Université d'Abomey-Calavi

FACULTE DES LETTRES, ARTS ET SCIENCES HUMAINES (FLASH)

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUE (FAST)

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire ''Espaces, Cultures et Développement'' (EDP)

Chaire Unesco « Sciences, Technologie et Environnement » (CUSTE)

Thèse de Doctorat

Présentée par :

Saturnin AGBOMAHENAN

Pour l'obtention de grade de Docteur de l'Université d'Abomey-Calavi

Filière : Géographie et Gestion de l'Environnement

Spécialité : DYNAMIQUE DES ECOSYSTEMES ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

N° d'enregistrement : 417/ EDP/FLASH/UAC

EROSION PLUVIALE ET DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION ET L'UTILISATION DES TERRES DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME

Directeur de thèse :

Dr. Agossou Brice Hugues TENTE
Maître de Conférences de Géographie, Université d'Abomey-Calavi

Soutenu publiquement le Samedi 30 Juillet 2016 devant le jury composé de :

Président	**M.Michel BOKO**	Professeur titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Raporteur	**M. Agossou Brice Hugues TENTE**	Professeur titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Examinateurs		
	M. Adoté Blim BLIVI	Professeur titulaire, Université de Lomé (Togo)
	M. Thiou Tanzidani K. TCHAMIE	Professeur titulaire, Université de Lomé (Togo)
	M. Cossi Jean HOUNDAGBA	Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
	M. Pierre Tanga ZOUNGRANA	Professeur Titulaire, Université de Ouagadougou, (Burkina-Faso)

Dédicace

A
Amoussou François AGBOMAHENAN (In memoriam) et Kponon ADJOHOU

et

Bidossessi Youssirath et Dètondji Channel
pour les nombreux sacrifices

Sommaire

Dédicace 2
Sommaire 3
Sigles et Acronymes 4
Avant-propos 6
Résumé 8
Abstract 9
INTRODUCTION GENERALE 10
PREMIERE PARTIE :CADRE THEORIQUE, DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 13
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE 14
1.1. Revue critique de la littérature 14
1.2. Problématique 20
1.2.1. Justification du sujet 20
1.3. Définition des concepts 24
CHAPITRE II : DONNEES ET METHODES D'ETUDE 35
2-1. Outils et données 35
2.2. Méthode de collecte des données 42
2.3. Traitement des données et modèle d'analyse des résultats 46
CHAPITRE III :CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 74
3.1. Situation géographique et cadre physique de la basse vallée de l'Ouémé 74
3.2. Populations et activités socioéconomiques amplificateurs de l'érosion 88
Conclusion partielle 100
DEUXIEME PARTIE :EROSION, DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET STRATEGIES ANTI-EROSIVES 101
CHAPITRE IV :PROCESSUS EROSIFS DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 102
4.1. Déterminants physiques de l'érosion pluviale dans la basse vallée de l'Ouémé 102
4.2. Facteurs d'érodibilité des unités morphologiques du milieu 120
4.3. Évolution des états de surface et son influence sur la basse vallée de l'Ouémé 123
CHAPITRE V :DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 146
5.1. Analyse des flux sédimentaires dans la basse vallée de l'Ouémé 146
5.2. Répartitition des particules dans la basse vallée de l'Ouémé 160
5.3. Milieux de concentration de ruissellement 167
CHAPITRE VI : STRATEGIES ANTI-EROSIVES DANS LA BASSE VALLEE 173
6.1. Stratégies de lutte contre l'érosion 173
6.2. Proposition de mesures correctives 181
6.3. Modèle de Réhabilitation des formations végétales et de lutte contre l'érosion pluviale 188
6-4. Discussion des résultats 194
Conclusion partielle 204
CONCLUSION GENERALE 205
BIBLIOGRAPHIE 210
Annexes 236
Table des matières 245

Sigles et Acronymes

ABE	:	Agence Béninoise pour l'Environnement
AFNOR	:	Association Française de Normalisation
AIC	:	Association Internationale de Climatologie
ASECNA	:	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
AUF	:	Agence Universitaire pour la Francophonie
BVO	:	Basse Vallée de l'Ouémé
CARDER	:	Centre Action Régional pour le Développement Rural
CBF	:	Consortium Bas-Fonds
CCNUCC	:	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CEC	:	Capacité d'Echange Cationique
CENATEL	:	Centre National de Télédétection et de cartographie Environnementale
CeRPA	:	Centre Régional pour la Promotion Agricole
CGILE	:	Centre de Gestion Intégrée du Littoral et de l'Environnement
CIFRED	:	Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable
CLCAM	:	Caisse Locale de Crédit Agricole et Mutuel
CNAB	:	Chambre Nationale d'Agriculture du Bénin
CREP	:	Centre de Ressources Educatives et Pédagogiques
DEA	:	Diplôme d'Etudes Approfondies
DGAT	;	Département de Géographie et Aménagement du Territoire
DG-Eau	:	Direction Générale de l'Eau
DNM	:	Direction Nationale de la Météorologie
EDP	:	Ecole Doctorale Pluridisciplinaire
ETP	:	Evapotranspiration Potentielle
ETR	:	Estimation de l'Evaporation Réelle
FAO	:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FAST	:	Faculté des Sciences et Techniques
FLASH	:	Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines
FUPRO	:	Fédération de l'Union des Producteurs
GIEC	:	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
GPS	:	Global Positionning System
GRAPAD	:	Groupe de Recherche et d'Action pour la Promotion de l'Agriculture et du Développement
If	:	Indice de Forme
IGN	:	Institut Géographique National
IMPETUS	:	"Integratives Management projekt für einen effizienten und tragfähigen Umgang mit SüBwasser in Westafrika"traduit par "Approches Intégrées pour une Gestion Efficiente des resources Hydriques Limitées en Afrique de l'Ouest"
INRAB	:	Institut National de Recherches Agricoles du Bénin
INSAE	:	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
LABEE	:	Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale

LACEEDE	:	Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement
LaRBE	:	Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales
LSSEE	:	Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement
MAEP	:	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MARP	:	Méthode Active de Recherches Participatives
MEPN	:	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
MES	:	Matière en Suspension
MNT	:	Modèle Numérique Terrain
OBEMINES	:	Office Béninois des Mines
OBRGM	:	Office Béninois de Recherches Géologique et Minière
ONG	:	Organisation Non Gouvernementale
ONU	:	Organisation des Nations Unies
OPA	:	Organisations des Producteurs Agricoles
ORSTOM	:	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer
PADPPA	:	Programme d'Appui au Développement Participatif de la Pêche Artisanale
PADSA	:	Projet d'Appui au Développement du Secteur Agricole
PDRT	:	Projet de Développement des Racines et Tubercules
PEIR	:	Pression-Etat-Impact-Réponse
PFR	:	Plan Foncier Rural
PNOPPA	:	Plate forme Nationale des Organisations Professionnelles et Producteurs Agricoles
POTEMR	:	Plan d'Occupation du sol en Milieu Rural
PVD	:	Pays en Voie de Développement
RDR	:	Responsable du Développement Rural
RGPH	:	Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SCDA	:	Secteur Communal pour le Développement Agricole
SCDA	:	Secteur Communal pour le Développement Agricole
SERHAU	:	Société d'Etude Régionale d'Habitat et d'Aménagement Urbain
SIEC	:	Sensibilisation, Information, Education et Communication
SRTM	:	Shuttle Radar Topography Mission
SWAT	:	Soil and Water Assessment Tool défini en français comme outil d'évaluation des terres et de l'eau
UAC	:	Université d'Abomey-Calavi

Avant-propos

Notre étude porte sur la caractérisation de l'érosion dans la vallée de l'Ouémé. Selon Saïdou *et al.* (2007), les conséquences de la dégradation de l'environnement liées aux activités anthropiques, suscitent une prise de conscience de plus en plus croissante même chez les plus sceptiques de notre planète. Dans cette dynamique, le Bénin s'est associé à la réflexion au niveau mondial, a signé et ratifié plusieurs accords et conventions sur la question relative à la protection de l'environnement. Pour contribuer à une meilleure connaissance de ces paramètres à l'échelle du pays et plus précisément à l'échelle des Communes d'Adjohoun, des Aguégués, de Bonou et de Dangbo, l'étude sur le thème « **Erosion hydrique et dynamique des états de surface dans la basse vallée de l'Ouémé** » est effectuée.

Une partie des travaux de terrain de cette thèse a bénéficié du soutien financier de l'Agence Universitaire pour la Francophonie à travers le projet intitulé «*Variabilité climatique et dynamique des fonctions / services des hydro-écorégions du bassin de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest)*».

L'aboutissement de cette thèse est le fruit d'une collaboration scientifique et technique impliquant des personnes de diverses compétences à qui nous exprimons nos remerciements.

Nous tenons, en premier lieu, à exprimer toute notre reconnaissance à Monsieur Agossou Brice Hugues TENTE qui a accepté de diriger cette thèse dont il a amélioré la qualité par ses conseils et suggestions. Il nous a permis de trouver les moyens et l'environnement indispensables à nos recherches. Nous avons pu bénéficier également de ses connaissances sur le Bénin, de son analyse critique, de sa riche expérience, de sa rigueur scientifique, de son soutien et de son optimisme infaillible, qui ont été pour nous une source d'inspiration. Qu'il reçoive nos sincères remerciements.

