Autres (préciser)
Estimation de l'évaporation Elevée..... Moyenne..... Faible.....	Pratiques réduisant les effets néfastes de l'évaporation Paillage..... Utilisation de fumure organique..... Arrosage fréquent.....
Composantes du comblement du cours d'eau Sable..... Argile..... Limon	L'eau est-elle suffisante ? Oui..... Non.....
Qualité de l'eau Pas pollué.....	Qualité des produits alimentaires (Bonne, Moyenne, Mauvaise) Produits maraîchers...

Peu polluée.....	Viande.....
Bien polluée.....	Boissons traditionnelles
.Maladies d'origine hydrique Bilharziose..... Diarrhée..... Paludisme..... Choléra.....	.Maladies nouvellement apparues Bilharziose..... Diarrhée..... Paludisme..... Choléra.....
.Gestion des cas de maladies hydriques Recours à la pharmacopée..... Soins dans les CSPS..... Recours aux tradipraticiens..... Recours aux marabouts.....	.Pratiques préventives de ces maladies Abreuvement avec de l'eau potable..... Eau de boisson filtrée et traitée..... Cultures maraîchères avec l'eau de puits..... Utilisation rationnelle des intrants.....
.Utilisation d'intrants Cultures maraîchères Cultures pluviales Engrais chimique .....	.Quels sont les intrants qui polluent l'eau en toute saison (classer) Engrais chimique..... Engrais organique..... Pesticides..... Fongicides.....
Engrais organique..... Pesticides..... Fongicides.....	Engrais chimique..... Engrais organique..... Pesticides..... Fongicides.....

V. Activités domestiques

Source d'approvisionnement de l'eau pour les activités ménagères Puits..... Barrage..... Forages Autres	Distance du lieu d'approvisionnement			
	- d'1 km	1-2km	2-5km	+5km
	En saison sèche .....	.....	.....	.....
	En saison pluvieuse			
Moyen d'approvisionnement Canaris charrettes ... Pousse-pousse..... Transport - ânes..... Autres	Quantité d'eau en moyenne consommée par jour Cuisine..... lessive..... vaisselle..... Boisson..... Autres..... Total.....			
Comment se fait la consommation (gestion) de l'eau en période difficile ?	Quelles sont les priorités de consommation (gestion) en période de mauvaise pluviométrie ? Boisson <input type="checkbox"/> abreuvement du bétail <input type="checkbox"/> Cuisine <input type="checkbox"/> Vaisselle <input type="checkbox"/> Lessive <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/>			
Quelles sont les répercussions du changement climatique dans la consommation familiale de l'eau ?	Existe t-il d'autres mesures d'adaptation au changement climatique que vous aimeriez suivre? Mesures d'adaptation Difficultés liées à la mise en œuvre			

VI. Stratégies et pratiques d'adaptation en élevage

Type d'élevage

	Bovins	Caprins	Ovins	Asins	Chameaux	Chevaux	Autres
Extensif							
intensif							

Sources d'approvisionnement en eau pour le bétail

Retenue d'eau	Forage	puits	puisards	autres

Distance du lieu d'abreuvement du bétail (en km)

Retenue d'eau	Forage	puits	puisards	autres

Le besoin en eau du bétail

	Bovins	Caprins	Ovins	Asins	Chameaux	Chevaux	Autres
Espèces moins exigeantes en consommation d'eau?							
Quelles espèces privilégiées en période de sécheresse							

Quelles stratégies utilisées pour la gestion du troupeau

En saison sèche	En saison pluvieuse

VII. Activités de contre-saison

Quelles sont les raisons qui vous amènent à la culture maraîchère ?.....

