



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
(UAC)
&&&&

INSTITUT DE GEOGRAPHIE, DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT
(IGATE)
@@@@@

MASTER INTEGRATION REGIONALE ET DEVELOPPEMENT
(MIRD)

MEMOIRE DE MASTER II

@@@@@@@@

OPTION : GESTION DES RISQUES ET CATASTROPHES

CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DES SOLS A L'EROSION HYDRIQUE DANS LA COMMUNE DE BONOU

Réalisée par :

Belvide Sêdami DESSAGBOLI

Sous la direction de :

Dr Vincent O. A. OREKAN
Maître de Conférences
(DGAT/FASHS/UAC)

Membres du jury

Président : Dr Henri TOTIN

Rapporteur : Dr Vincent O. A. OREKAN

Examineur : Dr Ernest AMOUSSOU

Mention : Très bien

Note : 16/20

Soutenu, le 25/02/2019

Sommaire

| | |
|---|----|
| Dédicaces..... | 2 |
| Sigles et acronymes | 3 |
| Remerciements | 4 |
| Résumé | 5 |
| Abstract..... | 5 |
| Introduction | 6 |
| CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE | 8 |
| 1.1. Cadre théorique | 8 |
| CHAPITRE II : FACTEURS FAVORABLES AU PROCESSUS D'EROSION HYDRIQUE DANS LA COMMUNE DE BONOU | 18 |
| 2.1. Cadre d'étude | 18 |
| 2.2. Caractéristiques physiques | 20 |
| 2.3. Caractéristiques socio-économiques | 29 |
| CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES | 33 |
| 3.1. Données et matériels | 33 |
| 3.2. Méthodes | 37 |
| CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS | 46 |
| 4.1. Spatialisation de l'érosion hydrique dans la commune de Bonou | 46 |
| 4.2. Stratégies d'adaptations, limites et types de protection proposées | 55 |
| 4.3. Discussions | 58 |
| CONCLUSION | 60 |
| Bibliographie | 61 |
| LISTE DES FIGURES | 66 |
| LISTE DES TABLEAUX | 66 |
| LISTE DES PLANCHES | 66 |
| ANNEXES | 67 |
| TABLE DES MATIERES | 70 |

Dédicaces

A:

Mon feu père Sévérin KOUIHO DESSAGBOLI pour tout l'amour dont il m'avait comblé. Que son âme repose en paix.

&

Ma mère Valérie Adjouavi ASSENDAHI pour m'avoir appris l'amour de travail, l'amour du prochain et le sens de la vie.

Sigles et acronymes

- ABE :** Agence Béninoise pour l'Environnement
- ASECNA :** Agence de Sécurité et de Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
- CARDER :** Centre d'Action Régional pour le Développement Rural
- DGAT :** Département de Géographie et Aménagement du Territoire
- FAO :** Food and Agriculture Organization of the United Nations
Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
- GPS:** Global Positioning System
- IGN :** Institut Géographique National du Bénin
- INSAE :** Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
- LABEE :** Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale
- MIRD :** Master Intégration Régionale et Développement
- RGPH :** Recensement Général de la Population et de l'Habitation
- RUSLE:** Revised Universal Soil Loss Equation
- SIG :** Système d'Information Géographique
- USLE :** Universal Soil Loss Equation

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre gratitude à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Nos remerciements s'adressent particulièrement au Dr Vincent OREKAN, Maître de Conférences des Universités du CAMES pour avoir accepté encadrer ce travail.

Que Messieurs les enseignants du Master Intégration Régionale et Développement (MIRD) de l'Université d'Abomey Calavi veuillent accepter nos remerciements pour la formation qu'ils nous ont donnée.

Que tout le personnel de l'Institut Géographique National, France International (IGNFI) notamment monsieur Cyrille ROMIEU chef projet, du projet d'appui à la préservation et au développement des forêts galeries et production de cartographie de base numérique, monsieur Mamadou N'diaye, chef atelier de restitution 3D et photo-interprétation et notre maître de stage reçoivent l'expression de notre profonde gratitude pour leur assistance technique ;

Nos remerciements vont aussi spécialement à l'endroit de tous mes amis et collègues : Aurel DJOGBENOU, Joseph AGOUZE, Hubert GLIN, pour tous leurs conseils et appuis.

Enfin, nos mots de reconnaissance vont à l'endroit de toutes les personnes qui, de par leur soutien moral, matériel ou financier, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé

L'intensification agricole dans la Commune de Bonou expose ces terres et les rend vulnérables à l'érosion hydrique. Un phénomène naturel qui peut s'aggraver sous l'action combinée de conditions climatiques et anthropiques particulières. Le but de ce travail, est de spatialiser dans la commune de Bonou, la vulnérabilité de ces sols à l'érosion hydrique. L'approche de l'étude consiste à utiliser des facteurs d'érosion hydrique à savoir : l'érodibilité des sols, la pente et l'occupation des sols. Les couches des différents facteurs cartographiés à la même échelle ont été additionnées dans un SIG pour établir une carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. Cette opération a permis de distinguer trois classes de vulnérabilité. Ce sont les zones à faible vulnérabilité (38 %) ; les zones à vulnérabilité moyenne (47%), et les zones à forte vulnérabilité (15 %). Cette carte est validée par les observations de terrain.

Mots clés : Bonou ; érosion hydrique ; Raster calculator, vulnérabilité ; cartographie.

Abstract

The agricultural intensification in the Commune of Bonou exposes these lands and makes them vulnerable to water erosion, a natural phenomenon that can be worsened by the combined action of particular climatic and anthropogenic conditions. This work aims to spatializing in the Commune of Bonou, the vulnerability of these soils to water erosion. The study approach consists of using water erosion factors that are: soil erodibility, slope and land use. The layers of the different factors mapped at the same scale were added in a GIS to establish a map of soil vulnerability to water erosion. This operation made it possible to distinguish three classes of vulnerability. These are low vulnerability areas (38%); medium vulnerability areas (47%), and high vulnerability areas (15%). This map is validated by field observations.

Keywords: Bonou; water erosion; Raster calculator, vulnerability; mapping.

Introduction

Le sol constitue un élément important pour la survie des êtres vivants quel que soit leurs milieux de résidence. Depuis quelques décennies, des pressions économiques et démographiques ont conduit à une dégradation rapide et massive des sols exploités à travers le monde (Fox *et al*, 2008).

En Afrique subsaharienne, la surexploitation menace sérieusement les ressources en terre et en eau dans quelques régions. C'est la conséquence directe des besoins croissants d'une population en pleine expansion, conjuguée à des pratiques inappropriées de gestion des terres (FAO, 2011). La forte croissance de la production agricole en Afrique, s'exprime principalement par l'expansion des surfaces cultivées, par l'intensification des systèmes de culture (NEPAD, 2014). Or, ces pratiques dénudent le sol et l'expose à l'érosion hydrique. Ce type d'érosion, est le plus connu des processus menant à la perte de sols arables et à la dégradation des sols. Elle est répandue partout dans le monde, mais elle est variable en intensité et en étendue en fonction des conditions physiques, climatiques et des activités humaines (Oldeman, *et al*, 1991).

Au Bénin, l'expansion rapide des espaces agricoles et une augmentation des événements pluviométriques extrêmes dus au changement climatique accélèrent l'érosion du sol par l'eau (Hiepe, 2008).

Or, dans la basse vallée de l'Ouémé, les pratiques culturelles exercent une forte pression sur les écosystèmes et en particulier sur les formations végétales du bassin versant (Agbomahéan *et al*, 2014).

Selon Agoïnon *et al*, (2012), les facettes topographiques sans affleurements rocheux et celles où affleure la roche cristalline sont confrontées au phénomène d'érosion. Cette dernière est très intense lorsque le couvert végétal est inexistant. Les phénomènes d'érosion deviennent ainsi catastrophiques : les pertes en terre

sont multipliées par 1000 et le ruissellement par 20 à 50 (Roose *et al*, 1976). La conséquence de cette situation est la perte de la fertilité des sols (Agoïnon *et al*, 2012).

L'érosion des sols entraîne trois types de problèmes, qu'il est difficile voire impossible d'évaluer du point de vue social et économique. Il s'agit de la santé et du bien-être des personnes et des animaux, l'écologie et l'environnement des régions concernées (Unger, 1989).

C'est pour mieux cerner les zones menacées et localiser celles qui nécessitent une intervention prioritaire dans la Commune que la présente étude est réalisée.

Le mémoire, est structuré en quatre chapitres. Le premier est consacré au cadre théorique de l'étude. Le deuxième présente les facteurs favorables au processus de l'érosion hydrique dans la commune de Bonou. Le troisième fait état des matériels et méthodes utilisés pour spatialiser la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou. Quant au quatrième chapitre il présente les résultats et la discussion.

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE

Le présent chapitre fait état, de la problématique, des hypothèses de recherche, de l'objectif de l'étude et de la revue de littérature.

1.1. Cadre théorique

1.1.1 Problématique

La dégradation des sols et la désertification font partie des défis environnementaux majeurs contemporains auxquels il faut faire face.

Selon Pimentel (1993) cité par Rey (2004), la maîtrise de l'érosion hydrique de surface représente un défi majeur sur les espaces où se localisent des enjeux socio-économiques.

Au cours des 40 dernières années, près d'un tiers des terres arables du monde ont été perdu du fait de l'érosion, alors que le nombre de personnes à nourrir grâce à ces mêmes terres a doublé. C'est pour cette raison que l'Assemblée Générale des Nations Unies a déclaré l'année 2015, année internationale des sols (UNEP, 2015).

Dans les régions tropicales, l'érosion hydrique est l'un des phénomènes majeurs à l'origine de la dégradation des sols et de la baisse de productivité des terres cultivables (Roose, 1994). Elle implique la mobilisation et le transport de particules par ruissellement et l'écoulement depuis les versants jusqu'aux cours d'eau. L'érosion hydrique constitue l'une des menaces les plus importantes pour les sols et, par voie de conséquence, l'un des grands problèmes environnementaux contemporains (Nord et *al*, 2007).

En Afrique de l'Ouest, l'augmentation des productions agricoles et forestières est souvent au prix d'une dégradation des sols, d'un appauvrissement de la biodiversité et d'une rupture des cycles biophysiques comme ceux de l'eau et des nutriments (PNUE, 2007)

Les pluies extrêmes, que connaît le Bénin expose directement le sol au ruissellement qui, peut être d'une grande violence (Orékan, 2000).

Face à l'absence du couvert végétal, les actions de l'érosion sont perceptibles sur les différentes facettes topographiques depuis les sommets jusqu'aux bas-fonds (Agoïnon *et al.*, 2010).

Dans la commune de Bonou, l'érosivité des pluies est de 1085 MJ.mm/ha.h.an. Elle est la plus élevée dans toute la vallée de l'Ouémé. Au cours de l'année, les risques climatiques se situent aux intersections et durant la petite et la grande saison des pluies où les pics érosifs interviennent (Agbomahènan et al 2016).

L'agriculture est l'activité principale dans cette commune (Bani, 2006). Les cultures qui y sont pratiquées sont : le maïs, le manioc, la patate douce, le taro aquatique, le légume feuille, le piment, la tomate, le crinclin, le haricot, la banane, la canne à sucre, le gombo. Il a été constaté une expansion des terres de culture. Ces terres nues exposées aux effets érosifs de la pluie et du ruissellement sont plus vulnérables. Les entailles linéaires observées à de nombreux endroits sur les versants dans la commune sont une réalité de l'action érosive de la pluie.

Pour donc déterminer la vulnérabilité des terres, il faut trouver des outils capables aussi bien de rassembler les données que de les intégrer dans un système pouvant permettre des croisements entre les différents facteurs.

De nos jours, le Système d'information géographique (SIG) constitue un outil performant d'évaluation de la dégradation des terres. Il permet de croiser des cartes aux thèmes différents, de fusionner leurs bases de données et d'appliquer des équations mathématiques sur les valeurs numériques des facteurs d'érosion qui y sont rangées.

Ces problèmes qui peuvent entraver le développement social et environnemental de la commune de Bonou ont fait naître les interrogations suivantes :

-Quels sont les facteurs de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou ?

-Quelles sont les différentes stratégies d'adaptations développées par la population ?

C'est dans le but de répondre à ces interrogations que le sujet de recherche intitulé «**Cartographie de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou** » a été choisi.

Ces constats ont permis de formuler les hypothèses de recherche et de définir les objectifs de l'étude.

1.1.2 Hypothèses de recherche

Les hypothèses de recherche se déclinent en ces différents points :

- la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou est liée à des facteurs naturels amplifiés par l'action humaine;
- les techniques de télédétection et SIG peuvent permettre de cartographier les différents facteurs de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou;
- il existe des actions de protection qui concourent à la réduction de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou.

1.1.3 Objectifs d'étude

1.1.3.1 Objectif général

L'étude vise de façon générale à : spatialiser la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou.

1.1.3.2 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques qui en découlent sont :

- Analyser les facteurs de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou.

- Cartographier les différents facteurs de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique;
- proposer des mesures de protection pour réduire la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou.

1.1.4 Revue de littérature

1.1.4.1 Clarification des concepts

Les concepts clés du sujet sont clarifiés.

Vulnérabilité des sols

La vulnérabilité est empruntée du latin «vulnerabilis» signifiant « qui peut être blessé» et qui « blesse ». Elle traduit dans le langage commun, une faiblesse, une déficience, un manque, une grande sensibilité spécifique à partir desquels l'intégrité d'un être, d'un lieu, se trouve menacée, détruite, diminuée, altérée (Ollierou *et al.*, 2004).

Selon Parry *et al.* (2007), la vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, la capacité d'adaptation. La vulnérabilité dans cette recherche, renvoie à la sensibilité des sols croisée à la capacité d'adaptation de la population, face aux agressions extérieures (exposition) comme le climat et les actions anthropiques.

Exposition

Parmi tous les éléments qui contribuent à la vulnérabilité, l'exposition est la seule qui soit directement liée aux paramètres climatiques, c'est-à-dire au caractère, à l'ampleur et au rythme de l'évolution et de la variabilité climatiques. Les facteurs d'exposition types comprennent les températures, les précipitations, l'évapotranspiration, le bilan hydrique climatique ainsi que les événements

extrêmes, tels que les fortes pluies et les sécheresses météorologiques. Les variations de ces paramètres peuvent exercer un stress supplémentaire important sur ces systèmes (GIZ, 2015).

Sensibilité

La sensibilité détermine le degré d'affectation positive ou négative d'un système par une exposition donnée au changement climatique. La sensibilité est typiquement façonnée par les caractéristiques de l'environnement naturel et/ou physique d'un système dont la topographie, la capacité de résistance des différents types de sol à l'érosion et le type de couverture du sol. Elle se réfère également aux activités humaines qui influent sur la composition physique d'un système, tels que les méthodes de culture, la gestion de l'eau, l'exploitation des ressources et la pression démographique (GIZ, 2015).

La sensibilité est définie comme le degré de résistance d'un sol à l'effet défavorable (ou favorable) d'une activité humaine sur ses fonctions essentielles. Plus un sol est sensible, plus sa vitesse de dégradation (ou d'amélioration) est rapide (Braband, 2008). Dans cette recherche la sensibilité se réfère au degré de résistance des différents sols de la commune de Bonou à l'érosion hydrique.

Adaptation

L'adaptation est le « processus d'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques actuels et anticipés ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter les opportunités bénéfiques. L'adaptation est un processus et non un résultat » (GIEC, 2007).

La capacité d'adaptation renvoie ainsi à la possibilité ou à l'aptitude que détient un système (social, écologique, économique ou intégré ; par exemple, une région ou une population) de minimiser les effets ou les impacts des changements climatiques ou d'en optimiser les bienfaits (Sambo, 2013).

Erosion des sols

L'érosion des sols est un processus par lequel une partie du matériau constituant le sol est arraché et déplacé hors du site sur une distance variable par l'eau qui s'écoule, par le vent, par la gravité ou par les outils utilisés pour travailler le sol. Ce processus, naturel, est aggravé par les activités humaines (Braband, 2008).

Dans le cadre de cette recherche, l'érosion des sols est hydrique.

Elle se développe lorsque l'eau de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. 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 (ruissellement « Hortonien »), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement par saturation) (Cros-Cayot, 1996).

