

COMITE PERMANENT INTER-ETATS DE LUTTE
CONTRE LA SECHERESSE DANS LE SAHEL
COMITÉ PERMANENTE INTER- STADOS DE LUTA
CONTRA A SECA NO SAHEL



PERMANENT INTERSTATES COMMITTEE
FOR DROUGHT CONTROL IN THE SAHEL

اللجنة الدائمة المشتركة لمحاربة التصحر في الساحل



CENTRE REGIONAL AGRHYMET

DEPARTEMENT FORMATION ET RECHERCHE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE

MASTER EN GESTION DURABLE DES TERRES

Promotion 2016-2017

Présenté par ADJALOGO-AGBEKO Tété

Thème : Evaluation de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la préfecture de Tandjoaré au Nord du TOGO à partir des images satellitaires

Soutenu le 05 Janvier 2017 devant le jury composé de :

Président : Pr Bouzou Moussa IBRAHIM, Université Abdou Moumouni, Niger

Membres : Dr Pibgnina BAZIE, Centre Régional AGRHYMET, Niger

Directeur de Mémoire : Pr. KOKOU Kouami, Faculté des Sciences de l'Université de Lomé, Togo

Co-directrice : Dr. SOULEY- YERO Kadidiatou, Centre régional AGRHYMET, Niger

Dédicace

JE DEDIE CE MEMOIRE
A TOUTE LA FAMILLE KOUTO-MESSAN
SPECIALEMENT MA MERE
A LA FAMILLE ADJALOGO-AGBEKO
SPECIALEMENT MON FRERE
A MA FEMME JULIENNE KOUMBIA
ET A MON ENFANT JEAN-CLAUDE

Remerciements

La réalisation d'un mémoire est une grande exploration à la fois scientifique et humaine, remplie de découvertes, de bons moments, mais également semée d'embûches et d'épreuves complexes. Ce parcours du chercheur n'est pas une navigation en solitaire mais bien une œuvre partagée et portée par de nombreuses personnes qu'il m'est difficile de lister dans ces quelques lignes.

Je tiens ici à rendre grâce à Dieu de m'avoir permis de terminer cette formation dans de meilleures conditions et en bonne santé. Que son nom soit glorifié à jamais.

Toute ma gratitude et mes remerciements vont à l'endroit de l'administration du Centre Régional AGRHYMET, des partenaires financiers (Union Européenne et Banque Africaine de Développement).

J'adresse mes vifs remerciements et une grande reconnaissance au :

- Pr. KOKOU Kouami, Professeur Titulaire en Ecologie Forestière et Gestion des Ressources Naturelles, Enseignant chercheur à la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé et Directeur du programme WASCAL-Togo qui a été pour moi, un encadreur disponible malgré ses diverses occupations. Merci pour votre écoute et votre patience à mon égard. Que ce travail soit le prélude du lien entre vous et moi ;
- Dr. SOULEY-YERO Kadidiatou, Expert en science et Données à Agrhymet, pour son enseignement, ses guides et sa disponibilité à mon égard ;
- Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de l'Hydraulique, au Directeur régional des savanes, Directeur préfectoral de Tandjouare, ainsi qu'au Directeur de Délégation Régional et au Chef d'agence de l'institut de conseil et d'appuis technique de la préfecture de Tandjouaré pour l'accueil, l'encadrement et les conseils donnés ;
- Mme PANA Saydatou, Etudiante en Master GDT, travaillant au secrétariat technique du projet PGICT du MERF-Togo, pour son aide, son encouragement et ses directives ;
- M. Ayébou GBEGNOYOU, Etudiant en Master GDT, coordonnateur de l'Union des Agriculteurs de la Région des plateaux du Togo pour ses soutiens de divers ordres ;
- M. PASSIKE POKONAM Essoniname, mon ami de toujours et mon frère de tous les temps, pour cette complicité qui nous unie. Ta disponibilité m'a été un réconfort ;
- M. Kodjo ASSOGBA, Ingénieur Agronome et Master en protection de l'environnement et des cultures, pour sa disponibilité et ses apports dans l'élaboration de ce document ;
- M. Têtê ADJALOGO-AGBEKO, mon frère, pour sa disponibilité et ses soutiens affectifs à l'égard de ma famille ;
- Mme Julienne KOUMBIA, ma femme, pour ses prières et le courage dont elle a fait preuve pendant notre absence ;
- A tous les étudiants du Master GDT promotion 2016-2017 pour la confiance mutuelle et la cohésion dont nous avons fait preuve.

Liste des tableaux, figures et photos

Liste des tableaux

Tableau I: Répartition de la population par Canton en 2010.....	20
Tableau II: La liste des données utilisées.....	20
Tableau III: Classe de sensibilité des sols à l'érosion.....	26
Tableau VI: Les classes de pente.....	27
Tableau IV: Classes de sensibilité à l'érosion des différents types d'occupations du sol	29
Tableau V: Les classes de vulnérabilités liées aux cumuls et intensités pluviométriques.....	35

Liste des figures

Figure 1: Localisation de la préfecture de Tandjoare.....	16
Figure 2: La démarche méthodologique aboutissant à la carte de vulnérabilité spatiale à l'érosion hydrique.....	22
Figure 3: Pondération des facteurs de vulnérabilité.....	22
Figure 4: Carte des sols de la préfecture de Tandjouare.....	25
Figure 5: Carte d'érodibilité des sols.....	26
Figure 6: Carte de vulnérabilité à la pente.....	27
Figure 7: Carte de la longueur de pente.....	28
Figure 8: Carte du facteur topographique (LS).....	29
Figure 9: Cartes d'occupation du sol en 2000 (a) et 2015 (b).....	30
Figure 10: Vulnérabilité liée aux types d'occupation du sol en 2000 (a) et 2015 (b).....	31
Figure 11: Vulnérabilité liée aux NDVI en 2000 (a) et 2015 (b).....	32
Figure 12: Carte de l'indice de végétation en 2000 (a) et 2015 (b).....	33
Figure 13: Carte des cumuls pluviométrique de 2000 (a) et 2015 (b).....	34
Figure 14: Carte des intensités pluviométrique de 2000 (a) et 2015 (b).....	34
Figure 15: Carte d'érosivité de la pluie en 2000 (a) et 2015 (b).....	35
Figure 16: Cartes de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en 2000 (a) et 2015 (b).....	36
Figure 17: Proportion des causes de la dégradation des terres.....	37
Figure 18: Proportion des causes de l'érosion hydrique.....	38
Figure 19: Ampleur de l'érosion par Canton en 2000.....	39
Figure 20: Ampleur de l'érosion par Canton en 2015.....	39
Figure 21: Evolution comparée de l'érosion en 2000 et 2015.....	40
Figure 22: Ampleur de l'érosion sur la diminution des revenus par Canton.....	41
Figure 23: Etude comparatif de l'ampleur de l'érosion dans la préfecture en 2000 sur la carte et par enquête.....	42
Figure 24: Etude comparatif de l'ampleur de l'érosion dans la préfecture en 2015 sur la carte et par enquête.....	42
Figure 25: Etude comparative de l'ampleur de l'érosion par canton sur la carte (a) et par enquête (b) dans l'année 2000.....	43
Figure 26: Etude comparative de l'ampleur de l'érosion par canton sur la carte (a) et par enquête (b) dans l'année 2015.....	44

Liste des photos

Photo 1: Ampleur de l'érosion dans quelques Cantons vulnérables.....	45
--	----

Sigles et abréviations

ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission And Reflection Radiometer
DSID	: Direction des Statistiques Agricoles, de l'Information et de la Documentation
DUSLE	: Differential Universal Soil Loss Equation
ETM+/ TM	: Enhanced Thematic Mapper plus / Thematic Mapper
FAO	: Food and Agriculture organization
GDEM	: Global Digital Elevation Model
GDT	: Gestion Durable des Terres
GLASOD	: Global Assessment of Soil Degradation
GPS	: Global Positioning System
RFE	: Rainfall Estimate
MERF	: Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
MPDAT	: Ministère de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du Territoire
MUSLE	: Modified Universal Soil Loss Equation
NDVI	: Indice de Végétation à Différence Normalisée
OLI/TIRS	: Operational Land Image/Thermal Infrared Sensor
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer
PNUE/ISRIC	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement/International Soil and Reference Information Center.
RGPH 4	: Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation
SIG	: Système d'Information Géographique
USLE	: Universal Soil Loss Equation

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Liste des tableaux, figures et photos	iii
Sigles et abréviations	iv
Table des matières	v
Résumé	vii
Introduction	1
<i>Premier chapitre : REVUE DE LITTERATURE</i>	4
1. Revue de littérature	5
1.1. <i>Définitions des concepts</i>	5
1.2. <i>Les facteurs de l'érosion hydrique</i>	6
1.2.1. Les précipitations.....	6
1.2.2. La topographie.....	6
1.2.3. La nature du sol	7
1.2.4. Occupation du sol	7
1.3. <i>Les conséquences de l'érosion hydrique</i>	8
1.4. <i>Les méthodes de lutte</i>	8
1.5. <i>Quelques études sur la cartographie du risque d'érosion hydrique dans le monde</i>	9
1.5.1. Historique sur la modélisation de l'érosion hydrique	9
1.5.2. Erosion hydrique dans le monde et en Afrique	10
1.5.3. Erosion hydrique au Togo	13
1.6. <i>Conclusion partielle</i>	14
<i>Deuxième chapitre : MATERIEL ET METHODES</i>	15
2. Matériel et méthodes.....	16
2.1. <i>Présentation de la zone d'étude</i>	16
2.1.1. Situation géographique	16
2.1.2. Le relief.....	17
a. Les plaines	17
b. Les plateaux et les montagnes	17
2.1.3. Le climat	17
a. Les précipitations.....	17
b. Les températures	17
c. Humidité relative	17
d. L'insolation et l'évaporation	18
2.1.4. Les sols.....	18

2.1.5.	L'hydrographie	18
2.1.6.	La végétation	18
2.1.7.	La population	19
2.2.	Matériel	20
2.2.1.	Les données	20
	Les données utilisées sont citées dans le tableau ci-dessous (tableau II).	20
2.2.2.	Les logiciels et autres matériel	20
2.3.	La méthodologie	21
2.3.1.	Evaluation spatio-temporelle de la vulnérabilité des sols	21
a.	Analyse multicritère	22
2.3.2.	Perception paysanne de l'érosion et validation des cartes de vulnérabilité	23
	<i>Troisième chapitre : RESULTATS ET DISCUSSION</i>	24
3.	Résultats et discussion	25
3.1.	Résultats	25
3.1.1.	Evolution de la vulnérabilité des sols entre 2000 et 2015.	25
a.	Elaboration des paramètres d'entrée et des indicateurs	25
3.1.2.	Perception paysanne de l'érosion et son ampleur sur les revenus	36
a.	Perception de l'érosion hydrique	36
b.	Ampleur de l'érosion en 2000 et 2015.	38
c.	Méthodes paysanne de lutte contre l'érosion hydrique	40
d.	Ampleur de l'érosion sur les revenus des producteurs	40
3.1.3.	Validation des cartes de vulnérabilité.	41
3.2.	Discussions	46
3.2.1.	Evolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le temps.	46
a.	La répartition dans l'espace de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique	46
b.	Evolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique de 2000 à 2015.	47
3.2.2.	Perception paysanne de l'érosion et son ampleur sur les revenus	48
3.2.3.	Validation des cartes de vulnérabilité à l'érosion hydrique.	49
	Conclusion générale.....	50
	Référence bibliographique.....	52
	ANNEXES	57
	Annexe 1 : Répartition du nombre de producteur enquêté par Canton.....	58
	Annexe 2 : Ampleur de l'exode rural par Canton.....	59
	Annexe 3 : Ampleur de l'érosion sur la diminution des rendements par canton.....	59
	Annexe 4 : Ampleur de l'érosion par Canton en 2000.....	60
	Annexe 5 : Ampleur de l'érosion par Canton en 2015.....	61
	Annexe 6 : Lequestionnaire d'enquête.....	62

Résumé

La dégradation des terres, particulièrement l'érosion hydrique est devenue un problème majeur dans les pays en développement ayant l'agriculture comme pilier de croissance économique. La recherche de solutions efficaces et durables à ce problème ne peut se faire sans l'identification et la cartographie des zones vulnérables. La télédétection et les SIG apparaissent donc comme un outil efficace pour y arriver. Cette étude a comme objectif la cartographie des sols vulnérables à l'érosion dans un souci de lutter contre l'érosion hydrique dans la préfecture de Tandjouaré au nord du Togo. Pour ce faire, une approche qualitative se basant sur une combinaison pondérée dans un SIG des différents facteurs de l'érosion a été utilisée. Il s'agit de : la topographie, le sol, occupation du sol, l'indice de végétation et de l'érosivité de la pluie. Trois classes de vulnérabilité ont été obtenues à s'avoir : faible, moyenne et forte. La validation des résultats a été faite par une enquête auprès des producteurs. L'évolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique entre 2000 et 2015 montre une diminution des superficies où la vulnérabilité est faible et moyenne respectivement de 18,16% et 2,1%, une augmentation de la zone à vulnérabilité forte de 16,4%. Ceci est dû à l'accroissement démographique qui occasionne une diminution du couvert végétal et une augmentation des surfaces cultivées.

Mots clés : Erosion hydrique, vulnérabilité des sols, Tandjouaré, Togo.

Abstract

Land degradation, especially soil-water erosion have become a major problem in developing countries with agriculture as economic development pillar. The research for effective and sustainable solutions to this problem can not be done without the identification and mapping of vulnerable areas. Remote sensing and GIS are an effective tool to achieve this. This study aims to map vulnerable soils to erosion in order to combat water erosion in the prefecture of Tandjouaré in northern Togo. To do this, a qualitative approach based on a weighted combination in a GIS of erosion factors such as: topography, soil, land cover, vegetation index and rain erosivity. Three classes of vulnerability have been obtained: low, medium and strong. The validation was carried out by producers survey. The evolution of vulnerability between 2000 and 2015 shows a decrease in the low and average vulnerability area of 18,16 % and 2,1 % respectively and an increase in the strong vulnerability area of 16,4 %. This is due to the increase in population which causes a decrease in vegetation cover and an increase in cultivated areas.

Key words: Water erosion, Soil vulnerability, Tandjouare, Togo.

Introduction

Le secteur agricole est au cœur de l'économie des pays en voie de développement. Selon la FAO (2016), ce secteur représente une large part du produit intérieur brut (30 à 60 %) et emploie une proportion significative de la population active (40 à 90 %). Dans ces pays, l'agriculture est une importante source de devises (25 à 95 %) qui produit la majeure partie des denrées alimentaires de base et constitue la seule source de subsistance et de revenus pour plus de la moitié de la population (FAO, 2016). Au Togo, le secteur agricole est le moteur du développement de l'économie grâce aux potentialités agronomiques et édaphiques. Il emploie 96% des ménages ruraux avec près de 54% de la population active. En outre, elle contribue à hauteur de 40% à la formation de la richesse nationale et génère plus de 20% des recettes d'exportation (DSID, 2013).

Toutefois, le secteur agricole est confronté à plusieurs problèmes parmi lesquels réside la disponibilité en terre. C'est une ressource en constante diminution, seuls 30 millions de km² de terres sont des terres arables soit seulement 5,8% de la superficie de la planète (Brabant, 2010).

Ces pertes de terres sont dues aux phénomènes de désertification et de dégradation parmi lesquels l'érosion a une place importante (Cheggour, 2008).

L'érosion selon Antoni *et al.* (2006), résulte de la dégradation des couches superficielles de la couverture pédologique et du déplacement des matériaux les constituant. Ce processus d'après ces mêmes auteurs généré sous l'action d'agents climatiques naturels (eau, vent, rivières, glaciers) est souvent renforcé par les pressions anthropiques exercées sur les sols (intensification de l'agriculture, surpâturage, déforestation, culture à faible recouvrement, artificialisation et imperméabilisation des surfaces).

Selon Le Bissonais *et al.* (2003), l'érosion hydrique est l'une des causes majeures de dégradation des terres dans le monde et son irréversibilité justifie qu'on lui accorde une attention particulière. Elle représente, par conséquent, une menace insidieuse d'une part sur les cultures, l'alimentation humaine et la stabilité de certains ouvrages, d'autre part sur l'écosystème aquatique et la pérennité d'ouvrages de drainage et de retenues d'eau, certains construits à grand frais (barrages d'irrigation et hydroélectriques).

Selon la Commission Européenne, environ 17 % de la surface du territoire européen est affectés par l'érosion hydrique, soit 26 millions d'hectares; 95 millions d'hectares de terres en Amérique du Nord et 500 millions d'hectares en Afrique (planetoscope, 2016). C'est un

phénomène qui ne cesse de gagner du terrain et Les zones les plus susceptibles sont notamment les savanes de l'Afrique, les grandes plaines et les pampas en Amérique, les steppes de l'Europe du Sud-Est et de l'Asie, l'arrière-pays Australien et les marges de la Méditerranée. Elle prédomine dans les zones semi-arides et dans les régions subhumides sèches (PNUE/ISRIC, 1991).

En 1991 le projet GLASOD (PNUE/ISRIC, 1991) a classé le Togo parmi les pays les plus touchés par la dégradation des terres en Afrique de l'ouest et l'érosion hydrique comme le phénomène dominant. Selon le Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (2014), l'érosion des terres se manifeste à un niveau critique dans la Région des Savanes, la zone montagneuse ouest de la région des Plateaux, l'Atakora, le Fazao et la Région Maritime.

L'enjeu est particulièrement important dans la région des Savanes du Togo plus précisément dans la préfecture de Tandjouaré caractérisée par un climat semi-aride. La présence ou la proximité des montagnes et des piémonts, la nature des sols, les pratiques culturelles et la surexploitation des forêts concourent à placer au centre des préoccupations du développement de ce milieu, la question de l'érosion des sols.

L'érosion hydrique constitue ainsi un problème environnemental majeur et un sujet de préoccupations importantes sous tous les climats (Kabre, 2010). Ce processus de dégradation des sols tend donc à être intégré dans les politiques de protection environnementale.

Au niveau européen, l'érosion a été identifiée comme l'une des huit menaces à prendre en compte dans la stratégie thématique pour la protection des sols en Europe (COM(2002) 179 final, 2002 ; Van Camp *et al.*, EUR 21319 EN/2 2004).

D'importants travaux de recherche ont été réalisés dans le monde et en Afrique pour venir au bout du phénomène. Ainsi l'érosion hydrique a fait l'objet de cartographie avec l'identification des zones à risque et des zones vulnérables sous tout climat en fonction des différents objectifs poursuivis.

Force est de constater qu'au Togo, malgré les efforts déployés en vue de venir à bout du phénomène, il demeure toujours un sujet d'actualité. L'Etat Togolais et ses partenaires nationaux qu'internationaux viennent en aide aux populations à travers des projets et programmes réalisés en développant des stratégies de conservation et de restauration des sols. Cependant la plupart de ces services sont souvent confrontés aux problèmes de manques d'informations relatifs à la localisation des zones susceptibles d'être érodées avec leur degré de vulnérabilité, toute chose qui les empêche d'atteindre certains de leurs objectifs.

Ainsi pour Moussa *et al.* (2002), et Souchère *et al.* (2005) cités par Bachaoui *et al.* (2006), l'exécution des mesures efficaces de conservation et de restauration des sols doit d'abord être précédée par une évaluation dans l'espace du risque d'érosion. Ceci s'explique par le fait que l'érosion hydrique est un phénomène complexe résultant de l'interaction de nombreux facteurs dont les plus connus sont : les précipitations, la nature des sols, les pentes et la végétation. La recherche d'information concernant l'érosion nécessite donc la prise en compte de tous ces facteurs. Pour déterminer la vulnérabilité des terres, il faut trouver des outils aussi bien capables de rassembler les données que de les intégrer dans un système pouvant permettre des croisements entre les différents facteurs. Le couplage télédétection et systèmes d'information géographique (SIG) est mieux indiqué pour cela. En effet l'érosion résultant de la combinaison de plusieurs facteurs, la télédétection et les SIG sont des puissants outils pouvant servir à la collecte et à la combinaison des données. Ils se présentent de nos jours comme des outils essentiels dans les systèmes interactifs d'aide à la décision. Pour ce faire, il est nécessaire de sélectionner les principaux facteurs de l'érosion, d'utiliser des données cartographiques qui permettent de les visualiser et d'établir une carte de vulnérabilité. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude réalisée au Togo plus précisément à Tandjouare et qui s'intitule « **Evaluation de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la préfecture de Tandjouaré au nord du Togo à partir des images satellitaires** ».

De façon générale cette étude vise l'élaboration d'un outil d'aide à la décision à travers l'identification et la cartographie des sols vulnérables à l'érosion dans la préfecture de Tandjouare.

Les objectifs spécifiques sont :

- Déterminer l'évolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le temps (2000 et 2015);
- Déterminer la perception paysanne de l'érosion et son ampleur sur leurs revenus;
- Valider la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion.

La présente étude s'articule autour de trois chapitres. Le premier chapitre traite de la revue de littérature sur l'érosion hydrique, les facteurs qui l'influencent ainsi que quelques travaux de modélisation et de cartographie des zones vulnérables, à partir de laquelle des informations utiles ont été tirées pour l'exécution des travaux ; le matériel et les méthodes utilisés tout au long de ce travail sont décrits dans le deuxième chapitre tandis que les résultats obtenus et leurs discussions meublent le troisième chapitre. Une conclusion et quelques recommandations viendront clôturer le présent document.

*Premier chapitre : **REVUE DE LITTERATURE***

1. Revue de littérature

La définition des concepts s'impose pour une bonne compréhension des termes utilisés dans ce travail.

1.1. Définitions des concepts

Vulnérabilité des sols : La vulnérabilité des sols peut être définie comme la fragilité des sols face aux agressions extérieures comme le climat et les actions anthropiques. Elle dépend donc de facteurs intrinsèques et extrinsèques. Elle peut être hiérarchisée en fonction du degré d'exposition aux risques (Kabre, 2010).

Erosion hydrique : Selon Mokhtari (2009), l'érosion vient du verbe latin "ERODERE" qui signifie "ronger". Elle représente l'ensemble des phénomènes qui contribuent, sous l'action d'un agent d'érosion (notamment l'eau) à modifier les formes de relief que sont les sommets de plateau, les rebords de plateau, les talus, les corniches, les terrasses, les versants.