Nous sommes particulièrement sensibles à l'honneur que nous a fait le Professeur Michel BOKO pour avoir accepté notre inscription à l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire (EDP) de la FLASH, et notre admission au Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE) de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin). Cher Professeur, nous témoignons de vos qualités de modestie, d'accessibilité et de clairvoyance des opinions par lesquels vous promouvez la génération montante dans le domaine de la recherche.

Que Messieurs les Professeurs Adoté Blim BLIVI (Centre de Gestion Intégrée du Littoral et de l'Environnement), Thiou Tanzidani K. TCHAMIE (Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales) et Pierre Tanga ZOUNGRANA (Laboratoire d'Études et de Recherche sur les Milieux et les Territoires), trouve ici, toutes nos sincères reconnaissances pour nous avoir fourni les outils nécessaires à la rédaction de cette

thèse.
Nous tenons à remercier également le Professeur Lucien Marc OYEDE, pour avoir accepté de travailler avec nous depuis le Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) et nous avoir donné le goût de la recherche en sédimentologie. Nous disons également merci au Docteur Raoul LAÏBI pour nous avoir accepté lors des analyses granulométriques des échantillons prélevés.
Nous exprimons toute notre gratitude à messieurs les Docteurs Henri Sourou TOTIN VODOUNON et Ernest AMOUSSOU pour leur oreille attentive, leur amour pour la recherche, leurs observations et critiques, leur suivi permanent de ce travail.
Nous gardons un heureux souvenir des multiples contributions des docteurs Cyr Gervais ETENE, Sidonie HEDIBLE, Expédit W. VISSIN, Léocadie ODOULAMI dans la réalisation de cette thèse.
A toute l'équipe de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire «Espace, Cultures et Développement» de la FLASH, plus particulièrement Charles GBEHI, qui a contribué à notre formation, nous disons infiniment merci.
Un grand merci aux Professeurs Christophe S. HOUSSOU, Constant HOUNDENOU, Fulgence AFOUDA et docteurs Placide CLEDJO, Euloge OGOUWALE, Antoine Yves TOHOZIN, Odile DOSSOU-GUEDEGBE, Ibouraïma YABI, Wilfrid BOKO et Auguste T. HOUINSOU pour toutes les critiques, observations et suggestions qui ont concouru à l'amélioration de cette thèse.
Nos profondes gratitudes vont à l'endroit des Docteurs Norbert AGOINON, José GNELE, Moussa GIBIGAYE, François TCHIBOZO, Cossi Jean HOUNDAGBA, Vincent OREKAN, du Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE), qui nous ont apporté chacun à leur manière une aide inestimable et nous ont ainsi permis de dégager les informations les plus pertinentes de la base de données que nous avions constituée. Nous ne saurions assez les remercier pour leurs conseils et leurs critiques avisées.
Le bon déroulement de cette thèse a été facilité par un travail d'équipe efficace aux seins des différents laboratoires (LACEEDE, LABEE, Laboratoire de géologie, etc.) de l'Université d'Abomey-Calavi. Que toutes ces personnes reçoivent ici nos très profonds remerciements.
Merci enfin à nos parents, notre femme et nos enfants pour la confiance qu'ils nous ont toujours accordée, pour leurs encouragement et soutien de tous les instants.
Que les membres du jury reçoivent nos sincères remerciements, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'apprécier cette thèse.
Nos marques de reconnaissance vont enfin à tous ceux qui ont contribué d'une quelconque manière à la réalisation de cette thèse.

Résumé

La basse vallée de l'Ouémé est exposée à l'érosion du fait de la structure physique des sols et de la disparition du couvert végétal naturel suite à une forte densité de la population. Cette thèse vise à approfondir les connaissances sur l'influence de la dynamique des états de surface dans les manifestations du phénomène d'érosion hydrique.

Les données pluviométriques mensuelles de 1965 à 2011 ont facilité la détermination de l'indice d'agressivité climatique dans la basse vallée de l'Ouémé. Le calcul des paramètres géométriques et morphométriques de la basse vallée de l'Ouémé a permis d'apprécier l'érodibilité des sols et une évaluation des mouvements de particules a été faite au moyen de piquets d'érosion et pièges à sédiments. L'analyse diachronique des images LANDSAT 5 TM 1992, LANDSAT 7 ETM+ 2002 et LANDSAT 7 ETM+ 2012 a été utilisée pour apprécier la dynamique de l'état de surface. Des enquêtes de terrain ont permis de comprendre l'adaptation des populations aux effets néfastes de l'érosion hydrique. Le logiciel Surfer 11.0 a été utilisé pour cartographier l'agressivité climatique du secteur d'étude.

Il résulte de ce travail que la décennie 1990-2000 est caractérisée par une légère reprise pluviométrique et une augmentation des lames d'eau ruisselée d'une amplitude de 0,5 à 0,8. L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a montré une régression des formations végétales naturelles (-24,38 %). L'érosion commence lorsque l'indice d'agressivité de Fourrier atteint 7,3. Cette intensité de pluie, en absence de couvert végétal, occasionne davantage l'enlèvement et le transport des sédiments du plateau vers la plaine d'inondation de la basse vallée de l'Ouémé. Les 186 ravins mesurés ont perdues en moyenne 17 m^3/an de terres. Dans les plaines d'inondation, en plus de la régression soutenue des formations végétales naturelles et de la dégradation des terres suite aux techniques agricoles traditionnelles, les faibles pentes (<5 %) contribuent au dépôt des particules. Ces facteurs associés aux maxima pluviométriques soutiennent la forte érosivité des sols dans le bassin.

Pour lutter contre l'érosion hydrique, la population réalise des infrastructures de canalisation des eaux de ruissellement, pratique le reboisement et le billonnage. De nouvelles stratégies adaptées aux caractéristiques morphologiques de la basse vallée de l'Ouémé sont proposées.

Mots clés : Basse vallée de l'Ouémé, pression anthropique, érosion hydrique, états de surface, sédimentation.

Abstract

The low valley of the Ouémé is exposed to the erosion because of the physical structure of soils and the disappearance of the natural plant table setting following a strong density of the population. This thesis aims to deepen the knowledge on the influence of the dynamics of the surface states in the demonstrations of the water erosion phenomenon.

The data monthly pluviométriques of 1965 to 2011 facilitated the determination of the climatic aggressiveness indication in the low valley of the Ouémé. The calculation of the geometric parameters and morphométriques of the low valley of the Ouémé permitted to appreciate the érodibilité of the soils and an assessment of the movements of particles has been made by means of pegs of erosion and traps to sediments. The analysis diachronique of the LANDSAT pictures 5 TM 1992, LANDSAT 7 ETM+ 2002 and LANDSAT 7 ETM+ 2012 have been used to appreciate the dynamics of the surface state. Investigations of land permitted to understand the adaptation of the populations to the ominous effects of the water erosion. The software to Surf 11.0 has been used for cartographier the climatic aggressiveness of the sector of survey.

He/it results from this work that the decade 1990-2000 is characterized by a light resumption pluviométrique and an increase of the water blades streamed of an amplitude of 0,5 to 0,8. The survey of the dynamics of the soil occupation showed a regression of the plant table setting (-24, 38 %). The erosion begins when the indication of aggressiveness of Fourrier reaches 7,3. This intensity of rain, in absence of plant table setting, causes the abduction and the transportation of the sediments of the tray more toward the plain of flooding of the low valley of the Ouémé. The 186 measured ravines lost 17 m^3/an of earths on average. The plains of flooding, in addition to the regression sustained of the natural plant formations and the deterioration of the earths following the traditional agricultural techniques, the weak slopes (<5 %) contribute to the deposit of the particles. These factors associated to the maxima pluviométriques sustain the strong érosivité of soils in the basin.

To fight against the water erosion, the population achieves infrastructures of pipeline of the waters of ruissellement, convenient reforestation and the billonnage. New strategies adapted to the morphological features of the low valley of the Ouémé are proposed.

Keywords: Lower Valley of Ouémé, human pressure, water erosion, surface conditions, sedimentation

INTRODUCTION GENERALE

Dans les régions tropicales, certaines pratiques culturales provoquent une augmentation considérable des pertes de sol par érosion superficielle, conduisant à une modification de la dynamique pédologique essentiellement lente sous végétation naturelle et rapide en milieu cultivé (Roose, 1993 ; Tenté, 2009; Amoussou, 2010 et Oloukoi, 2013). En Afrique de l'Ouest, plus de 65 % de la population est rurale et dépend directement des ressources naturelles pour leur subsistance (Boulain, 2004 et Agbomahènan, 2009). Cette frange importante de la population dépourvue de moyens est limitée dans ses capacités à trouver des moyens de subsistance alternatifs ou à se procurer d'autres sources de revenus (FAO, 1980; Yabi, 2008).