L'érosion en nappe ou aréolaire

C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion.

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois : de l'intensité maximale des pluies qui déclenche le ruissellement, de l'énergie des pluies qui détache les particules susceptibles de migrer, et de la durée des pluies et/ou de l'humidité avant la pluie

Lorsqu'il y a l'érosion en nappe, le déplacement des particules se fait d'abord par effet "splash" à courte distance et ensuite par le ruissellement en nappe (Zaher, 2010).

L'érosion en nappe linéaire

Sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole ou linéaire succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.

Téledétection

La téledétection est une technique qui permet, à l'aide d'un capteur, "d'observer" et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi, par une

cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. Le traitement et l'analyse des informations véhiculées par le rayonnement enregistré permettent d'accéder à certaines propriétés de cette cible : géométriques (position, forme et dimensions), optiques (réflexion, transmission, absorption, etc.) et physico-chimiques (température, teneur en eau, chlorophylle foliaire, phytomasse, matière organique du sol,...), etc (Soudani, 2005).

De même, González *et al.* (2007) la définit aussi comme la technique aérospatiale qui utilise l'énergie électromagnétique pour obtenir de l'information de la surface de la Terre et de l'atmosphère environnante sans contact direct. Elle a pour objectif d'élargir la connaissance de notre environnement et faciliter l'interprétation des multiples processus qui affectent la planète.

Dans le cadre de cette recherche, les techniques de la télédétection sont utilisées pour le traitement des données images en vue d'élaborer une carte de l'occupation du sol, de disposer de statistiques traduisant la dynamique des différentes unités d'occupation du sol, une carte des pentes.

Cartographie

Selon Rysted (2014), la cartographie est à la fois la science, la technique et l'art de réaliser et d'utiliser des cartes.

C'est une science, car ces bases sont mathématiques, notamment en ce qui concerne la détermination de la forme et des dimensions de la terre puis le report de la surface courbe de la terre sur un plan (carte) grâce au système des projections et enfin l'établissement d'un canevas planimétrique et altimétrique. C'est un art, car en tant que mode d'expression graphique, la carte doit présenter des qualités de forme (esthétiques et didactique). C'est enfin, une technique car elle nécessite d'amont en aval, l'emploi d'instruments dont les progrès ont bouleversé toute la filière cartographique Poidevin (1999).

Dans cette recherche, il est question de représenter sur une surface plane, la vulnérabilité des sols de la commune de Bonou à l'érosion hydrique.

SIG

Système informatique permettant, à partir de diverses sources de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant à la gestion de l'espace. Un SIG permet : de disposer les objets dans un système de référence géoréférencé, de convertir les objets graphiques d'un système à un autre, de faciliter la superposition de cartes de sources différentes, d'extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée d'une route, de fusionner des objets ayant une caractéristique commune (par exemple : toutes les maisons raccordées à un réseau d'eau potable), de déterminer l'itinéraire le plus court pour se rendre à un endroit précis, de définir des zones en combinant plusieurs critères (par exemple : définir les zones inondables en fonction de la nature du sol, du relief, de la proximité d'une rivière contribuant notamment à la gestion de l'espace.

1.1.4.2 Point des connaissances

L'érosion hydrique, se manifeste par la dégradation des sols, notamment des sols agricoles ou ceux des milieux naturels fragilisés. Le problème de l'érosion existe depuis toujours.

Des études ont été menées pour acquérir une meilleure connaissance du phénomène et contribuer aux prises de décision en vue de la protection et de la réhabilitation des sols dans le monde et au Bénin.

Des travaux de Dubé (1975) ; Scott (1948), et de Harroy (1944) dans lesquels, ils ont décrit les causes de la dégradation des sols africains témoignent de l'ancienneté du problème de l'érosion hydrique.

Harroy (1944), dans son livre *Afrique, terre qui meurt*, a décrit les deux causes de la dégradation rapide de la fertilité des sols africains : la minéralisation rapide de l'humus sous les climats chauds et humides et l'érosion des sols dénudés soumis aux pluies diluviennes. L'érosion a donc été observée très tôt, mais les recherches ne commencèrent vraiment que vers les années 1950.

Fournier (1967), de par ses travaux a mis en place un réseau de parcelles d'érosion dans une dizaine de pays francophones pour quantifier les dangers de ruissellement et d'érosion sous les divers systèmes de culture régionaux.

Hudson (1958), a développé une série de dispositifs, de mesure de l'érosion sous pluies naturelles, pour démontrer l'importance de l'énergie des pluies, mais aussi du couvert végétal, de la pente, des sols et du mode de gestion. Il a prouvé que si le sol est bien couvert on peut réduire l'érosion par cent et le ruissellement par dix. Il a aussi démontré que l'intensification de l'agriculture n'entraîne pas forcément l'accélération de la dégradation des sols.

Après une phase de description des processus, commence une période de quantification de l'érosion à diverses échelles, de la parcelle d'une centaine de m² à de micro-bassins de quelques hectares et à de grands bassins-versants de milliers de km² ('Roose *et al*, 2004).

Plusieurs modèles ont été ainsi développés. Certains ont une approche qualitative comme (Le Bissonnaise *et al*, 1998 ; Boukheir *et al*, 2001). D'autres sont quantitatives comme l'équation Universelle de perte en sol (Wischmeier et Smith, 1978).

Le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation) de Wischmeier et Smith est le plus largement utilisé. Dans ce modèle l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies que multiplie l'érodibilité du sol, facteur topographique, couvert végétal et pratiques culturales, pratiques antiérosive (Roose, 1994). En outre, pour fonctionner, ce modèle nécessite des données moyennes accumulées sur plusieurs années et n'est donc pas valable à l'échelle de l'averse.

A la suite s'est développé, des techniques de télédétection rapprochée qui permettent de capter des images de haute résolution et d'échelle décimétrique.

Brabant (1996), a exploité les avantages offerts par les SIG et la méthode des indicateurs, jusqu'à introduire le concept d'indice d'état qui permet de combiner entre eux, différents indicateurs. Par exemple, pour évaluer l'état d'érosion, trois

indicateurs se référant au type d'érosion, à son extension sur le terrain; et à son degré de gravité sont utilisés. Ces trois indicateurs sont ensuite agrégés pour former un indice synthétique permettant de qualifier l'état érodé du site étudié.

Pour Kheir *et al.* (2000), Les images satellites, permettent de donner une vue d'ensemble actualisée, faisant ressortir, sur de vastes territoires, les grandes unités de paysage, que l'on peut lire en matière de risque d'érosion. De plus, l'utilisation du SIG permet l'intégration à tout moment de nouvelles données spatialisées et autorise l'élaboration des schémas directeurs de gestion à petite échelle qui suffit pour estimer les zones vulnérables à l'érosion hydrique en vue d'une politique globale de protection de ces zones.

Les différentes recherches révèlent que les études sur l'érosion hydrique ont évolué de la simple utilisation des équations de régression au couplage intégral entre un SIG et des modèles de simulation. Ces équations nécessitent des parcelles de petites superficies.

Dans le cas de cette étude, la zone est grande. Pour cerner la vulnérabilité des sols de la commune de Bonou à l'érosion hydrique, une approche qualitative, fondée sur la combinaison de paramètres (pente, pédologie, et couvert végétal) dans un SIG sera utilisée. L'objectif de ce travail est d'évaluer les avantages de l'utilisation de la télédétection et des SIG dans la cartographie du risque d'érosion hydrique.

CHAPITRE II : FACTEURS FAVORABLES AU PROCESSUS D'ÉROSION HYDRIQUE DANS LA COMMUNE DE BONOU

Le présent chapitre présente d'abord le cadre d'étude, ensuite les caractéristiques physiques et socio-économiques favorables à l'érosion hydrique dans la commune de Bonou.

2.1. Cadre d'étude

Avec une superficie d'environ 250 km² la commune de Bonou, est située au nord du département de l'Ouémé entre 6°47' et 6°58' latitude Nord et 2°23' et 2°35 de longitude Est (figure 2). Elle est située à 47 Km de Porto Novo la capitale du Bénin, et est limitée au Sud par la commune de Adjohoun, au Nord par celle de Ouinhi, à l'Est par la commune de Adja-Ouèrè, à l'Ouest par les communes de Zè et de Zogbodomey.

La commune de Bonou est constituée de 28 villages répartis dans cinq (5) arrondissements à savoir : Bonou, Damè-wogon, Atchonsa, Affamè, et Hounviguè. D'après l'article 21 de la loi N° 97-028 du 15 Janvier 1999 portant organisation de l'administration territoriale en République du Bénin, la commune est dotée d'une personnalité juridique et d'une autonomie financière. Les arrondissements et les villages sont respectivement administrés par les chefs d'arrondissement et les chefs de villages.

La figure 1 présente la situation géographique et les découpages administratifs de la commune de Bonou.

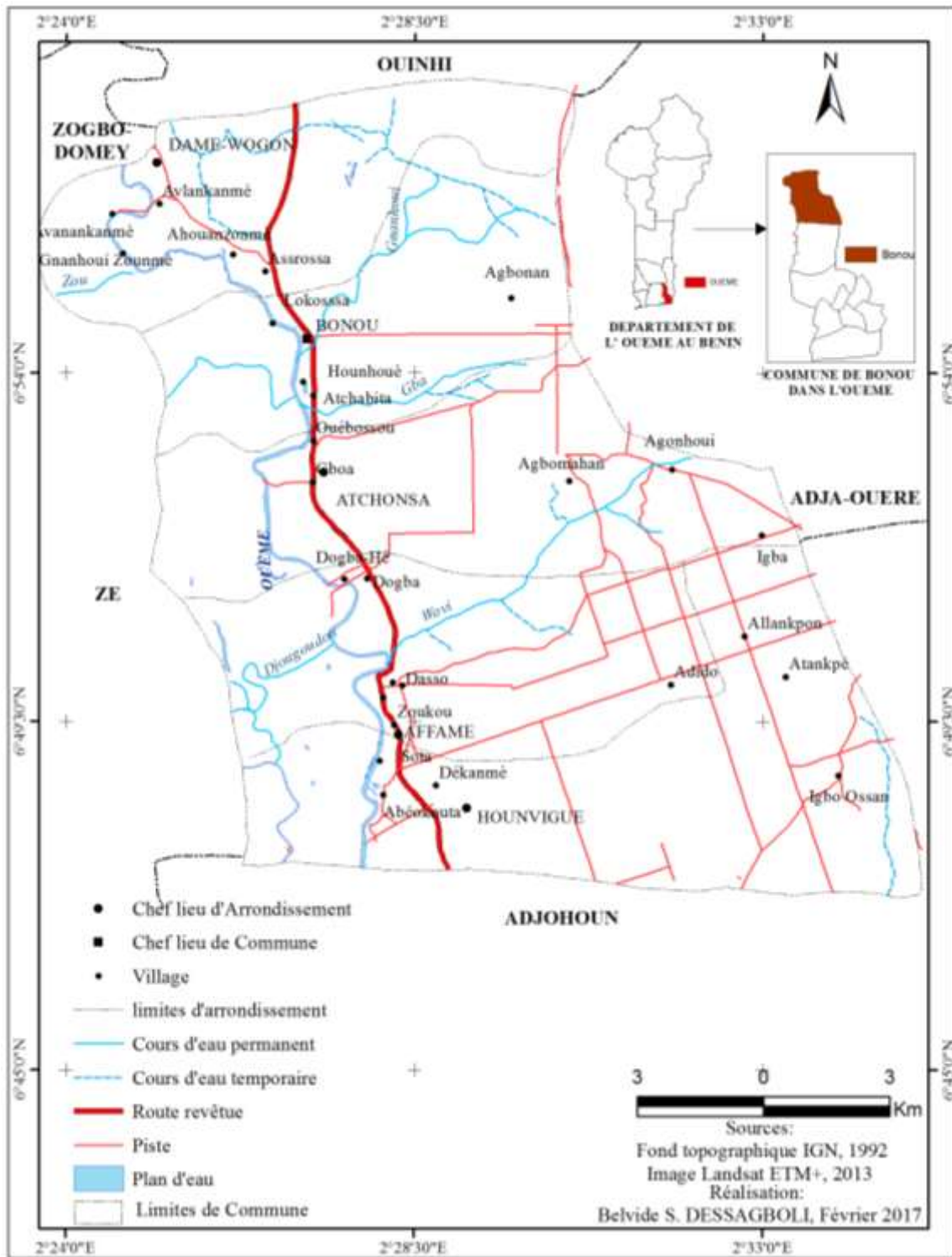


Figure 1: Situation géographique et découpage administratif de la commune de Bonou

2.2. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques sont relatives à l'aspect topographique et géomorphologique, les facettes pédologiques, la géologie, le réseau hydrographique et le climat.

2.2.1. Aspects topographiques et géomorphologiques

L'histoire des terrains sédimentaires du Bénin méridional permet de mieux comprendre la structure géologique et morphologique du bassin inférieur de l'Ouémé (Colombani *et al*, 1972) dans lequel est localisée la commune de Bonou. La figure 2 révèle que le bassin côtier se subdivise en deux zones, une plaine littorale au sud orientée Est-Ouest et une zone de plateau au Nord, comprenant 7 plateaux séparés les uns des autres par les vallées des principaux cours d'eau. Ils sont répartis de part et d'autre d'une dépression médiane.

Le domaine de plateau regroupe :

- les plateaux du nord : ils comprennent d'Est en Ouest les plateaux de Kétou, Zagnanado, Abomey, Aplahoué (Slansky, 1962). Leur altitude varie de 90 à 245 m. La bordure septentrionale de ces plateaux marque le contact avec le socle. Le sol sablo-argileux de couleur brun rouge qui recouvre ces plateaux est appelé «terre de barre». Ce sol est parfois surmonté de formations superficielles à gravillons latéritiques qui se soudent parfois en véritables cuirasses ;
- la dépression médiane (Slansky, 1962). Cette dépression forme une bande orientée WSW-ENE dont la largeur maximale est de 25 km. Elle est mieux marquée au Bénin qu'au Togo où elle tend à disparaître. C'est une zone assez basse où les altitudes restent comprises entre 20 et 60 m. Le sol de cette dépression est argileux ;
- les plateaux du sud : ils comprennent d'Est en Ouest, les plateaux de Sakété, Allada, Comé (Slansky, 1962). Ils sont limités au Nord par une pente abrupte marquant le contact avec la dépression médiane. Leur altitude est plus basse que celle des plateaux du Nord et varie de 40 à 140 m.

- les cours d'eau qui traversent le bassin sédimentaire suivant les directions Nord-Sud ou du NW-SE. Les principaux cours d'eau sont : l'Ouémé, la Sô, le Mono, le Couffo, et le Zou. Au niveau de chacun de ces cours d'eau, existe une plaine d'inondation (Slansky, 1962).

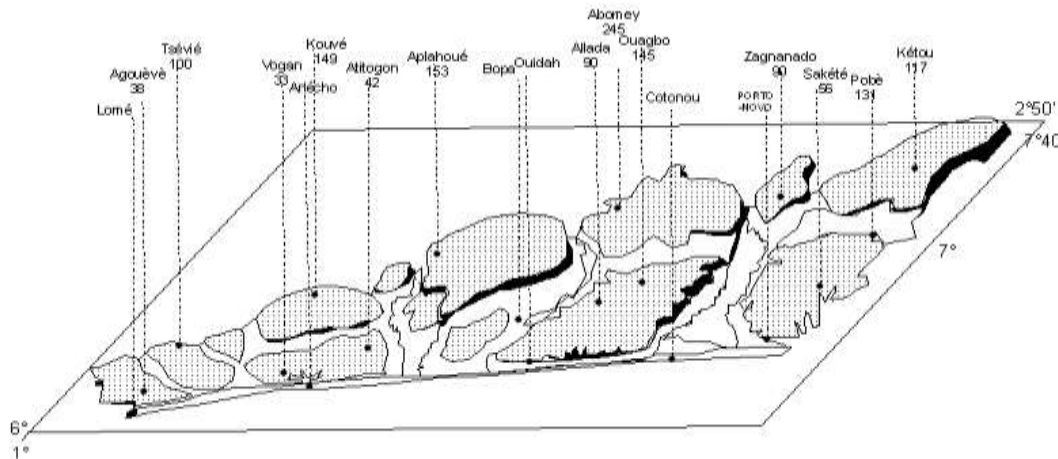


Figure 2: Schéma morphologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin et du Togo

Source : Slansky, 1962

La longueur, la forme et surtout l'inclinaison de pente des différentes formes de relief sont des paramètres qui influencent considérablement l'érosion hydrique des sols (Roose, 1994). La longueur de la pente conditionne la vitesse de ruissellement et le transport des particules croît en fonction de la longueur de la parcelle. De même, les transports solides croissent de façon exponentielle avec le pourcentage de pente (Roose, 1994).