Cette modification se fait par ablation de matières (sols et roches), mais aussi par accumulation de la matière arrachée (Cantón *et al.*, 2002).

L'érosion hydrique des sols se fait sentir généralement, lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (Cheggour, 2008).

Le ruissellement a ainsi un rôle déterminant dans le détachement des particules, en particulier dans les formes d'incision et dans le transport du matériel mobilisé. En l'absence de ruissellement, les particules de sol détachées par la pluie ne sont pas transportées très loin. L'érosion est ainsi très dépendante des mécanismes de formation du ruissellement.

Téledétection : La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. Elle englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information (Campbell, 1987). Dans le cadre de la présente étude les techniques de la télédétection seront utilisées pour le traitement des images satellitaires en vue d'élaborer la cartographie de l'occupation du sol et de disposer de statistiques traduisant la dynamique des différentes unités d'occupation du sol

Le Système d'Information Géographique (SIG) : est un système informatique capable de collecter, de stocker, de manipuler, d'afficher et d'analyser géographiquement des données

géoréférencé. Selon Thériault (1992), cité par Koï (2009), « Un Système d'Information Géographique (SIG) est un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiale, utilisé pour saisir, gérer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. Les données sont analysées afin de produire l'information nécessaire pour aider les décideurs ». Les potentialités du SIG dans l'étude de l'érosion résident dans le fait qu'il permet dans un premier temps d'acquérir les données mais aussi de pouvoir les combiner et d'extraire l'information dont nous avons besoin.

1.2. Les facteurs de l'érosion hydrique

Depuis 1978, les facteurs de l'érosion devant être pris en compte pour étudier les phénomènes érosifs ont fait l'objet d'un consensus et regroupent le sol, l'occupation du sol, le couvert végétal, la topographie et le climat (Wischmeier *et al.*, 1978). Selon Maurizot et Delfau (1995), dans une région donnée, les phénomènes d'érosion sont la résultante d'un ensemble de critères élémentaires du milieu (naturel et anthropique) pouvant être regroupés en quatre catégories : Les précipitations, le sol et proche sous-sol, le relief et occupation de la surface du sol.

1.2.1. Les précipitations

Le climat constitue la cause et la source d'énergie érosive. Ce sont les gouttes de pluie et les eaux de ruissellement sur les terrains en pente et les vents violents qui détachent et entraînent les particules terreuses. Selon Roose et Lelong (1976), la pluie est le facteur le plus important de l'érosion hydrique. L'érosivité de la pluie se définit comme étant son aptitude à provoquer l'érosion. Elle définit l'érosion potentielle et est caractérisée par sa hauteur, son intensité ou son énergie cinétique et sa durée (Stengel et Gelin, 1998). Cette énergie découle du diamètre des gouttes et de leur vitesse de chute. Aussi selon Lagacherie (2014), la plupart des précipitations dépassant 40 mm ont des intensités élevées. L'efficacité de la pluie vis à vis des processus d'érosion est liée aux rôles qu'elle a dans le détachement des particules des sols et surtout dans la formation du ruissellement (Marcey et Berville, 2003).

1.2.2. La topographie

Les paramètres topographiques sont fondamentaux pour expliquer l'importance des phénomènes érosifs (Wishmeier et Smith, 1978). Selon Maurizot et Delfau (1995), Le relief est une donnée fondamentale pour l'étude de tous les phénomènes naturels régis par la gravité et qui obéissent aux lois physiques de l'écoulement. Par exemple, si la pente des surfaces était nulle, l'écoulement des eaux de pluie serait très faible et les particules détachés par la battance

resteraient sur place. La pente a ainsi une grande influence puisqu'elle fournit son énergie érosive à l'eau. L'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse du ruissellement, accélérant le transport solide vers le bas et augmentant ainsi l'impact de l'ablation des matériaux détritiques (Dumas, 2004).

1.2.3. La nature du sol

La participation de la nature du sol et du sous-sol est fonction de sa perméabilité et de l'aptitude au détachement de particules. L'érodibilité traduit la sensibilité d'un sol à l'arrachement et au transport des particules qui le composent sous l'action des gouttes de pluies et/ou de l'écoulement (Le Bissonnais *et al.*, 2005). Selon Dumas (2004), chaque type de sol réagit différemment en fonction de sa texture, sa structure, sa porosité et son taux de matières organiques. L'érodibilité d'un sol n'est pas homogène dans l'espace et elle évolue dans le temps : elle augmente au cours de la saison des pluies et varie en fonction des caractéristiques des sols, de l'âge, du défrichement et des techniques culturales (Georges, 2008).

1.2.4. Occupation du sol

L'occupation du sol, notamment la couverture végétale, détermine directement le degré de protection des sols (Zengxiang *et al.*, 1996). Ainsi selon Roose et Lelong (1976), parmi les facteurs qui modifient l'expression de l'agressivité climatique, le couvert végétal a de loin le rôle principal. L'influence du couvert végétal est très importante : il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, recouvre une forte proportion du sol, ralentit l'écoulement du ruissellement et maintient une bonne porosité à la surface du sol (Dumas, 2004). Par ailleurs, du fait de la consommation d'eau, la végétation peut drainer et assécher le sol. Or, l'effet protecteur du couvert végétal n'est efficace que si la surface du sol n'est pas dégradée avant que la végétation se soit suffisamment développée pour exercer cette protection (Boiffin *et al.*, 1988). Selon ces mêmes auteurs, les sols cultivés restent peu ou pas couverts pendant certaines périodes de l'année qui peuvent être critiques si les pluies sont abondantes ou intenses et les états de surface favorables à la formation et à la concentration du ruissellement. L'évolution des états de surface est conditionnée à la fois par les conditions climatiques et par les techniques mises en œuvre dans le cadre de parcelles cultivées. La possibilité de réduire les risques de ruissellement et d'érosion, au niveau des parcelles agricoles, ne peut donc être appréciée qu'en tenant seulement compte de l'ensemble des mécanismes de formation du ruissellement et de l'érosion, mais aussi les itinéraires techniques mis en œuvre.

L'érosion est devenue essentiellement une conséquence directe de l'activité humaine qui représente maintenant le principal facteur de la dégradation des sols. L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par ses actions de défrichage des forêts, incendies, surpâturages et pratiques culturales. De plus, les aménagements routiers et urbains, en augmentant les surfaces imperméables, exacerbent les inondations, favorisent le ruissellement et donc constituent un facteur d'entraînement du sol (Georges, 2008).

1.3. Les conséquences de l'érosion hydrique

Comme le définit Pinte dans son étude de 2006, « l'érosion des sols est un phénomène naturel qui, à différentes échelles spatiales et temporelles, dégrade, modifie et façonne les milieux terrestres. ». L'érosion hydrique, sous certains aspects, est nécessaire notamment en matière de régulation de l'épaisseur des sols. Toutefois lorsqu'elle est accélérée, les conséquences sont nombreuses.

L'érosion hydrique entraîne des conséquences tant en amont qu'en aval des bassins versants. Elle peut se traduire, en amont, par des pertes en terre ainsi que des pertes en matière organique et en éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore ainsi qu'un déclin de la biodiversité des sols (Dautrebande, 2006 cité par George, 2008). Elle varie dans le temps et dans l'espace, en fonction des conditions écologiques et des mauvaises conditions de gestion de la terre par l'homme.

A côté des dégâts bien visibles concernant les terres cultivées, il existe des dégâts en aval beaucoup plus insidieux, provoqués par l'augmentation du ruissellement et l'entraînement des particules du sol. Ce sont, entre autres, les coulées de boues, inondations, sapements de chaussées, colmatages des réseaux d'assainissement et des ouvrages de retenue des eaux pluviales, envasements des cours d'eau (Beauchamp, 2006). Des accumulations sédimentaires massives peuvent en résulter à l'aval, perturbant les écosystèmes fluviaux, lacustres, estuariens ou côtiers, et modifiant la dynamique du carbone particulaire et dissous (Chambley, 2002).

En effet, l'érosion du sol porte atteinte non seulement au développement économique, mais encore aux changements climatiques par ce que le processus de l'érosion du sol dégage « dans l'air des ions carbone » alors que le dioxyde de carbone est la première cause du réchauffement global de la planète (Xinhua, 2002 cité par George 2008).

1.4. Les méthodes de lutte

Pour limiter efficacement l'érosion des sols dans une région agricole, les grands principes à retenir selon Bussiere (1996) sont les suivants :

- identifier d’abord les différentes zones suivant les processus dominants, tant du point de vue de la formation du ruissellement que l’érosion elle-même.
- protéger le sol de l’impact de la pluie ;
- retarder et réduire la formation d’un écoulement superficiel : augmenter la capacité d’infiltration et la capacité de stockage, accroître la protection et la résistance des zones où les conditions morphologiques peuvent favoriser l’incision ;
- réduire les capacités de détachements et de transport du ruissellement en limitant sa vitesse et sa concentration.

La mise en place d’un programme de lutte contre l’érosion nécessite l’intervention de nombreux partenaires (agriculteurs, ingénieurs, élus, techniciens, chercheurs...). Dans les parcelles agricoles, les solutions sont à mettre en œuvre par les agriculteurs eux-mêmes, conseillés par les organismes professionnels. Hors des parcelles agricoles, elles relèvent d’une gestion collective, mise en œuvre avec l’aide des services techniques de l’Etat (agriculture, environnement et équipement rural). Ainsi, deux aspects sont à prendre en compte : l’aspect agronomique (préventif) en priorité, qui englobe les techniques culturales puisque toute modification de la structure du sol entraîne une variation de sa stabilité dans le temps et de son comportement vis à vis des précipitations ; l’aspect hydraulique (curatif) comme les aménagements divers.

Les moyens de lutte doivent se situer dans deux zones bien distinctes : une zone émettrice de ruissellement et une zone sensible accumulant les précipitations.

1.5. Quelques études sur la cartographie du risque d’érosion hydrique dans le monde

1.5.1. Historique sur la modélisation de l’érosion hydrique

Comme pour plusieurs phénomènes, l’érosion hydrique a fait l’objet d’étude par la modélisation. En effet, plusieurs modèles ont été développés pour étudier, quantifier et lutter contre ce phénomène. En 1965, Wischmeier et Smith développèrent la première équation universelle de pertes en terre (USLE). Le but de cette dernière était de permettre une prévision quantitative de la charge moyenne des sédiments. Cependant, il s’est avéré que ce modèle présente certaines limites puisqu’il ne prend en compte que les processus d’érosion en nappe à l’échelle de la parcelle et ne permet pas d’aborder le phénomène à l’échelle d’un événement pluvieux (averse). Pour lever ces limites, le modèle a été amélioré, révisé et modifié sous plusieurs versions en lui incorporant des facteurs de ruissellement pour l’adapter à l’échelle d’un événement pluvieux (Onstad et Foster, 1975 ; Williams, 1975 ; Renard *et al.*, 1996). En effet, l’équation universelle est passée d’USLE « Universal Soil Loss Equation »

(Wischmeier et Smith, 1978) à DUSLE « Differential Universal Soil Loss Equation » (Flack *et al.*, 1980). Cette dernière prend en compte la complexité topographique par l'utilisation du Modèle Numérique du Terrain (MNT) et des pratiques antiérosives. MUSLE « Modified Universal Soil Loss Equation » (Hensel et Bork, 1988) quant à elle permet de prévoir la production en sédiments à l'échelle de l'événement hydrologique en intégrant tous les facteurs d'érosion. Enfin RUSLE « Revised Universal Soil Loss Equation » (Renard *et al.* 1994) qui améliore la détermination des différents facteurs de l'érosion.

1.5.2. Erosion hydrique dans le monde et en Afrique

L'érosion hydrique dans le monde a fait objet d'études quantitatives et qualitatives en fonction des objectifs poursuivis par les différents chercheurs.

Antoni *et al.* (2006), ont appréhendé l'aléa érosif pour protéger la ressource sol dans la région du Languedoc-Roussillon (France) en milieu méditerranéen en appliquant un modèle hiérarchique à l'aide d'un SIG pour cartographier l'aléa érosif des sols. Ils ont combiné différents paramètres, par ordre d'importance : occupation du sol, battance, pente, érodibilité, hauteur et intensité des pluies. Cette modélisation a nécessité la définition des règles s'appuyant sur le taux de pierrosité, la texture, ainsi que la teneur en matières organiques et en fer des horizons de surface des sols pour tenir compte des spécificités du milieu méditerranéen. La carte ainsi obtenue a été ensuite confrontée aux enjeux urbains, environnementaux (enjeu de qualité de l'eau) et économiques (enjeu viticole) identifiés dans la région. La confrontation des zones d'aléa et des zones d'enjeu a montré l'intérêt de poursuivre des investigations pour intégrer le risque érosif dans les politiques de prévention.

Dumas (2004), dans sa thèse intitulée caractérisation des littoraux insulaires : approches géographique par télédétection et SIG pour une gestion intégrée : Application en Nouvelle-Calédonie a décrit les causes anthropiques de l'érosion en Nouvelle-Calédonie qui sont la construction d'infrastructure et essentiellement l'exploitation minière à ciel ouvert. Il considère que l'impact des mauvaises pratiques agricoles et de l'urbanisation des pentes est limité en Nouvelle-Calédonie. L'objectif de son étude était de parvenir à cartographier les sols sensibles à l'érosion à l'échelle locale, puis à l'échelle fonctionnelle des bassins versants afin d'étudier le processus d'érosion et d'en évaluer l'impact potentiel sur les zones marines côtières. Pour ce faire, il a choisi une modélisation qualitative se basant sur une analyse multicritères combinant les facteurs de l'érosion les plus représentatifs : la pente, la nature du substrat et l'occupation du sol. Il est intéressant de noter que le facteur climatique n'a pas été retenu. En effet, Dumas en se basant sur les travaux de Maurizot et Delfaut (1995), estime que les probabilités d'occurrence des précipitations de fortes intensités sont également réparties

spatialement en Nouvelle-Calédonie. Ainsi, il considère que l'agressivité des pluies est homogène depuis la côte jusqu'aux zones de montagne. En pratique, l'auteur a effectué une intégration et un croisement des données dans un SIG. A partir de ces données il extrait des indicateurs de sensibilité en fonction de leur contribution au phénomène de l'érosion. Trois facteurs ont été pris en compte : la pente, l'érodibilité des sols et l'occupation du sol extraite des analyses par télédétection. Ce dernier facteur permet de renseigner le degré de protection de la couverture des sols. Une fois la base de données géographiques constituée, l'auteur a choisi une structure maillée à laquelle il applique une analyse multicritère reposant sur des paramètres qualitatifs, permettant en combinant les différents facteurs d'érosion de distinguer 4 niveaux de sensibilité des terrains à l'érosion faible, moyen, fort et très fort.

Luneau (2006), traite de la spatialisation de l'aléa érosion des sols en Nouvelle-Calédonie. En fait son travail s'inscrit dans la suite des travaux réalisés par son maître de stage Dumas (2004). Ce travail devrait de faire évoluer le modèle cognitif réalisé par Dumas (2004) sur plusieurs aspects. De ce fait l'auteur a d'abord procédé à la mise à jour des données, ensuite une rencontre avec divers experts a conduit aux choix de nouveaux indicateurs de l'érosion des sols. La composante climatique a notamment été rajoutée. L'approche utilisée pour la cartographie de l'aléa érosion est une évaluation multicritère, s'appuyant sur la pondération de chaque facteur avant d'effectuer leur sommation. L'avantage est donc de pouvoir moduler le poids de chaque paramètre. Cette méthodologie permet de construire un modèle qualitatif plus simple, permettant d'envisager et d'analyser plusieurs scénarii. Les données ont toutes été rééchantillonnées au pas de 30 mètres correspondant à la résolution des images satellitaires utilisées. En fonction de ces indicateurs et après une phase de « standardisation », l'auteur a mis en place un modèle statistique par évaluation multicritère. Dans une dernière phase, un test a été réalisé suite aux traitements effectués sur une image satellite. Ce test a mis en évidence la difficulté de discrimination des objets en milieu tropical même avec des images à résolution spatiale très fine. Les résultats escomptés n'ont pas été satisfaisants du fait principalement que toutes les couches n'ont pas pu être précisées. Enfin, le calcul d'une régression linéaire a permis, dans une dernière étape, de valider la méthode par expertise et de proposer de nouvelles pistes de travail pour une amélioration future du modèle vers un outil dynamique.

Guillobez *et al* (2000), dans leur étude intitulée: Le suivi de l'érosion au Burkina Faso, utilisation d'un modèle cartographique se sont basés sur les paramètres de la formule de Wischmeier afin de sélectionner les données de leur travail. De ce fait, les facteurs retenus sont : la susceptibilité des sols à l'érosion, usage des sols, l'agressivité de la pluviométrie, la

charge animale, la densité de la population et les aménagements antiérosifs. Les données ont été acquises grâce à la numérisation de certaines cartes puis elles ont ensuite été croisées sous Arc-Info pour obtenir la carte des zones d'équiprobématiques, qui est constituée de polygones délimitant des secteurs présentant des caractéristiques identiques décrivant le milieu agricole burkinabè. Les données humaines constituent la dimension temporelle du modèle, elles ont été limitées à la densité de population et à la charge en animaux. Un classement hiérarchisé a été utilisé pour chaque paramètre. Ainsi comme résultat, il en a découlé pour l'année 1985, que les problèmes d'érosion ont été surtout développés dans la partie centrale du pays (plateau central) et dans la province du Yatenga, ces régions étaient très peuplées et les sols y sont fragiles. La projection pour 1995 avait montré une augmentation importante des zones où l'érosion est forte en liaison avec la croissance démographique et le développement de l'élevage. Ce modèle cartographique a pour vocation principale de présenter aux décideurs sous forme cartographique en un temps donné, un état qualitatif de l'érosion hydrique au niveau d'un pays.

Bachaoui *et al.* (2006), ont travaillé sur la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique en vue de développer une méthodologie utilisant la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) pour cartographier les zones à risque d'érosion hydrique afin de produire une carte de risque qui peut être utilisée comme document de référence pour les décideurs. La méthodologie adoptée a consisté à intégrer, dans un SIG, trois facteurs contrôlant l'érosion : la pente, la friabilité des matériaux et l'occupation des terres. La carte de risque d'érosion qui en est dérivée montre quatre zones de vulnérabilité à l'érosion hydrique : faible, moyen, fort et très fort. Les résultats obtenus correspondent bien aux observations qui ont été fait sur le terrain. Ce travail montre l'intérêt de l'utilisation de la technologie de la télédétection et des SIG dans l'évaluation de la vulnérabilité à l'érosion. La carte du risque d'érosion élaborée pourrait constituer un document de base pour tout aménagement proposé.

Kabre (2010), a développé une méthode basée sur l'intégration des images satellitales (ETM+, TM, ASTER), de données cartographiques (limites administratives, couches pédologiques) et de données statistiques (pluviométrie) dans un SIG pour l'identification et la cartographie des sols vulnérables à l'érosion. La méthodologie utilisée a consisté à retenir et à étudier d'abord les paramètres des facteurs pertinents influençant le phénomène (l'érosivité de la pluie, l'indice topographique, l'indice de brillance du sol et l'érodibilité des sols). Ensuite après une codification individuelle des paramètres des différents facteurs, ceux-ci ont été croisés sous le logiciel ArcView GIS 3.2 selon un modèle de vulnérabilité des sols réalisé à partir des modèles de Dumas (2004) et de celui d'Elbouqdaoui *et al.* (2005). Le modèle conçu est

constitué d'un arbre de décision et d'un tableau à double entrée. Il permet d'abord le croisement de trois facteurs (pédologique, topographique, état de surface) dans l'arbre de décision et cela abouti à la réalisation de la carte de l'aléa érosif constituer de quatre classes. Ce produit est ensuite croisé avec le facteur érosivité des pluies dans le tableau à double entrée pour déterminer les niveaux de vulnérabilité des sols. Les résultats ont permis de localiser cinq classes de vulnérabilités des sols à l'érosion (très faible, faible, moyenne, forte et très forte).

L'étude de Planchon et Valentin (1999) porte sur les relations constatées, en Afrique de l'Ouest, lors du croisement des cartes de densité de population et de dégradation des sols. Une relation forte entre dégradation et population est ainsi mise en évidence, particulièrement dans le cas de l'érosion hydrique. Un modèle d'évolution est proposé sur la base de cette relation. Il est appliqué à une projection à 30 ans. Selon ce modèle, la superficie des terres dégradées en Afrique de l'Ouest progressait de 13% en 30 ans, soit une superficie égale à celle du Sénégal. Parmi elles, les superficies cultivables gravement dégradées progresseraient de 16%, soit une superficie supérieure à celle du Togo. L'analyse suggère qu'une relation aussi directe entre croissance démographique et dégradation des sols est directement liée au fait que les conditions nécessaires à l'innovation dans le monde rural ouest africain ne peuvent être réunies aujourd'hui qu'en quelques cas très particuliers.

1.5.3. Erosion hydrique au Togo

Les effets de l'érosion des terres se manifestent à un niveau critique dans la région des Savanes, la zone de montagnes de la région des Plateaux, l'Atakora et le Fazao, et la région Maritime (MERF, 2012). Le déboisement massif suivi de plantation de caféiers et de cacaoyers sans ombrage dans la zone des montagnes du Sud-Ouest du Togo est à l'origine de l'érosion par ruissellement. Egalement, les zones de l'Atakora et de Fazao souffrent d'une dégradation généralisée des bassins versants due au défrichement intensif. L'érosion est également à la base du problème d'envasement général que l'on observe dans la plupart des étendues continentales, notamment les lagunes qui sont les bassins hydrographiques de la région Maritime. Le phénomène d'érosion de la côte togolaise est une forme particulière de dégradation des sols qui a fait l'objet d'observations scientifiques depuis 1964. Il se manifeste par une avancée de la mer sur le continent qui se traduit au fil des ans par une modification du trait de la côte.

Il est à noter qu'au Togo et plus précisément dans la préfecture de Tandjoare, peu d'études ont fait l'objet de la cartographie du risque d'érosion malgré l'ampleur du phénomène.

1.6. Conclusion partielle

L'érosion hydrique est un phénomène très complexe et les méthodes de lutte doivent prendre en compte les facteurs qui l'influencent. Dès lors, les SIG et la télédétection se présentent comme d'excellents outils pour étudier le phénomène sous plusieurs aspects tout en intégrant les différents facteurs selon l'objectif poursuivi. Surtout en ces temps où le défi du changement climatique, d'agriculture durable et de protection des ressources naturelles se posent face à la croissance démographique galopante des pays de l'Afrique de l'Ouest.