Source d'eau pour les cultures maraîchères

Barrage (lequel ?)	Mare (laquelle ?)	Forage	Puits	Autres

Types de cultures maraîchères

chou	piment	oseille	aubergine	Tomate	Oignon	autres

Superficie des cultures maraîchères

chou	piment	oseille	aubergine	Tomate	Oignon	autres

Quelles sont les cultures les plus exigeantes en eau? (Classer les 5 premiers)

chou	piment	oseille	aubergine	Tomate	Oignon	autres

Pérennité de l'eau

.....mois	À partir du mois de
-----------	---------------------------

Quantité d'eau utilisée en moyenne par jour par unité (planche, ligne.....)

Quelle stratégie pour optimiser l'humidité par unité (planche, ligne...) et éviter les pertes d'eau?.....

Annexe 2 : Fiche d'enquête complémentaire (inventaire parcellaire et cheptel des producteurs)

Date du lever.....

Village.....Ethnie.....

Nom & prénom de producteur.....

Nbre bovin..... Nbre caprin Nbre ovin..... Nbre asin.....

N°	Type de champ (C,V,B)*	Culture dominante	Numéro du point GPS	Quantité récoltée (charrette/panier)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

(C, V, B)* = Case, village ou brousse

Annexe 3: Guide d'entretien sur la perception locale du changement du climat

Le début de l'annéeet la fin de l'année.....

Saisons (mois)	caractéristiques	dénominations	Observations (décrire les activités)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

1. Des litiges entre agriculteurs et éleveurs ?
2. Pourquoi Dieu punit par le changement climatique ? Qu'est-ce que les hommes ont fait pour mériter cette punition ?
3. Quels sont les signes d'une bonne année ? en se basant sur la lune, les étoiles, le soleil, les vents, certains arbres, les insectes, (donner des détails sur chacun des éléments, sur leur comportement ou leur manifestation)
4. Quels sont les signes d'une mauvaise année ?
5. Des proverbes liés à l'eau, pluie, au climat

6. Des cérémonies religieuses, traditionnelles pour avoir la pluie, avoir une bonne pluviométrie ?
7. Des jours spéciaux de la semaine pour démarrer certaines activités (premiers semis, démarrage des cultures etc.)
8. Comment se compte les années ? Pour donner l'âge par exemple d'un enfant, d'un animal, quelle base ? (nombre de saison de pluie, ou autre ?)
9. Gestion de l'eau en fonction des différentes saisons de l'année

Annexe 4 : Cadre institutionnel et réglementaire de la gestion de l'eau au Burkina

Le MAH est chargé de la gestion de l'eau qu'il anime à travers la Direction Générale des Ressources en Eau, le Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau et une Société d'Etat : l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement.

Au niveau central, les autres secteurs ministériels sont impliqués à travers le Conseil Technique de l'Eau alors que l'administration, la société civile, le privé sont représentés dans le Conseil National de l'Eau.

Au niveau décentralisé, les treize directions régionales animent le secteur de l'hydraulique, mais en plus de ces directions, la nouvelle approche a vu une implication des circonscriptions administratives, des collectivités locales, des services techniques et des usagers. Les CLE et les CISE font partie du paysage institutionnel de la gestion de l'eau que le MAH met en place progressivement.

Dans le cadre de la mise en œuvre du PAGIRE, il est prévu la mise en place des Comités de gestion de bassin, des agences de bassins et au niveau local des Comités Locaux de l'Eau pour assurer la gestion des ouvrages ou des systèmes aquifères.

Le cadre institutionnel de l'eau au Burkina Faso a connu beaucoup de changements avec le rattachement du secteur eau à l'environnement ou à l'agriculture.

En 2006, la DGRE a été créée. Elle résulte de la fusion de la DGEAP et de la DGIRH. Le dernier changement en date est l'adoption d'un nouveau décret portant organisation du ministère qui consacre la création de deux directions générales (DGRE et DGAEUE) qui vont désormais animer le secteur.

5.2.3.2 Cadre réglementaire

Sur le plan réglementation, un ensemble de textes régit le secteur de l'hydraulique. Il s'agit entre autre de :

- la loi portant réforme agraire et foncière,
- la loi d'orientation relative au pastoralisme,
- les politiques et stratégies en matière d'eau,
- la loi d'orientation relative à la gestion de l'eau,
- le code minier,
- le code forestier.