2.2.2. Facettes pédologiques

Un peu plus de 57 % du territoire de la commune de Bonou est constitué de sols ferrallitiques. Les sols hydromorphes, c'est-à-dire engorgés d'eau de façon temporaire ou permanente, recouvrent environ 36 % de la commune. Ces sols se retrouvent principalement le long du fleuve Ouémé (Plagbeto, 2014).

Les sols ferrallitiques ont de bonnes caractéristiques physiques à savoir : profondeur, drainage, pénétrabilité, mais de faibles capacités hydriques et chimiques. Ils sont diversement utilisés pour des plantations forestières, mais

surtout pour des cultures de maïs, d'ananas, de niébé, d'arachide et dans le maraîchage.

L'utilisation de ces sols dans le bassin sud implique le recours à des épandages périodiques d'engrais chimiques à dominance potassique et une restitution aux sols des résidus de récolte.

Quant aux sols argilo-sablonneux de la plaine alluviale, assez riches du fait de l'apport en matières organiques par la crue du fleuve Ouémé, ils sont propices aux cultures de contre saison et aux cultures maraîchères.

Les sols hydromorphes ont un fort potentiel de fertilité et conviennent à un grand nombre de cultures annuelles. Dans la vallée de l'Ouémé, les principales cultures sont: le riz, le maïs, le piment, le manioc, la patate et le niébé.

Dans les zones déprimées de ces vallées, en dehors des marais permanents, la riziculture irriguée est pratiquée. Pour Youssouf et Azonhoume, (1981), les principales contraintes relevées pour la mise en valeur des sols hydromorphes sont:

- les drainages interne et externe réduits ;
- inondation temporaire et permanente ;
- texture parfois grossière en surface et discontinuité texturale défavorable ;
- taux d'argile souvent élevé, avec pour conséquence une mauvaise perméabilité ;
- mauvaise décomposition de la matière organique ;
- pH acide.

Les processus érosifs dans la commune de Bonou vont être influencés par les caractéristiques intrinsèques du sol.

La figure 3 présente les différents sols rencontrés dans la commune de Bonou.

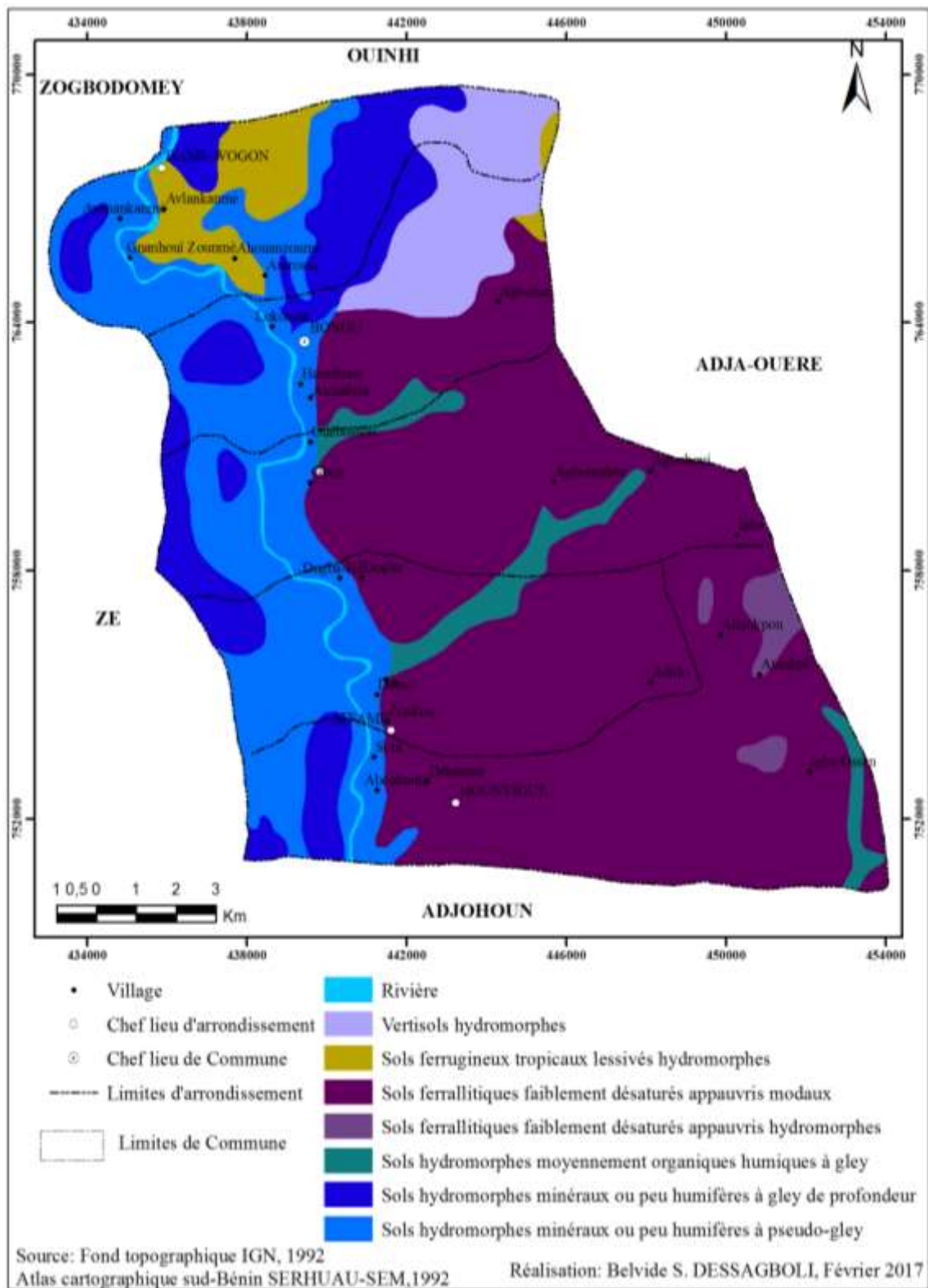


Figure 3: Facettes pédologiques de la commune de Bonou

Selon Roose *et al.* (1990), la résistance à l'érosion hydrique est plus faible pour les sols peu épais que pour les sols profonds. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés sont nettement plus fragiles que les sols ferralitiques. Les vertisols, topomorphes comme le cas des vertisols au Bénin (Youssof et Azonhoumè, 1981), sont mal drainés. Ils sont moins bien structurés et sujets à la battance.

2.2.3. Géologie

Le sud Bénin, en général, est constitué de dépôts sédimentaires d'âge turonien. Dans la commune de Bonou, se trouve successivement des formations de l'Eocène composées essentiellement de marnes, d'argiles formant à l'Ouest et à l'Est de l'Ouémé, les dépressions de la Lama et de Holli; des formations continentales post-éocènes recouvrant l'Eocène ainsi que le Crétacé et donnant à nouveau des reliefs caractéristiques des terres de barre : plateau d'Allada à l'Ouest et de Sakété à l'Est (figure 4). Il y a aussi d'épais dépôts alluvionnaires tapissant le fond de la vallée. Ce sont des formations argilo-sableuses à dominance d'argile en surface et de sable en profondeur (OBRGM, 2007).

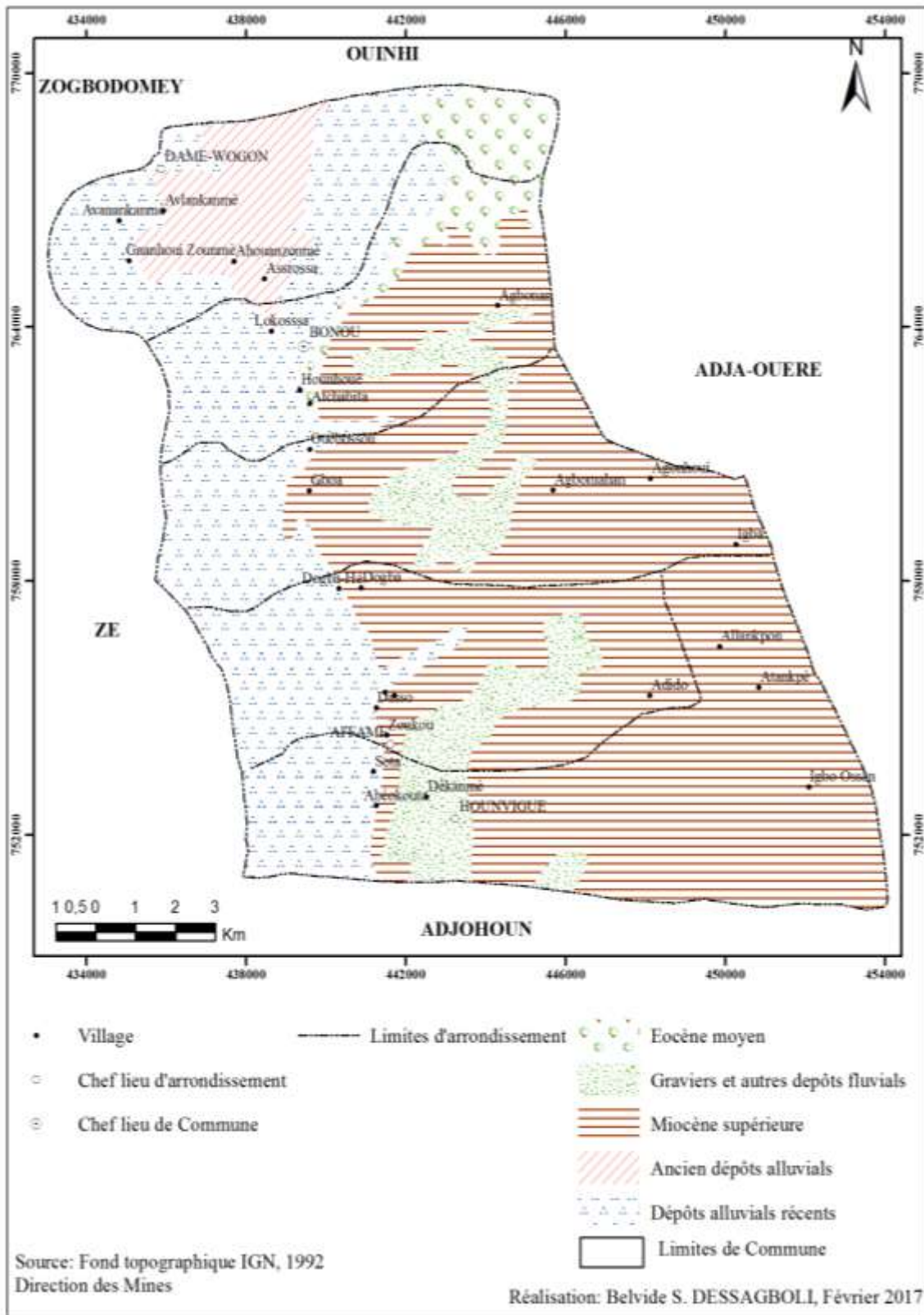


Figure 4: Aspect géologique de la commune de Bonou

2.2.4. Réseau hydrographique

Du point de vue hydrologique, la commune de Bonou est traversée du Nord au Sud par le fleuve Ouémé sur environ 40 km de long.

Le régime du fleuve Ouémé est surtout et d'abord influencé par les précipitations que reçoit son bassin versant. Ces précipitations dépendent du climat qui règne dans ce bassin. A cause de l'orientation Nord-Sud de son cours et de ses affluents, l'Ouémé connaît un régime très contrasté, marqué par d'importantes variations au cours de l'année. Son régime, de type tropical (Adam et Boko, 1993), se caractérise par une seule période de basses eaux, qui dure en général sept mois, de Décembre à Juin, et par une seule période de crue, de trois à quatre mois environ.

La crue commence habituellement vers fin Juillet et finit avant Novembre (Lalèyè *et al.*, 2004). Mais, d'une année à l'autre, les variations sont plus ou moins grandes. Le débit de l'Ouémé pendant les périodes de grandes crues peut dépasser $2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Lang et Paradis, 1977) et il déplace chaque année 5,2 milliards de m^3 d'eau. Dans la région de Adjohoun, il roule en période de crue un débit de $950 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. En période de basses eaux, ce débit est réduit à environ $10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Balarin, 1984). Les débits de l'Ouémé suivis à la station de Bonou sur la période de 1948 à 2007 montrent que les valeurs maximales journalières étaient de $108 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1983, $140 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1958 et $133 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1957 puis $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1963. Les débits caractéristiques d'étiages sont compris entre 0 et $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Pendant les crues de la Sô, les débits moyens enregistrés avoisinent $40 \text{ m}^3/\text{s}$ entre les mois d'Août et Octobre pendant que les maxima sont de $592 \text{ m}^3/\text{s}$ à Sagon, de $550 \text{ m}^3/\text{s}$ à Adjohoun, 650 à $760 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bonou et de $580 \text{ m}^3/\text{s}$ à Hêtin-Sota (Moniod, 1973).

La variation des débits pendant la crue est liée à la morphologie du lit, aux apports des affluents et à l'influence des défluent. La figure 5 présente le réseau hydrographique de la commune de Bonou.

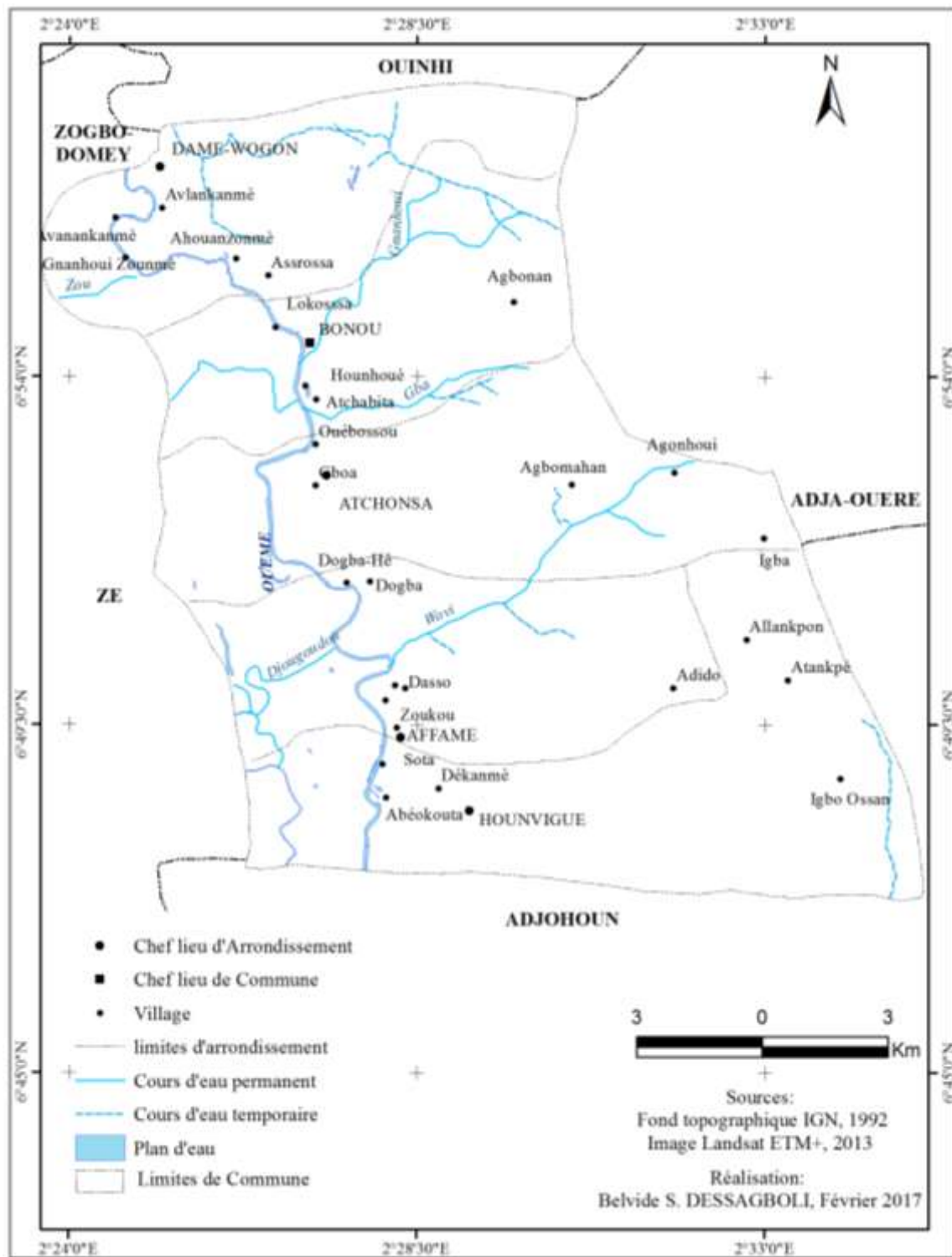


Figure 5: Réseau hydrographique de la Commune de Bonou

Le fleuve Ouémé est alimenté par cinq principaux affluents dans la Commune de Bonou. Ce sont : Gba, Djougoudou, Zou, Gnanhoui, Wovi. Chaque arrondissement est parcouru par un affluent du fleuve. Les eaux de pluies qui

tombent dans la commune en ruisselant déplacent les particules du sol jusqu'au fleuve Ouémé.