Quelle est alors la méthodologie adoptée dans le cadre de cette étude ? C'est ce qui fera alors l'objet de la partie suivante.

*Deuxième chapitre : **MATERIEL ET METHODES***

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

La préfecture de Tandjouaré est située à l'extrême nord du Togo et est limitée :

- au nord par la préfecture de Tone ;
- au sud par la préfecture de l'Oti ;
- à l'est par la préfecture de Kpendjal-ouest ;
- à l'ouest par la République du Ghana.

Elle couvre une superficie de 848 km² avec une population d'environ 117 519 habitants en 2010 (RGPH4). La préfecture est subdivisée en seize cantons administratifs (figure 1) avec comme chef-lieu la ville de Tandjouaré.

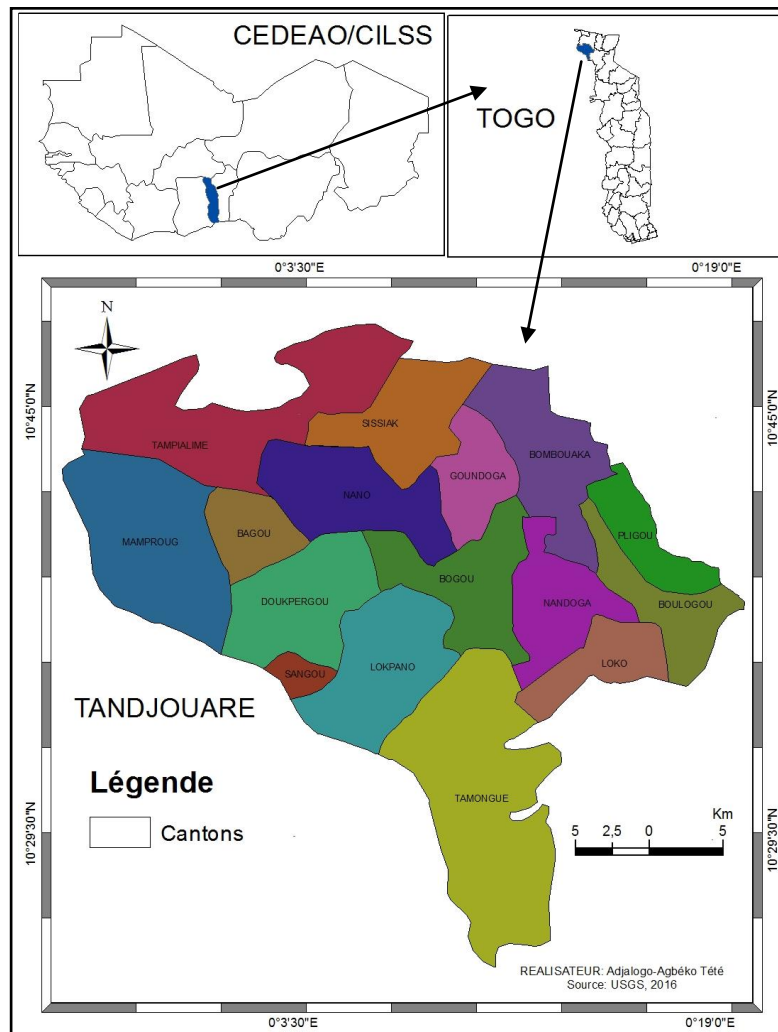


Figure 1: Localisation de la préfecture de Tandjoare

2.1.2. Le relief

Le relief est dominé par des montagnes, des plaines et des plateaux.

a. Les plaines

La cuvette de Bogou qui se prolonge jusqu'à Nagouni en passant par Tamongue et le secteur de Dampiong-Nano allant jusqu'à Sissiak et Tampialime constituent les plaines de Tandjouaré (MPDAT, 2013).

b. Les plateaux et les montagnes

La Cuesta de Bombouaka, les monts Djâbir, Nano et Mamproug constituent les montagnes de la préfecture de Tandjouaré.

En dehors des montagnes on distingue les plateaux de Djapak, de Malagou et de Bagou.

2.1.3. Le climat

La préfecture de Tandjouaré appartient au climat tropical de type soudano-guinéen caractérisée par une longue saison sèche qui dure de novembre à mai et une saison de pluies qui couvre la période allant de juin à octobre. Elle est balayée par deux vents :

- L'harmattan, en saison sèche ;
- La mousson en saison des pluies.

a. Les précipitations

Le total pluviométrique moyen est de l'ordre de 800 à 1 000 mm (Yovotogo, 2016). Mais les variations sont très importantes d'une année à une autre (MPDAT, 2013). De plus on dénote une inégale répartition des pluies.

Malheureusement, la préfecture n'est pas dotée de station météorologique, les données sont fournies par la station de Dapaong (chef-lieu de région). La grande partie des pluies se déversent au cours des mois de juillet et août.

b. Les températures

Les températures sont observées à la station d'observation de Dapaong. Elles sont élevées avec de faibles amplitudes annuelles. La température moyenne mensuelle passe par deux maxima : 33°C et 38°C en Mars et Novembre et deux minima : 15°C et 17°C en Janvier et Août.

c. Humidité relative

L'humidité relative dans la préfecture de Tandjouaré est très variable d'une saison à l'autre et même au cours d'une journée de 24 heures.

L'humidité relative est influencée par les deux principaux vents qui balayent la préfecture (l'harmattan et la mousson). Elle est de l'ordre de 86% en période de mousson et de 15% au cours de l'harmattan.

d. L'insolation et l'évaporation

L'insolation est forte (7h 30mn par jour) dans la préfecture. La durée de l'insolation est théoriquement estimée à 2555 heures par an en moyenne. Ce qui explique donc les fortes températures enregistrées dans la préfecture. Cette forte insolation entraîne une évaporation théorique moyenne de 1 800mm/an.

2.1.4. Les sols

Les sols de la préfecture de Tandjouare sont dénudés avec une étendue latéritique due à l'érosion. Ce qui entraîne une forte réduction d'eau et qui provoque souvent une grande pénurie d'eau potable en saison sèche.

On distingue selon Lamouroux (1967) quatre principaux types de sols :

- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et à cuirasse sur granite à texture grossière appartenant au socle éburnéen au nord-ouest du canton de Tampialime.
- Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et à cuirasse sur schistes gréseux du voltaïen au sud de la préfecture ;
- Les sols peu évolués d'origine non climatique. Il s'agit des sols d'érosion sur les grès de Bombouaka et de Dapaong ;
- Les sols d'alluvions anciennes qui portent des sols profonds, sableux en surface et entourés d'une carapace. Les alluvions actuelles engorgées d'eau en saison des pluies constituent des sols humifères au niveau de la Fosse aux lions, une partie du canton de Sissiak et de Tampialime.

2.1.5. L'hydrographie

La préfecture appartient au bassin de la Volta. Elle est drainée juste par 25 ruisseaux qui plus ou moins tarissent à mi-novembre. Il existe 05 retenues qui constituent les principaux réservoirs d'eau de surface. Ce sont de petites retenues à des fins agricoles et non aménagées.

2.1.6. La végétation

On distingue deux types de formations végétales : les formations ligneuses ou forestières et les formations herbeuses.

- Les formations ligneuses ou forestières se retrouvent au niveau de la fosse aux lions, en aval du barrage de Dalwak passant par le canton de Sissiak jusqu'au canton de

Tamongue. On note l'importance d'espèces protégées par les paysans : néré, karité, rôniers ainsi que des plantations de kapokiers, de tecks et des manguiers. Sur les falaises et cuirasses gréseuses dénudées, sont localisés des formations saxicoles aux arbres rabougris. Au Sud et à l'Est s'étendent des savanes plus arborées devenant arbustives ou pré forestières quand elles sont efficacement protégées et comportant outre les espèces citées des baobabs, des bambous. La déforestation est partout visible à cause des besoins des populations en terres cultivables, en bois de chauffe et bois d'œuvre.

- Les formations herbeuses : sur le plan pastoral la diversité des formations est grande mais on peut distinguer quatre groupements ayant des capacités de charges différentes:
 - Les graminéennes sur les rochers cuirassés et carapacés dans les secteurs de bombouaka, le plateau de Djapak et de Mamprougou.
 - Sur les sols profonds des bas de pente le tapis graminéen dominé par les hyparrhenia est exploitable toute l'année à raison de cinq hectares par bovin.

D'une manière générale, la végétation de Tandjouaré est caractérisée par une savane arbustive fortement dégradée surtout au niveau de Tandjouaré-centre et sur les montagnes de la préfecture. Les espèces végétales dominantes sont le rônier, le baobab, le karité, le tamarinier, l'acajou. Ce sont des espèces de cueillette protégées pour leurs fruits ou feuilles.

Les autres espèces d'arbres sont menacées par des coupes pour des besoins de bois de chauffe, la fabrication du charbon et le bois d'œuvre.

On y rencontre quelques plantations privées d'essences fruitières et forestières comme l'anacardier, le neem, le manguier, le teck, le néré.

2.1.7. La population

La population de la préfecture de Tandjouaré est fortement rurale. Soit 98% de la population totale. La densité est évaluée à 138 habitants au km² en 2010. C'est une population extrêmement jeune avec plus de 40% de la population qui a moins de 15 ans. L'agriculture et l'élevage sont les activités dominantes.

La préfecture de Tandjouaré est une zone de migrations. Les jeunes émigrent des villages vers les villes de la région. On assiste également au départ des jeunes vers le sud du pays (principalement dans la région des plateaux à la recherche des terres cultivables). D'autres partent vers les pays voisins (Ghana, Côte d'Ivoire, Nigéria, le Bénin...). De grandes disparités apparaissent au niveau des cantons comme l'indique le tableau ci-dessous.

Tableau I: Répartition de la population par Canton en 2010

Canton	Population masculine	Population féminine	Total
Bogou	5345	5530	10875
Nandoga	2587	2876	5463
Loko	2063	2254	4317
Boulogou	2824	3425	6249
Pligou	2999	3273	6272
Bombouaka	3991	4272	8263
Goundoga	2590	2731	5321
Sissiak	3697	4171	7868
Nano	5852	5939	11791
Tampialime	5951	6707	12658
Mamproug	2597	2857	5454
Bagou	937	1003	1940
Doukpergou	3616	3704	7320
Sangou	729	811	1540
Lokpano	2477	2559	5036
Tamongue	8317	8835	17152

Source : 4^{ème} RGPH

2.2. Matériel

2.2.1. Les données

Les données utilisées sont citées dans le tableau ci-dessous (tableau II).

Tableau II: La liste des données utilisées

Données	Format	Echelle/résolution	Date Production	Source
Images Landsat 7 ETM+	raster	30 m	09-11-2000	USGS
Images Landsat 8 OLI/TIRS	raster	30 m	13-12-2015	USGS
GDEM 2 (Aster)	raster	30 m	10-2011	USGS
Carte pédologique du Togo	scanné	1/500000	1960	IGN-Togo
NDVI (Spot VGT)	raster	1 km	2000 et 2015	Agrhymet
Limites administratives du Togo	Vecteur : shapfile	_____	_____	DSID
Indicateur de pluviométrie	raster	0,1°*0,1°	2000 et 2015	Fews Net : RFE

2.2.2. Les logiciels et autres matériel

Les logiciels utilisés sont entre autres :

- Un logiciel ENVI 4.8 pour les traitements d'images ainsi que les occupations du sol ;
- Un logiciel Arcgis 10.2.1 pour la cartographie ;

- Un logiciel IBM SPSS Statistics 20 pour le traitement des données d'enquête.

D'autres matériels comme un GPS (GPSmap 62s) de marque GARMIN, des fiches d'enquête ainsi qu'un microordinateur ont été utilisés pour la matérialisation des différents types d'occupation du sol, la collecte des données, les traitements et les analyses.

2.3. La méthodologie

2.3.1. Evaluation spatio-temporelle de la vulnérabilité des sols

Cette étude est une étude qualitative de l'érosion hydrique. A travers la revue bibliographique les facteurs de l'érosion retenus sont ceux ayant fait l'objet de consensus depuis 1978. Il s'agit de :

- La pluie (érosivité) ;
- La topographique ;
- L'érodibilité du sol;
- L'occupation du sol et de l'indice de végétation.

Le présent travail suit la démarche méthodologique présentée à la figure 2. Il s'agit d'une chaîne de traitement aboutissant à la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. Cette dernière est issue de la combinaison pondérée des facteurs influençant l'érosion hydrique tels que : l'indicateur topographique, l'érodibilité du sol, l'indicateur de vulnérabilité à la végétation et l'érosivité de la pluie. Ces facteurs sont eux même issus des données telles que le MNT pour l'indicateur topographique, la carte pédologique pour l'érodibilité du sol, les images landsat et les NDVI pour l'indice de vulnérabilité à la végétation et les données pluviométrique (RFE) pour l'érosivité de la pluie (figure 2).

L'évolution de la vulnérabilité des sols est déterminée à travers une comparaison diachronique des cartes de vulnérabilité spatiale de l'année 2000 et 2015.

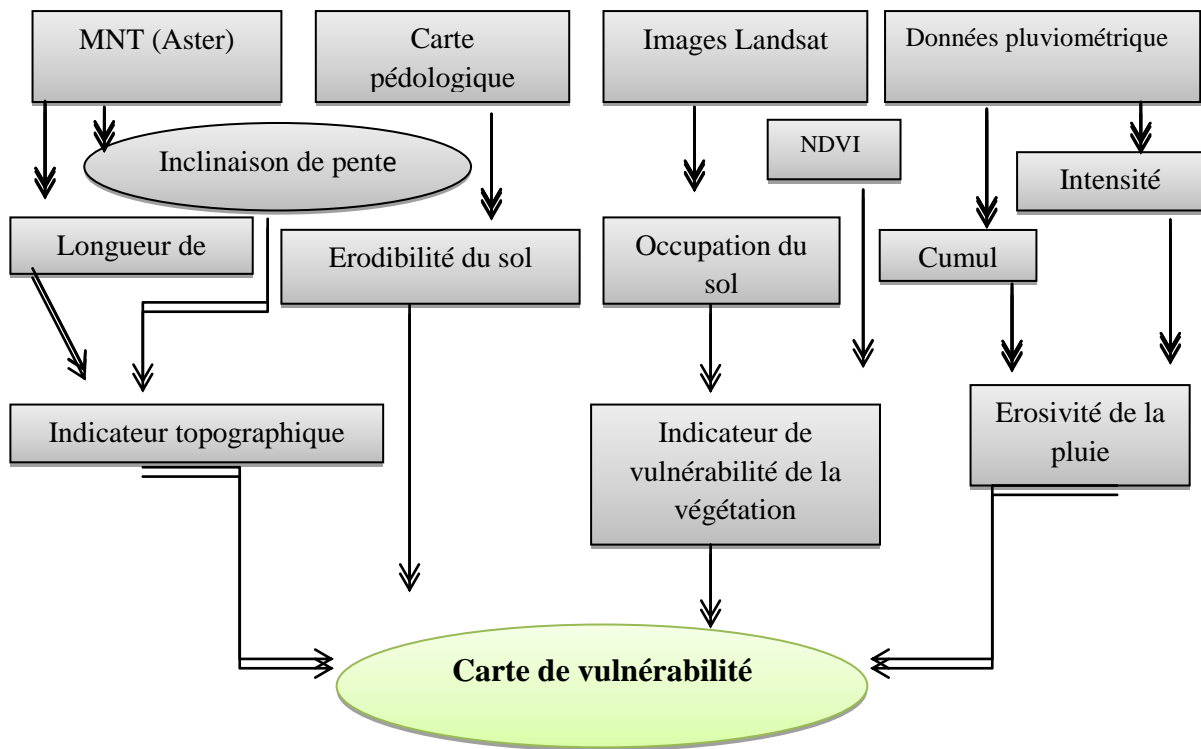


Figure 2: Démarche méthodologique aboutissant à la carte de vulnérabilité spatiale à l'érosion hydrique

a. Analyse multicritère

Elle revient à pondérer chaque facteur (les paramètres d'entrée) après ré échantillonnage des différentes images et à multiplier la pondération par chaque facteur standardisé avant d'effectuer une sommation donnant directement la lecture de l'évaluation (Robin, 2005 cité par Luneau, 2006). La détermination des pondérations de chaque critère a pour objectif d'hierarchiser par ordre d'importance les facteurs. Ainsi, les coefficients de pondération utilisés dans cette étude sont tirés du travail de Souley (2013). Il s'agit du résultat de la moyenne des coefficients de pondérations faites par deux groupes d'experts (figure 8).

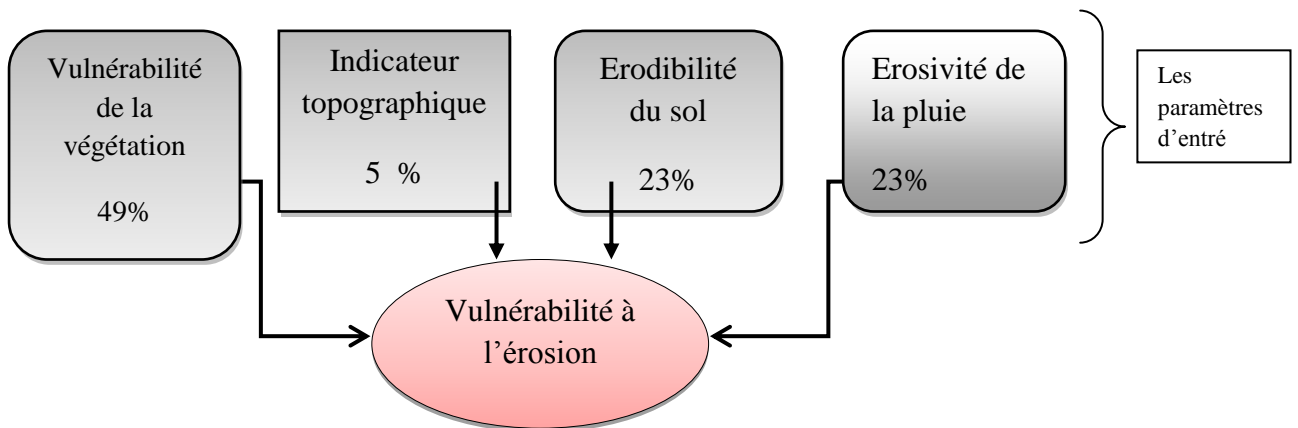


Figure 3: Pondération des facteurs de vulnérabilité

2.3.2. Perception paysanne de l'érosion et validation des cartes de vulnérabilité

La perception paysanne a été obtenue à travers une enquête de terrain. Le nombre de paysan enquêté a été déterminé par la formule de Slovin (1960).

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

n = taille de l'échantillon attendu

N = taille de la population (117.519)

e = marge d'erreur (8%) ; n = 156

Ainsi 156 paysans ont été enquêtés dans les 16 cantons en fonction de leur superficie et de façon que toute la préfecture ait été couverte (tableau de répartition en annexe). Les cantons les plus vulnérables en 2000 et 2015 à l'érosion hydrique ont été déterminés par comparaison de l'ampleur du phénomène érosif par canton. Aussi, les causes de l'érosion de même que son effet sur les rendements et les revenus, les méthodes paysannes de lutte ont été déterminés à travers l'enquête de terrain.

La comparaison de l'ampleur du phénomène obtenu par enquête à des résultats des cartes de vulnérabilité des sols à l'érosion a servi de validation.

*Troisième chapitre : **RESULTATS ET DISCUSSION***

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Evolution de la vulnérabilité des sols entre 2000 et 2015.

La méthodologie développée dans cette partie utilise des règles qualitatives, des évaluations et une hiérarchisation des paramètres intervenant dans l'érosion hydrique : indicateur de vulnérabilité de la végétation, indicateur d'érodibilité des sols, indicateur d'érosivité de la pluie et l'indicateur topographique. L'ensemble de ces données est intégré dans un SIG pour la réalisation des cartes de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en 2000 et 2015.

a. Elaboration des paramètres d'entrée et des indicateurs

➤ Indicateur d'érodibilité des sols

La carte des sols de la préfecture de Tandjouaré (figure 4) est obtenue à partir de la carte pédologique du Togo (Lamouroux, 1967), scannée, géoréférencée puis digitalisée. Après la numérisation le renseignement de la table attributaire a permis d'obtenir la couche des différents types de sols de la zone d'étude. Ensuite à partir des travaux réalisés par l'ORSTOM en 1967 dans la notice explicative de la carte pédologique du Togo et de la carte morpho-pédologique du nord Togo dressée par Poss (1993), les caractéristiques de chaque types de sol ainsi que les matériaux parentaux ont été identifiés. Ces sols sont reclassés à partir de leur caractéristique et un indice d'érodibilité a été attribué à chaque classe (figure 5).

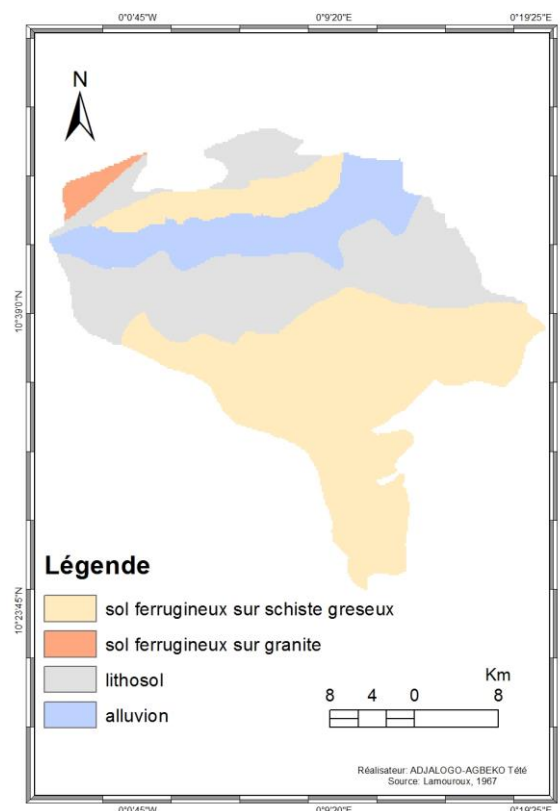


Figure 4: Carte des sols de la préfecture de Tandjouare

Tableau III: Classe de sensibilité des sols à l'érosion

Type de sols	Classe de sensibilité	Indice d'érodibilité
Sol sur alluvion marmorisé en profondeur	Faible	1
Sol ferrugineux tropicaux sur granite à texture grossière et Sol ferrugineux tropicaux sur schistes gréseux	moyenne	2
Sol peu évolué d'érosion sur grès	Forte	3

La majorité des sols de la préfecture de Tandjouare, soit 51,72% présentent une érodibilité moyenne tandis que les 33,28 % et 15% présentent respectivement une érodibilité forte et faible.