Toutes ces lois et textes réglementaires consacrent l'orientation nouvelle pour une gestion concertée des ressources en eau depuis 1998.

Annexe 5 : Tableau de recodification des thèmes de gestion d'eau

Thèmes	Code initial (valeur absolue)	Recodification
Puits	0 - 473	100 - 0
Mares	0 - 915	100 - 0
Impluviums	0 - 1449	100 - 0
Fumure	0 - 447	100 - 0
Forage	0 - 466	100 - 0
Fixation des dunes	0 - 1881	100 - 0
Cordons pierreux	0 - 832	100 - 0
Billon	0 - 1154	100 - 0
Bas-fonds	0 - 541	100 - 0
Barrages	0 - 997	100 - 0
Bandes enherbées	0 - 512	100 - 0
Zone de culture	0 - 197	100 - 0
Sols aptes	0 - 273	100 - 0
Zaï	0 - 977	100 - 0
Rivières	0 - 131	100 - 0
Pluviométrie		
Contraintes des sols	0 - 1096	100 - 0
Température		
Contraintes des bas-fonds	0 - 695	100 - 0
Zone inculte	0 - 370	100 - 0

Annexe 6: Répartition des superficies par unité d'occupation

Unités d'occupation	Superficie 1986 (ha)	% 1986	Superficie 2011 (ha)	% 2011
Zone de culture	42810,29	23,55	58738,02	32,31

Formation ripicole	20904,27	11,50	5293,61	2,91
Plan eau	946,83	0,52	1751,89	0,96
Steppe arborée	4925,81	2,71	1385,01	0,76
Steppe arbustive	91221,47	50,17	69125,70	38,03
Steppe herbeuse	6501,59	3,58	24735,36	13,61
Zone dénudée	14496,36	7,97	20776,83	11,42
Total	181806,62	100	181806,62	100

Source : LANDSAT TM, 27 janvier 1986 et 1^{er} février 2011

Annexe 7 : Effets de quelques stratégies sur le sol

Aménagements	Effets
zaï	Concentration les éléments minéraux du sol et accumulation des matières transportées par le vent, Rétention des eaux de ruissellement, maintien de l'humidité dans le sol.
Paillage	Accroissement de la fertilité du sol, Accentuation de l'activité de la microfaune, diminution de la vitesse de ruissellement des eaux
Demi-lunes	Concentration les éléments minéraux du sol et accumulation des matières transportées par le vent, Rétention des eaux de ruissellement, maintien de l'humidité dans le sol.
Labour	Ameublissement des croûtes formées ou en formation à la surface du sol, diminution de la vitesse de ruissellement des eaux, accroissement des infiltrations
Cordons pierreux	Ralentissement du ruissellement, rétention des particules terreuses transportées.

Annexe 8 : Tableau de classification préférentielle des mesures de gestion de l'eau (les plus efficaces) en saison pluvieuse dans le village de Oulo (Vision des producteurs au 1^{er} février 2011)

Gestion de l'eau	Cordon pierreux	Zai	Fumure organique	Labour (billons)	Sous solage	Bandes enherbées	Fixation dunes	Paillage	Semis précoce	Variétés précoces	Variétés améliorées	Zone cultivée
Cordon pierreux		cp	fo	cp	ss	cp	fd	p	sp	vp	va	cp
Zai			fo	l	ss	be	fd	p	sp	vp	va	zc
Fumure organique				fo	ss	fo	fo	fo	sp	vp	va	fo
Labour (billons)					ss	l	fd	p	sp	vp	va	zc
Sous solage						ss	fd	ss	sp	vp	va	zc
Bandes enherbées							fd	p	sp	vp	va	Zc
Fixation dune								p	sp	vp	va	Zc
Paillage									sp	vp	va	zc
Semis précoces										vp	va	Sp
Variétés précoces											vp	Vp
Variétés améliorées												zc
Zone cultivée												