2.2.5. Précipitations

La commune de Bonou, par sa situation géographique, a un climat de type sub-équatorial caractérisé par : deux saisons de pluie, et deux saisons sèches.

Ces saisons en s'alternant, permettent deux cycles culturaux : le "*Zo*" qui correspond à la grande saison des pluies va de mi-Mars à Juillet et la petite saison pluvieuse "*Houé*" cours de mi-Septembre à fin Octobre. Quant à la grande saison sèche, elle va de Novembre à mi-Mars et la petite de Juillet à mi-Septembre (Montcho, 2009 cité par Plagbeto, 2011). La distribution des précipitations est surtout liée aux quantités reçues pendant la période de la mousson, car les précipitations sont ici très abondantes au cours de la grande saison des pluies d'Avril à Juillet. Elles représentent 50 à 60 % des abats pluviométriques annuels, dont 30 % pour le mois de Juin à lui seul. La petite saison sèche, qui dure en moyenne , de la troisième décade de Juillet à mi-Septembre représente 15 à 20 % du total annuel. La moyenne pluviométrique annuelle normale est de 1250,2 mm (figure 6). Or, selon Fournier (1969), les roches se décomposent sous l'action d'agents atmosphériques : la température et la pluie. Les pluies, celles-ci sont douées d'un pouvoir érosif : l'énergie cinétique des gouttes d'eau qui tombent confère aux pluies une capacité de détachement de particules terreuses. La pluie qui tombe dans la commune est dotée d'une énergie cinétique qui serait capable de causer le détachement des particules du sol.

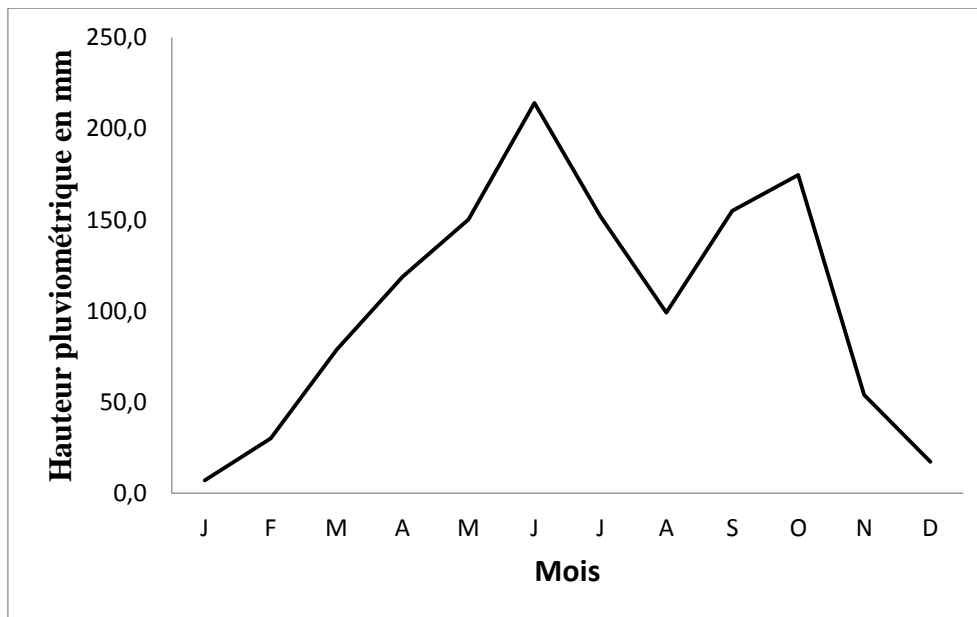


Figure 6: Régime pluviométrique moyen mensuel de 1986 à 2016

Source : ASECNA, 2016 (station pluviométrique de Bonou)

2.3. Caractéristiques socio-économiques

2.3.1. Milieu humain

Selon, les résultats définitifs du recensement général de la population et de l'habitat de 2012, la commune de Bonou compte 44349 habitants (INSAE, 2013). La population de cette commune est passée de 23138 en 2002 à 44349 en 2012 (Tableau I). La population a presque doublé en 10 ans. Or l'évolution de la population entraîne l'accroissement des besoins. Cette croissance serait susceptible de causer la surexploitation des surfaces boisées pour les usages domestiques (bois de feu, construction, etc.). De même, couplée aux pratiques agricoles elle serait à la base de la conversion des terres boisées en zone de cultures pour répondre aux besoins alimentaires croissantes.

Tableau I: Évolution de la population de la Commune de Bonou de 2002 à 2013

| Arrondissement | Affamè | Atchonsa | Bonou | Damè- Wogon | Hounviguè | Total |
|--------------------------------|--------|----------|-------|----------------|-----------|-------|
| Population 2002 | 5672 | 5046 | 6127 | 3785 | 2508 | 23138 |
| Densité (hab/km ²) | 23 | 20 | 24 | 15 | 10 | 92 |
| Population 2013 | 7733 | 8322 | 12061 | 7657 | 8576 | 44349 |
| Densité (hab/km ²) | 31 | 33 | 48 | 31 | 34 | 177 |

Source : Données INSAE 2013

2.3.2. Activités économiques

Les activités économiques de la commune de Bonou reposent essentiellement sur l'agriculture, l'élevage, l'artisanat et l'exploitation minière.

2.3.2.1. Agriculture

L'agriculture est l'activité principale dans la commune de Bonou. Il s'y pratique essentiellement la culture sur billons ou à plat. Les principales cultures sont : le maïs, le manioc, l'arachide, le palmier à huile, les cultures maraîchères et le niébé. La figure 7 présente la superficie de terre emblavée par culture de 2011-2016.

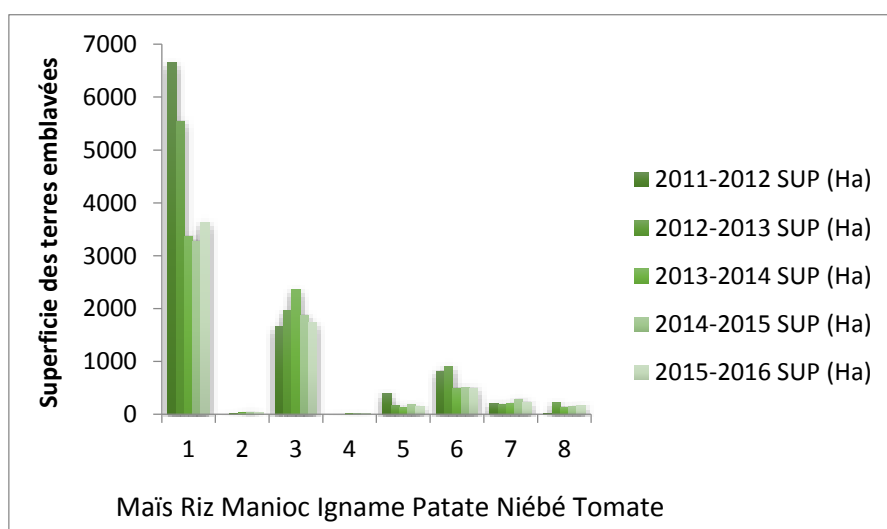


Figure 7: Superficies de terre emblavée par culture de 2011 à 2016

Source : Rapport de campagne CARDER Ouémé-plateau, 2016

Selon le rapport de campagne du CARDER, de 2011 à 2016, les superficies de terre sont toujours emblavées pour les cultures du maïs et du manioc.

2.3.2.3 Végétation

Les sols de la commune de Bonou, abritent une végétation essentiellement faite de savanes herbacées et arbustives qui régressent au profit des champs de cultures ; les îlots de forêts sacrées (gbévozoun, lozoun). Les cours d'eau sont bordés par quelques îlots de forêt galerie. La végétation de la commune de Bonou est dominée par les plantations de palmiers à huile (*Elaeis guineensis*), de teck (*Tectona grandis*) et *Acacia auriculiformis* (Akoègninou *et al.*, 2006). Selon Plagbeto, 2014, le bilan de l'occupation du sol de la commune de Bonou de 1986 à 2013 montre une progression des champs de culture et jachère ainsi que des champs et jachère sous palmier de 1986 à 2013.

Par contre, une régression de la forêt marécageuse, de la forêt claire et savane boisée, et de la forêt galerie est notée. Ces résultats montrent que dans la commune de Bonou, les forêts protectrices du sol, régressent au profit des champs et jachère. Or il est généralement admis que la végétation constitue un moyen de lutte efficace contre l'érosion hydrique (Rey *et al.*, 2004).

Elle renseigne sur le degré de protection du sol. Un sol bien couvert par la végétation ralentit l'écoulement des eaux tandis qu'un sol nu est plus exposé à l'érosion. Les photos de la planche 1 présentent l'abattage des arbres dans l'arrondissement de Bonou. La figure 8 présente la carte de l'occupation du sol issue de la photo-interprétation des images here map de 2015 et validée après vérification sur le terrain.

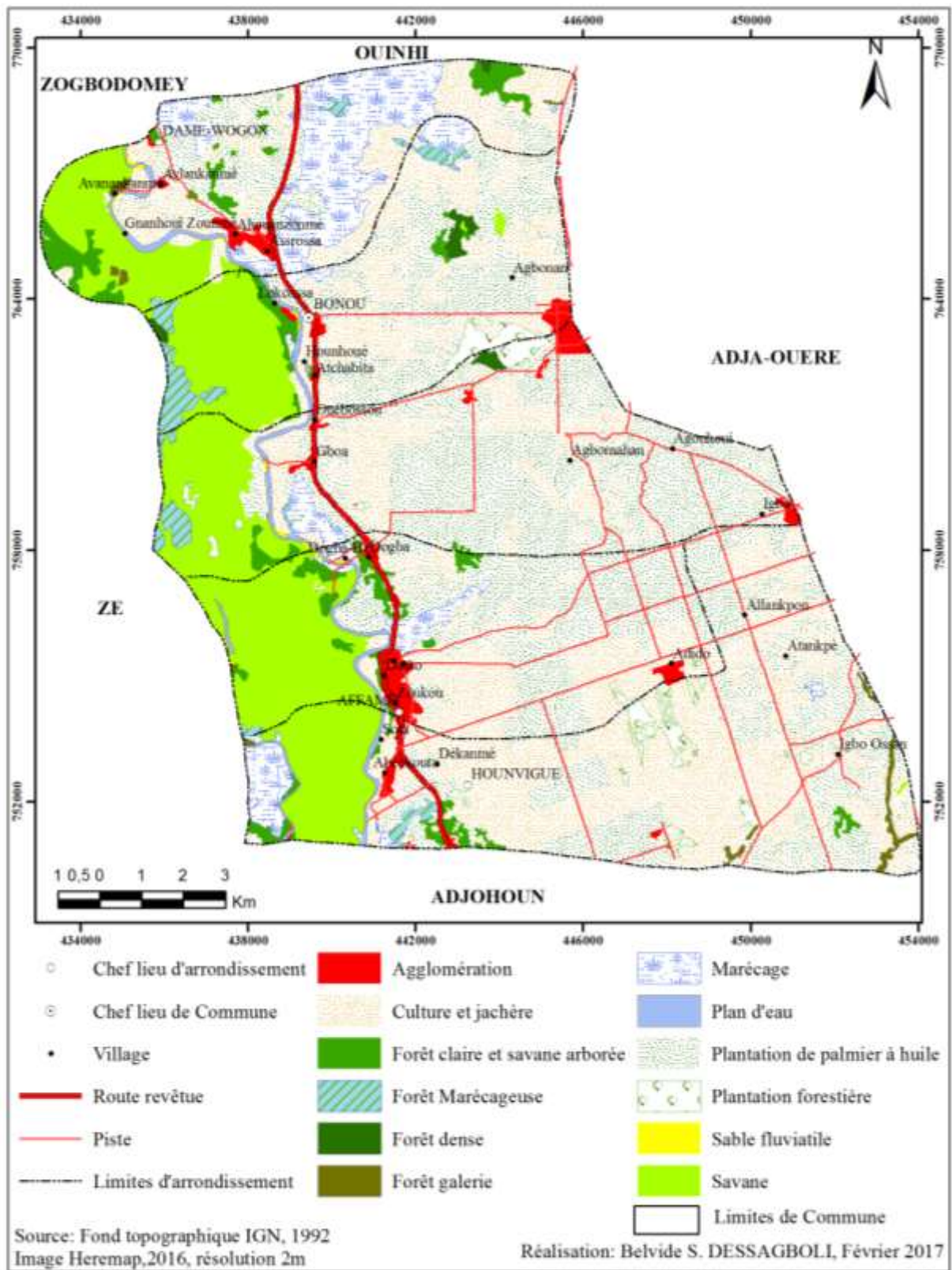


Figure 8: Carte de l'occupation du sol de la commune de Bonou

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour atteindre les objectifs fixés, la démarche adoptée est essentiellement analytique et appuyée par la cartographie.

3.1. Données et matériels

3.1.1 Données

Diverses données ont été utilisées.

Les fonds topographiques IGN au 1/50000^e à savoir :

-la carte topographique de la commune de Bonou, feuille d'Affamè NB-31-XV-3d, Dahomey au 1/50000^e ;

-la carte topographique, feuille de Porto-Novo NB-31-XV-3d, Dahomey au 1/50000^e ; sur ces différentes cartes figurent les éléments de base tels que le réseau routier, réseau hydrographique, agglomération et infrastructures, des couches de base sur lesquelles seront superposées les fonds thématiques.

-la carte pédologique de reconnaissance à 1/200000 feuille de Porto-Novo NB-31N-XIV-ed.1966-NB-31N-XV-ed.1968 dressée par Volkof. Son utilisation a permis d'avoir des informations sur les unités de sol dans la commune de Bonou.

-couple stéréoscopique, photographie aérienne de Février 2016 de résolution 0,45cm ;

- l'image Heremap 2016 résolution 2m, a été téléchargée avec le logiciel SASplanet sur la base de carte Here.com Sat. Son interprétation a permis d'établir une carte d'occupation du sol de la commune de Bonou. Les unités identifiées serviront pour évaluer la protection du sol face à l'action de l'eau de pluie.

Toutes ces informations ont été géo-référencées (projection UTM 31Nord, WGS 84) et intégrées dans un système d'information géographique (SIG).

D'autres données ont été également utilisées :





- les statistiques démographiques de l'INSAE ont permis de déterminer la taille de l'échantillon.