Au Bénin, les tendances environnementales sont préoccupantes. Dans le contexte actuel de l'évolution du climat, les risques hydro-climatiques sont exacerbés par les extrêmes pluviométriques majeurs (Kodja, 2013) avec pour conséquence l'évolution morpho-dynamique (Abdourhamane, 2011 et Agoïnon, 2012). La vallée de l'Ouémé fait partie des zones humides du Bénin. Une région où l'eau est le principal élément qui contrôle le milieu naturel et la vie animale et végétale associée (Atchadé, 2014). Les zones humides sont parmi les milieux naturels les plus productifs du monde. Ecosystèmes privilégiés de la diversité biologique, elles fournissent l'eau et les produits primaires dont dépendent pour leur survie, des espèces innombrables de plantes et d'animaux (Akognongbé *et al.*, 2014). Elles rendent des services économiques très importants, telles l'alimentation en eau, les pêcheries, l'agriculture, la production de bois d'œuvre, les ressources énergétiques, la flore et la faune sauvage, la navigation, les activités touristiques, etc. Avec les modes d'exploitation anarchique utilisés aujourd'hui par les populations riveraines pour le prélèvement des ressources et avec la très forte poussée démographique qui caractérise les zones humides du Bénin, les ressources naturelles, sans exception aucune, sont menacées dans leur propre existence (Lawin, 2000). Cela se traduit par l'érosion dont les actions sont perceptibles sur les différentes facettes topographiques depuis les sommets du plateau jusqu'aux bas-fonds (Fritsch, 1995; Agoïnon *et al.*, 2010). L'expansion rapide des espaces agricoles et l'augmentation des événements pluviométriques extrêmes due au changement climatique qui se traduit par des conditions climatiques incertaines

accélèrent l'érosion du sol par l'eau au Bénin (Bochet *et al.*, 2000 ; Agoïnon, 2006). Dans un tel contexte, la gestion des sols et des ressources hydriques prend un sens plus profond.

La modification du régime et du rythme des précipitations (fréquence et intensité), affecte directement l'importance et la synchronisation de l'écoulement et de l'intensité des crues, des inondations, des sécheresses, la qualité des eaux, et la mutation des écosystèmes (Mclvor *et al.*, 1995 ; Ouédraogo, 2006 ; GIEC, 2007 ; Vissin, 2007 ; Amoussou, 2010 ; Totin, 2010). Ces changements relatifs à la précipitation et à la température, ainsi que les effets non linéaires sur l'humidité, l'évapotranspiration et le sol, ont des conséquences sur la quantité et la qualité des ressources en eau, l'agriculture, la pêche et l'élevage (GIEC, 2007) et donc sur la vie de la population riveraine du bassin. Les conséquences de la sécheresse et des inondations sont amplifiées, car les Etats n'ont pas les moyens de venir en aide aux populations les plus touchées, ni de pallier les conséquences du changement climatique, ni de la surexploitation des terres et des eaux. A cet effet, une gestion rationnelle des ressources naturelles est nécessaire, car l'évolution morphodynamique et l'anthropisation du milieu sont aussi sous l'influence de la variabilité climatique.

La dégradation persistante des sols, ainsi que le déclin de leur fertilité hypothèquent la sécurité alimentaire et aggravent la pauvreté. Mais, ces conséquences ne sont pas perceptibles de la même manière d'une localité à l'autre, car les facteurs biophysiques et mode d'usage de la ressource naturelle diffèrent.

Les travaux réalisés par Bokonon-Ganta (1987), Boko (1988), Afouda (1990) et Ogouwalé (2006) ont montré que les terres agricoles des Communes du Bénin méridional et central ont perdu leurs fertilités au fil des années. Les éléments explicatifs de cet état de chose sont l'érosion due à la déforestation et l'appauvrissement des sols lié aux pratiques culturales basées essentiellement sur la culture itinérante sur brûlis.

L'érosion a des effets sur la fertilité des sols à cause de l'appauvrissement organique et minéral des terres agricoles, qui, déjà surexploitées, n'arrivent plus à se régénérer et

deviennent impropres à l'agriculture (Volkoff, 1970 et Domingo, 1996) ; ce qui compromet davantage le développement agricole dans la basse vallée de l'Ouémé.

Les milieux densément peuplés et intensément cultivés de la basse vallée de l'Ouémé présentent de signes d'érosion et de dégradation. La dégradation des sols résultant de l'intensification des activités anthropiques dans les bassins-versants du fleuve Ouémé et les rivières Gba, Djougoudou, Gnanhoui, Wovi, Tovè, Sissè dans la basse vallée a eu pour effet d'accélérer leur comblement progressif par érosion.

L'homme a, par ses activités, joué un rôle de premier plan dans la dynamique de son environnement biophysique (Poss et Rossi, 1987 ; Agoïnon, 2012). Cette dynamique devient de plus en plus active sous l'effet conjugué de plusieurs facteurs dont les manifestations trouvent leur origine dans l'agriculture pluviale, la pêche artisanale, l'exploitation du sable fluvial et du bois de feu. Elle réduit ainsi la capacité des sols et les activités socio-économiques qui se sont développées autour des cours et plans d'eau (Louis *et al*., 2005 ; Amoussou, 2010). Cette manifestation aboutit inéluctablement à la perturbation des formations végétales du milieu et fait appel à la recherche d'un mode de gestion rationnelle des ressources naturelles.

Dans un tel contexte, la compréhension des fonctions et services des ressources naturelles est perçue différemment. Cependant, le fonctionnement d'un bassin-versant dépend avant tout de la variabilité climatique et des modes d'usage (Amoussou, 2010). Dès lors, une gestion durable des agro-écosystèmes s'impose à travers la maîtrise des différents paramètres qui conditionnent l'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé.

Le développement de cette thèse intitulée « **Erosion hydrique et dynamique des états de surface dans la basse la vallée de l'Ouémé** » est structurée en deux parties.

La première partie est consacrée à la présentation du cadre théorique, à la démarche méthodologique et aux caractéristiques géographiques de la basse vallée de l'Ouémé.

La deuxième partie aborde les processus érosifs, la dynamique sédimentaire et les stratégies d'atténuation de l'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé.

PREMIERE PARTIE :

CADRE THEORIQUE, DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME

La première partie de la thèse est constituée de la revue critique de la littérature, de la problématique, de la clarification des concepts, de la démarche méthodologique et des caractéristiques biophysiques pour l'évaluation de l'influence de la dynamique des états de surface dans le phénomène d'érosion hydrique dans les Communes de Bonou, Adjohoun, Aguégués et Dangbo.

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE

Ce chapitre est constitué de la revue critique de la littérature, de la problématique et de la définition des concepts. Les concepts définis permettront une meilleure compréhension des termes utilisés.

1.1. Revue critique de la littérature

Le point de ces travaux antérieurs a porté essentiellement sur :

- la caractérisation des facteurs déterminants de l'érosion ;
- la dynamique des états de surface et érosion ;
- et le processus de dégradation des terres.

1.1.1. Caractérisation des facteurs déterminants de l'érosion

La quantification de l'érosion fait appel à de nombreuses méthodes mises au point à travers le monde (Roose, 1977; Blivi, 1993 ; Blavet, 1996; Sintondji, 2005 ; Agoïnon *et al.*, 2010 ; Amoussou, 2010 ; Agoïnon *et al.*, 2012 et Agoïnon, 2012).

L'érosion hydrique est devenue essentiellement une conséquence directe de l'activité humaine qui représente maintenant le principal facteur de la dégradation des sols (Blivi, 1993 ; Blavet, 1996). En effet, l'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion hydrique par ses actions de défrichement des forêts, incendies, surpâturages et pratiques culturales qui peuvent être inappropriées.

Au Maroc, la croissance démographique rapide est tenue comme la principale cause du rythme accéléré de la dégradation des sols (Tribak *et al*., 2006). La forme principale de cette dégradation est le développement de l'érosion hydrique. 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.

En Haïti, les principales causes de l'érosion au sein de la rivière grise sont liées à l'exploitation abusive des sols pour l'agriculture, le pâturage, l'exploitation des carrières, et l'urbanisation (Louis *et al.*, 2005).

Amoussou (2010) a montré que les caractéristiques hydroclimatiques, lithologiques et d'occupation du sol expliquent l'évolution morpho-sédimentaire dans le système lagunaire. L'évolution de l'embouchure a été modifiée avec la construction du barrage de Nangbéto, créant ainsi un déséquilibre dans la dynamique morphologique de l'hydrosystème au cours de l'année. Les fortes charges solides érodées en aval du barrage sont ainsi exportées directement dans le système lagunaire dont une partie vers la mer par la « Bouche du Roi ». Les changements naturels et anthropogéniques, comme, par exemple, la légère reprise pluviométrique des années 90, la dégradation des unités paysagères et l'écoulement quasi permanent lié aux lâchers d'eau du barrage de Nangbéto, produisent une augmentation des flux de matières en suspension et dissoutes. Ainsi, les transports fluviaux sont «nourris» par l'érosion mécanique, par l'altération chimique des roches des surfaces continentales et par le lessivage des substances chimiques, en particulier des fertilisants issus des pratiques agricoles. À ce titre, le reboisement le long des versants et des berges est nécessaire afin de réduire les apports ruisselés dans le lit des cours et plans d'eau du milieu.