Source : Entretien semi structure (février 2011)

cp = cordon pierreux, fo = fumure organique, z = zai, l = labour, ss = sous solage, be = bande enherbée, fd = fixation des dunes, p = paillage, sp = semis précoces, vp = variétés précoces, va = variétés améliorées, zc = zone de culture

Annexe 9 : Tableau de classification préférentielle des mesures de gestion de l'eau (ouvrages les plus efficaces) en saison sèche dans le village de Léré (Vision des producteurs au 2 février 2011)

Gestion de l'eau	Barrage	Mare	Puits	Forage	Puisard	<i>Bouli</i>	Cours d'eau	Impluvium	Bas-fonds	Maraîchage
Barrage		m	p	f	b	bou	b	b	bf	b
Mare			p	f	pui	bou	m	m	m	m
Puits				f	p	bou	p	p	p	F
Forage					f	bou	f	f	f	p
Puisard						bou	puis	puis	puis	ma
<i>Bouli</i>							bou	bou	bou	ma
Cours d'eau								ce	bf	ma
Impluvium									im	bf
Bas-fonds										ma
Maraîchage										

Source : Entretien semi structure (février 2011)

b = barrage, m = mare, p = puits, f = forage, puis = puisards, bou = *bouli*, ce = cours d'eau, im = impluvium, bf = bas-fond, ma = maraîchage

Annexe 10 : Population de 17 des 23 villages de la commune urbaine de Dori en 2008 (Source : RGPH 2006)

N°	Villages de la commune de Dori	Population en 2006	Sexe Masculin	Sexe Féminin	Population en 2008 ¹	Sexe Masculin	Sexe Féminin
01	Bambofa	1 462	746	716	1 521	776	745
02	Bargaré	227	116	111	236	120	116
03	Beguentigui	105	54	51	109	56	53
04	Bouloye Thiouly	1 615	824	791	1 680	857	823
05	Dani	1 718	876	842	1 787	911	876
06	Dangadé	727	371	356	756	386	370
07	Demni	1 459	744	715	1 518	774	744
08	Djigo	1 064	543	521	1 107	565	542
09	Foulgou	1 010	515	495	1 051	536	515
10	Hoggo Samboel	774	395	379	805	411	394
11	Katchari	1 000	510	490	1 040	530	510
12	Nobiol	1 692	863	829	1 760	898	862
13	Oulo	2 716	1385	1331	2 826	1441	1385
14	Peoukoye	2 637	1345	1292	2 744	1399	1345
15	Tigou	476	243	233	495	252	243
16	Yakouta	1 368	698	670	1 423	726	697
17	Yirga	1 235	630	605	1 285	655	630
Total		21285	10 855	10 430	22143	11 293	10 850

Annexe 11 : Population de 11 des 12 villages de la commune rurale de Gorgadji en 2008 (Source : RGPH 2006)

N°	Villages de la commune de Gorgadji	Population en 2006	Sexe Masculin	Sexe Féminin	Population en 2008 ²	Sexe Masculin	Sexe Féminin
01	Bangataka	1587	809	78	165	84	81
02	Bangataka lere	1060	541	19	1102	562	540
03	Bouniougui	2773	1414	359	2884	1471	1413
04	Diobou	2207	1126	081	2295	1170	1125
05	Lelly	2093	1067	026	2177	1110	1067
06	Lere	923	471	52	960	490	470
07	Oulfou Alfa	1087	554	33	1130	576	554
08	Peteguere	1766	901	65	1837	937	900
09	Tadjo	1573	802	71	1636	834	802
10	Tonga	1201	613	88	1249	637	612
11	Gorgadji	3988	2034	954	4148	2115	2033
Total		20 258	10 332	926	21 068	10 745	10 323

² Les effectifs de 2006 sont issus des résultats des recensements administratifs. La population en 2008 a été estimée sur la base de la population de 2006 en appliquant un taux de croît de 2,8% l'an qui est celui de la population locale.