3.1.2 Matériels

Le travail a nécessité l'utilisation d'un micro-ordinateur Dell sur lequel sont installés les logiciels tels que :

- ArcGIS 10.2.2 utilisé pour l'interprétation et la numérisation des images. La cartographie des unités d'occupation du sol a été réalisée. Des logiciels d'analyse statistique, d'importation et de conversion des données.
- Excel a été utilisé pour la représentation graphique des statistiques extraites des résultats cartographiques, la conversion et l'importation ou l'exportation des données sous d'autres formats compatibles avec d'autres programmes informatiques tels que la conversion des données GPS en format (txt) ;
- GPX Viewer, a été utilisé, comme outil de reconnaissance terrain pour visualiser sur un smartphone les points GPX. Elle a permis d'atteindre sur le terrain les unités de l'occupation du sol identifiées sur l'image satellite ;
- SASplanet a été utilisé pour télécharger des images satellites de 2m de résolution et téléchargé à un zoom de 18m.
- -L'image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de coordonnées, du 11 au 22 février 2010, de la navette spatiale Endeavour, obtenue sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Son traitement a permis d'établir un modèle numérique de terrain (MNT) de résolution 30 m et d'établir la carte des pentes.
- Une clé d'interprétation est présentée dans le tableau II

Tableau II: Clé d'interprétation

| Id | Nm | Teinte | Couleur (homogénéité) | Saturation | Structure | Texture | Localisation et informations complémentaires | Image |
|----|---|--------------------------------------|-----------------------|---------------|--|----------------------|---|---|
| 1 | Forêt dense | Verts sombre | Homogène | Intense | Tacheté de vert clair | Grenue | En îlot et absence de piste |  |
| 2 | Forêt Claire et Savane boisée | Vert sombre à clair | Homogène | Moins saturée | Parsemé de grands arbres | Grenue | En îlot et présence de piste |  |
| 3 | Plantation forestière | Rouge vive et claire grisâtre (teck) | Hétérogène | Moins saturée | -Forme géométrique -La teinte varie en fonction de l'espèce, de l'âge et de la saison Gris tacheté rouge | Grenue parfois lisse | Présence de piste forestière Souvent rencontrées en forêt classée sous aménagement |  |
| 4 | Culture et jachère Culture et jachère sous palmier à huile | Blanc à Blanchâtre Vert foncé | Homogène à Hétérogène | Moins saturée | | Lisse à grenue | Forme géométrique Proche des infrastructures |  |

| | | | | | | | | |
|---|--------------------------|------------|------------|---------------|------------------|---------------|--------------------------------------|---|
| 5 | Habitat | Gris clair | Hétérogène | Moins saturée | Tacheté de blanc | Presque lisse | Agglomération |  |
| 6 | Surface sableuse (plage) | Jaunâtre | Homogène | Moins saturée | | Lisse | En bordure de mer et du fleuve Ouémé |  |

3.2. Méthodes

Cette partie fait état de la recherche documentaire, des travaux de terrain, du traitement des données et de l'analyse des résultats.

3.2.1. Recherche documentaire

La recherche documentaire a permis de cerner le contour du sujet, d'avoir une connaissance d'ordre général des travaux réalisés sur la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le monde et au Bénin.

Dans ce cadre, les documents et certains travaux scientifiques concernant le sujet ont été consultés au Département de la Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Master d'Intégration Régionale et Développement (MIRD). Ils ont été complétés par les ouvrages de l'Agence de Sécurité pour la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) et, sur internet avec comme assistant de recherche « Google Scholar ».

La recherche documentaire a été complétée par la préparation de deux fiches d'enquêtes de terrain. Il s'agit : de la fiche de relevés des réactions de la population face au problème d'érosion, et de la fiche d'entretien adressée à la Mairie (DST).

3.2.2. Travaux de terrain

Les travaux de terrain comprennent :

- **La phase d'exploration** où le milieu est parcouru pour une familiarisation avec le cadre d'étude.
- **Les enquêtes sur le terrain** ont été conduites au moyen de questionnaires et de guide d'entretien
- **Les techniques de collecte de données :**
 - L'enquête par questionnaire a été adressée aux chefs de ménage vivant dans les villages où la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique est moyenne et forte. Ce sont des chefs de ménages âgés au

moins de 40 ans. Ces enquêtes ont permis de recueillir des informations relatives à l'action érosive de la pluie ainsi que des stratégies d'adaptation de la population.

- L'entretien a été orienté vers les chefs de villages où la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique est moyenne et les cadre techniques de la DST.

En fonction du critère, degré de vulnérabilité moyenne et forte, les villages Avlankanmé et Ahouanzonmé situés dans l'arrondissement de Damè-Wogon ainsi que Ouébossou et Bonou situés dans l'arrondissement de Bonou ont été choisis.

- **Echantillonnage**

La taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de Schwarz (1995) qui se présente comme suit :

Equation 1 :

$$n = \frac{z^2 pq}{I^2}$$

Avec n, la taille de l'échantillon ; Z_a = niveau de confiance fixé à 1,96 pour un degré de confiance de 95 % ; P = proportion des ménages par rapport à la population totale du secteur de recherche. ($p = 3,5\%$) ; $q = 1 - p$; ($q = 96,5\%$) ; i = marge d'erreur qui est de (5 %).

$n \approx 52$. Les 52 ménages sont répartis proportionnellement à leur effectif dans chaque village par une règle de trois (tableau III).

Tableau III: Taille de l'échantillon

| Commune | Arrondissements | Villages | Effectif des ménages par village | Effectif des ménages enquêtés |
|---------|-----------------|-------------|----------------------------------|-------------------------------|
| BONOU | Damè-Wogon | Avlankanmé | 208 | 7 |
| | | Ahouanzonmé | 318 | 11 |
| | Bonou | Ouébossou | 374 | 12 |
| | | Bonou | 653 | 22 |

La sélection des chefs de ménage est basée sur la méthode aléatoire. En dehors des chefs de ménage, quatre chefs de villages et un responsable de la DST ont été entretenues. Au total 57 personnes ont été interviewées.

3.2.3. Méthode de traitement des données

3.2.3.1. Etape d'identification des facteurs :

Les facteurs de l'érosion, sont retenus à partir de la recherche documentaire basée sur les connaissances actuelles du fonctionnement érosif et de l'observation directe sur le terrain.

3.2.3.2 Etape de l'élaboration de la carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique

La méthodologie utilisée est le croisement des paramètres dans un SIG (Aké *et al.*, 2012). Les différentes étapes qui suivent ont été suivies :

- Numérisation des données et élaboration de carte thématique pour chaque facteur ;
- Attribution des indices pondérés ;
- Conversion des shapefiles (fichier de forme) en GRID
- Calcul de l'indice de vulnérabilité
- Classification et élaboration de la carte de vulnérabilité

Les facteurs sont :

L'érosivité des pluies :

Elle varie entre 951,40 à 1085 (MJ.mm/ha.h.an). La valeur la plus élevée est celle de la commune de Bonou. Avec une seule station pluviométrique, il est impossible de spatialiser l'érosivité des pluies. Celle-ci a donc été considérée comme pratiquement uniforme sur la commune de Bonou. Dans le tableau ci-après il est présenté, l'érosivité existante dans les stations des communes limitrophes de Bonou.

Tableau IV: Erosivité des pluies dans la commune de Bonou

| Station pluviométrique | Quantité de pluie (mm) | Erosivité des pluies R (MJ.mm/ha.h.an) |
|-------------------------------|-------------------------------|---|
| Adjohoun | 1111,3 | 964,1 |
| Bonou | 1251,2 | 1085,4 |
| Kétou | 1036,29 | 898,98 |
| Pobè | 1179,98 | 1023,64 |
| Zagnanando | 1096,71 | 951,40 |

Source : ASECNA, 2016

- L'érodibilité du sol : Pour le déterminer le type de sol est le facteur utilisé. La carte pédologique de reconnaissance à 1/200000, feuille de Porto-Novo dressée par Volkof a été numérisée pour disposer en fichier de forme les couches des unités de sol présentes dans la commune. Les travaux de Roose *et al.*, 1990 ; Azontondé, 1991, ont permis de classer les unités de sol. La couche des unités de sol a été convertie en raster avec l'outil de conversion polygone vers raster avec ArcGis 10.2.2 (Tableau V).

Tableau V: Valeur de K

| Type de sol | Valeur de K |
|---------------------------------------|-------------|
| Sols ferrugineux | 0,2 |
| Vertisols hydromorphes | 0,1 à 0,2 |
| Sols Hydromorphes minéraux | 0,1 à 0,2 |
| Sols minéraux ou peu humifères à gley | 0 ,15 |
| Sols ferralitiques | 0,05 |

Source : Azontondé, 1991

- Pour le facteur C,

La carte d'occupation du sol a été établie par photo-interprétation de l'image satellite Here map résolution 2 m. L'identification des unités d'occupation du sol s'est basée sur une clé d'interprétation qui a pris en compte : la radiométrie, la forme, la taille, le patron, la texture et l'ombre des objets. Par la suite, la validation de la nomenclature de certaines classes proposées a été faite sur le terrain.

Les travaux de Roose et al., 1990, Roose, 1977, Aké, et al. 2012, ont permis de reclassifier ces unités d'occupation du sol, comme présenter dans le tableau VI. La couche de l'occupation du sol a été convertie en raster avec l'outil de conversion polygone vers raster avec ArcGis 10.2.2.

Tableau VI: Valeur de C

| Unité de l'occupation du sol | C annuel moyen |
|--|----------------|
| Sols nus, zone d'habitation | 1 |
| Mosaïque de culture et jachère (Maïs) | 0,4 à 0,9 |
| Plantation de palmier à huile | 0,1 à 0,3 |
| Mosaïque de culture sous palmier (manioc, arachide, piment) | 0,2 à 0,8 |
| Forêt dense ; forêt galerie | 0,001 |
| Forêt claire et savane arborée ; forêt marécageuse ; plantation forestière | 0,01 |

Source : extrait du tableau de référence des valeurs de C de Roose (1977)

- Pour la pente, La carte des pentes générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) a été reclassée en se basant sur la classification de Roose 1977. Cette classification différencie les pentes suivantes :

Tableau VII: Classes de pente et indices attribués selon Roose, 1977

| Pentes | Indices |
|--------|---------|
| 0-5% | 1 |
| 5-15% | 2 |
| 15-35% | 3 |
| >35% | 4 |

- Le facteur P, tient compte de l'efficacité anti-érosive des pratiques de soutien. Le facteur P représente les incidences des pratiques qui réduisent la quantité et le taux des eaux de ruissellement en modifiant la configuration de l'écoulement, l'inclinaison ou la direction du ruissellement de surface et, par conséquent, réduit l'intensité de l'érosion. Plusieurs variables (pratique de soutien) sont à considérer, il s'agit : de culture suivant les courbes de niveau

(réduction de l'érosion de 10 % à 50 %), de culture en pente transversale (réduction de l'érosion jusqu'à 25 %), culture en bande alternante (réduction de l'érosion de 10 à 75 %) et l'aménagement.

Dans la commune de Bonou, les mesures de conservation ou de soutien sont presque inexistantes. En l'absence de pratique de soutien, le facteur P suppose l'unité et il est égal à 1.

Pour faciliter les calculs, il a été affecté des codes aux différentes classes. Par ordre de vulnérabilité croissante à l'érosion au sein de chaque classe de facteurs, ils sont de 1, 2 et 3 dans le cas de l'érodabilité du sol, de 1, 2 et 3 dans celui de l'inclinaison de la pente et de 1, 2, et 3 pour l'occupation des sols. Après l'addition des trois cartes dans ArcGis on obtient, trois classes de vulnérabilité: faible (indices 1 à 4), moyenne (indices 5), et forte (indices 6 à 9). Dans le tableau VIII il est mentionné la classification. La méthode utilisée est regroupée dans le diagramme méthodologique de la figure 8.

- Les questionnaires et fiches de terrain ont été dépouillés avec le logiciel sphinx. La réalisation des graphiques, le calcul des pourcentages statistiques a été fait par le même logiciel.

Tableau VIII: Classification des facteurs de vulnérabilité des terrains à l'érosion hydrique

| | Facteur d'érosion | Vulnérabilité à l'érosion hydrique | Code |
|-----------------------------|---|---|-------------|
| Typologie des sols | Sols ferralitiques | Faible | 1 |
| | Vertisols hydromorphes Sols Hydromorphes minéraux | Moyenne | 2 |
| | Sols ferrugineux | Forte | 3 |
| Pentes | 0-5% | Faible | 1 |
| | 5-15% | Moyenne | 2 |
| | >15% | forte | 3 |
| Occupation du sol | Forêt claire et savane arborée ; forêt marécageuse ; plantation forestière | Faible | 1 |
| | Forêt claire et savane arborée ; forêt marécageuse ; plantation forestière | | |
| | Plantation industrielle palmier à huile | Moyenne | 2 |
| Erosivité des pluies | Mosaïque de culture et jachère (Maïs) | Forte | 3 |
| | Mosaïque de culture sous palmier (manioc, arachide, piment) | | |
| | Sols nues, zone d'habitation | | |
| Erosivité des pluies | | | Invariant |

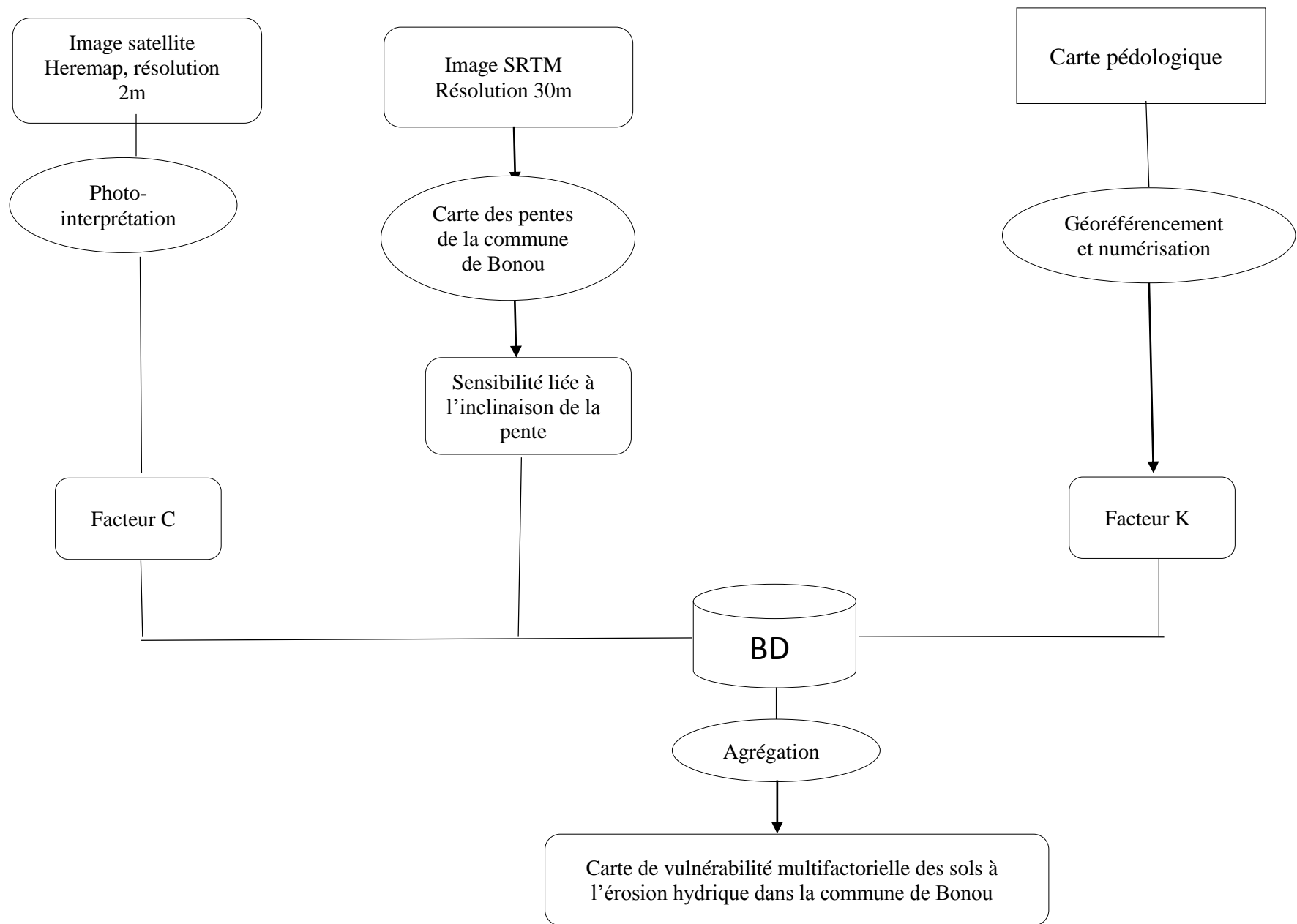


Figure 9: Diagramme méthodologique

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Spatialisation de l'érosion hydrique dans la commune de Bonou

Les facteurs de l'érosion hydrique peuvent être classés en deux groupes : il s'agit des facteurs intrinsèques au sol et des facteurs extrinsèques au sol.