La recherche des dépôts des flux de Matière en suspension dans le système lagunaire montre que lorsque la vitesse des courants fluvio-lagunaires diminue, une hiérarchisation de la distribution granulométrique s'observe (allant de la taille des particules grossières à l'argile). D'origines diverses (socle ou bassin sédimentaire), les sédiments et les éléments chimiques sont apportés par charriage et suspension dans le lit. Les éléments en solution contribuent à la modification des écosystèmes par la variation des paramètres physico-chimiques et par le piégeage des nutriments. Les charges solides sont plus importantes en saison pluvieuse qu'en saison sèche, mais les concentrations en substances dissoutes évoluent en sens inverse.

Agoïnon (2012) présente les différents facteurs participant à l'évolution morphologique du bassin versant du Zou à Atchérigbé. Ils sont entre autres, le climat (les précipitations, la température, etc.), les pentes, la lithologie, les activités humaines. Les formes d'attaque du relief par l'érosion ne sont pas semblables partout dans le bassin d'étude. Là où apparaissent des affleurements rocheux, notamment dans les bassins supérieurs et inférieurs de l'Agbado, dans le bassin supérieur du Zou et celui du Petit Kouffo, on assiste à des formes de désagrégation granulaire, d'exfoliation et

de desquamation. Sur les autres unités, l'érosion se manifeste par la présence de formes d'ablation et d'accumulation. Mais l'édification des formes d'érosion dans le bassin versant est fonction de la position topographique et du couvert végétal. L'ampleur de l'érosion dans le bassin versant apparaît comme un indicateur de l'intensité des différents facteurs déterminants des processus d'érosion.

C'est pourquoi la détermination de la dynamique sédimentaire liée à l'état de surface est nécessaire pour comprendre la gestion actuelle des terres agricoles et la suggestion de nouvelles approches de gestion en adéquation avec les conditions morphométriques et socio-économiques actuelles.

1.1.2. Dynamique des états de surface et érosion

Vissin (2007) a étudié la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin béninois du Niger à partir des photographies aériennes et des images satellites. Ces résultats ont montré une régression de l'ensemble des formations végétales naturelles au profit des formations anthropiques. Il attribue ce constat à l'augmentation de la population qui crée une pression grandissante sur les ressources naturelles. Dans le massif de l'Atacora, à l'ouest du bassin de l'Alibori, Tenté (2000) s'est interressé à la dynamique de l'occupation du sol et a remarqué une forte dégradation des formations ligneuses. Selon l'auteur, si cette tendance se poursuit, les conséquences seraient irréversibles et pourraient entraîner une perte inestimable de la biodiversité animale et végétale. Ces travaux constituent des références sur la dynamique de l'occupation du sol. Mais ces travaux n'ont pas établi le lien entre les processus érosifs et cette dynamique parce qu'elles ne constituaient pas le but premier de la recherche de Tenté (2000) et de Vissin (2007).

Or, l'évolution de l'occupation du sol a longtemps été l'une des principales variables mises en cause pour expliquer la dynamique sédimentaire. Son rôle est plus qu'évident, en particulier à cause de l'érosion des sols qui fournit la majorité des sédiments alimentant la turbidité des écoulements (Douvinet *et al.,* 2006 ; Douvinet, 2006 et Amoussou, 2010). Toutefois, d'autres chercheurs ont tenté d'établir le lien entre la dynamique de l'occupation du sol et l'érosion.

Agoïnon *et al.* (2012) ont montré que le paysage actuel du bassin inférieur du Zou est soumis, depuis quelques années, à une dynamique de l'occupation du sol résultant fondamentalement de la pression humaine. Les résultats de cette étude ont révélé que le bassin est principalement occupé par l'agriculture. Entre 1995 et 2006, les formations végétales naturelles ont régressé de 34,25 % au profit des mosaïques de cultures et jachères ; les sols mis à nu à certains endroits sont fragilisés et s'érodent. Pour lutter contre cette érosion les paysans pratiquent le billonnage. Les auteurs concluent que dans le bassin versant du Zou, l'érosion pluviale est réelle. La recherche morphodynamique sur le bassin a permis de constater que la combinaison des actions anthropiques avec les conditions naturelles du milieu a favorisé et aggravé les processus d'érosion (Agoïnon, 2012).

Danloux et Laganier (1991) ont abordé les phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur des bassins anthropisés en Nouvelle-Calédonie pour saisir l'évolution des lits fluviaux. Ces derniers soulignent que la quantification de l'érosion implique l'évaluation correcte sur une longue période des données de transports en suspension ou par charriage, et les flux des matières dissoutes. Ils ont aussi fait des mesures à la sortie du bassin de l'Ouenghi (à vocation minière) et de la vallée de la Pouembout (à vocation agricole et très vulnérable à l'érosion) de 1974 à 1982. Dans cette vallée, trois sous-bassins ont été étudiés : deux épargnés par l'activité minière (Kopéto et Papainda) et la Pouala. Cette recherche a révélé que les forts taux de matières en suspension sont relevés dans le bassin anthropisé et les plus faibles taux dans les bassins épargnés de toute activité minière et agricole. Dans le bassin de la Ouenghi, caractérisé par une reprise des activités après un temps de repos, les apports diminuent largement dans le temps, passant de 200 000 à 60 000 t/an. Par la suite, le sol se tasse et est moins sensible à l'érosion. Cela souligne l'importance de la dynamique des états de surface sur le transport des flux de sédiments dans un espace continuellement exploité.

Dans son article, Batti (2005) a montré la persistance de l'activité érosive dans les Alpes françaises du Sud, malgré la dynamique progressive de la végétation. La méthodologie utilisée par ces auteurs consiste à rapprocher des observations et des mesures de la végétation et de l'érosion en utilisant un système d'échelles emboîtées.

La comparaison des résultats obtenus dans les Baronnies méridionales (Val de la Méouge) et les Préalpes de Digne (région de Draix) permet d'envisager le rôle respectif de différents facteurs, d'ordre naturel (sensibilité des marnes) ou anthropique (déprise, forêts de protection). À l'échelle régionale et d'après la photo-interprétation diachronique du Val de la Méouge intégrée dans un SIG, la progression de la végétation entre 1948 et 1991 affecte le quart du milieu étudié, dont 5 % dus à des plantations tandis que les surfaces dépourvues de végétation diminuent de 40 % pendant la même période. Ces tendances sont observées de façon analogue quel que soit le substrat.

Louis *et al.* (2005) ont cherché à lier l'évolution de la végétation haïtienne à la progression de la sédimentation dans le lac Péligre. Les interprétations visuelles et numériques ont été validées par des vérifications sur le terrain, par des recherches bathymétriques antérieures et par des entrevues avec les cadres en charge de la gestion du barrage et par des enquêtes auprès des usagers. Le bassin concerné est principalement agricole comportant des vergers qui entourent la résidence du fermier où la couverture végétale pérenne est généralement dense et des parcelles de cultures saisonnières pratiquées en association (céréales, légumineuses et tubercules) et disséminées sur les pentes, les vallées et les plateaux. Le lac Péligre est situé sur un bassin-versant de 6 615 km² et reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 3 200 mm/an dans les milieux de montagnes et entre 1000 et 2 000 mm/an pour les milieux de plaine et de basse vallée. Ces auteurs ont aussi montré, avec l'utilisation de la classification appliquée à l'image HRV, que l'érosion engendrée par l'amenuisement de la couverture végétale a contribué à un envasement rapide du lac et par conséquent, à la réduction de la capacité du réservoir. Cette régression du couvert végétal étant ici liée à un défrichement intense par les populations, la croissance démographique représente à ce titre un forçage important. De 1964 à 1978 sur l'ensemble du bassin-versant haïtien, les processus d'érosion ont progressé, notamment à la faveur de la diminution de la couverture végétale pérenne. Ainsi, en un intervalle de quatorze ans, le banc principal de sédiments a progressé de 5,85 % (soit 1 426 hectares, c'est-à-dire 78 ha/an) par rapport aux 29 400 hectares de superficie du plan d'eau. Avec les images HRV, ils ont montré également qu'entre 1978-2000, les sédiments ont progressé sur

une superficie additionnelle égale à 7,6 % de la superficie du lac, soit une progression d'environ 2 234 hectares (101 ha/an).

Tous ces travaux montrent bien l'influence de la dynamique des états de surface sur l'érosion et la sédimentation. Ils permettent de comprendre que ce sont les espaces dégradés d'un bassin versant qui produisent les forts taux de matière en suspension (MES), car ils sont les plus érodés. Toutefois, il est très difficile en pratique de mettre en évidence et de quantifier les relations état de surface/dynamique hydro-sédimentaire.

1.1.3. Processus de dégradation des sols

L'influence de la dégradation du couvert végétal sur les phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation a été abordée par de nombreux chercheurs, surtout en Afrique tropicale humide.