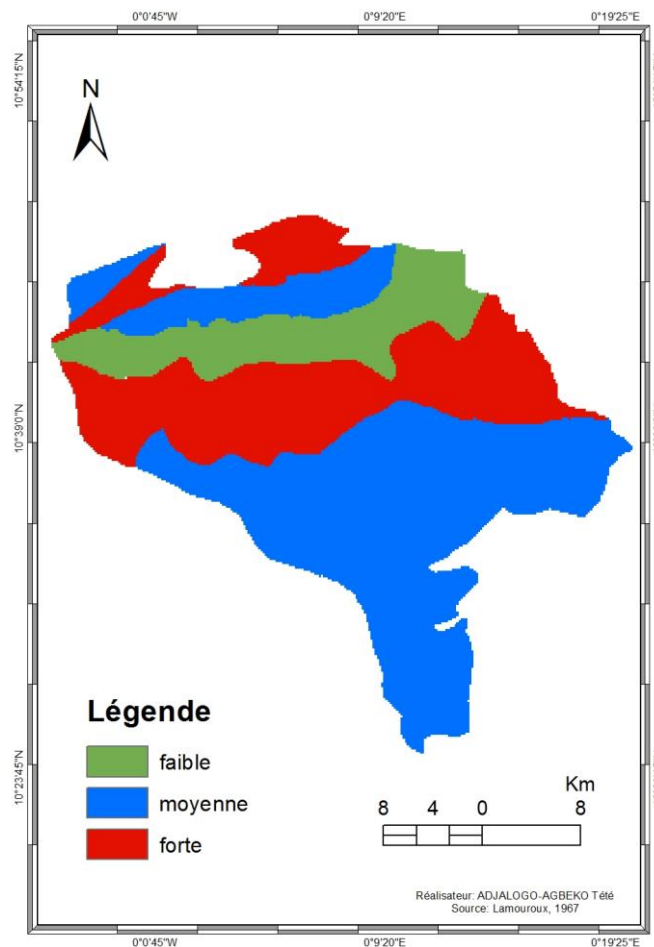


Figure 5: Carte d'érodibilité des sols

- **Indicateur topographique**
- ❖ **Inclinaison de la pente**

La pente a été obtenue à travers le MNT. La préfecture étant très hautement accidentée (pente > 56°) une reclassification a été faite en considérant la pente la moins élevée comme ayant un effet faible sur l'érosion.

Tableau IV: Les classes de pente

Pente (°)	Classes	Effet sur l'érosion
0 à 5	faible	1
5 à 15	moyenne	2
15 à 35	forte	3
35 à 57	très forte	4

La pente étant un facteur essentiel de l'érosion hydrique, 70,88 % (0 à 5°) de la préfecture sont à pente faible et 26,11 % (5 à 15°) à pente moyenne. Les pentes de classe forte et très forte représentent respectivement 2,80 % (15 à 35°) et 0,21 % (35 à 57°) de la préfecture (figure 6).

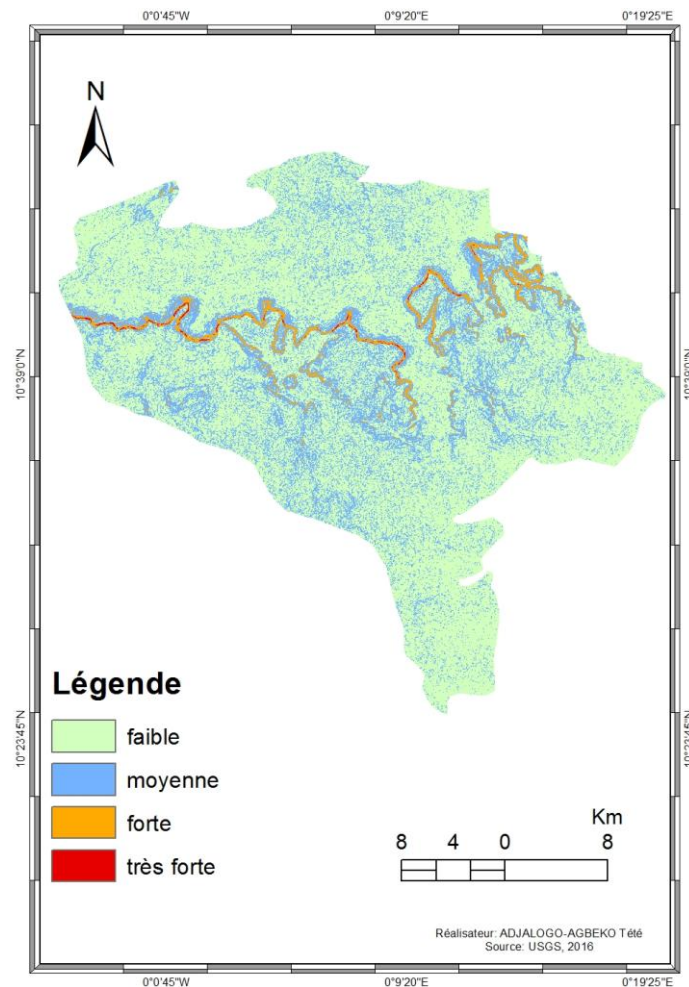


Figure 6: Carte de vulnérabilité à la pente

❖ La longueur de pente

La longueur de pente est obtenue à partir du MNT après suppression des imperfections et remplissage des cuvettes. La direction de l'écoulement a été calculée suivi de la longueur d'accumulation servant de longueur de pente (figure 7).

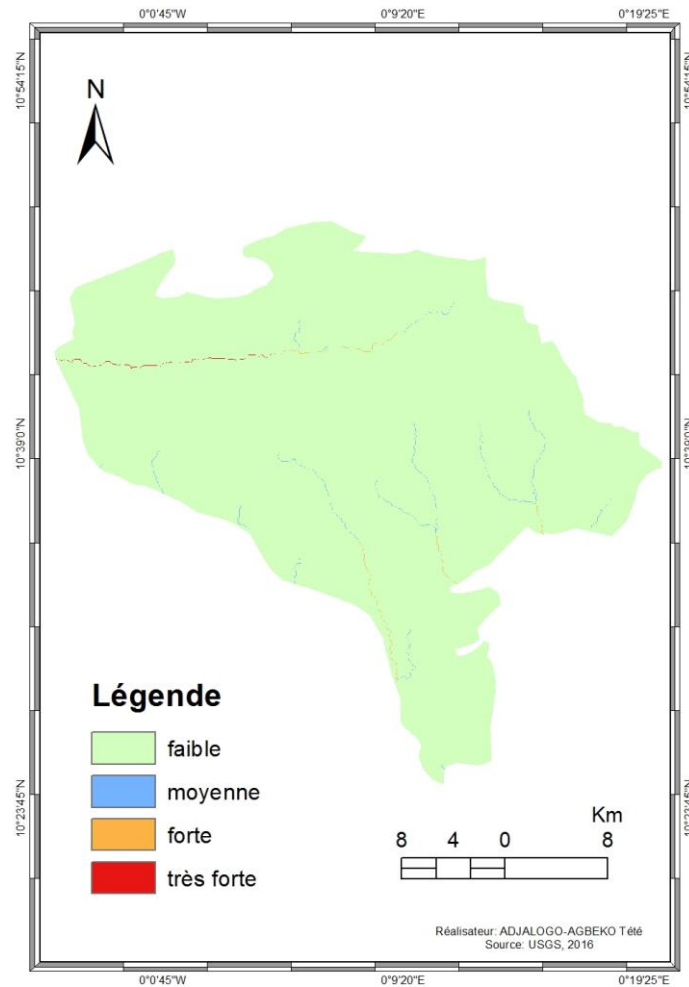


Figure 7: Carte de la longueur de pente

❖ **Le facteur topographique (LS)**

L'indice topographique est obtenu par l'utilisation des couches raster de la longueur d'accumulation et de la pente en se référant à l'équation RUSLE comme suit :

$$LS = \text{Power}(\text{facc} * \text{cell resolution} / 22.1, 0.4) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{slp} * 0.01745) / 0.09, 1.4) * 1.4$$

Facc = longueur d'accumulation ; slp = pente ;

Le facteur topographique obtenu à partir de l'équation RUSLE est reclassé en trois classes de susceptibilités à l'érosion. Ainsi 96,26% de la préfecture ont une susceptibilité faible à l'érosion (0-1,4), 3,5% ont une susceptibilité moyenne (1,4- 7) et 0,24% ont une susceptibilité très élevée (7-50) et sont surtout localisés sur les montagnes (figure 8).



Figure 8: Carte du facteur topographique (LS)

➤ **Indicateur de vulnérabilité à la végétation**

❖ **Occupation et utilisation des terres**

La classification dirigée par la méthode de maximum de vraisemblance, basée sur l’observation directe des catégories d’utilisation des terres, a permis d’obtenir les cartes d’occupation des terres des années 2000 et 2015 (figure 9). Six classes ont été ainsi identifiées : les terrains cultivés, les terrains nus, les zones de végétation, les zones brûlées, les zones d’affleurement et les plans d’eau. Les sols les plus sensibles étant ceux qui sont moins couverts, les différents types d’utilisation de sol ont été reclassés en trois classes de sensibilité à l’érosion.

Tableau V: Classes de sensibilité à l’érosion des différents types d’occupations du sol

Types d’occupation	Classe de sensibilité	Indice de sensibilité
Zone de végétation	Faible	1
Zone de culture et zone brûlée	Moyenne	2
Zone nues, et affleurements	Très vulnérable	3
Plan d’eau	Zone de restriction, non classée	0

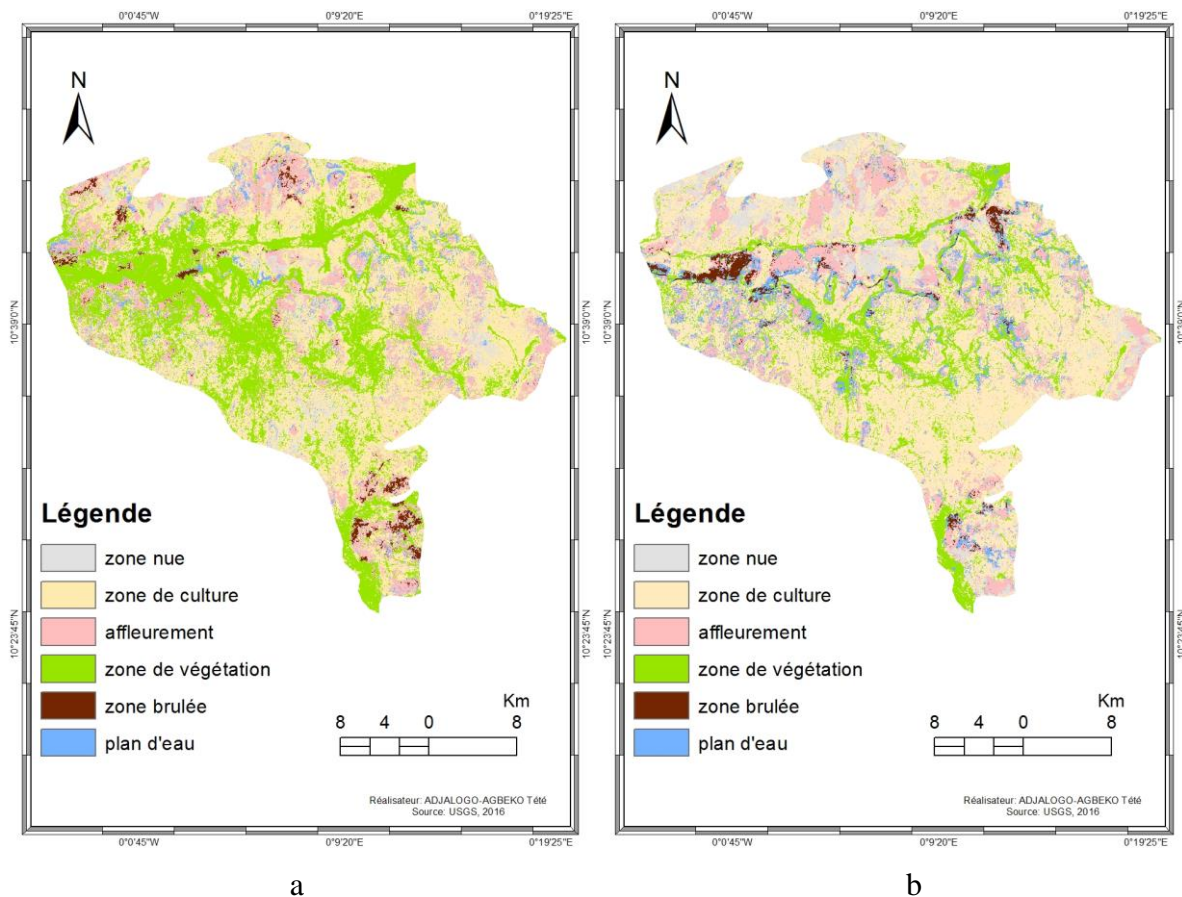


Figure 9: Cartes d'occupation du sol en 2000 (a) et 2015 (b)

Par rapport à la couverture du sol dans l'année 2000, 30,88% des sols de la préfecture sont bien couverts donc présente une vulnérabilité faible. 46,67 % sont des terres de culture et de végétation brûlée donc présentent une vulnérabilité moyenne le sol étant nu avant les premières pluies et donc avant l'installation des cultures et des herbacés. 19,20 % sont des terres nues et d'affleurement donc présentent une vulnérabilité forte. Les zones de restrictions c'est-à-dire les plans d'eau représentent 3,25% (figure 10a).

En 2015, 15,20 % des terres sont bien couvertes, 54,4 % sont des terres de cultures et de végétation brûlée, 23,38% sont des terres nues et d'affleurement, 15,20% sont des plans d'eau (figure 10b).

On observe ainsi une régression du couvert végétal (-15,68%) et une augmentation des surfaces cultivables (+7,73%) et nues (+4,18) dans l'évolution de l'occupation du sol de l'année 2000 à 2015.

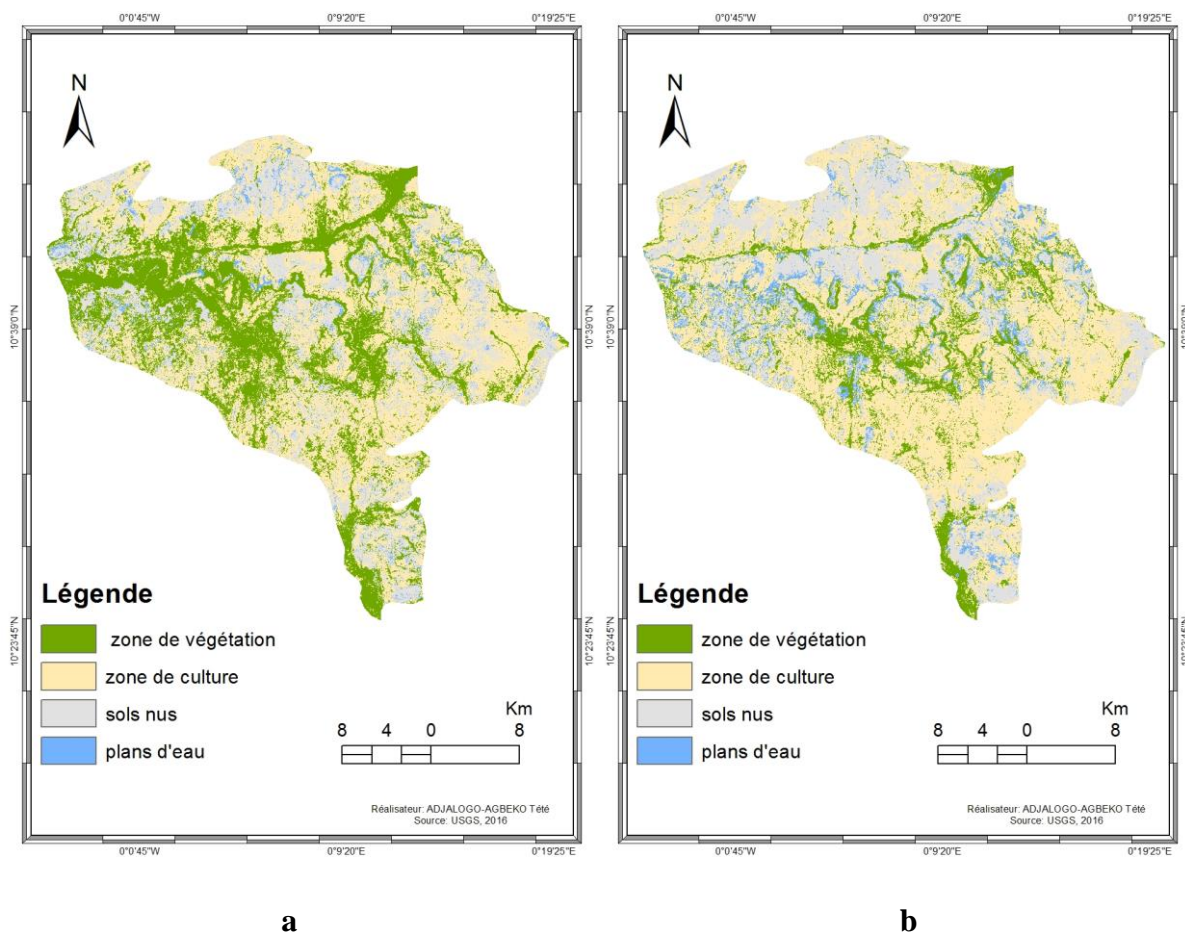


Figure 10: Vulnérabilité liée aux types d'occupation du sol en 2000 (a) et 2015 (b)

❖ Le NDVI

L'indice de végétation à différence normalisée de toute la préfecture en 2000 est comprise entre 0,30 et 0,45. Ce qui montre une couverture végétale moyenne de la préfecture. La reclassification de l'NDVI en vulnérabilité montre que 41% de la préfecture sont plus ou moins bien couverts, donc sont à vulnérabilité faible ; 58,9% sont à vulnérabilité moyenne et 0,1% sont à vulnérabilité élevée (figure 11 a).

En 2015, l'NDVI est compris entre 0,26 et 0,42. Ce qui montre une couverture végétale allant de faible à moyenne. La reclassification (figure 11 b) de l'NDVI en indice de vulnérabilité fait ressortir des zones à vulnérabilité faible (11,20%), des zones à vulnérabilité moyenne (62%) et des zones à vulnérabilité élevée (26,80%).

L'évolution de l'indice de végétation à différence normalisé de 2000 à 2015 montre une régression des zones à faible vulnérabilité de 29,8%, une augmentation des zones à moyenne et à forte vulnérabilité respectivement de 3,1% et 26,7%.

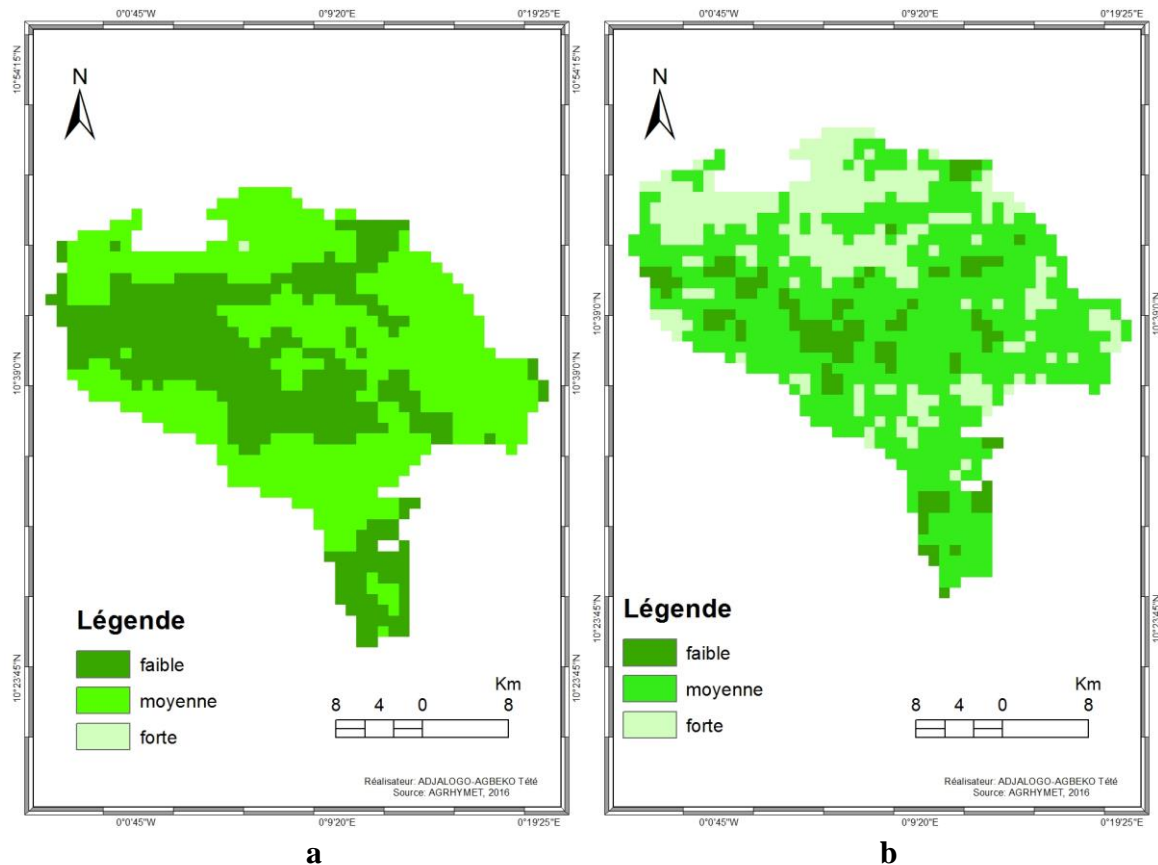


Figure 11: Vulnérabilité liée aux NDVI en 2000 (a) et 2015 (b)

❖ Indicateur de vulnérabilité à la végétation

Les cartes des indicateurs de vulnérabilité de la végétation sont obtenues par combinaison pondérée à influence égale des cartes d'occupation du sol et des NDVI. Les indices de vulnérabilité à la végétation ainsi obtenus sont reclassés en trois classes de vulnérabilité : faible, moyen et fort.