4.1.1. Facteur intrinsèque au sol : érodibilité (K)

L'érodibilité est relative à la nature du sol. Sa sensibilité à l'arrachement et au transport des particules qui le composent par l'eau de pluie. En tant que matériau plus ou moins cohérent, sa résistance à deux sources d'énergie: d'une part, la battance des gouttes de pluies à la surface du sol et d'autre part, l'entaille du ruissellement entre les mottes, dans les griffes ou les rigoles. Dans la commune de Bonou, les grands ensembles d'unités pédologiques suivantes se distinguent : les ferralitiques, les hydromorphes ferrugineux et les vertisols (Youssouf et Azonhoumè, 1981). La figure 9 présente le résultat de la spatialisation du facteur érodibilité des sols de la commune de Bonou.

Comme le présente la carte du facteur K (figure 9), les sols de vulnérabilité faible à l'érosion hydrique sont ceux dont les valeurs de K sont inférieures ou égales à 0,05. Ils occupent 57% de la superficie totale de la commune ; et concernent les sols ferralitiques. Les sols à vulnérabilité moyenne concernent, les vertisols et les hydromorphes minéraux. Les sols à vulnérabilité forte concernent les sols ferrugineux ; ces sols occupent 4% de la superficie de la commune.

4.1.2 Facteurs extrinsèques

4.1.2.1. Inclinaison de la pente topographique

La figure 11 présente la carte des pentes (slope).

De l'analyse de cette figure, il ressort que les pentes relativement faibles sont celles comprises en 0-5%. Ces pentes occupent 90% de la superficie de la commune. Les pentes moyennes sont celles comprises entre 5-15%, elles

occupent 10% de l'espace communal. Les pentes fortes, supérieures à 15% sont inexistantes.

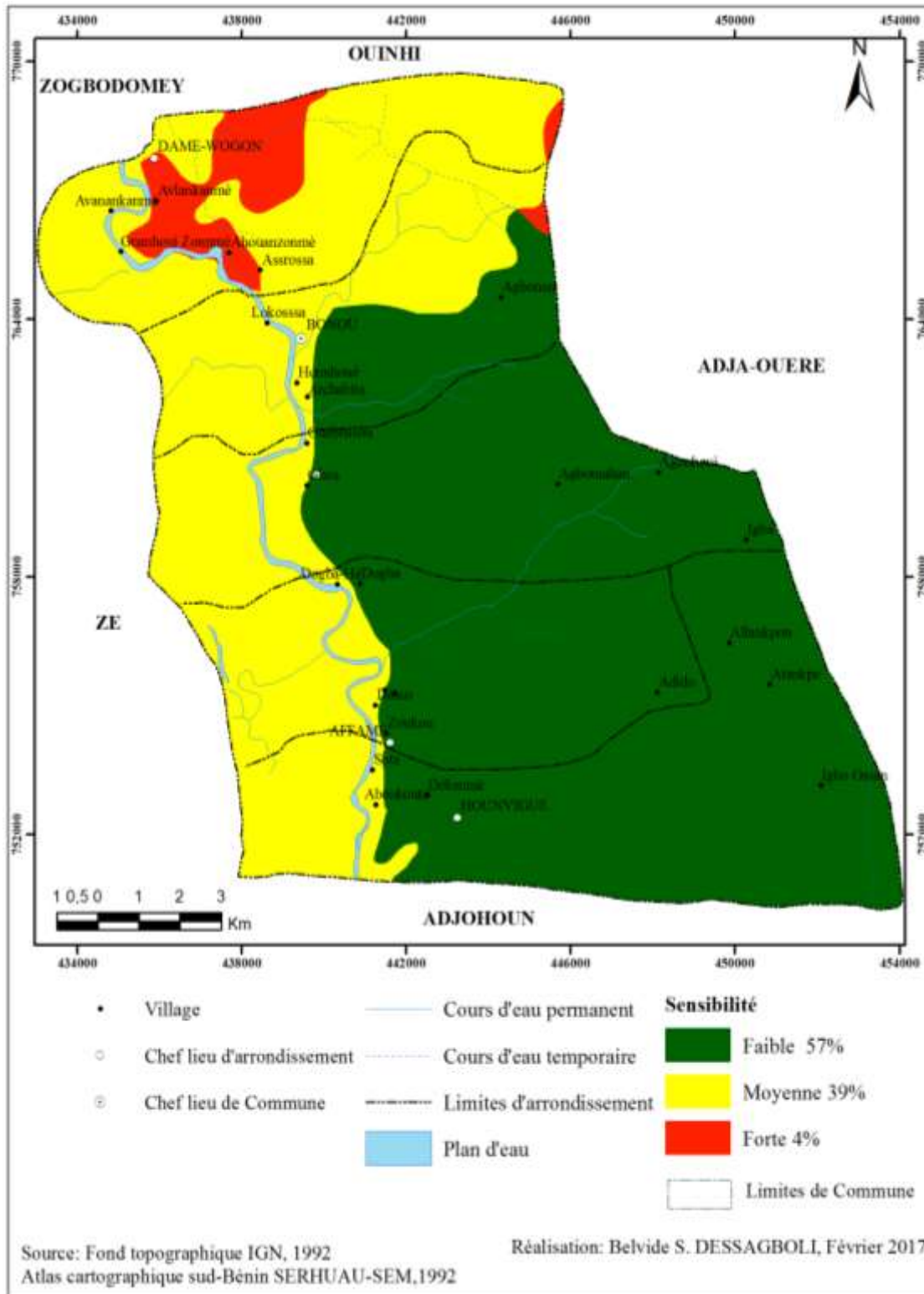


Figure 10: Facteur K

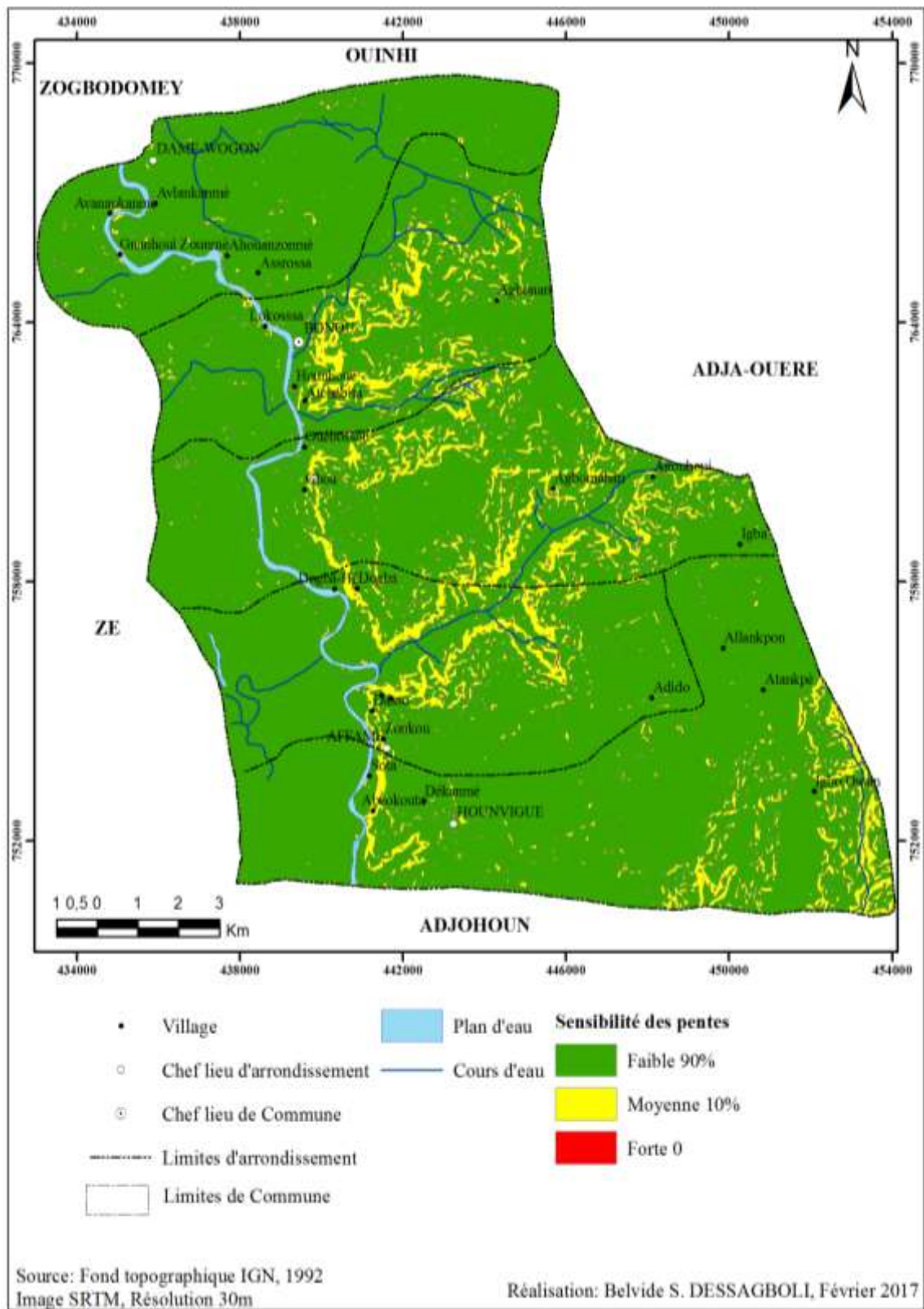


Figure 11: Carte des pentes

4.1.2.3. Occupation du sol

La carte synthèse obtenue (figure 12), montre que 86 % de la superficie de la commune présente un taux de couvert végétal très faible et 14 % semble bien protégé.

Les zones de vulnérabilité faible concernent, les forêts denses, forêts claires, forêts galeries.

Les zones de vulnérabilité très forte occupent 35 % du secteur et regroupent les mosaïques cultures-jachère, les sols nus et les agglomérations.

4.1.3. Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique

L'addition des cartes de sensibilité de l'occupation du sol, de sensibilité de la pédologie et de la pente a permis de spatialiser la vulnérabilité des sols de la commune de Bonou. Ainsi: les zones à faible vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique concernent 38 % de la superficie totale de la commune. Cette classe associe majoritairement les zones où les pentes sont très faibles, avec des valeurs inférieures à 0 et 5 %.

Les zones à moyenne vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique représentent 47 % de la superficie de la commune. Ces zones sont plus présentes dans presque tous les arrondissements, essentiellement sur des terrains avec des pentes comprises entre 5 et 15 %, et couverts par des mosaïques de cultures (plantations fruitières, maïs) jachère, plantation de palmeraies et cocoteraies.

Les zones de forte vulnérabilité représentent 15 % du territoire de la commune, sur des terrains à pentes supérieures à 15 %. Ces zones sont plus présentes dans l'arrondissement de Damè-Wogon et de Hounviguè (figure 13).