Dans le bassin versant du Lac Togo au Sud du Togo, l'érosion hydrique devient de plus en plus importante. Elle représente une grave menace tant pour les ressources naturelles (eau et sol) que pour les activités humaines. Les sols sont de plus en plus dégradés et les sédiments issus de l'érosion hydrique contribuent à l'envasement des cours d'eau (Tessier, 2003). Cette étude, basée sur les enquêtes sociologiques, les recherches pédologiques, les analyses de laboratoire, le modèle RUSLE et les tests de simulation a permis d'évaluer le taux de perte en sol et d'étudier l'influence de l'occupation des sols sur l'érosion hydrique dans le bassin du lac Togo.

Dans le même sens, Bertran *et al.* (2003), confirment que 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. Outre les dégâts bien visibles concernant les terres cultivées, il existe des dégâts beaucoup plus insidieux en aval. Ces dégâts sont provoqués par l'augmentation du ruissellement et l'entraînement des particules de 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, 2001). 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 (Gras, 1970).

Pour Kodja (2013), la dépendance de l'Afrique Subsaharienne aux incidences accrues des aléas hydroclimatiques extrêmes augmente la vulnérabilité des populations face aux risques qui en découlent. L'analyse des résultats a révélé que la basse vallée de l'Ouémé a connu un aléa d'inondation fort dans un milieu faiblement vulnérable. Le risque à l'inondation est aussi maximal aux abords immédiats des cours d'eau. Les régions de plaine sont propices au développement agricole et doivent disposer des barrages pour recueillir les eaux en période de crue afin de l'exploiter aux fins agricoles au cours des étiages. Inversement sur les plateaux, les billons doivent être faits non seulement dans le même sens que les courbes de niveaux à cause des pluies averses mais aussi à cause de l'érosion des pentes fortes et très fortes où le ruissellement peut causer d'énormes dégâts.

Pour l'essentiel, les différentes recherches ont porté sur les régions éloignées du secteur d'étude. Toutefois, elles ont permis de cerner davantage les concepts clés et les contours de l'influence des états de surface sur l'érosion hydrique en vue de l'étude de la basse vallée de l'Ouémé.

1.2. Problématique

La problématique porte sur la justification du sujet, les hypothèses de travail et les objectifs de recherche.

1.2.1. Justification du sujet

L'homme pour subvenir à ses besoins fondamentaux mène des activités qui le conduisent à exploiter les ressources de son environnement (Ouorou Barrè, 2014). L'exploitation des bassins versants se fait généralement sans tenir compte de ces impacts sur la surface topographique du milieu et très souvent, cette pratique entraine la dilapidation des sols en amont et un alluvionnement aux conséquences désastreuses en aval (Kankpénandja, 2010). Cette situation est connue dans différents régions de l'Afrique tropicale. C'est le cas en particulier des bassins versants du Niger (Oumar, 2002), du Sénégal (Gavaud, 1990), des bassins versants de Mouda et de Tsanaga au

Cameroun (Olivry, 1977 et Thebe, 1987), de nombreux bassins-versants au Burkina-Faso (Mietton, 1988) et au Nord du Bénin (Pofagi et Tonouewa, 2001).

L'accélération de l'ablation des sols et ses corolaires sont imputés à la dégradation des bassins due aux interventions multiformes de l'homme notamment l'intensification des activités agricoles, la pression pastorales et la coupe du bois (Tricart, 1977 ; Coque, 1977 ; Papy *et al.*, 1988 ; Valadas, 2004 ; Douvinet, 2008). L'accumulation des sédiments en aval, corrélative à l'arrachement des particules en amont, a contribué à former au cours des âges, les sols des vallées et des plaines alluviales qui font partie des régions agricoles les plus riches au monde (Roose, 1993 ; Rossi et Blivi, 1995).

Mais au dessus d'un certain seuil, le mouvement des particules devient non seulement un facteur limitant pour l'utilisation des sols en amont, mais également une contrainte pour les usages des cours d'eau notamment la réalisation des retenues, la mise en valeur agricole des plaines alluviales et pour les établissements humains des vallées. Les décharges alluviales sur les terres cultivées, peuvent selon les saisons, compromettre les travaux de sol, endommager ou rendre inutilisables les fossés de drainage et les canaux d'irrigation, enterrer des ouvrages, bloquer les routes, etc. (Clark, 1984). Mais au cours de ces derniers siècles, par les changements profonds des milieux naturels qu'il provoque, l'homme devient un facteur de plus en plus important de la morphogenèse.

L'agriculture est la principale activité qui occupe un nombre important de la population et fait usage à de nombreuses techniques qui restent traditionnelles dans la plupart des pays (MAEP, 2001). Ces différentes techniques culturales restent itinérantes et extensives. Elles accentuent la dégradation et la régression du couvert végétal, l'érosion des sols, la compaction et la perte de la fertilité des sols (Ouorou Barrè, 2014).

L'évolution morphologique du bassin se remarque à travers l'érosion. Cette dernière regroupe une grande variété de processus hydro-gravitaires dont les mécanismes d'initiation et d'évolution sont conditionnés par des facteurs comme la topographie, la lithologie, la structure géologique, l'occupation du sol, la pression anthropique et le forçage climatique (Maurizot et Delfau, 1995). L'érosion du sol par l'eau détériore la

qualité du sol et peut lourdement affecter le rendement agricole, surtout dans les systèmes ruraux inadaptés (Amoussou, 2010). Elle est aggravée par les activités anthropiques.

Les pratiques culturales caractérisées par les systèmes de production très peu adaptés au milieu naturel viennent exacerber la dégradation du milieu qui se traduit par une dynamique morphologique. Selon Orékan *et al.*, (2010), l'absence du couvert végétal expose directement le sol au ruissellement qui peut être d'une grande violence. Le couvert végétal par ses racines provoque la désagrégation mécanique du matériel rocheux qui dégringole sous l'effet de la pente. La pente d'un versant présente des effets multiples sur l'érosion. Elle en accélère la vitesse des agents de transport, accroît leur rôle abrasif et, inversement, ralentit l'érosion chimique en ne favorisant pas la stagnation de l'eau (Blavet, 1996; Sintondji, 2005).

Les pratiques culturales provoquent donc des pertes en terre (Tohozin et Agbomahènan, 2012), car ils modifient les propriétés des sols, interviennent dans leur résistance face à l'action pluviale et joue sur le ruissellement (Roose, 1993). Ces processus hydrologiques et géomorphologiques ont des causes d'ordre naturel et humain (Tribak, 2000).

Au Bénin, l'agriculture contribue pour 37 % du Produit Intérieur Brut (PIB), 40 % des exportations et 70 % de l'emploi (Tohozin, 1999). Les défrichements agricoles par an font disparaître 100.000 hectares de végétation naturelle (Houndagba, 1990).

La basse vallée de l'Ouémé, l'un des ensembles hydrographiques du Bénin, est presque dans sa globalité le théâtre de formes d'occupation spontanées variées et d'aménagements volontaires de types étatiques (fermes d'Etat) et particuliers depuis une cinquantaine d'années (Toko, 2008; Agoïnon *et al.* 2010). Si l'on ajoute à cette pression anthropique les effets des gouttes de pluie, on comprend alors l'accélération des phénomènes morpho-dynamiques qui affectent la basse vallée de l'Ouémé.

Cette forme d'exploitation du milieu provoque alors dans la basse vallée de l'Ouémé, la dégradation des sols puis la migration accélérée des particules fines vers les talwegs (Amoussou, 2010 ; Agoïnon *et al.* 2010). La dégradation continue de l'état de surface des sols des plateaux provoquée par leur surexploitation entraîne le comblement de la

plaine d'inondation de la basse vallée de l'Ouémé, sous l'action des agents d'érosion (Roose, 1977; Sintondji, 2005). Or, ces plaines d'inondation constituent des écosystèmes très productifs (Nicolau *et al.,* 1996 ; Amoussou, 2010 ; Agoïnon *et al.* 2010). Mais les caractéristiques topographiques de pente contribuent à leur lessivage et à un rapide appauvrissement (INRAB, 1995). Ainsi, la prise en compte de la pente dans l'évolution des facettes topographiques est aussi importante que celle de l'eau.

Une étude des déterminants de l'érosion du sol dans la basse vallée de l'Ouémé, comprise entre 2°21' et 2°38' de longitude est et 6°25' et 6°57' de latitude nord, s'impose pour une gestion durable de ces agro-écosystèmes.

Au regard de ces différents constats, quelques interrogations méritent réflexion. La question principale de cette recherche est de savoir si la dynamique des états de surface n'est pas porteur aussi bien de préjudices que d'atouts pour le phénomène d'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé. De cette question principale, dérivent les sous-questions suivantes :

- Quels sont les facteurs déterminants de l'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé ?
- Quelles sont les influences de la dynamique des états de surface sur l'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé ?
- Quelles sont les mesures alternatives de réduction de l'érosion hydrique mises en œuvre dans la basse vallée de l'Ouémé ?

Pour répondre à ces interrogations dans cette étude des hypothèses ont été formulées.