En 2000, 20,6% de la préfecture sont à vulnérabilité faible, 62,77% à vulnérabilité moyenne et 13,46% à vulnérabilité forte. Les plans d'eau occupant 3,17% (figure 12 a).

En 2015, les zones à forte vulnérabilité occupent 36% de la préfecture, les zones à vulnérabilité moyenne occupent 53,8% et 4,08% sont à vulnérabilité faible (Figure 12 b).

On observe ainsi de 2000 à 2015 une régression des zones à faible et à moyenne vulnérabilités respectivement de 16,52% et 8,97%. Une augmentation de la zone à vulnérabilité forte de 22,54%.

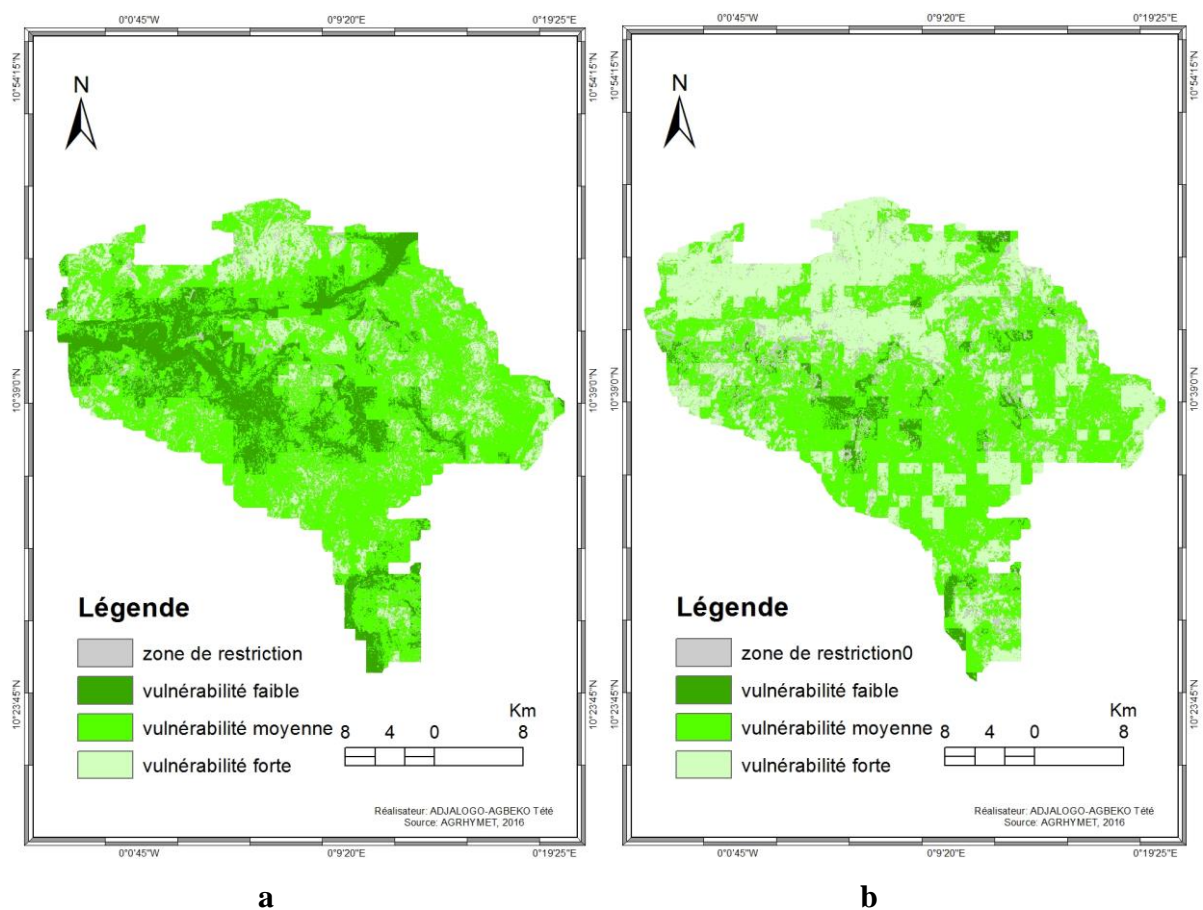


Figure 12: Carte de l'indice de végétation en 2000 (a) et 2015 (b)

➤ **Indicateur d'érosivité de la pluie**

Les cartes d'érosivité de la pluie ont été obtenues à partir des cartes de cumul pluviométrique (figure 13) et des intensités pluviométriques (figure 14) des années 2000 et 2015.

La carte de l'intensité pluviométrique est obtenue par la somme des intensités pluviométriques journalières dépassant 40 mm.

Cumul de pluviométrie annuelle (RD) = \sum pluies journalières

Intensité de pluviométrie annuelle (RI) = \sum nombre de pluies journalières au-dessus de 40mm

Ainsi on distingue des zones sans pluviométrie dépassant 40 mm, donc à intensité nulle ; des zones avec une seule pluie dépassant 40 mm donc à intensité « 1 » et des zones avec deux pluies dépassant 40 mm donc à intensité « 2 » (tableau V).

L'érosivité de la pluie résultent de la somme pondérée des cartes de cumule de la pluviométrie annuelle des années 2000 et 2015 à ceux de l'intensité des mêmes années.

L'image d'intensité pluviométrique a été pondérée d'un coefficient de 0,6 et le cumul pluviométrique de 0,4.

$$\text{Erosivité} = 0,4\text{RD} + 0,6\text{RI}$$

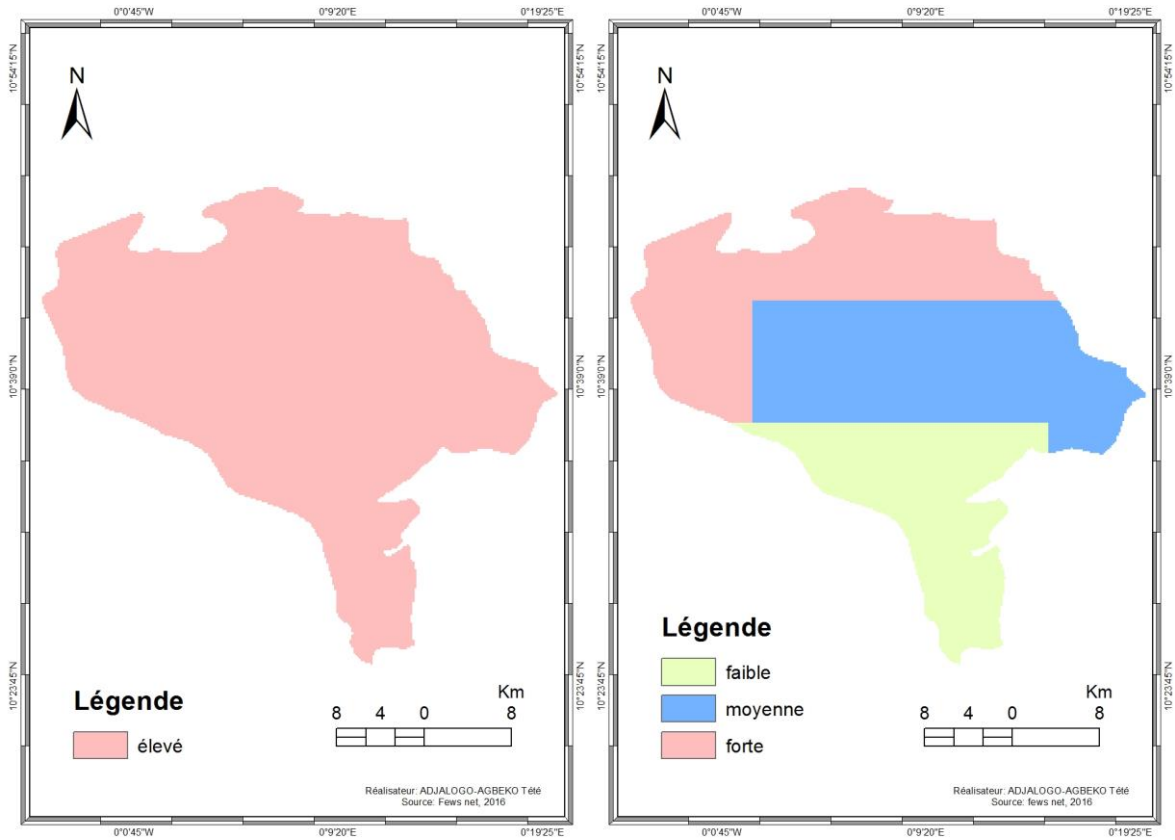


Figure 13: Carte des cumuls pluviométrique de 2000 (a) et 2015 (b)

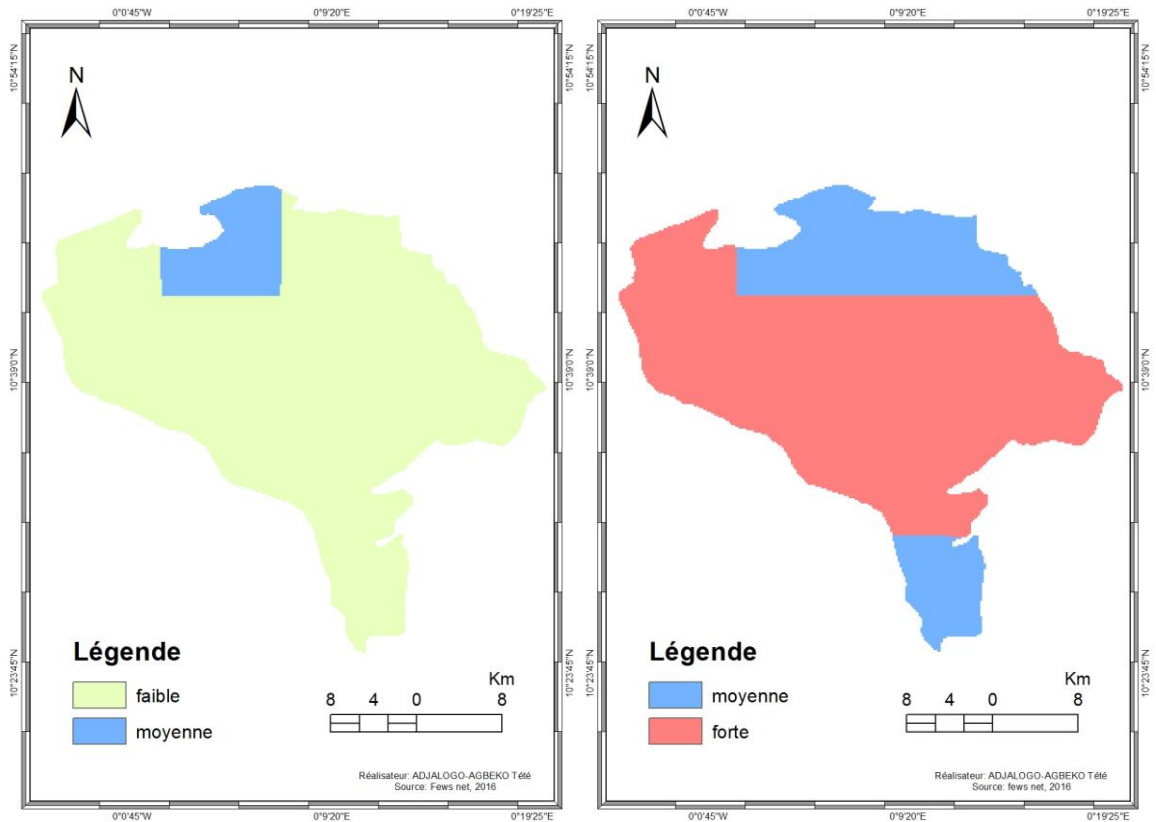


Figure 14: Carte des intensités pluviométrique de 2000 (a) et 2015 (b)

Tableau VI: Les classes de vulnérabilités liées aux cumuls et intensités pluviométriques

	Classes de vulnérabilités		
	Faible	Moyenne	Forte
Cumul pluviométrique (mm)	900 - 950	950 - 1000	1000-1100
Intensité pluviométrique	0	1	2

La carte d'érosivité de la pluie est obtenue à la suite de la somme pondérée des cumuls pluviométriques journalier aux cumuls des pluviométries journalière dépassant 40 mm des années 2000 et 2015.

Ainsi en 2000, l'érosivité de la pluie est faible sur 8,74% de la préfecture et moyenne sur 91,26% tandis qu'en 2015, elle est faible sur 7,26% de la préfecture, moyenne et forte sur respectivement 38,4% et 54,34% (figure 15).

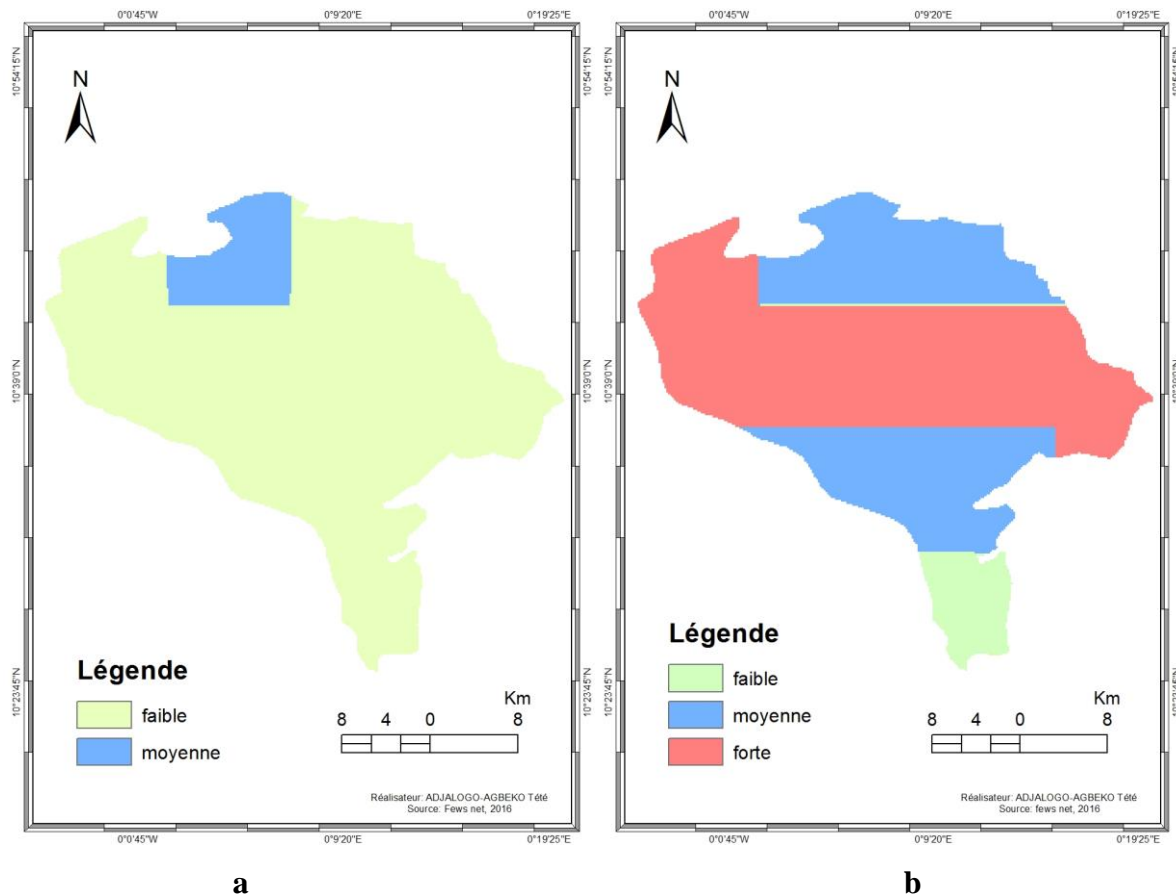


Figure 15: Carte d'érosivité de la pluie en 2000 (a) et 2015 (b)

➤ **Les cartes de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique**

La vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique est obtenue par croisement et pondération des facteurs influençant l'érosion . On obtient ainsi en plus de la zone de restriction trois classes de vulnérabilités à savoir faible, moyenne et forte.

Ainsi en 2000, les zones de restrictions représentent 3,02% de la préfecture, les zones faiblement vulnérables correspondent à 19,62% tandis que les zones moyennement et fortement vulnérables représentent respectivement 76% et 1,36% (figure 16 a).

En 2015, 6,84% de la préfecture sont des zones de restriction et les zones faiblement vulnérables représentent 1,46% tandis que les zones moyennement et fortement vulnérables représentent respectivement 73,9% et 17,8% (figure 16b).

L'évolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique de 2000 à 2015 montre une diminution de la zone à faible et à moyenne vulnérabilité respectivement de 18,16% et 2,1%. Une augmentation de la zone à vulnérabilité forte de 16,44%.

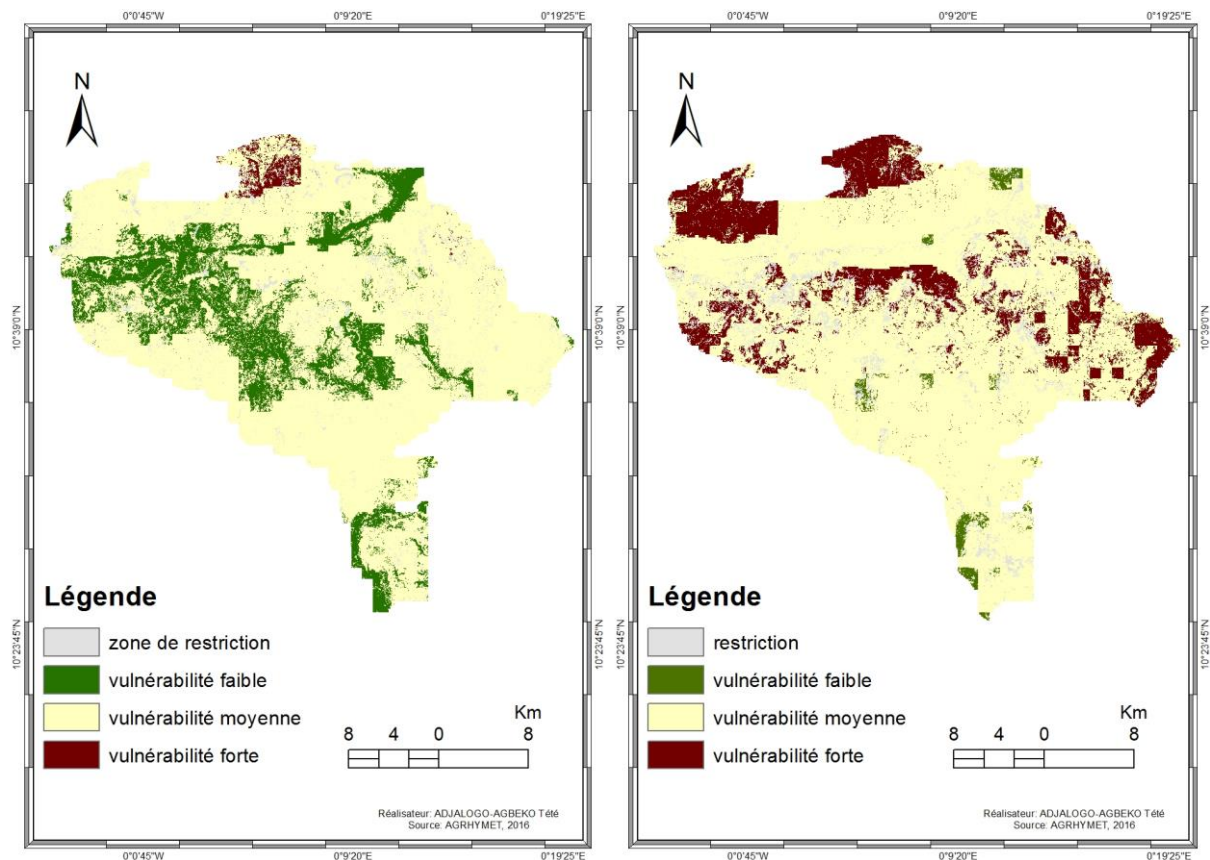


Figure 16: Cartes de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en 2000 (a) et 2015 (b).

3.1.2. Perception paysanne de l'érosion et son ampleur sur les revenus

a. Perception de l'érosion hydrique

L'enquête réalisée au niveau des producteurs a permis d'avoir leur vision du phénomène, son ampleur sur leurs rendements et par là sur leurs revenus.

Ainsi les 156 ménages enquêtés sont essentiellement agriculteurs ayant l'âge compris entre 30 et 90ans. Parmi eux, 32,1% sont des femmes. Le mode prédominant d'accès à la terre est l'héritage (82,1%). Le niveau d'instruction est de 1,9% pour l'enseignement supérieur, 23,1%

pour l'enseignement secondaire, 14,7% pour l'enseignement primaire et 60,3% sont analphabètes.

➤ Les causes de la dégradation des terres

Parmi les paysans enquêtés, 34,6% ont déjà abandonné leurs terres pour faute de dégradation et les 65,4% se sont accrochés à leurs terres pour manque d'espaces cultivables malgré la dégradation constatée. Les causes de la dégradation des terres énumérées par les paysans sont multiples et variées. Il s'agit de la déforestation, des cultures itinérantes sur brulis, culture continue, de l'érosion, du labour, des feux de brousse, des engrais chimiques et des pesticides. Parmi ces causes, l'érosion hydrique occupe une part importante soit plus de 72%, suivi de la culture continue et de la déforestation (figure 17).