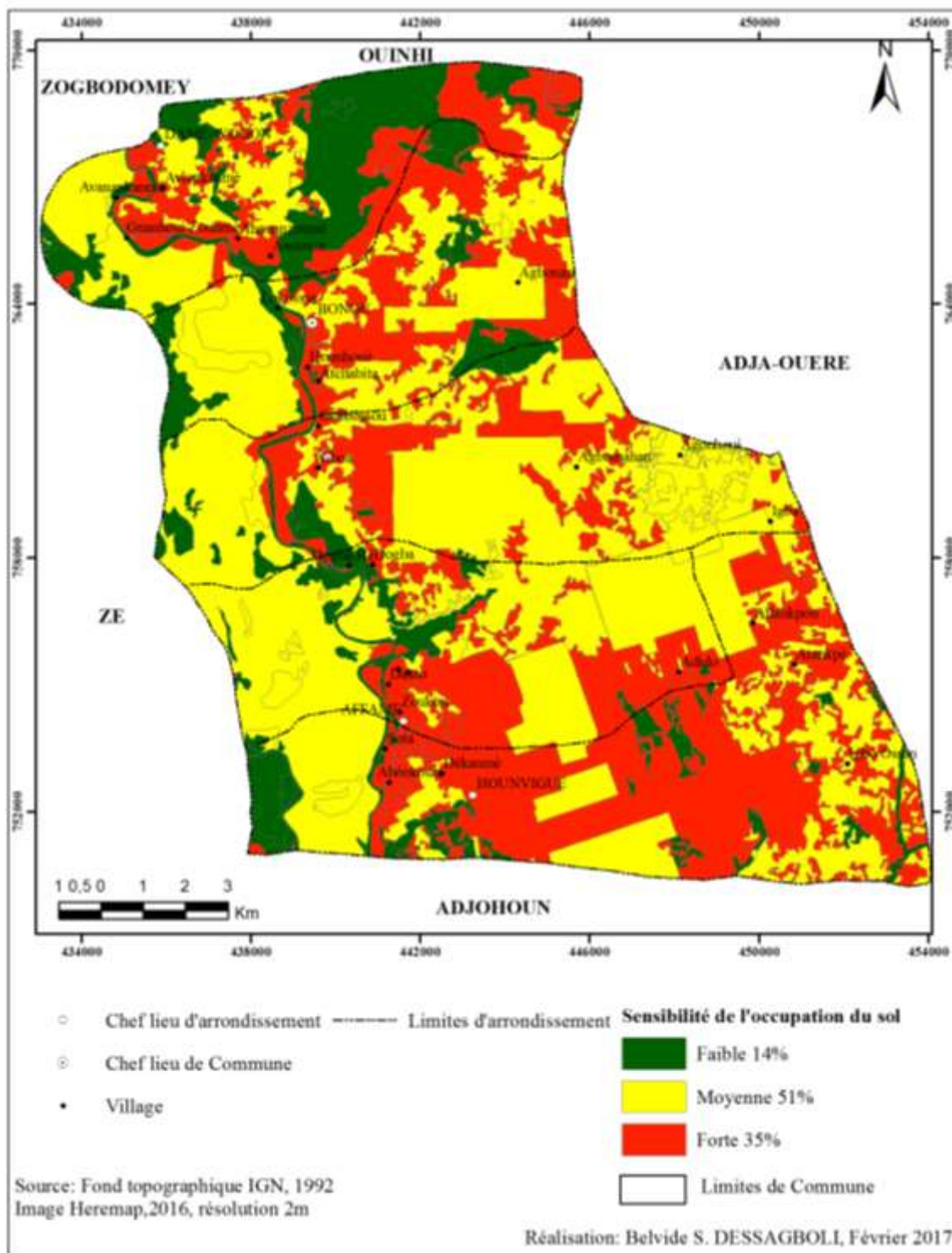


Figure 12: Facteur C

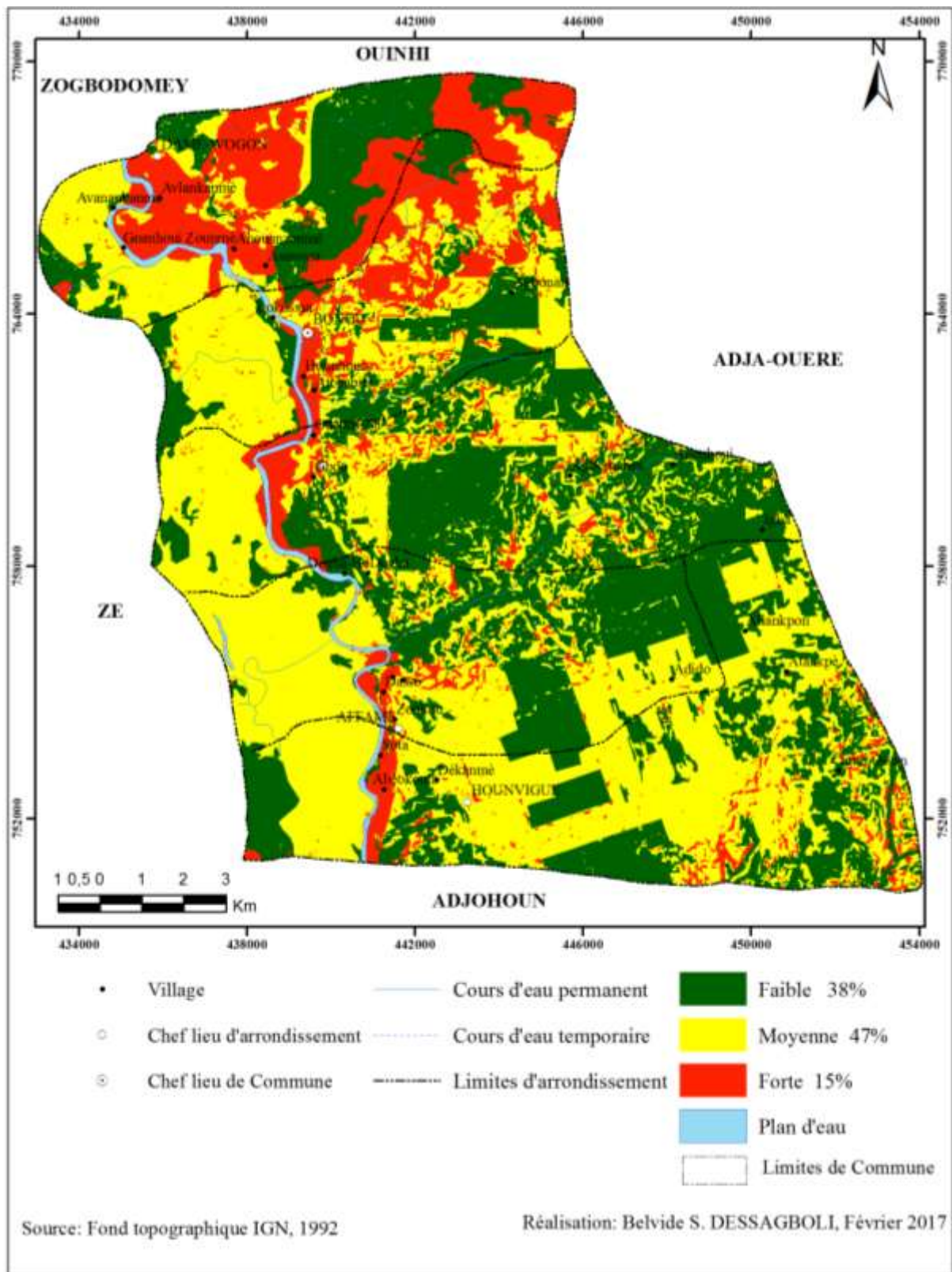


Figure 13: Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la Commune de Bonou

Les effets physiques visibles de l'érosion hydrique peuvent être remarqués en amont et en aval. En amont l'érosion hydrique dégrade le cadre de vie de la population. Au fur et à mesure que les gouttes de pluie pilonnent la terre, les particules de sol sont ramollies et emportées par le ruissellement. Le ruissellement dégrade encore davantage les zones non protégées de leur riche couche superficielle. Cette couche superficielle se transforme en eau boueuse qui se retrouve dans les évacuations, les rivières et le fleuve. Bien qu'étant moins spectaculaire, l'érosion hydrique dans la commune de Bonou, laisse des traces visibles comme les griffes, les fines rigoles sur les bords des pistes, dans les champs et plus la concentration du ruissellement est excessive plus ils s'élargissent et deviennent des ravines.

Dans la commune de Bonou, bien que la pente soit faible dans son ensemble, les rives du fleuve Ouémé sont érodées et connaissent un recul, ainsi que les maisons des habitants installés en bordure du fleuve. Plusieurs maisons situées sur la berge sont exposées à l'écroulement (photos 1, 2, 3 4, et 5). Les racines de certains arbres sont presque à nu. Les infrastructures routières sont aussi menacées et leur état actuel inquiète certains riverains. La photo 5 présente un des poteaux électriques victime de l'écoulement.





Planche 1: Photos illustrant l'activité érosive dans l'Arrondissement de Bonou



Planche 2: Photos illustrant l'activité érosive dans l'Arrondissement de Damé-Wogon

Prise de vue : DESSAGBOLI, février 2017

4.1.4. Pratiques accélératrices du phénomène de l'érosion hydrique

4.1.4.1. Expansion des terres de culture

L'analyse du bilan d'étude diachronique de l'occupation du sol de 1986 à 2013, permet de constater une diminution de superficie de la forêt marécageuse, des forêts claires et savanes boisées, de la forêt galerie, au profit des terres de cultures.

4.1.4. 2. Culture itinérante sur brûlis

La culture itinérante sur brûlis, selon les enquêtes, est la plus ancienne stratégie utilisée dans la commune de Bonou pour maintenir la productivité de la terre. Elle s'applique souvent sur de vastes surfaces. Cette technique est particulièrement utilisée comme moyen de défrichage et de fertilisation. Elle consiste à brûler la végétation et à ensemercer ensuite la parcelle ainsi défrichée. Après trois ou quatre années de culture, les sols sont épuisés et l'agriculteur est contraint de déboiser une autre zone. Cette pratique participe à l'expansion des terres de culture dans la Commune de Bonou.

4.1.4.3. Exploitation forestière

Selon les données statistiques de l'INSAE, au sein de la population de la Commune de Bonou, sur 7721 ménages, (83,7 %) utilisent le bois de chauffe, (7,4%) le charbon de bois comme moyen de cuisson (INSAE, 2013). Deux principales activités découlent de l'exploitation forestière dans la Commune, le commerce de bois (73 %) et la fabrication de charbon (27 %). La figure 16 présente les moyens de cuisson utilisés dans la commune de Bonou.

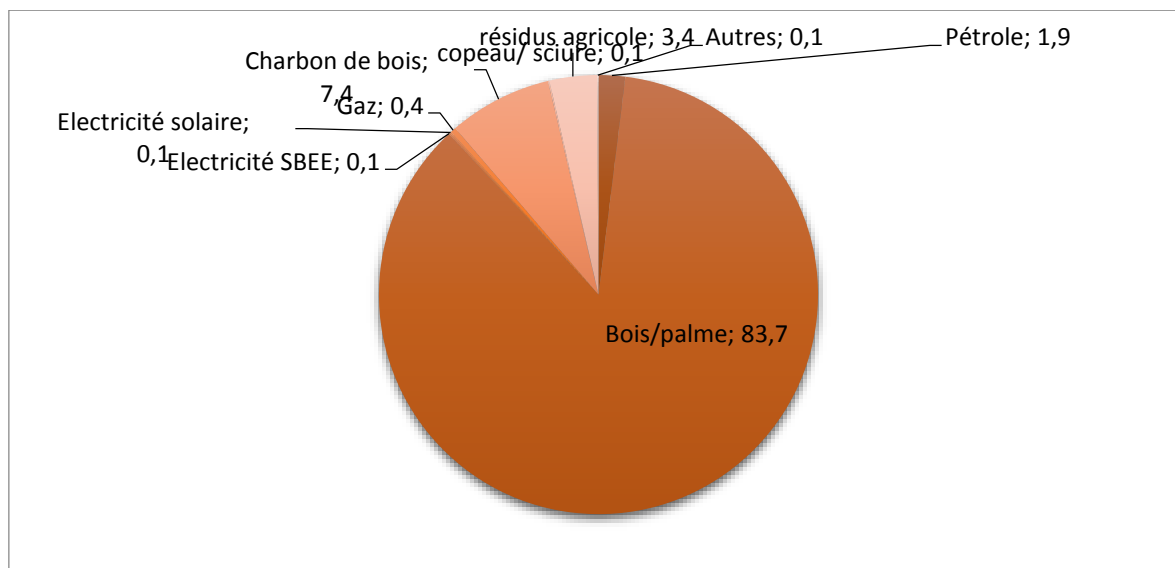


Figure 14: Moyens de cuisson utilisés dans la commune de Bonou

Source : INSAE, 2013

4.2. Stratégies d'adaptations, limites et types de protection proposées

4.2.1. Stratégies d'adaptations et leurs limites

Différents objets et espèces végétales sont utilisés pour protéger le sol de l'impact des gouttes de pluies. Ils ont pour objectif de ralentir les filets d'eau superficiels et favorise ainsi l'infiltration. Ainsi les enquêtes ont permis de constater :

- La couverture végétale est utilisée pour ralentir le décapage de la partie superficielle du sol. Cette couverture est faite de végétaux vivants ou morts, comme le présente la planche 4, le vétiver ou *Vetiver nigriflora* est utilisé par 15,3 % des ménages. Cette plante possède de profondes racines qui permettent de prévenir l'érosion des sols et de retenir la terre dans les champs.
- Les pneus, les sacs remplis de sable sont utilisés par 54,2 % des ménages pour ralentir le ruissellement. Cette technique consiste à disposer perpendiculairement au sens d'écoulement des eaux des sacs remplis de sable, des pneus (planche 3). Cette technique permet de retenir en amont la partie superficielle du sol qui est entraînée par l'eau de ruissellement.

-Les billons sont utilisés sur les terrains de faibles pentes, ils permettent d'augmenter l'infiltration de l'eau et de diminuer la vitesse de ruissellement. Ils nécessitent un entretien quotidien puisque composés uniquement de sol.

-Sacralisation de certaines forêts comme la forêt sacrée de Oro (Lozoun) située dans l'arrondissement de Atchonsa.

Les stratégies utilisées par les ménages dans la commune de Bonou pour freiner les effets de l'érosion hydrique ne proviennent pas d'une étude d'impact sur l'environnement. Selon 95,03 % des chefs de ménages, ce sont des stratégies circonstanciées. Mais ces stratégies peuvent favoriser la stagnation des eaux, le dépôt d'une grande quantité de sable en amont au dépit de l'aval.

La planche 4 présente les différentes stratégies utilisées dans la commune de Bonou pour diminuer l'effet de l'érosion hydrique.



Planche 4: Stratégies de ralentissement du ruissellement dans l'Arrondissement de Damè-Wogon



Planche 5: Stratégies pour diminuer le ruissellement dans l'Arrondissement de Bonou

Prise de vue : DESSAGBOLI, février 2017

4.2.2. Types de protection proposés

Pour réduire la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique au Bénin en général, et dans la commune de Bonou en particulier, il faudra s'interroger ou explorer d'abord la problématique de l'expansion des terres de culture. Spécifiquement il faudra :

- mener une démarche fondée sur la sensibilisation, sur le constat partagé de l'état des lieux, sur la responsabilisation, sur le dialogue et sur la construction des mesures entre agriculteurs, propriétaire terriens, exploitants forestiers, élus locaux, techniciens de protection de l'environnement.

- limiter les ruissellements : la réduction des ruissellements par les pratiques culturales repose sur le maintien d'un état de surface du sol perméable, soit par la mise en place d'un couvert sous culture ou en inter-culture, soit par la réalisation d'un travail du sol qui brise les croûtes de battance, comme les binages. Il sert à ameublir et aérer la couche superficielle du sol entre les plantes cultivées.

- Limiter les ravines : En ce qui concerne les mesures pour éviter la formation de ravines, les solutions les plus efficaces consistent à enherber toute zone de ruissellement concentré sur sol sensible à l'incision.

-mettre en place des haies sur le chemin de l'eau pour retenir les particules issues de l'érosion et transportées par les écoulements.

4.3. Discussions

Les résultats obtenus démontrent que les SIG peuvent être utilisés pour spatialiser la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. L'utilisation des SIG est pratique pour consulter et chercher les données rapidement, visualiser, contrôler, faciliter la mise à jour régulière des données. C'est ce qui confirme les travaux menés par Kheir *et al.*, en 2000 où il a été démontré que les SIG peuvent être utilisés pour estimer les zones vulnérables à l'érosion hydrique.

Dans la commune de Bonou, 86 % du territoire présente un taux de couvert végétal très faible et seulement 14 % en superficie semble bien protégé. Ce résultat confirme ainsi les travaux de Agoïnon *et al.*, 2012, Agbomahènan *et al.*, 2014 et Plagbeto, 2014 sur la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin inférieur du Zou et dans la basse vallée de l'Ouémé où se situe la commune de Bonou. Pour ces auteurs, la dynamique de l'occupation du sol dans ces secteurs résulte, fondamentalement de la pression humaine.

Les sols mis à nu à certains endroits sont fragilisés et s'érodent. La recherche documentaire, et le traitement des données a permis de comprendre que le couvert végétal et l'occupation du sol ont une grande influence sur l'érosion hydrique.

Les résultats de l'étude montre que les zones à faible vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique représentent 38 % de la superficie de Bonou. Ce sont les zones où les pentes sont très faibles avec des valeurs inférieures à 5 %, et couvertes par des mosaïques de cultures (plantations fruitières, maïs) et jachère, plantation de

palmeraies et cocoteraies. Les zones à moyenne vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique représentent 47 % de la superficie de la commune avec la présence sur ces terrains des pentes comprises entre 5 % à 15%. Ces terrains sont aussi couverts par des mosaïques de cultures (plantations fruitières, maïs) et jachère, plantation de palmeraies et cocoteraies.

Les zones de forte vulnérabilité représentent 15 % de la superficie de la commune, sur des terrains avec des pentes supérieures à 11 %.

L'impact du facteur topographique est alors relevé dans les zones où coïncide une pente moyenne à forte sur des terres nues ou des terres agricoles. Cela confirme alors une étude de Roose *et al.*, 1990 dans laquelle il a montré qu'une augmentation de 0,25 % au niveau de la pente peut engendrer une augmentation de 11 % au niveau du taux de ruissellement moyen annuel et une augmentation de 3,6 t/ha/an en pertes moyennes en sols. Il existe alors une relation positive entre le gradient de la pente et les taux d'érosion sur les terres agricoles, à végétation dégradées et nues. En dehors de la pente, l'érodibilité des sols constitue un facteur intensifiant du phénomène d'érosion.

Selon Kalhi *et al.*, 2016, la nature des sols est connue également pour avoir une grande influence sur les taux d'érosion. Cela a été le cas de la commune de Bonou où nous avons remarqué que la nature de ces sols a constitué un facteur clé dans la spatialisation de la vulnérabilité.

Bien que l'application du modèle ait donné des résultats relativement fiables, il existe des limites à cette technique.

La méthodologie utilisée dans cette étude a négligé les facteurs attribués aux pratiques humaines. Les interventions de l'homme sont difficiles à évaluer quant à leur influence sur le processus.

Ensuite, la liste des valeurs moyennes du facteur C du modèle n'est pas exhaustive.

CONCLUSION

La dégradation des sols sous l'influence de l'érosion hydrique reste toujours un problème majeur vu que l'agriculture est la première source de richesse du Bénin. Elle constitue le secteur le plus important de l'économie béninoise et procure des revenus à environ 75 % de la population active. L'identification des niveaux de vulnérabilité des sols est importante pour la mise en place des techniques de lutte, de conservation et de restauration des sols.

Les résultats de ce travail montrent l'intérêt de l'utilisation de la télédétection et des SIG pour y parvenir. En effet, la méthodologie adoptée a permis d'une part l'identification des facteurs qui influencent l'érosion (topographie, climat, état de surface du sol et pédologie) et la combinaison de ces différents facteurs pour aboutir à la cartographie des niveaux de vulnérabilité des sols et d'autre part à identifier l'impact et l'option d'adaptation par la population. Trois classes de vulnérabilité ont pu être dégagées. Les classes de vulnérabilité faible, moyenne et forte.

Les différentes analyses ont fait ressortir que le niveau de vulnérabilité d'un sol dépend de la combinaison de plusieurs facteurs.

La présente recherche peut donc constituer un outil rapide pour la planification des opérations de lutte contre l'érosion dans la commune de Bonou et dans d'autres communes. Que la cause de l'érosion soit l'eau, le vent ou le travail du sol; le sol se détache, se déplace, puis se dépose. La couche arable, fertile, vivante et riche en matière organique, est emportée ailleurs sur le terrain, où elle s'accumule avec le temps, ou hors du terrain, dans les réseaux de drainage. Il s'avère alors important de présenter la situation à la population par la sensibilisation en les encourageant à la pratique du reboisement, surtout sur les versants des pentes, qui pourrait offrir la possibilité de conservation des sols et des eaux.

Bibliographie

Agbomahènan S., Tente A., et Amoussou E., 2014 : érosion pluviale et gestion des terres dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin en Afrique de l'Ouest). Rev. Spe. Jour. Sci. FLASH, Vol 4.Num 9. 53-65p.