1.2.2. Hypothèses de travail

Il y a l'hypothèse générale et les hypothèses spécifiques.

❖ Hypothèse générale

L'hypothèse générale de la thèse prédit que la dynamique des états de surface contribue aux processus d'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé. Cette tendance sera maintenue dans le futur sous l'effet des pressions anthropiques.

❖ **Hypothèses spécifiques**

Trois hypothèses spécifiques sont formulées pour servir de fil conducteur à cette étude et répondre à nos objectifs de recherche. Elles sont :

- Les facteurs physiques et humains déterminent l'érosivité des terres de la basse vallée de l'Ouémé.
- Les mutations spatiales des états de surface contribuent au phénomène d'érosion hydrique de la basse vallée de l'Ouémé.
- Les mesures alternatives de réduction de l'érosion hydrique mises en œuvre dans la basse vallée de l'Ouémé restent à améliorer.

Pour vérifier ces hypothèses, des objectifs sont fixés.

1.2.3. Objectifs de recherche

L'objectif général de cette thèse est d'étudier le lien entre le phénomène d'érosion hydrique et la dynamique des états de surface dans la basse vallée de l'Ouémé.

Spécifiquement, il s'agit de :

- caractériser les facteurs déterminants de l'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé;
- analyser l'influence des mutations spatiales des états de surface sur l'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé ;
- proposer les mesures d'atténuation de l'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé

1.3. Définition des concepts

Pour faciliter la compréhension du document, il convient de définir certains concepts utilisés dans cette étude.

1.3.1. Erosion et Erosivité

Selon Bachaoui *et al.* (2007), l'érosion se définit comme l'ensemble des processus d'ablation, de transport et d'accumulation des particules arrachées à la surface terrestre par les eaux courantes, les glaciers, le vent ou les vagues. Pour Naulin et Triplet

(2003), on peut définir l'érosion comme le détachement et le transport des particules sous l'effet de la pluie, lorsque le sol n'est plus capable d'infiltrer l'eau. Quant à Van Diepen et Caille (1989) cité par Eténé (2010), l'érosion est le processus d'enlèvement, de transport et de dépôt des particules des sols sous l'action des eaux de pluie.

Deux types d'érosion se distinguent. L'érosion en nappe (ou diffuse) où il s'agit d'un décapage uniforme de la couche superficielle de terre. Il se produit principalement sur les plateaux. Cette forme d'érosion passe souvent inaperçue mais peut arracher un volume de terre important : un décapage de 1 mm sur 1 ha correspond à la perte d'un volume de 10 m^3 de limons fertiles. Les dégâts sont pratiquement irréversibles.

Ensuite, il y a l'érosion en rigoles (ou ravines), lorsque les eaux de ruissellement se concentrent, elles peuvent selon la nature du sol et l'intensité du relief former une ravine par creusement. Cette érosion se produit généralement dans les vallées sèches et dans les fonds de talwegs qui constituent des chemins d'écoulements préférentiels pour l'eau qui ruisselle. Cette forme d'érosion peut charrier de grandes quantités de terre, et être à l'origine de coulées de boue importantes. Elle est cependant maîtrisable pour peu que l'on adopte certains principes culturaux et que l'on préserve ou conforte certains éléments du paysage régulateurs des écoulements. La forme d'érosion qui intéresse plus particulièrement cette étude est l'érosion hydrique. Selon Roose (1993), « elle résulte de nombreux processus au niveau de trois phases: le détachement des particules, le transport solide et la sédimentation ». L'érosion est fonction de l'agressivité climatique et de la résistance du milieu (Roose, 1977). Elle dépend du sol, de la pente, du couvert végétal, des pratiques culturales.

- **Erosion hydrique**

Le concept de l'érosion pluviale ou hydrique a évolué selon l'espace et le temps et également selon les disciplines (Agronomie, géographie, géomorphologie, hydrologie, environnement, etc.). Pour Roose (1994), l'érosion hydrique est un phénomène qui rend compte de certains processus induits par l'action simultanée de la pluie et du ruissellement, de la résistance du milieu et de la topographie. Selon Arnold *et al.* (1999) cité par Agoïnon (2012), les gouttes de pluie peuvent briser les agrégats et disperser les particules de sol dans toutes les directions (effet de splash). L'ensemble

du phénomène érosif concerne l'intégralité de la basse vallée de l'Ouémé mais particulièrement les berges et les lits des cours d'eau dont le principal est le fleuve Ouémé.

- **Erosivité**

Elle est la capacité d'une condition climatique en occurrence la pluie dans le cadre de cette étude à être érosive. En effet, plus les précipitations sont importantes plus leur impact sur l'érosion des sols augmente. La pluviométrie évoluant avec la latitude, la répartition de la pluie se trouve donc corollée de même que l'érosivité.

1.3.2. Erodibilité et Erodabilité

- **Erodibilité**

L'érodibilité est la capacité d'un sol meuble à être érodé, c'est-à-dire sa sensibilité face à l'érosion en fonction de sa composition et de sa structure (Roche, 1998; Le Bisonnais *et al.*, 2002). L'érodibilité du sol, dans cette étude, est considérée comme une caractéristique intrinsèque du sol liée à ses propriétés physiques et chimiques. Par caractéristiques physiques, il faut entendre la topographie, la géologie, la nature et l'occupation du sol, mais aussi la forme du bassin versant dont on conçoit bien qu'elle influence les caractéristiques de l'écoulement résultant d'une pluie donnée.

- **Erodabilité**

Pour Van Diepen et Caille (1989) et Mahé (1992), l'érodabilité montre que la structure est surtout contrôlée par les propriétés physiques des roches et par la répartition des pluies pendant l'année. Dans cette étude, elle est la capacité qu'ont des matériaux à l'air libre, sols ou roches de pouvoir être érodés par la pluie.

1.3.3. Ruissellement

Pour Wischmeiewr et Smith (1960), Roose (1977) et Agoïnon (2012), le ruissellement consiste en un écoulement d'eaux de pluie ou de fonte nivale, écoulement plus ou moins durable et rapide à la surface des versants. Il est donc plus ou moins localisé sur les versants et fondamentalement intermittent. Il peut être concentré et linéaire lorsque l'eau se concentre dans quelques sillons principaux. Il peut-être diffus (rill-wash) lorsque l'eau se partage en une multitude de petits filets sinueux, anastomosés et

changeants. Lorsque ces filets se multiplient et s'étalent jusqu'à ne former qu'une nappe on parle de ruissellement en nappe (sheet-wash). Le ruissellement correspond à l'écoulement par gravité de l'eau à la surface du sol suite à des précipitations (Le Bissonnais *et al.*, 2002). Deux principaux types de ruissellement ont été distingués par Ambroise (1991). Il s'agit du ruissellement hortonien, qui correspond au dépassement de la capacité d'infiltration, et le ruissellement sur surface saturée, observé lorsque les sols sont déjà saturés en eau avant l'apport d'eau des précipitations. Ce dernier est fortement influencé par le cumul des précipitations.

D'après Ambroise (1991), ce deuxième type de ruissellement joue un rôle non négligeable dans la génération des crues. Ces processus élémentaires coexistent à l'échelle de la parcelle agricole, ainsi qu'à l'échelle du bassin versant. Une fois formé, l'excès d'eau ruisselle de manière diffuse, (on peut parler de lame d'eau) ou de manière concentrée, selon la structure du paysage (fossés, talweg, talus, sillons de passages d'engins agricoles …). C'est notamment à la suite d'une telle concentration des écoulements superficiels que le creusement de ravines et autres figures d'érosion des sols sont constatés (figure 1).

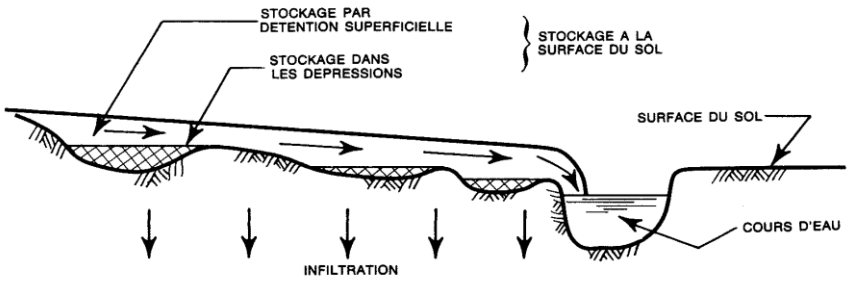


Figure 1: Processus de ruissellement
Source : *Ambroise (1991) et Le Bissonnais et al., (2002)*

Il existe plusieurs facteurs responsables de la genèse du ruissellement (Ambroise, 1991) : il s'agit des caractéristiques climatiques, notamment les hauteurs des précipitations et leurs intensités; les propriétés hydrodynamiques des milieux et interfaces traversés, telles que la densité du couvert végétal (occupation du sol), certaines caractéristiques du sol (conductivité hydrique, granulométrie, …), ou encore la rugosité de surface; les conditions hydriques et hydrologiques initiales (épisodes pluvieux ou évaporants précédents), la topographie et la morphométrie en 3D du bassin considéré (pentes, réseaux de collecteurs, microtopographie).