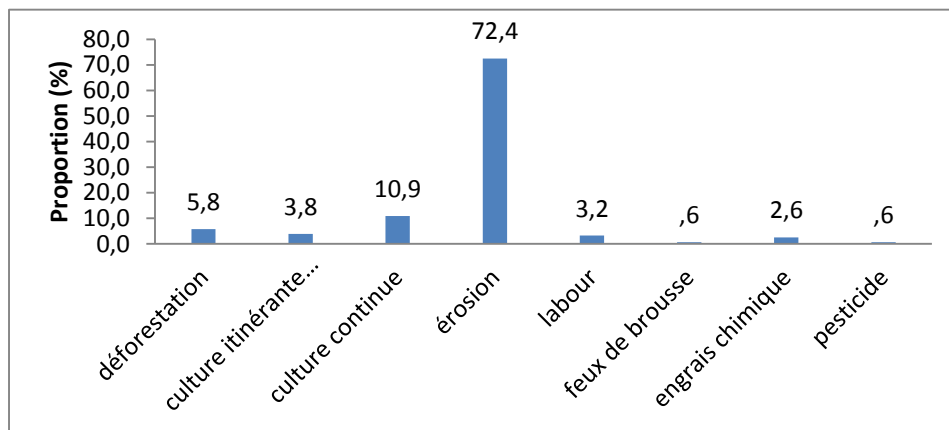


Figure 17: Proportion des causes de la dégradation des terres

➤ Les causes de l'érosion

Les causes de l'érosion hydrique selon les paysans sont : la pente, l'intensité de pluie, le type de sol, le ruissellement, le labour et la destruction du couvert végétal. La pente occupe ainsi une part importante soit 52,6%, suivi de l'intensité de la pluie 32,7% et du type de sol 10,9% (figure 18).

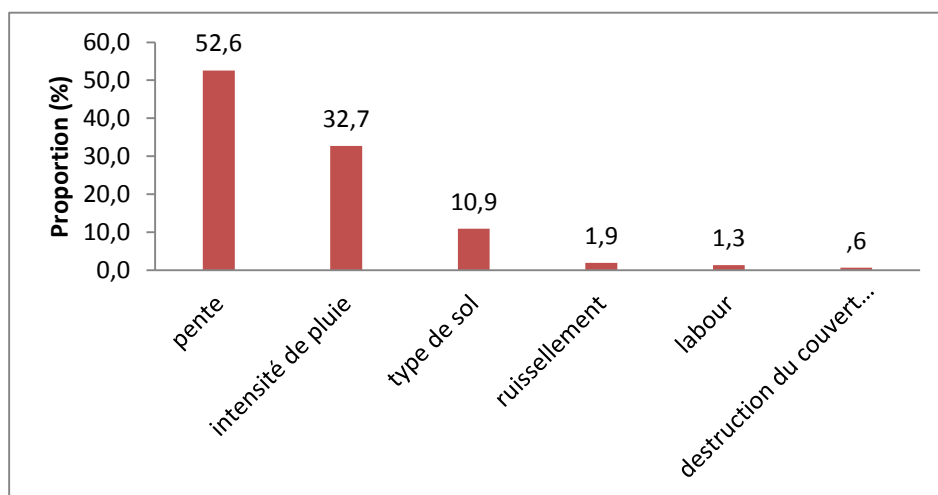


Figure 18: Proportion des causes de l'érosion hydrique

b. Ampleur de l'érosion en 2000 et 2015

53,8 % des producteurs enquêtés dans la préfecture révèlent qu'en 2000, l'ampleur de l'érosion était moyenne. Pour 32,7 % des producteurs, l'érosion était faible et pour les 13,5 % restants, l'érosion était forte. Les cantons les plus touchés sont : Pligou, Boulogou, Bombouaka. La figure 19 montre les neuf cantons ayant atteint le niveau élevé d'érosion en fonction du nombre de producteur enquêté.

En 2015, 85,3% des enquêtés affirment que l'érosion a atteint un niveau élevé dans toute la préfecture, tandis que les 3,8% et les 10,9% affirment que le niveau de l'érosion était respectivement faible et moyen. Chacun des seize cantons a atteint un niveau élevé d'érosion (Figure 20).

On observe ainsi de façon générale, une évolution rapide de l'état de l'érosion en 2000 qui était au niveau moyen vers un niveau élevé en 2015 (figure 21).

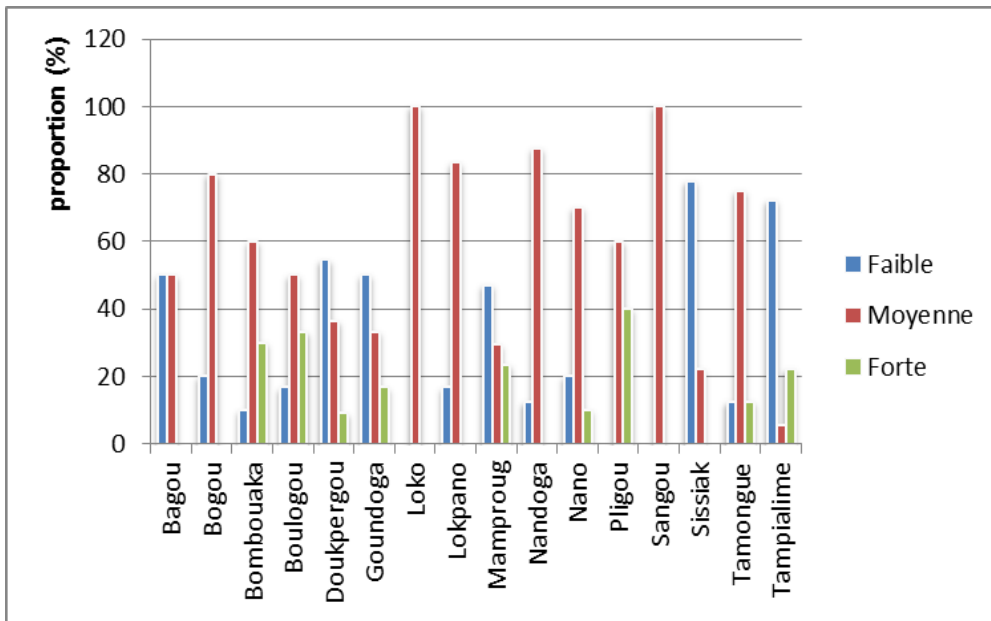


Figure 19: Ampleur de l'érosion par Canton en 2000

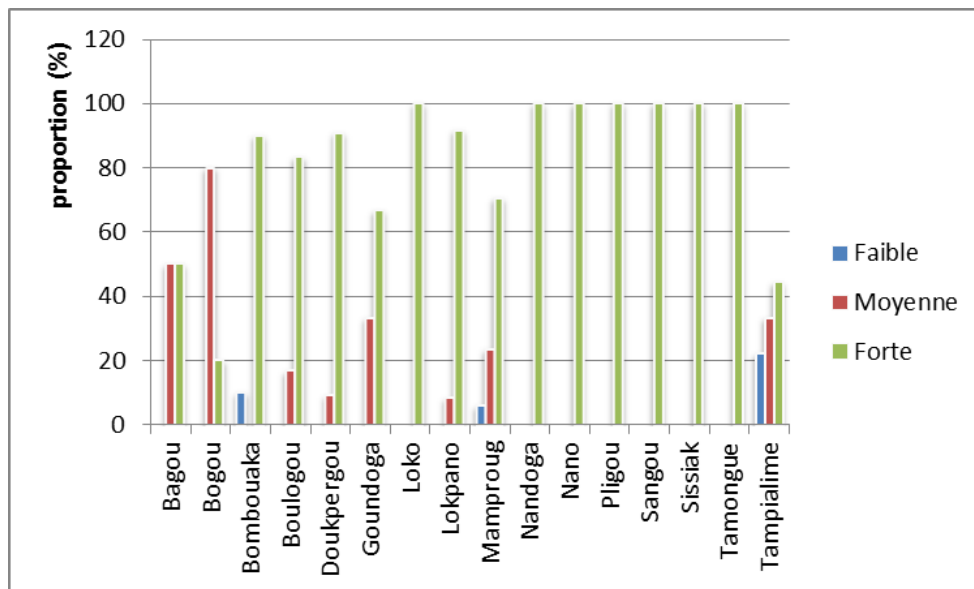


Figure 20: Ampleur de l'érosion par Canton en 2015

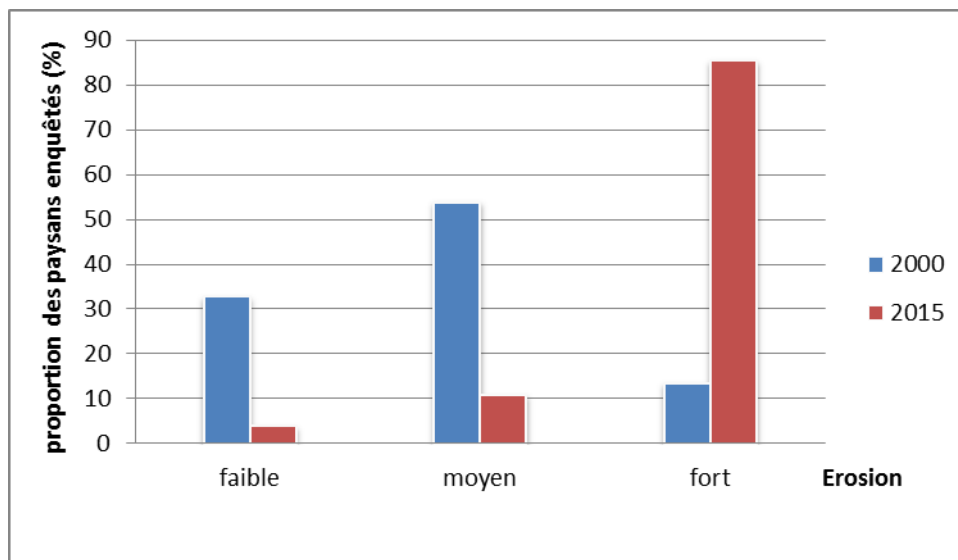


Figure 21: Evolution comparée de l'érosion en 2000 et 2015

c. Méthodes paysanne de lutte contre l'érosion hydrique

Malgré la faible couverture de la zone par les agents des services technique (35,3%), les producteurs essaient de venir au bout du phénomène avec leur faible moyen. Ainsi pour lutter contre l'érosion hydrique, la plupart des producteurs ont opté pour les cordons pierreux, les bandes enherbées, l'orientation des billons perpendiculairement à la pente (86,5 % des paysans le font) et le reboisement. Cependant la sécheresse, le manque de spécialiste en GDT (Gestion Durable des Terres), les feux de brousse, la pénibilité du ramassage des pierres et leur disponibilité par endroit constituent un frein dans la lutte contre l'érosion hydrique.

Compte tenu de l'importance de l'arbre dans la vie des producteurs (ombrage, bois de chauffe, alimentation, compostage...), la totalité des enquêtés ont au moins déjà planté un arbre. Selon eux, la dégradation du couvert végétal est due à la sécheresse (55,8%), la surexploitation (23,7%), l'érosion hydrique (17,9%), et aux changements climatiques (2,6%).

d. Ampleur de l'érosion sur les revenus des producteurs

L'exode rural est à un niveau critique dans la préfecture avec un départ des jeunes observé auprès de 85,9 % de ménages et les cantons les plus touchés sont Pligou, Loko, Boulogou, Bagou, Goundoga, Sangou et Doukpergou.

Les rendements agricoles sont en baisse dans la préfecture de Tandjouare. Cette baisse est moyenne auprès de 65,5 % des ménages, faible auprès de 7,1 % des ménages tandis qu'elle est forte au niveau de 31,4 % des ménages. Les cantons les plus touchés par une baisse élevée de rendement sont : Pligou, Boulogou, Tamongue, Lokpanou et Loko avec respectivement 60 %, 50 %, 45,8 %, 41,7 % et 40 %.

La diminution des revenus due à l'érosion hydrique est à un niveau moyen chez 69,9% des producteurs, à un niveau faible chez 9,6 % des producteurs et à un niveau fort chez 20,5 % des producteurs. Les cantons les plus affectés par une baisse élevée de revenu sont Pligou, Loko, Boulogou et Tamongue avec respectivement 80 %, 40 % et 33,3 % et 29,2% (figure 22).

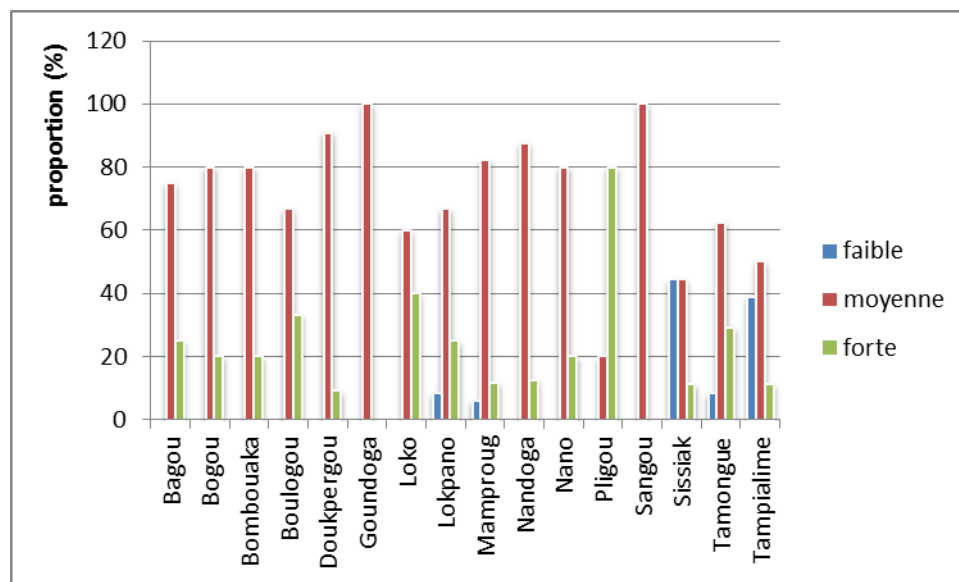


Figure 22: Ampleur de l'érosion sur la diminution des revenus par Canton

3.1.3. Validation des cartes de vulnérabilité

En l'absence d'un travail antérieur sur ce thème dans la préfecture de Tandjouare, la validation de la carte de vulnérabilité est faite par confrontation aux observations paysannes sur l'ampleur du phénomène à travers une enquête.

Ainsi par confrontation de la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique en 2000 à l'ampleur du phénomène pendant cette même année, il en découle que sur la carte 19,62 % de la préfecture présente une vulnérabilité faible, 76 % une vulnérabilité moyenne et 1,36 % une vulnérabilité forte alors que l'enquête révèle que 32,7 % de la préfecture présente une vulnérabilité faible, 53,8 % une vulnérabilité moyenne et 13,5 % une vulnérabilité forte (figure 23). Ce qui montre un petit décalage par rapport aux deux résultats. Néanmoins la comparaison au niveau cantonal montre que les deux résultats s'équivalent dans quatre cantons à savoir Bogou, Lokpanou, Nandoga et Loko. La figure 25 montre la comparaison par canton des deux résultats.

L'enquête au niveau des paysans sur l'ampleur de l'érosion en 2015 montre que 85,3% de la préfecture présente une vulnérabilité forte à l'érosion, 10,9 % une vulnérabilité moyenne et 3,8 % une vulnérabilité faible tandis que la carte révèle qu'en 2015, 1,46 % de la préfecture

présente une vulnérabilité faible, 73,90 % une vulnérabilité moyenne et 17,8 % une vulnérabilité forte (figure 24).

On remarque ici que les deux résultats ne concordent pas. 73,90 % de vulnérabilité moyenne sur la carte contre 85,3 % de vulnérabilité forte par enquête. Au niveau cantonal, seul les résultats du canton de Bogou concordent. Néanmoins, les cantons les plus vulnérables sur la carte sont presque touchés à cent pour cent par l'érosion. La figure 26 montre la différence observée au niveau cantonal.

La photo ci-dessous (photo 1) montre des cas d'érosion dans quelques cantons vulnérables.

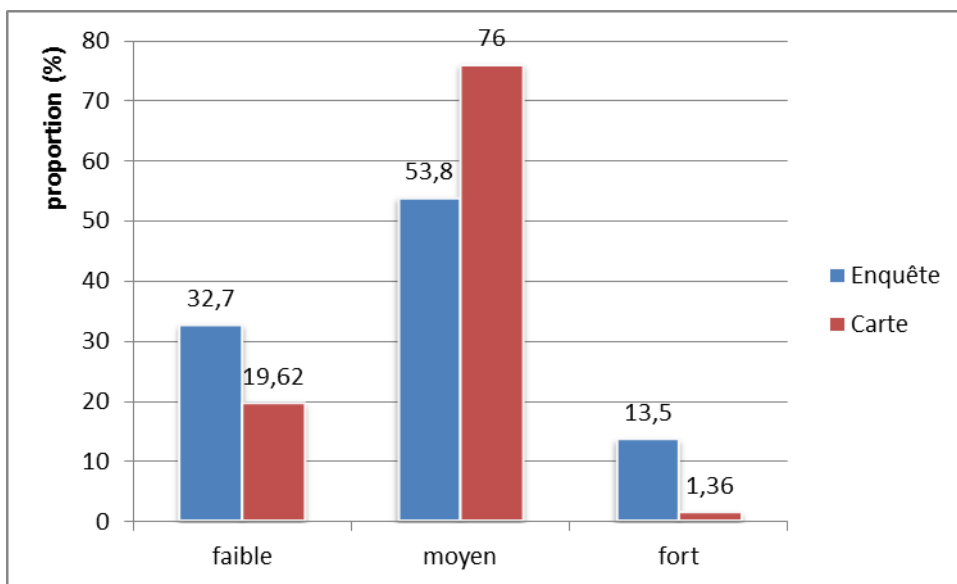


Figure 23: Etude comparative de l'ampleur de l'érosion dans la préfecture en 2000 sur la carte et par enquête

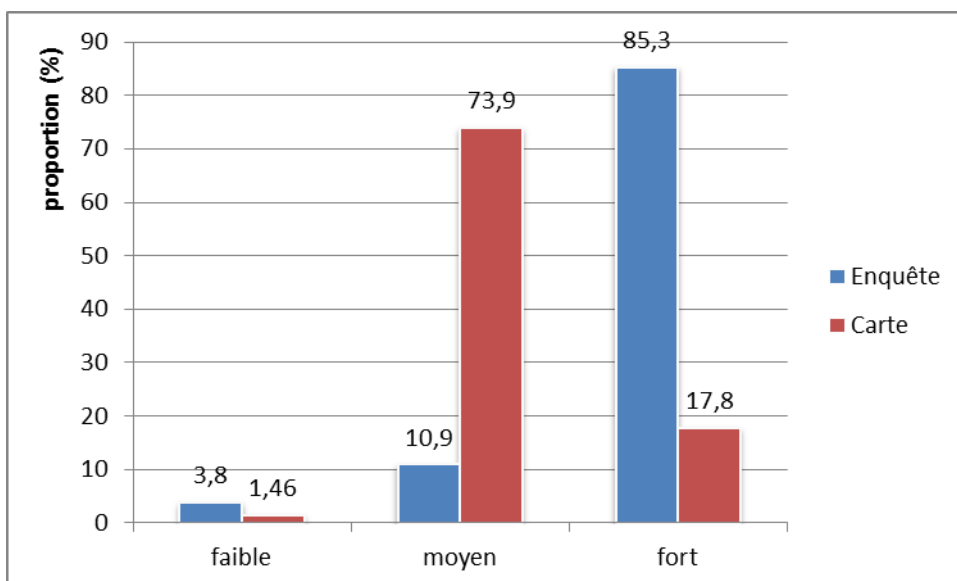
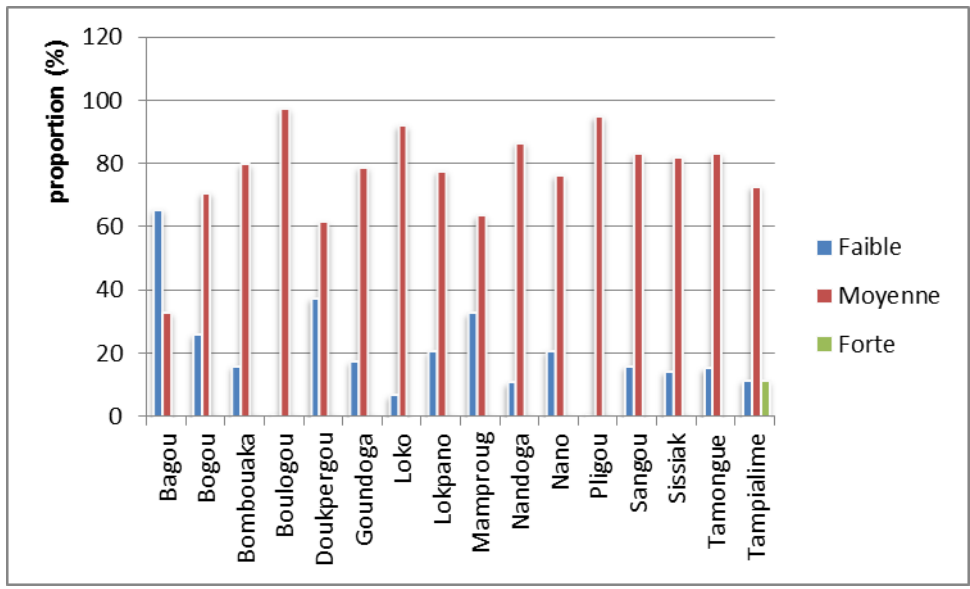
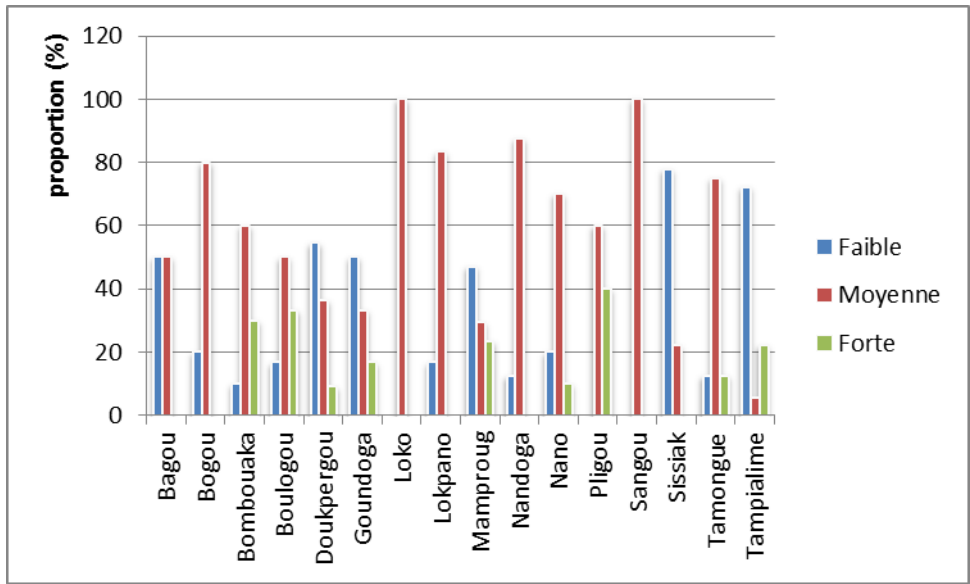