Agbomahènan S., Totin Vodounon. S. H., Amoussou E., et Tente A., 2016 : Agressivité des pluies et érosion des dans la vallée de l'Ouémé. Colloque en hommage au Professeur Michel BOKO. Laboratoire Pierre PAGNEY et Développement (LACEEDE). 1-9p.

Agoïnon N., Tchamie T., Tchibozo H., 2010 : Etat du sol et érosion dans le bassin versant de l'agbado (Bénin en Afrique de l'Ouest). *LaRBE*. Rev. Env. Univ., Lomé (Togo) n°006. pp 43-60.

Agoïnon N., Toffi M. D., Orekan V., Chibozo H., Oyede L., 2012 : Erodibilité pluviale et gestion des terres agricoles dans le bassin inferieur du zou (Bénin en Afrique de l'Ouest). Revue de géographie de l'Université de Ouagadougou N°01- 17 p

Aké G., Boyossoro H., Adja M., Ettien J., Effebiet K., Biémi J. : 2012 : Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Volume 6-2012 : pages 1-42.

Akoègninou A, van der Burg W, Van der Maesen LJG ., 2006 : Flore Analytique du Bénin, Backhuys Publishers, 1034p.

Azontondé H. A. : 1991 : *Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin*, Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. no. 199. 10 p.

Bani, 2006 : Monographie de la Commune de Bonou. Mission de décentralisation programme d'appui au démarrage des communes. République du Bénin. 33 p.

Brabant P., 1992 : La dégradation des terres en Afrique. Afrique contemporaine, 161.Paris: Documentation française, 103p.

Braband P., 2008 : Activités humaines et dégradation des terres indicateurs et indices. Planète terre Géoscience au service de l'humanité. 369 p

Colombani J. ; Sircoulon J. ; Moniod F. et Rodier J., 1977 : Monographie du delta de l'Ouémé. Tome 1, ORSTOM, Bureau Central Hydrologique ; Paris France.

Cros-Cayot S., 1996 : Distribution spatiale des transferts de surface à l'échelle du versant. Contexte Armoricaïn. Thèse de Docteur de l'ENSAR, 218 p. + annexes.

FAO, 2011 : La pratique de la gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie, 243 p.

FAO, 1994 : *Le défi de l'aménagement durable des forêts. Quel avenir pour les forêts mondiales*. F.A.O, Rome, 122 p.

FAO, 2008 : Rapport de la 33^{ème} session annuelle du comité de la sécurité alimentaire mondiale, 13-15 juin, Rome, 125 p.

Fournier, 1967 : L'érosion hydrique et le climat. Bulletin technique d'information, météorologie et agriculture. N°237, pp 111- 115.

Fox D., Carrega P., Morschel J., Emsellem K., 2008 : Dégradation des terres dans le monde. <http://unt.unice.fr/uoh/degsol/index.php>

GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de GIEC), Genève, Suisse, 103 p.

GIZ, 2011: Making Adaptation Count. Concepts and Options for Monitoring and Evaluation of Climate Change Adaptation (*Pourque l'adaptation compte. Concepts et solutions pour suivre et évaluer l'adaptation au changement climatique*). 96 p.

González E. ; Ruiz J., et Acosta F., 2007 : Manuel de télédétection spatial (TELECAN). Universidad de las palmas de grancanaria, 337p.

Harroy J., 1944 : Afrique, terre qui meurt. La dégradation des sols africains sous l'influence de la colonisation. Bruxelles : 557 p.

Hiepe C., 2008 : Soil degradation by water erosion in a sub-humid West-African catchment a modeling approach considering land use and climate change in Benin. Thesis, ULB, Belgium, 337 p.

Hudson N., 1958 : Runoff & soil loss from arable land in Southern Rhodesia. International Union For the Conservation of Nature, 7th Technical Session, thème1C, Athens, 12p.

INSAE., 2013 : Résultats Définitifs du RGPH4, Décembre 2013

Kheir R., Girar M-C., Shaban A., Khawlie M., Faour G., et Darwich T., 2000 : Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban. Télédétection, 2001, Vol. 2, n° 2, p. 79-90.

Lang J. et Paradis G., 1977 : Un exemple d'environnement sédimentaire bio-détritique non carboné marin et continental, holocène, en climat intertropical (ex. Dahomey). Paris. *Rév. Géogr. Phys. Géol. Dyn.* 19 (3) : 295-312.

Lalèyè P., Chikou A., Ezin A., Philipart J-C. et Welcomme R. L., 2004: Fish and fisheries of the Oueme delta, Benin (West Africa). In : Technical Proceeding of the second International Symposium on the management of large Rivers for Fisheries. Cambonia. 20p.

Moniod F., 1973 : Régime hydrologique de l'Ouémé (Dahomey). *Cah. ORSTOM. Sér. Hydrolol.* Vol. X, n2. pp171-183.

NEPAD, 2013 : Les agricultures africaines, transformations et perspectives, 72 p.

NEPAD, 2014 : Les agricultures africaines, transformations et perspectives. 76p .

Nord G., et Esteves M., 2007 : Un modèle d'érosion hydrique à base physique à l'échelle de la parcelle. *Études de Géographie Physique*, n° XXXIV, 2007. Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement (LTHE), Bâtiment 12, Avenue de la Terrasse, Domaine du CNRS, 91198 GIF-SUR-YVETTE cedex 09. 12p.

Oldeman L., Hakkeling R., et Sombroek W.G., 1991: World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note (Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)), Wageningen and Nairobi: International Soil Reference and Information Centre and United Nations Environment Programme. 41 p.

Ollierou R. et Quantin B., 2004 : Vulnérabilité une notion d'avenir. Ecole nationale supérieures des mines, Saint Etienne. 55 p

Orékan O. A. V., 2000 : Impacts de l'exploitation des bas-fonds sur la santé des populations : Cas des sous-préfectures de Dassa-Zounmè et de Glazoué dans le département des Collines au Bénin. Mémoire de DEA gestion de l'environnement, FLASH/UAC, 79 p.

Plagbeto H., 2011 : Potentialités en bas-fonds et perspectives d'aménagement en milieu sous mutation : cas de la commune de Bonou. Mémoire de maîtrise. DGAT/FLASH/UAC. 97 p.

Plagbeto H., 2014 : Système d'information géographique (SIG) et télédétection dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin inférieur de l'Ouémé à Bonou. Mémoire du DEA. UAC. 81 p

Poidevin D., 1999 : extrait de «La carte : moyen d'action. In Espace, population, société. Paris, Ellipses, 200 p» 96 p.

Parry M.L. ; Canziani, O.F. ; Palutikof J.P. ; van der Linden P.J. and Hanson C.E. (eds.) 2007: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts.

Pimentel D., 1993: World Soil Erosion and Conservation, Cambridge, University Press, Cambridge, 1993. 27-62 p.

Rey F., Ballais J-L., Marre A., et Rovera G., 2004 : Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. Comptes Rendus Géoscience, Elsevier Masson, 2004, 336 (11), pp. 991-998.

Roose E., 1976 : Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique tropicale. Etudes sur petites parcelles expérimentales. Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn. I., 4 : 365-374 p.

Roose E., 1977 : Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et Documents, n° 78. Paris : Orstom éditions. 107 p.

Roose E., 1984 : Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical : conséquences pour les méthodes antiérosives. Machinisme et Agriculture Tropicale, vol. 87, p. 4-18.

Roose E. et Sarrailh J-M., 1990: Erodibilité de quelques sols tropicaux Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cah. ORSTOM, sér. Pedol., vol. XXV, no I-2 24 p.

Roose E., 1994 : Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (CGES). Bulletin Pédologique N° 70. FAO. Rome. 240 p.

Rysted B., 2014 : Cartographie, CFC, N221. 9 p

Sambo, 2013 : Perceptions locales et pratiques d'adaptation au changement climatique dans la gestion rationnelle des ressources en eau du Lac Tchad Université de Maroua (Cameroun), Research in climate change, Geo-Eco-Trop., 293-302 p

Soudani, 2005 : Introduction général à la télédétection. Faculté des sciences d'Orsay, Université Paris-Sud XI, Bat. 362. 26 p.

Slansky M., 1962 : Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. Mém. N°11 du B.R.G.M. 368 p.

UNEP, 2015 : L'économie de la dégradation des terres en Afrique: les bénéfices de l'action l'emportent sur ses frais. 160 p.

Unger W., 1989 : Conservation des sols et des eaux : Façon culturales et appropriées, Fao, Rome, 272 p

Wischmeier W. H, et Smith D.D., 1978: *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA Agricultural Research Service Handbook 537, U.S. Department of Agriculture Washington D.C., 58 p.

Youssouf S. et Azonhoumè A., 1981 : Les sols béninois: classification dans la Base de référence mondiale. Centre national d'agropédologie, CENAP. Quatorzième réunion du Sous-Comité ouest et centre africain de corrélation des sols. 22 p.

Zaher H., 2010 : Conservation des sols et de l'eau. Ecole nationale forestière d'ingénieurs. Département : Sol Eau Biodiversité. 114 p

Sites Internet consultés.

<http://www.chambre-agriculture-27.fr/toutes-les-actualites/detailactualite/actualites/connaissiez-vous-la-definition-juridique-de-lactivite-agricole/>

[www.academia.edu/.../Chapitre 2 Cadre général d'étude le delta de l'Ouémé](http://www.academia.edu/.../Chapitre_2_Cadre_général_détude_le_delta_de_lOuémé)

Glossaire des SIG www.emse.fr

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1: Situation géographique et découpage administratif de la Commune de Bonou | 19 |
| Figure 2: Schéma morphologique du bassin sédimentaire côtier du Bénin et du Togo | 21 |
| Figure 3: Facettes pédologiques de la Commune de Bonou | 23 |
| Figure 4: Aspect géologique de la Commune de Bonou | 25 |
| Figure 5: Réseau hydrographique de la Commune de Bonou | 27 |
| Figure 6: Régime pluviométrique moyen mensuel de 1986 à 2016 | 29 |
| Figure 7: Superficies de terre emblavée par culture de 2011 à 2016 | 30 |
| Figure 8: Carte de l'occupation du sol de la commune de Bonou | 32 |
| Figure 9: Diagramme méthodologique | 45 |
| Figure 10: Facteur K | 47 |
| Figure 11: Carte des pentes | 48 |
| Figure 12: Facteur C | 50 |
| Figure 13: Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans la Commune de Bonou .. | 51 |
| Figure 14: Moyens de cuisson utilisés dans la commune de Bonou | 55 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau I: Évolution de la population de la Commune de Bonou de 2002 à 2013 | 30 |
| Tableau II: Clé d'interprétation | 35 |
| Tableau III: Taille de l'échantillon | 39 |
| Tableau IV: Erosivité des pluies dans la Commune de Bonou | 40 |
| Tableau V: Valeur de K | 41 |
| Tableau VI: Valeur de C | 42 |
| Tableau VII: Classes de pente et indices attribués selon Roose, 1977 | 42 |
| Tableau VIII: Classification des facteurs de vulnérabilité des terrains à l'érosion hydrique ... | 44 |

LISTE DES PLANCHES

| | |
|---|------------------------------------|
| Planche 2: Photos illustrant l'activité érosive dans l'Arrondissement de Bonou | Erreur ! Signet non défini. |
| Planche 3: Photos illustrant l'activité érosive dans l'Arrondissement de Damé-Wogon | 53 |
| Planche 4: Planche 4: Stratégies pour diminuer le ruissellement dans l'Arrondissement de Damé-Wogon | Erreur ! Signet non défini. |
| Planche 5: Stratégies pour diminuer le ruissellement dans l'Arrondissement de Bonou | 57 |

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche d'entretien adressée au chef de village et au DST

◇ Chef de village

Ce questionnaire vous est adressé pour recueillir des informations sur l'action de l'érosion hydrique dans votre Village :

Nom et Prénoms :

Arrondissement : **Village :**

- 1.1- Comment se manifeste l'érosion hydrique dans votre village ?
- 1.2- Quelle est selon vous la part de responsabilité de l'homme sur le processus naturel de l'érosion hydrique dans votre village ?
- 1.3- Dans votre village quelles sont les endroits les plus exposés et pourquoi sont-elles plus exposés?
- 1.4- Que fait la population face à l'érosion hydrique dans votre village ? Ces stratégies utilisées, selon vous sont-elles efficaces ?

◇ DST

Ce questionnaire vous est adressé pour recueillir des informations sur l'action de l'érosion hydrique dans la commune de Bonou spécifiquement dans l'Arrondissement de Damè-Wogon et de Bonou :

- 1.1- Comment se manifeste l'érosion hydrique dans la commune ?
- 1.2- Quelle est selon vous la part de responsabilité de l'homme sur le processus naturel de l'érosion hydrique?
- 1.3- Quelles sont les endroits les plus exposés et pourquoi sont-elles plus exposés?
- 1.4- Que fait la population face à l'érosion hydrique? Ces stratégies utilisées, selon vous sont-elles efficaces ?
- 1.5- La DST de la mairie a-t-elle l'habitude de reprofiler les voies ?. Quel est le coût de ces aménagements effectués sur les voies ?

Annexe 2 : Questionnaire adressé aux chefs de ménage des Arrondissements de Damè-wogon et de Bonou

Nom et Prénoms de l'enquête :

Arrondissement : **Village :**

- 2.1- Comment se manifeste l'érosion hydrique dans votre village ?

2.2- Quelle est selon vous la part de responsabilité de l'homme sur le processus naturel de l'érosion hydrique dans votre village ?

2.3- Dans votre village quelles sont les endroits les plus exposés et pourquoi sont-elles plus exposés?

2.4- Que fait la population face à l'érosion hydrique dans votre village ? Ces stratégies utilisées, selon vous sont-elles efficaces ?

2.5- Comment l'érosion hydrique impacte t'elle votre cadre de vie?

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| Dédicaces | 2 |
| Sigles et acronymes | 3 |
| Remerciements | 4 |
| Résumé | 5 |
| Abstract | 5 |
| Introduction | 6 |
| CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE | 8 |
| 1.1. Cadre théorique | 8 |
| 1.1.1 Problématique | 8 |
| 1.1.2 Hypothèses de recherche | 10 |
| 1.1.3 Objectifs d'étude..... | 10 |
| 1.1.4 Revue de littérature..... | 11 |
| CHAPITRE II : FACTEURS FAVORABLES AU PROCESSUS D'EROSION HYDRIQUE DANS LA COMMUNE DE BONOU | 18 |
| 2.1. Cadre d'étude | 18 |
| 2.2. Caractéristiques physiques | 20 |
| 2.2.1. Aspects topographiques et géomorphologiques | 20 |
| 2.2.2. Facettes pédologiques | 21 |
| 2.2.3. Géologie | 24 |
| 2.2.4. Réseau hydrographique | 26 |
| 2.2.5. Précipitations | 28 |
| 2.3. Caractéristiques socio-économiques | 29 |
| 2.3.1. Milieu humain | 29 |
| 2.3.2. Activités économiques | 30 |
| CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES | 33 |
| 3.1. Données et matériels | 33 |
| 3.1.1 Données | 33 |
| 3.1.2 Matériels..... | 34 |
| 3.2. Méthodes | 37 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1. Recherche documentaire | 37 |
| 3.2.2. Travaux de terrain | 37 |
| 3.2.3. Méthode de traitement des données | 39 |
| CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS..... | 46 |
| 4.1. Spatialisation de l'érosion hydrique dans la commune de Bonou | 46 |
| 4.1.1. Facteur intrinsèque au sol : érodibilité (K)..... | 46 |
| 4.1.2 Facteurs extrinsèques..... | 46 |
| 4.1.3. Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique..... | 49 |
| 4.1.4. Pratiques accélérateur du phénomène de l'érosion hydrique | 54 |
| 4.2. Stratégies d'adaptations, limites et types de protection proposées | 55 |
| 4.2.1. Stratégies d'adaptations et leurs limites | 55 |
| 4.2.2. Types de protection proposés | 57 |
| 4.3. Discussions..... | 58 |
| CONCLUSION | 60 |
| Bibliographie..... | 61 |
| LISTE DES FIGURES | 66 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 66 |
| LISTE DES PLANCHES | 66 |
| ANNEXES | 67 |
| TABLE DES MATIERES | 70 |