Dans cette thèse, le ruissellement est la partie des précipitations qui s'écoule et qui ne s'infiltre pas dans le sol et ne s'évapore pas dans l'atmosphère lorsque les capacités de rétention de la végétation et du sol superficiel sont saturées. Cette partie s'écoule en surface avant d'atteindre le fleuve Ouémé et ses affluents ou à travers un système artificiel d'évacuation dans le secteur d'étude. Le ruissellement contribue à l'érosion du sol.

1.3.4. Bassin versant

Selon George et Verger (1996), un bassin versant, encore appelé bassin hydrologique ou bassin de drainage, est l'espace géographique alimentant un cours d'eau et drainé par lui. Le bassin versant a pour axe le cours d'eau principal et pour limite la ligne de partage des eaux le séparant des bassins versants adjacents. Il est composé de bas-fonds, de versants et des sommets qui leur sont adjacents (figure 2). C'est donc un espace topographiquement délimité et drainé par un système de cours d'eau et ses tributaires (Musy et Soutter, 1991; Agoïnon, 2006), dont il constitue l'aire d'alimentation (Agoïnon, 2012).

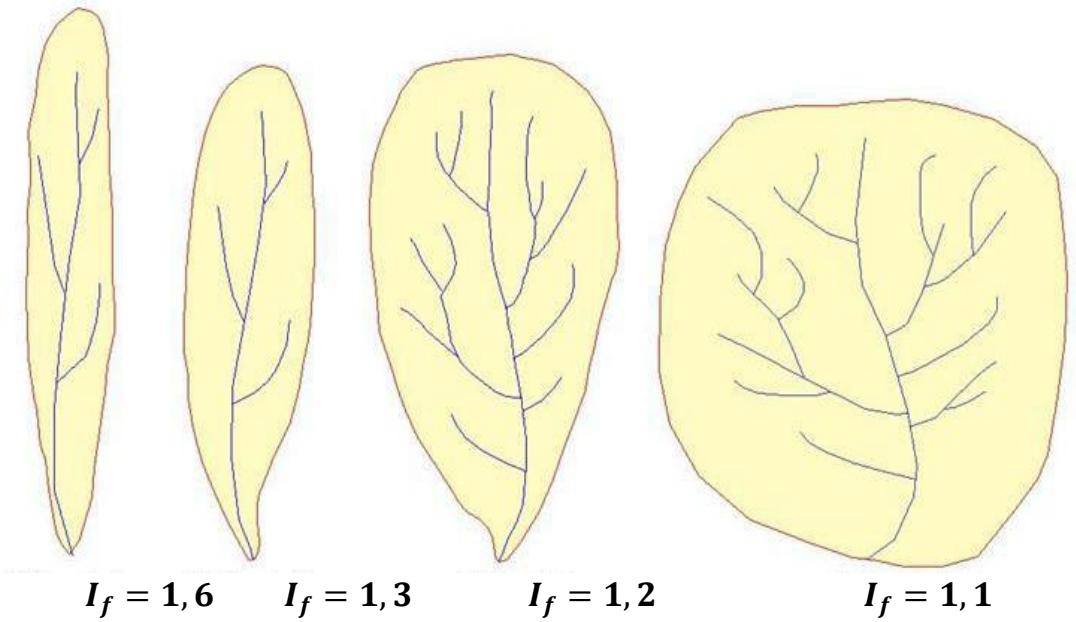


Figure 2 : Différentes formes de bassin versant
Source : *Musy et soutter, 1991 repris par Boko, 2013*

Pour Loup (1974), le bassin-versant est une surface réceptrice des eaux qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe. Il le définit par rapport à sa morphométrie, à ses caractères climatiques, à sa géologie, à sa végétation

et à ses sols. Aujourd'hui, en hydrologie, le bassin-versant désigne la totalité de l'espace drainé par un système fluvial, quelle que soit sa taille. Brunet *et al.*, (1992) définissent le bassin versant comme toute étendue qui est en amont d'une station de mesure et dont les eaux « versent » en ce point. Le bassin versant est considéré comme l'ensemble du paysage qui concourt au fonctionnement hydrologique d'un réseau de bas-fonds depuis la ligne de crête jusqu'au talweg en incluant les versants (Agoïnon, 2012). Pour Fritsch (1995), c'est une unité fonctionnelle (figure 2), à trois dimensions, composée d'un domaine souterrain englobant les unités géologiques et les différents horizons du sol et d'un domaine superficiel et aérien qui est le lieu privilégié de la vie (plantes, animaux et hommes).

De ces définitions, un bassin versant ou bassin de drainage d'une rivière en un point est l'ensemble du territoire drainé par un cours d'eau principal et ses affluents. Les eaux souterraines, qui alimentent les cours d'eau durant les périodes d'étiage, font partie intégrante du bassin versant au même titre que les eaux de surface et les milieux humides.

Dans cette thèse, le bassin versant désigne toute l'étendue de terrain des Communes de Bonou, Adjohoun, Dangbo, Aguégués, drainée par le fleuve Ouémé et ses affluents. Il occupe une superficie de 810 km^2.

1.3.5. Vulnérabilité

La vulnérabilité d'un territoire ou d'une activité aux impacts d'un phénomène peut être définie d'après le GIEC (2001) comme la capacité d'un système à faire face aux effets préjudiciables dudit phénomène.

Pour GIEC (2001) cité par Ogouwalé (2006), la vulnérabilité est la magnitude ou le degré auquel un système naturel ou humain est susceptible d'être détérioré ou de subir des dommages sévères en raison des changements climatiques. C'est aussi la sensibilité d'un système ou son incapacité à faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes (Ogouwalé, 2006 et Quinton *et al.*, 2010).

La vulnérabilité d'un système est donc fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation et des changements du climat à laquelle il est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation (Kodja, 2013).

Le concept de vulnérabilité permet d'intégrer dans un cadre conceptuel commun l'incertitude sur les causes et conséquences des changements climatiques et la capacité d'adaptation des populations à risque (Oloukoi *et al.*, 2006, Sounon Bouko *et al.*, 2007).

Elle est définie, dans cette étude, comme le dégré auquel les ressources naturelles de la basse vallée de l'Ouémé sont susceptibles d'exposer le milieu au risque d'érosion. Il a été répertorié les facteurs influençant les formations naturelles du bassin et les modes d'usages de ces ressources naturelles de la basse vallée de l'Ouémé. Elle est abordée en deux temps. Il a été d'abord étudié l'influence de l'aléa sur les modes d'utilisation des ressources naturelles et leur répartition et ensuite son influence sur la structure, le fonctionnement de ces ressources naturelles et la capacité d'adaptation de la société ou des personnes qui dépendent de ces ressources. L'estimation de la capacité d'adaptation représente un défi particulier face auquel les sciences biophysiques trouvent leurs limites.

Ainsi, l'exploration de la vulnérabilité d'un système société–environnement doit donc intégrer la connaissance des processus érosifs à l'origine des perturbations du milieu naturel.

1.3.6. Etats de surface

Plusieurs concepts (occupation et utilisation du sol, occupation des terres) sont définis.

- **Occupation du sol**

La présente thèse considère comme occupation du sol, l'ensemble du couvert végétal, les installations humaines, le mode d'utilisation des terres *(land use)* présentant des effets sur les processus d'érosion de la basse vallée de l'Ouémé. Elle peut être donc succinctement définie comme la couverture biophysique de la surface des terres émergées.

- **Utilisation du sol**

Par contre, l'utilisation du sol est définie en termes de syndromes des actions humaines telles que l'exploitation des carrières de sable, l'agriculture, la foresterie et les constructions qui altèrent les processus à la surface du sol y compris la biogéochimie, l'hydrologie et la biodiversité (Meyer, 1960 ; FAO, 2005 et Boko, 2013).

- **Occupation des terres**

Pour Moser (1996) et Abdoulaye (2015)**,** le terme désigne le type de végétation couvrant le sol, les installations humaines telles que les bâtiments et les routes, et d'autres aspects physiques de l'environnement comme les sols, les éléments de la biodiversité et les cours d'eau de surface et souterrains. L'utilisation de ce concept paraît donc adaptée au présent contexte.

Pour éviter la confusion entre ces concepts, le terme « états de surface » est choisi dans la présente étude. Il est utilisé parce que ce terme va au-delà des concepts d'occupation du sol et de l'utilisation du sol.

- **Etats de surface**

Selon Casenave et Valentin (1989), les états de surface pris sous l'angle hydrologique désignent « un système de surfaces élémentaires à un instant donné, système qui constitue un ensemble homogène au sein duquel les différentes composantes entretiennent des relations fonctionnelles quant au ruissellement et à l'infiltration ». Pour Escadafal (2007), les surfaces élémentaires prennent en compte le couvert végétal, la surface du sol et son organisation superficielle. Cependant, l'organisation pédologique superficielle résulte des transformations subies sous l'effet de facteurs météorologiques, phyto-écologiques, fauniques ou anthropiques. La reconnaissance des surfaces élémentaires est ainsi associée à la description du couvert végétal, du couvert minéral et du micro-relief (Leduc, 1999) et à la recherche de leur dynamique.