Figure 24: Etude comparative de l'ampleur de l'érosion dans la préfecture en 2015 sur la carte et par enquête

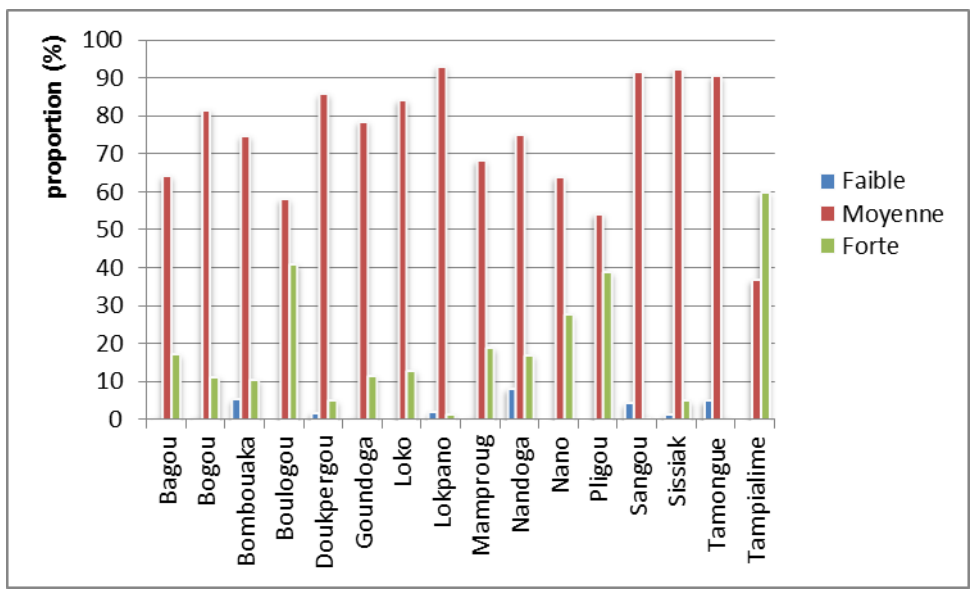


a

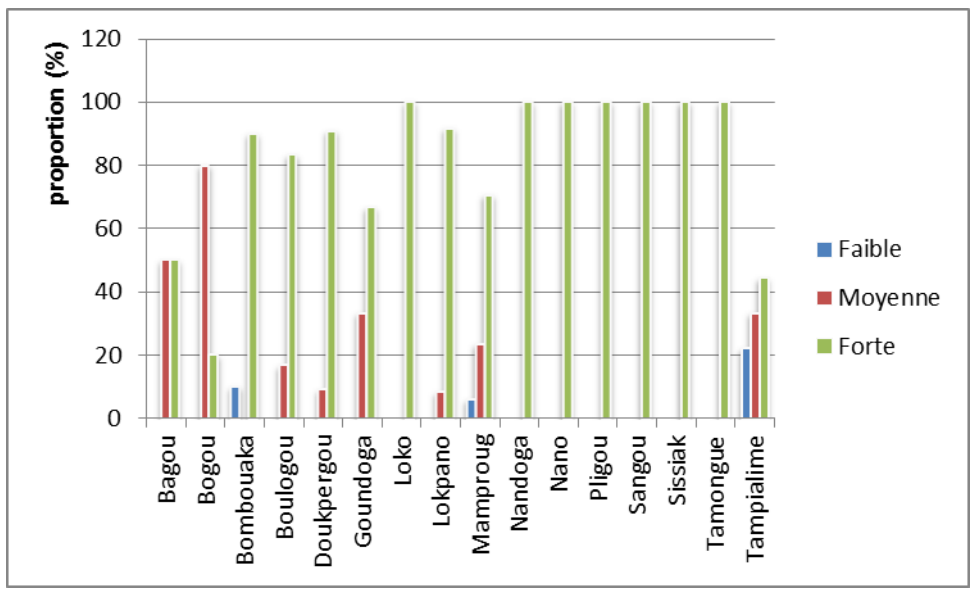


b

Figure 25: Etude comparative de l'ampleur de l'érosion par canton sur la carte (a) et par enquête (b) dans l'année 2000



a



b

Figure 26: Etude comparative de l'ampleur de l'érosion par canton sur la carte (a) et par enquête (b) dans l'année 2015



Photo 1: Ampleur de l'érosion dans quelques Cantons vulnérables

A Pligou, il est observé sur la photo un ravin en progression vers les habitations.

A Boulogou et Tampialime l'érosion en rigole est observée à proximité des champs.

A Nano, Nandoga et Mamprougou, l'érosion des berges est observée, rendant ainsi vulnérables les routes et les champs de proximité.

3.2. Discussions

L'objectif général de cette étude est l'élaboration d'un outil d'aide à la décision à travers l'identification et la cartographie des sols vulnérables à l'érosion dans la préfecture de Tandjouare.

Les objectifs spécifiques sont :

- Déterminer l'évolution de la vulnérabilité des sols dans le temps (2000 et 2015);
- Déterminer la perception paysanne de l'érosion et son ampleur sur leurs revenus;
- Valider la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion.

3.2.1. Evolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le temps

a. La répartition dans l'espace de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique

Le niveau de vulnérabilité général de la préfecture de Tandjouare en 2000 et en 2015 est moyen avec plus de 70% de surfaces occupées.

Les zones à vulnérabilité élevée en 2015 se situent au nord de la préfecture plus précisément dans le canton de Tampialime et sur une bande Ouest-Est passant par le centre de la préfecture. Les zones à faible vulnérabilité sont isolées et occupent une faible proportion de la préfecture soit environ 1,46%. On y recense la réserve protégée de la Fausse aux Lions localisée au nord-est de la préfecture, des forêts communautaires et quelques plantations d'arbre au centre de la préfecture et au sud-ouest dans le canton de Tamongue.

En 2000, les zones les plus vulnérables se situent à l'Est du canton de Tampialim. C'est une zone à faible couverture végétale, de pente modérée, de sol de type lithique dépourvue de matière organique. Les zones de vulnérabilité faible se situent au centre de la préfecture plus précisément sur les montagnes et les alluvions à cause de la bonne couverture végétale.

La forte proportion de vulnérabilité élevée observée en 2015 est due à la déforestation et à la mise en culture des pentes, d'où la perturbation de l'écosystème et son exposition à l'érosion hydrique. La proportion élevée des zones à faible vulnérabilité en 2000 provient de la bonne couverture végétale de la préfecture montrée à travers l'indice de végétation.

En effet selon Duma (2006), le couvert végétal joue un rôle important contre l'érosion hydrique à travers ses feuilles pour amortir l'énergie des gouttes de pluies et à travers ses racines pour freiner le ruissellement. Ainsi les zones suffisamment couvertes à l'instar de la réserve protégée de la fausse aux Lions ont une vulnérabilité faible à l'érosion. Toutefois, les zones bien couvertes se situant sur des pentes élevées sont des zones potentiellement vulnérables. Car l'intervention humaine, soit par le déboisement, soit pour l'agriculture ou bien l'action des feux de brousses suffirait à rendre ces zones très vulnérables à l'érosion.

Selon Roose et Lelong (1976) le facteur le plus important de l'érosion est la pluie. Marcey et Berville, (2003) ont quant à eux signifier que l'efficacité de la pluie vis à vis des processus

d'érosion est liée aux rôles qu'elle a dans le détachement des particules des sols et surtout dans la formation du ruissellement. La préfecture de Tandjouare étant faiblement arrosée d'une part et d'autre part la répartition presque homogène de l'érosivité de la pluie en 2000 (91,26% de la préfecture sont à érosivité moyenne), induisent une faible affluence de l'érosivité de la pluie dans la répartition spatiale de la vulnérabilité à l'érosion hydrique. En 2015, l'influence de la forte érosivité de la pluie sur la bande ouest-est passant par le centre de la préfecture contribue à rendre cette partie vulnérable.

L'influence de la topographie n'est pas à minimiser surtout que la préfecture est très accidentée notamment en son centre car selon Dumas (2004), l'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse du ruissellement, accélérant le transport solide vers le bas et augmentant ainsi l'impact de l'ablation des matériaux détritiques. Ainsi la pente est aussi à l'origine de la vulnérabilité élevée observée au centre de la préfecture.

La proportion des zones d'affleurement témoigne d'une part de l'ampleur du phénomène et d'autre part de la nature des sols. Ainsi l'affleurement de la roche mère montre que les sols environnants sont des sols peu évolués et par conséquent très vulnérables à l'érosion.

La vulnérabilité faible résulte donc des sols bien couverts se situant sur les sols d'alluvion en bas de pente où l'érosivité de la pluie est faible. Toutefois ces zones sont vulnérables à l'inondation compte tenu de la topographie du milieu.

b. Evolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique de 2000 à 2015

L'évolution de la vulnérabilité de 2000 à 2015 montre une augmentation des zones à vulnérabilité « forte », une diminution des zones à vulnérabilité « faible » et « moyenne ». Ceci s'explique par l'augmentation de la population et donc des besoins en bois de chauffe et en alimentation d'où la diminution du couvert végétal et l'augmentation des terrains de culture. Même les terrains à forte pente sont mis en culture. Ceci rejoint la thèse de Planchon et Valentin (1999) selon laquelle il existerait une relation forte entre dégradation et population en Afrique de l'Ouest, particulièrement dans le cas de l'érosion hydrique.

L'augmentation des terrains dégradés (nus) découle de leur abandon par faute de la faiblesse des rendements agricoles. L'érosion hydrique entraînerait ainsi une baisse de la fertilité des sols comme l'a affirmé Dautrebande (2006) cité par George (2008).

La diminution des zones d'affleurement rocheux proviendrait des projets de reboisement des flancs de montagnes effectués dans le cadre de la récupération des terres dégradées et de la lutte contre le changement climatique. Aussi le manque d'espace cultivable implique la mise en exploitation des flancs de montagnes et des lithosols observés au niveau des zones d'affleurement.

3.2.2. Perception paysanne de l'érosion, son ampleur sur les revenus et méthodes de lutte

L'implication de plus en plus importante des populations à la base pour la recherche de solutions durables étant d'actualité, les paysans ont été approchés en vue de se renseigner sur leurs perceptions de l'érosion. Ainsi les causes de dégradation des terres énumérées par les paysans sont très pertinentes et montrent combien de fois leur implication dans ce travail est nécessaire.

Selon les producteurs, l'érosion hydrique contribue à hauteur de 72% à la dégradation des terres dans le milieu et les facteurs contribuant à l'aggraver sont par ordre d'importance la pente, l'intensité de la pluie et le type de sol, les autres facteurs étant minimisés. De ce fait leurs observations avoisinent celle ayant fait l'objet de consensus dans le monde scientifique depuis 1978 (Wischmeier et *al.*, 1978) à propos des facteurs de l'érosion hydrique. Toutefois, le rôle protecteur du couvert végétal contre le splash et le ruissèlement est un peu ignoré à cause de la faible couverture de la zone par les services techniques.

A Tandjouaré, l'érosion a entraîné des baisses de rendements et une diminution des revenus qui va de la moyenne à forte en fonction des zones rendant ainsi les paysans vulnérables et la pauvreté difficile à combattre dans le milieu. Ce qui augmenterait l'exode rural qui est déjà à un niveau critique dans la préfecture.

L'effet de l'érosion ressenti très rapidement par les paysans est l'appauvrissement progressif des terrains cultivés, suivi d'une baisse rapide des rendements agricoles. Les terrains appauvris sont abandonnés et chacun court alors pour mettre en exploitation de nouveaux terrains de culture même sur les flancs de montagnes. A défaut de terrains cultivables disponibles, les champs sont alors cultivés en permanence, sans apport de fumure organique pour améliorer la qualité du sol et favoriser l'infiltration d'où les rendements faibles. Cette pénurie de terrains cultivables a pour conséquence une émigration des travailleurs vers d'autres régions ou pays (Côte -d'Ivoire, Ghana ;...) plus favorables.

Face à tout ceci, les producteurs essaient malgré la faible couverture de la zone par des services techniques de venir au bout du phénomène à travers les faibles moyens mis à leur disposition et qui sont la plupart du temps insuffisants.

Ainsi comme l'a suggéré Bussiere (1996), les méthodes de lutte doivent passer d'abord par l'identification des différentes zones suivant les processus dominants, tant du point de vue de la formation du ruissellement que de l'érosion elle-même en protégeant le sol de l'impact de la pluie ; en retardant et en réduisant la formation d'un écoulement superficiel par augmentation de la capacité d'infiltration et la capacité de stockage ; accroître la protection et

la résistance des zones où les conditions morphologiques peuvent favoriser l'incision et à réduire les capacités de détachements et de transport du ruissellement en limitant sa vitesse et sa concentration. Ainsi, la lutte contre l'érosion hydrique doit être conduite toujours du haut vers le bas dans le sens de la pente : la protection du haut de la pente doit être préalablement réalisée avant toute mise en valeur des terres dominées par le phénomène. Les méthodes biologiques de lutte comme le reboisement ou les méthodes mécaniques comme les ouvrages de récupération d'eau et du sol sont disponibles en fonction des objectifs visés. Sur les pentes trop fortes, les digues ou diguettes combinées aux reboisements serviront à limiter le ruissellement ; en haut de la pente, les ouvrages de captage d'eau tels que les demi-lunes, les zaïs, et les banquettes peuvent être réalisés. En bas de la pente, les cordons pierreux associés aux bandes enherbées, les micros barrages sont possibles. Sur les terrains cultivés, la gestion durable des terres et la gestion intégrée de la fertilité des sols doivent être pratiquées pour ainsi empêcher leur dégradation. Sur les terres nues ou déjà dégradées les opérations de récupération des terres doivent être mises en place en fonction de la capacité de l'agriculteur.

3.2.3. Validation des cartes de vulnérabilité à l'érosion hydrique

En l'absence d'une étude antérieure sur le même thème dans la préfecture, une enquête auprès des producteurs agricoles a été effectuée en vue de valider les cartes de vulnérabilité à l'érosion hydrique.

Ainsi en 2000, les résultats de l'enquête concordent plus ou moins aux résultats de la carte surtout au niveau cantonal. En 2015, les résultats ne concordent pas au niveau préfectoral. Un décalage des résultats de l'enquête est observé conduisant à plus de 80 % des terres fortement vulnérables ou lieu de 70 % moyennement vulnérable sur la carte. Ceci serait dû à la surestimation du phénomène par les paysans. Cette surestimation de la part des producteurs montre l'ampleur du phénomène dans le milieu. Néanmoins, il existe d'autres méthodes de validation développées par Bachaoui *et al.* (2006), tel que des observations sur des échantillons de site pendant la saison pluvieuse (la mesure des paramètres contrôlant l'érosion : pente, couvert végétal, friabilité du sol). La même méthode de validation est aussi développée par Boukheir *et al.* (2000) incluant la mesure après établissement de la carte, de plusieurs paramètres sur les sites de contrôle tels que : l'exposition des racines à l'air, les pédicules d'érosion, les glissements et mouvements de sols, la mesure des ravines et autres. Ces différentes méthodes ne sont pas participatives car n'incluant pas la population à la base, et donc ne font pas ressortir l'expression des populations concernées.

Conclusion générale

La dégradation des terres et sa forme la plus représentative, l'érosion hydrique constituent un frein pour le développement économique des pays en développement ayant l'agriculture comme le soubassement d'un possible développement. Il apparaît donc de trouver des solutions pour freiner ce phénomène qu'est l'érosion hydrique. La mise en place des méthodes efficaces de lutte ne peut se faire sans l'identification ou la cartographie au préalable des zones les plus vulnérables. D'où l'utilisation de la télédétection et des SIG. Dans le souci de venir à bout du phénomène dans la préfecture de Tandjouare, cette étude visant l'élaboration d'un outil d'aide à la décision à travers l'identification et la cartographie des sols vulnérables à l'érosion a permis d'identifier et de cartographier trois classes de vulnérabilité réparties dans le temps et dans l'espace. Ainsi pour l'année 2000, 19,62% de la préfecture sont des zones à vulnérabilité « faible », 76 % des zones à vulnérabilité « moyenne » et 1,36 % des zones à vulnérabilité « forte ». La zone de restriction constituée des plans d'eau représentent 3,02 % de la préfecture. En 2015 une augmentation de la classe de vulnérabilité « forte » de 16,44 % a été constatée la ramenant ainsi à 17,8 % tandis que pour la vulnérabilité « moyenne » et « faible », une diminution a été remarquée et est de l'ordre de 2,1% pour la vulnérabilité « moyenne » et de 18,16 % pour la vulnérabilité faible les ramenant respectivement à 73,9 % et 1,46 %. La zone de restriction se retrouve avec 6,84 %.

Cette évolution de la vulnérabilité des sols dans le temps est due à l'augmentation de la population et à l'accroissement de leurs besoins en bois de chauffe et en alimentation d'où la diminution du couvert végétal, l'augmentation des surfaces de culture et des terres dégradées, ce qui a pour conséquence l'amplification de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique.

Une enquête au niveau des producteurs a permis non seulement de comprendre leurs visions du phénomène, de trouver l'incidence de l'érosion sur la diminution des rendements et revenus mais aussi de valider les cartes de vulnérabilité.

Les objectifs fixés ont été atteints car :

- Dans un premier temps, l'évolution de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique entre 2000 et 2015 a été démontré ;
- Ensuite l'enquête a permis de recueillir la perception paysanne de l'érosion hydrique et son ampleur sur les revenus ;
- Enfin une adéquation a été trouvée entre les cartes de vulnérabilités et les résultats de l'enquête.

Ainsi la carte de vulnérabilité obtenue servira d'un outil de référence dans le cadre de la conception de tout projet de lutte contre l'érosion hydrique dans la préfecture de Tandjouaré. Et l'approche participative doit être réalisée pour la prise en compte du savoir paysan, leurs problèmes et intérêts afin que le projet soit durable dans le temps et que ses impacts à court et à long terme soient atteints.

Les limites du travail sont :

- L'ancienneté de la carte pédologique du Togo. En effet celle-ci est confectionnée depuis 1967 ;
- L'absence de station pluviométrique dans la préfecture de Tandjouaré;
- L'inaccessibilité de certaines zones surtout pendant la saison des pluies;
- Le temps imparti pour le travail est très insuffisant.

La prise en compte de ces limites permettrait une amélioration des résultats obtenus dans une perspective de réplification.

A la fin de ce travail, les recommandations et les perspectives de recherche sont :

- Etablir en plus de l'enquête paysanne, un autre mécanisme de validation de la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique ;
- Actualiser la carte pédologique du Togo ;
- Equiper chaque préfecture du pays des stations pluviométrique pour permettre des prévisions plus précis au niveau local ;
- Effectuer le même travail sur le plan régional puis national.

Référence bibliographique

Antoni V., Le Bissonnais Y., Thorette J., Zaidi N., Laroche B., Barthès S., Daroussin J. et Arrouays D., 2006. Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen à l'aide d'un Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000 et confrontation aux enjeux locaux. Etude et gestion des sols, volume 13, p. 201 - 222.

Bachaoui B., Bachaoui El M., EL Harti A., Bannari A. et EL Ghmari A., 2006. Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du haut atlas Marocain. Télédétection 2007, 7, 1-2-3-4, p. 393-404.

Boiffin, J., Papy, F., Eimberck, M., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré ; Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. Agronomie, vol. 8, n° 8, p. 663-673.

Bou kheir R., Girard M., Shaban A., Khawlie O., Faour G., et Talal Darwich T., 2000. Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban. GB Science Publisher, Télédétection, 2001, 2, 2, p. 79-90.

Brabant P., 2010. Une méthode d'évaluation et de cartographie de la dégradation des terres : proposition de directives normalisées. Les dossiers thématiques du CSFD, 8CFSD/Agropolis. Montpellier. 52 p. ISSN 1772-6964.

Bussiere M. (1996). L'érosion des sols cultivés en France: manifestation, coûts, remèdes. Mémoire de D.E.S.S., Université de Picardie Jules Verne, 136 p.

Cantón Y., Domingo F., SoléBenet A. et Puigdefábregas J., 2002. Influence of soil surface types on the overall runoff of the Tabernas badlands (SE Spain) : field data and model approaches, hydrological processes, 16, 2621-2643.

Cheggour A., 2008. Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des S.I.G. : Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc, thèse en Géologie, option Hydrologie, sciences du sol et environnement, soutenue le 07 Juin 2008 à l'université CADI AYYAD FACULTÉ DES SCIENCES SEMLALIA - Marrakech, 230 p.

COM(2002) 179 final, 2002. Communication de la commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social et au comité des régions : Vers une stratégie thématique pour la protection des sols. Commission des Communautés Européennes, 39 p.

DSID., 2013. Aperçue générale de l'agriculture togolaise à travers le pré-recensement, volume1, ministère de l'agriculture de l'élevage et de la pêche du Togo.

Dumas P. 2004. Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et S.I.G. pour une gestion intégrée, Application en Nouvelle-Calédonie. Thèse de doctorat, Orléans, 402 p.

Elbouqdaoui K., Ezzine H., Badrahoui M., Rouchdi M., Zahraoui M. et Ozer A., 2005. Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc), Geo-Eco-Trop, 29: 25-36 pp.

FAO, 2016. Le rôle de l'agriculture dans l'économie <http://www.fao.org/docrep/003/Y0491f/y0491f01.htm> consulté le 04-07-2016

FAO, 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. Bulletin pédologique de la FAO.442p. <http://www.Fao.org>.

Georges Y., 2008. Evaluation de l'Erosion dans le bassin versant de la rivière Grise (Haïti), Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux (Belgique), Master en gestion des Risques Naturels.www.memoireonline.com

Guillobez S., Lompo F. et DE Noni G., 2000. Le suivi de l'érosion pluviale et hydrique au Burkina Faso. Utilisation d'un modèle cartographique. Science et changement planétaire. Sécheresse, volume 11, N03. p163-169.

Hussein El Hag Hassan, Lauren T. et Ghaleb F., 2013. La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekaa au Liban. Université d'Orléans, laboratoire CEDETE (EA1210).

Kabre M., 2010. Vulnérabilité des sols à l'érosion dans la région du centre nord du BURKINA FASO : approche par télédétection et SIG. Mémoire du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS) soutenu en 2010 au Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux « RECTAS »(Nigéria).

Lagacherie P., 2014. Dégradations physiques des sols de vigne et impacts sur la ressource en eau en milieu méditerranéen viticole. Rapport final de recherche à l'INRA (Montpellier-France).101p. <http://www.gessol.fr> (consulté le 20/12/2016).

Lamouroux M., 1967. Notice explicative de la carte pédologique du Togo au 1/1000000, n° 34, ORSTOM-Lomé. 99p

Larre lalle, 1998. Lutte antiérosive et contraintes socio-économiques dans la région des savanes du Nord-Togo, Volume 19, numéro 2, avril-mai-juin 2008, Science et changements planétaires / Sécheresse John Libbey eurotexte http://www.jle.com/fr/revues/sec/e-docs/lutte_antierosive_et_contraintes_socio_economiques_dans_la_region_des_savanes_du_nord_togo_278397, consulté le 18-06-16.

Le Bissonais Y., Couturier A. et Cerdan O., 2003. Maîtrise de l'érosion des sols cultivés : Phénomène physique et dispositifs d'action. Rapport final du programme GESSOL, 76p.

Luneau G., 2006. La spatialisation de l'aléa érosion des sols en NOUVELLE-CALEDONIE : Méthodologie définie sur les communes de Dumbea, Païta et Boulouparis. Rapport de stage de MASTER 2 professionnel en Science de l'Information Géoréférencée pour la Maîtrise de l'environnement et l'Aménagement des territoires (SIGMA) à Toulouse (France), 76p.

Marcey F., Berville D., 2003. Synthèse bibliographique: bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement, Sinfotech, 28 pages.

Maurizot P., Delfau M. 1995. Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud de Nouvelle Calédonie, Rapport R38660, 72p.

MERF, 2012. PROGRAMME NATIONAL DE SUIVI DE L'ENVIRONNEMENT AU TOGO (PNSET), version finale, 132p.

MERF, 2014. Cartographie et images des bonnes pratiques de gestion durable des terres dans les différentes zones agro-écologiques du TOGO, rapport national.

Mokhtari E., 2009. Contribution à l'étude du transport solide en suspension Bassin de l'Oued Cheliff Ghrib. Mémoire de MAGISTER en Hydrologie et Construction Hydraulique, université BADJI MOKHTAR –ANNABA (Algérie), 172 p.

MPDAT, 2013. Monographie de la préfecture de Tandjoare, <http://www.togoinfo.tg/publications-togoinfo-tg/summary/11-monographie-des-savanesRGNH4>, 53p. <http://www.togoinfo.tg/publications-togoinfo-tg/summary/11-monographie-des-savanesRGNH4>

Onstad C.A., Foster G.R., 1975. Erosion modeling on a watershed. Transactions of the ASAE, 18(2), p: 228-292.

Pinte K., 2006. Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la baie du Robert en Martinique, Mémoire de diplôme d'ingénieur agronome, INA-PG, CEMAGREF, 184 p.

Planchon O. et Valentin C, 1999. Croissance démographique et dégradation des sols en Afrique de l'ouest. Réseau érosion, 1999 p157. www.documentation.ird.fr

Planetoscop, 2016. Erosion des sols dans le monde, <http://www.planetoscope.com/sols/623-erosion-des-sols-dans-le-monde.html> consulté le 04-07-2016.

PNUE/ISRIC, 1991. Evaluation globale de la dégradation des sols induite par l'homme (GLASOD) <http://www.un.org/popin/fao/centafric/frentex3.htm> consulté le 18-06-16

Poss R., 1993. Carte morpho-pédologique du nord Togo (échelle : 1/500 000), ORSTOM, E. AUBERTON .www.documentation.ird.fr/sphaera/318

Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K. et Yorder D. C., 1996. Predicating soil loss equation (RUSLE).USDA/ARS. ARG. AG. Handbook # 703.Washington. DC.

Renard, K. G. and Freimund, J. R. 1994. Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R factor in the RevisedUSLE.J. Hydrol. 157: 287–306.

Roose E.J. et Lelong F., 1976. Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique tropicale : études sur petites parcelles expérimentales de sol, revue de géographie physique et de géologie dynamique (2), vol. 18, fasc. 4, pp. 365-374, paris, 1976.

Slovin E., 1960. Slovin's Formula. <http://www.statisticshowto.com/> Consulté le 26/07/2016.

Souley-Y. K., 2013. Etude sur l'actualisation de l'état de dégradation des terres dans 6 pays engagés dans le processus TerrAfrica (Benin, Burkina Faso, Ghana, Mali, Niger, Togo).

Stengel P. et Gelin S., 1998. Sol, interface fragile. Chap 9 l'érosion hydrique des sols cultivés en milieu tempéré. Institut National de la Recherche agronomique, ed. Quae, 222 pages.

Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A-R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C. and Selvaradjou S-K., 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319EN/1, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Williams J.R., 1975. Sédiment-Yield Prédiction With Universal Equation Using Runoff Energy Factor. Présent and Prospective Technology for Predicting Sédiment Yields and Sources.USDA-ARS, ARS-S-40, p: 244-252.

Wischmeier W.H. et Smith D.D., 1978. Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning Science.U.S.Dept. Agriculture.Agric. Handbook 537, 60 pages.

Wischmeier W.H. et Smith D.D. 1965.Prediction rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: a guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Dept Agriculture. Agric. Handbook 282.

Yovotogo, 2015. Présentation de la préfecture de Tandjouare, Projet JUMP, <http://www.yovotogo.fr/nos-objectifs-au-togo/education> Lab'orione consulté le 15/06/2016

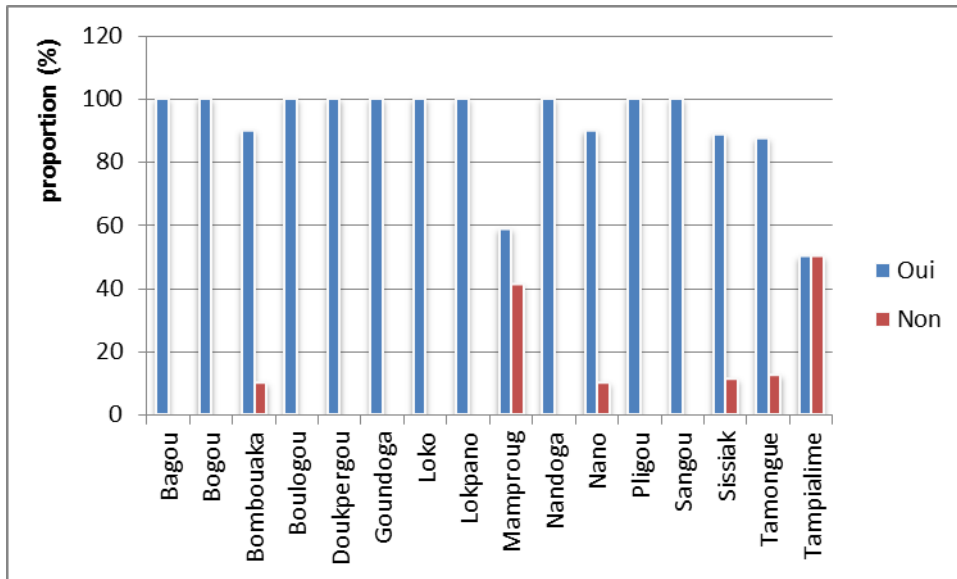
Zengxiang Z., Xiaofeng C., Jituan L. 1996. Mountain soil erosion mapping in Central Tibet using remote sensing and GIS, Institute of Remote Sensing Application, Beijing, p.255-263.

ANNEXES

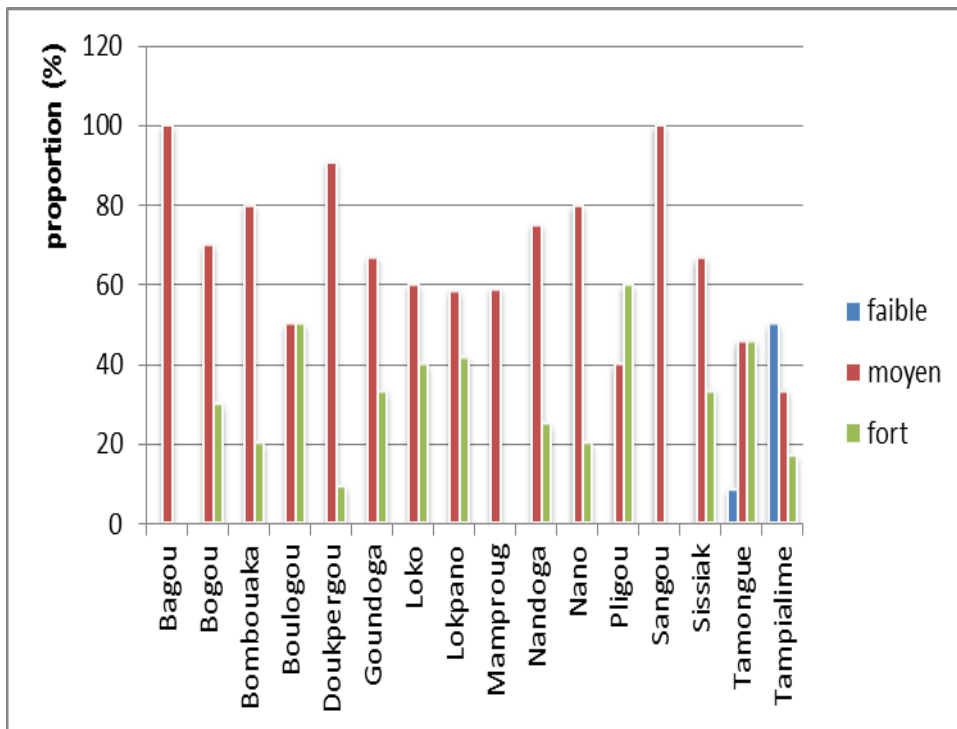
Annexe 1 : Répartition du nombre de producteur enquêté par Canton

Canton	Proportion à la préfecture (%)	Nombre de ménage à enquêter
Tampialime	11,47	18
Sissiak	5,68	9
Bombouaka	6,72	10
Pligou	3,18	5
Boulogou	4,15	6
Nandoga	4,97	8
Loko	3,48	5
Tamongue	15,30	24
Lokpanou	7,52	12
Bogou	6,04	9
Goundoga	3,54	6
Nano	6,73	10
Sangou	0,93	1
Manprougou	10,44	17
Doukpergou	6,82	11
Bagou	3,03	5
Total	100	156

Annexe 2 : Ampleur de l'exode rural par Canton



Annexe 3 : Ampleur de l'érosion sur la diminution des rendements par canton



Annexe 4 : Ampleur de l'érosion par Canton en 2000

Tableau croisé canton * Ampleur de l'érosion il y a 15 ans						
		Ampleur de l'érosion il y a 15 ans				Total
		pas érosion	pas sévère	moyenne	sévère	
bagou	Effectif	0	2	2	0	4
	% compris dans canton	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	4,3%	2,4%	0,0%	2,6%
bogou	Effectif	0	2	8	0	10
	% compris dans canton	0,0%	20,0%	80,0%	0,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	4,3%	9,5%	0,0%	6,4%
bombouaka	Effectif	1	0	6	3	10
	% compris dans canton	10,0%	0,0%	60,0%	30,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	20,0%	0,0%	7,1%	14,3%	6,4%
boulogou	Effectif	0	1	3	2	6
	% compris dans canton	0,0%	16,7%	50,0%	33,3%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	2,2%	3,6%	9,5%	3,8%
doukpergou	Effectif	0	6	4	1	11
	% compris dans canton	0,0%	54,5%	36,4%	9,1%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	13,0%	4,8%	4,8%	7,1%
goundoga	Effectif	0	3	2	1	6
	% compris dans canton	0,0%	50,0%	33,3%	16,7%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	6,5%	2,4%	4,8%	3,8%
loko	Effectif	0	0	5	0	5
	% compris dans canton	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	0,0%	6,0%	0,0%	3,2%
lokpano	Effectif	0	2	10	0	12
	% compris dans canton	0,0%	16,7%	83,3%	0,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	4,3%	11,9%	0,0%	7,7%
mamprougou	Effectif	0	8	5	4	17
	% compris dans canton	0,0%	47,1%	29,4%	23,5%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	17,4%	6,0%	19,0%	10,9%
nandoga	Effectif	0	1	7	0	8
	% compris dans canton	0,0%	12,5%	87,5%	0,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	2,2%	8,3%	0,0%	5,1%
nano	Effectif	0	2	7	1	10
	% compris dans canton	0,0%	20,0%	70,0%	10,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	4,3%	8,3%	4,8%	6,4%
pligou	Effectif	0	0	3	2	5
	% compris dans canton	0,0%	0,0%	60,0%	40,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	0,0%	3,6%	9,5%	3,2%
sangou	Effectif	0	0	1	0	1
	% compris dans canton	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	0,0%	1,2%	0,0%	,6%
sissiak	Effectif	0	7	2	0	9
	% compris dans canton	0,0%	77,8%	22,2%	0,0%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	15,2%	2,4%	0,0%	5,8%
tamongue	Effectif	0	3	18	3	24
	% compris dans canton	0,0%	12,5%	75,0%	12,5%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	0,0%	6,5%	21,4%	14,3%	15,4%
tampialime	Effectif	4	9	1	4	18
	% compris dans canton	22,2%	50,0%	5,6%	22,2%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	80,0%	19,6%	1,2%	19,0%	11,5%
	Effectif	5	46	84	21	156
	% compris dans canton	3,2%	29,5%	53,8%	13,5%	100,0%
	% compris dans Ampleur de l'érosion il y a 15 ans	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Annexe 5 : Ampleur de l'érosion par Canton en 2015

			Ampleur actuel de l'érosion				Total
			pas sévère	moyenne	sévère	très sévère	
canton	bagou	Effectif	0	2	2	0	4
		% compris dans canton	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	11,8%	1,7%	0,0%	2,6%
	bogou	Effectif	0	0	8	2	10
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	80,0%	20,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	6,8%	12,5%	6,4%
	bombouaka	Effectif	1	0	9	0	10
		% compris dans canton	10,0%	0,0%	90,0%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	16,7%	0,0%	7,7%	0,0%	6,4%
	boulogou	Effectif	0	1	2	3	6
		% compris dans canton	0,0%	16,7%	33,3%	50,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	5,9%	1,7%	18,8%	3,8%
	doukpergou	Effectif	0	1	10	0	11
		% compris dans canton	0,0%	9,1%	90,9%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	5,9%	8,5%	0,0%	7,1%
	goundoga	Effectif	0	2	4	0	6
		% compris dans canton	0,0%	33,3%	66,7%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	11,8%	3,4%	0,0%	3,8%
	loko	Effectif	0	0	3	2	5
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	60,0%	40,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	2,6%	12,5%	3,2%
	lokpano	Effectif	0	1	11	0	12
		% compris dans canton	0,0%	8,3%	91,7%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	5,9%	9,4%	0,0%	7,7%
	mamprougou	Effectif	1	4	12	0	17
		% compris dans canton	5,9%	23,5%	70,6%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	16,7%	23,5%	10,3%	0,0%	10,9%
	nandoga	Effectif	0	0	7	1	8
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	87,5%	12,5%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	6,0%	6,3%	5,1%
	nano	Effectif	0	0	10	0	10
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	8,5%	0,0%	6,4%
	pligou	Effectif	0	0	3	2	5
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	60,0%	40,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	2,6%	12,5%	3,2%
	sangou	Effectif	0	0	1	0	1
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	,9%	0,0%	,6%
	sissiak	Effectif	0	0	9	0	9
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	5,8%
	tamongue	Effectif	0	0	20	4	24
		% compris dans canton	0,0%	0,0%	83,3%	16,7%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	0,0%	0,0%	17,1%	25,0%	15,4%
	tampialime	Effectif	4	6	6	2	18
		% compris dans canton	22,2%	33,3%	33,3%	11,1%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	66,7%	35,3%	5,1%	12,5%	11,5%
Total		Effectif	6	17	117	16	156
		% compris dans canton	3,8%	10,9%	75,0%	10,3%	100,0%
		% compris dans Ampleur actuel de l'érosion	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

**Annexe 6 : Lequestionnaire d'enquête
Questionnaire d'enquête ménage**

Numéro fiche

Date

Préfecture

Village /Canton.....

I- Identification de l'enquêté :

1.1. Nom :**Prénom:**.....

1.2. Sexe : Masculin Féminin **1.3. Age**

1.4. Taille du ménage.....

1.5. Situation matrimoniale :

1. Marié(e) 2. Célibataire 3. Divorcé(e) 4. veuf/veuve

1.6. Profession

1. Agriculteur 2. Eleveur 3. Artisan 4. commerçant

5. Agropasteur 6. Autre à préciser

1.7. Niveau d'instruction

II-La perception de la dégradation des ressources naturelles et état de l'érosion:

2.1. Possédez-vous des champs ? 1. oui 2. non

2.2. Si oui combien ?.....

2.3. Quels sont les principaux modes d'accès à la terre dans votre terroir ?

1= Héritage 2=Achat 3=Don 4= Location 5=Gage
6=emprunt

2.4. Le mode d'acquisition de vos terres ?.....

Questions	Codes	Réponse
5. Quels sont les types de sols qu'on rencontre dans votre zone ?	1= latéritique ; 2=Argileux ; 3=Sableux 4=limoneux ; 5=autres (à préciser)	
6. Comment expliquez-vous la dégradation du sol ?	1=baisse de la fertilité du sol ; 2=perte de terre ; 3= Autres (à préciser)	
7. Comment appréciez-vous le niveau de la fertilité des sols? (S'il y a plusieurs critères d'appréciation, classez par importance).	1= vitesse de croissance des plants ; 2= rendement obtenu ; 3= couleur de la végétation ; 4= Insectes indicateurs ; 5= plantes indicatrices ; 6= précédents culturels ; 7= autres (à préciser).	
8. Quel est le niveau de fertilité de vos sols ?	1=fertile ; 2=moins fertile ; 3=dégradé; 4=très dégradé	
9. Existe-t-il des terres dégradées que vous avez déjà abandonnées?	1=oui ; 2=non	
Pourquoi ?		
10- Quelles sont les causes de la dégradation ? (S'il y a plusieurs causes, classez par importance).	1= déforestation ; 2=culture itinérante sur brûlis ; 3=culture continue ; 4= érosion ; 5= destruction du couvert végétal ; 6= labour ; 7= feux de brousse ; 8= piétinement animal ; 9= engrais chimique ; 10= pesticides ; 11= autres (à préciser)	
11. Quelle est dans la zone la proportion de l'érosion hydrique parmi les autres causes de dégradation des sols ?	0 à 25%=faible; 26 à 50%=moyenne; 51à75%=forte; 76 à 100%= très forte	
12- Quelles sont les causes de l'érosion ? (S'il y a plusieurs causes, classez par importance).	1=pente ; 2=intensité de la pluie ; 3= durée de la pluie; 4= type de sol ; 5= perméabilité du sol ; 6= ruissellement ; 7= labour ; 8= piétinement ; 9= destruction du couvert végétal ; 10= autres (à préciser)	
13. Selon vous quel est actuellement le degré de sévérité de l'érosion	0=pas d'érosion ; 1= pas sévère ; 2=moyennement sévère ; 3=sévère ; 4=très sévère	
14. L'état de l'érosion il y a 15 ans	0=pas d'érosion ; 1= pas sévère ; 2=moyennement sévère ; 3=sévère ; 4=très sévère	
15. Comment préparez-vous les sols de vos champs ?	1=défrichage et brûlis ; 2=défrichage sans brûlis (ramassage des friches) ; 3=défrichage et incorporation des friches par le labour ; 4= Autres (à préciser)	
16. Quel type de labour faites-vous ?	0 = semis direct (sans labour) ; 1= minimum labour (remuer le point de semis) ; 2= billonnage ; 3 = labour à plat ; 4 = autres (à préciser)	

17. Si vous faites le billonnage, comment orientez-vous les billons ?	0 = sans orientation précise (varie suivant la saison et la main d'œuvre ; 1= parallèle à la pente ; 2=perpendiculaire à la pente ; 3=autres (à préciser)	
18. Comment se présente l'état du couvert végétal dans votre Zone ?	1= bon ; 2= assez bon ; 3= Dégradé ; 4=Très dégradé	
19. Quelles sont selon vous les principales causes de cette dégradation du couvert végétal?	1=sécheresse ; 2=changement climatique ; 3=surexploitation ; 4= Surpâturage ; 5= érosion ; 6=agriculture ; 7= autres (à préciser)	

III- Impacts de l'érosion sur le rendement et la vie socio-économique

3.1. Diminution des rendements des cultures ? 1=oui ; 2= non

3.1.1. Quelle est l'ampleur de cette diminution ? 1= faible ; 2= moyen ; 3= fort

3.2. Baisse de revenu ? 1=oui ; 2= non

3.2.1. Quelle est l'ampleur de cette baisse ? 1= faible ; 2= moyen ; 3= fort

3.3. Abandon des terres ? 1=oui ; 2= non

3.4. Intensification de l'exode rural ? 1=oui ; 2= non

IV- Les activités

4.1. Recevez-vous des appuis techniques ? 1= oui ; 2= non

Si oui quelle institution ? 1= publique ; 2= privée

4.2. Quelles sont les interventions réalisées dans le village en matière de gestion des Ressources naturelles? 1. Protection de la RN ; 2. Technique de conservation des eaux et du sol ; 3. Plantation d'arbres (brise-vent, bois villageois.)

4.3. Quelle sont les bonnes leçons apprises des projets de récupération de terre

.....

4.5. Laissez-vous des arbres dans vos champs ? Oui Non

Si oui pourquoi 1. Lutte contre l'érosion ; 2. fumier organique ; 3. Ombrage ;

4. Pâturage ; 5. autres

4.6. Quelles sont les espèces que vous laissez dans vos champs ?.....
pourquoi ?.....

4.7. A votre avis, quels sont les avantages de la Plantation d'arbres dans un champ ? 1. Lutte contre l'érosion ; 2. fumier organique ; 3. Ombrage ; 4. Pâturage et

5. autres

4.8. A votre avis, quels sont les inconvénients de la plantation d'arbres dans un champ?

1. attire les ennemies de culture ; 2. compétition avec les cultures ; 3. source de conflits

4.9. Selon vous comment peut-on lutter contre l'érosion hydrique ?

.....