La notion d'état de surface comprend donc, en plus de l'occupation et d'utilisation du sol, l'occupation des terres, la pente et la dynamique du couvert végétal dans la basse vallée de l'Ouémé.

1.3.7. Dynamique des états de surface

Plusieurs paramètres sont pris en compte dans ce concept.

- **Indice**

Un indice est un indicateur composite calculé sur la base de plusieurs paramètres pour mesurer l'état d'un phénomène ou l'évolution d'un processus.

- **Régression**

Dans le domaine de l'étude de la dynamique de l'occupation du sol, la régression d'une formation végétale est sa conversion vers une autre formation végétale moins boisée ou vers d'autres unités anthropiques. C'est aussi la réduction d'une superficie occupée par un type de formation donnée entre deux dates.

- **Dégradation du couvert végétal**

C'est la diminution ou la disparition progressive de la couverture végétale du fait de l'utilisation des terres et/ou d'autres facteurs naturels et de leurs interrelations (Lambin *et al*., 2001).

La dynamique des états de surface est le changement des caractéristiques physionomiques du couvert végétal, des types d'occupation y compris les champs et jachères sans oublier les habitations humaines de la basse vallée de l'Ouémé. Il s'agit en fait d'analyser la dégradation des états de surface à partir des travaux de terrain et de l'exploitation des cartes d'occupation du sol des années 1992, 2002 et 2012.

1.3.8. Sol et Terre

- **Sol**

Le sol représente la couche superficielle, meuble, de la croûte terrestre, résultant de la transformation de la roche mère, enrichie par des apports organiques. On différencie le *sol* de la *croûte terrestre* par la présence significative de vie. Il existe plusieurs définitions du sol.

Les agronomes nomment le sol, la partie arable (pellicule superficielle) homogénéisée par les labours et explorée par les racines des plantes. Le pédologue Albert (2008), estime que la partie arable ne constitue que la partie superficielle du sol. Ouorou Barre

(2014) définit le sol comme étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants ». C'est cette définition qui est prise en compte dans l'étude et joue un double rôle :

- support de la plante : il doit remplir certaines conditions de stabilité, d'aération, de perméabilité etc., c'est-à-dire posséder une structure physique convenable ;
- garde-manger de la plante : les substances minérales nécessaires à l'alimentation des végétaux doivent s'y trouver en quantité suffisante.

- **Terre**

La terre est la seule planète du système solaire propice à la vie grâce aux températures clémentes à sa surface et à la présence d'eau liquide.

1.3.9. Simulation et Modèle

- **Modèle**

Un modèle est "une représentation idéalisée de la réalité, élaborée en vue d'une démonstration". Dans les études relatives aux changements spatio-temporels de la végétation, la modelisation vise generalement l'explication et la prédiction (Brown *et al*, 2006).

- **Simulation**

Afin de répondre aux enjeux du développement soutenable, la nécessité d'entrevoir les changements futurs grâce à l'approche prospective devient incontournable. La modélisation prospective qui informe sur les devenirs possibles d'un territoire permet d'accompagner les collectivités locales et de communiquer avec la population sur les enjeux à moyen et long termes (Oloukoi, 2013 cité par Abdoulaye, 2015). En effet, grâce aux modèles de dynamique spatiale on peut appréhender de manière très détaillée les évolutions possibles d'un territoire. Ces modèles permettent de proposer différentes alternatives qui servent de support à la réflexion et à la concertation. C'est dans ce cadre que des projections de la dynamique de l'occupation du sol dans la

Basse Vallée de l'Ouémé dans le futur ont été effectuées à partir de l'analyse diachronique d'occupation des terres de 1992 -2002 -2012.

- **Capacité d'adaptation**

La capacité d'adaptation comporte deux acceptions (Issa, 2012). La résilience des écosystèmes est leur aptitude à absorber les impacts pour revenir, à moyen terme, à des états de dynamique stable sans changement majeur de leur physionomie initiale et, la capacité d'adaptation de la société qui est l'aptitude à planifier, anticiper et mettre en oeuvre des mesures (économiques, technologiques, institutionnels, etc.) de gestion des impacts des changements climatiques.

Pour vérifier les hypothèses de travail et les objectifs de recherche une démarche méthodologique a été adoptée.

CHAPITRE II : DONNEES ET METHODES D'ETUDE

Le chapitre II présente les données utilisées pour l'évaluation des impacts de la dynamique des états de surface dans les processus d'érosion dans les Communes de Bonou, Adjohoun, Aguégués, et Dangbo. Ces données sont collectées à partir des documents existants et des travaux de terrain.

2-1. Outils et données

Cette partie présente les outils utilisés et les données collectées dans le cadre de la présente thèse.

2-1-1. Outils de mesures, d'observations et de positionnement géographique

Plusieurs outils de mesure, d'observation et de positionnement géographique des données ont été utilisés (Tableau I).

Tableau I : Matériel utilisé

Outils	Utilisations
Appareil photo numérique Panasonic model N°DMC-FS10	La prise de vue des faits instantanés qui ont servi d'illustration dans le présent document
Balance Sartorius TE 313 S	Utilisée pour la pesée des échantillons de sédiments
Cartes topographiques	Pour la reconnaissance du milieu
Clinomètre	Pour les mesures altimétriques
Coupe-coupe	Pour ouvrir les layons
Décamètre	Pour mesurer la longueur, la largeur, la profondeur et les différents horizons de chaque profil
Fiches	Pour relever des diverses mesures et observations
GPS GARMIN 60	La prise de coordonnées géographiques, notamment le marquage des points repères dans la basse vallée de l'Ouémé, la position géographique des profils (pédologique et topographique) et celle des parcelles d'érosion
Marqueurs	Pour le marquage des piquets d'érosion et le marquage des sachets
Marteau et Planchette	Pour l'enfoncement dans le sol des piquets d'érosion
Peson	Pour mesurer le poids des sédiments récupérés des pièges à sédiments
Pièges à sédiments	Pour la récupération des sédiments ruisselés et l'appréciation de la taille des particules transportées par l'eau
Piochon	Permet de racler et de prélever les échantillons de sols
Piquets d'érosion	Pour mesurer, soit l'épaisseur de terre érodée ou emportée, soit la couche de sédiments accumulés
Ruban	Utilisé pour la mesure et l'installation des différents placeaux
Sachets	Pour le prélèvement d'échantillons de sol au niveau des différents horizons (en vue de la détermination de la capacité de rétention et de l'analyse granulométrique)
Tarière hollandaise	Pour les sondages pédologiques

Source : *Enquête de terrain, mars 2014*

Le tableau I présente le matériel ayant servi à la collecte des différentes données (par prélèvements, par mesures directes et par sondages ou enquêtes).

2-1-2. Techniques d'évaluation des mouvements de particules

Dix huit (18) piquets d'érosion et dix huit (18) pièges à sédiment ont permis d'évaluer l'intensité et la répartition des mouvements de particules en termes d'enlèvement, de transport et de dépôt des sommets vers le talweg (planche 1).



Planche 1: Piquet d'érosion (a) installé à Assrossa (Commune de Bonou) et vue d'en haut d'un Piège à sédiment (b) installé dans un champ de manioc à Gouti (Commune d'Adjohoun)
Prise de vue : Agbomahènan, Mars 2014

La mesure de l'épaisseur de sol enlevé ou accumulé, au niveau des 18 piquets installés, sur les différentes facettes topographiques après chaque saison de pluie a été faite à l'aide d'un ruban métrique et le volume de sédiments arrachés a été déterminé par calcul. Les dix huit (18) pièges à sédiments ont permis d'examiner la nature, la taille et le poids des particules entraînées par le ruissellement. Le suivi du dépôt des sédiments dans les pièges est fait pendant la petite saison des pluies qui s'étend de septembre à octobre et la grande saison pluvieuse d'avril à juillet des années 2013 et 2014. Les observations ont été faites au cours de ces deux campagnes. A la fin de chaque campagne, les pièges sont déterrés et leurs contenus recueillis dans des sachets pour être examinés et analysés au laboratoire. Les sédiments sont pesés et classés suivant la texture des matériaux.

2-1-3. Données climatologiques

Les données climatologiques concernent des séries mensuelles de précipitations, d'évapotranspiration potentielle (ETP) et de température sur la période 1965-2011.

Les données pluviométriques sont constituées des hauteurs de pluie moyennes mensuelles. Les températures maximales et minimales mensuelles de la station synoptique de Cotonou ont été collectées à la Direction Nationale de la Météorologie (DNM) à l'ASECNA. Les autres données sont extraites des fichiers des stations météorologiques de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) sur les 46 dernières années (1965-2011). Ces données proviennent des stations météorologiques situées dans le bassin et dont le taux de lacune n'excède pas 5 %. Les hauteurs de pluie de quinze stations dont douze pluviométriques, deux synoptiques et une agroclimatique ont été utilisées (figure 3).

Les résultats des travaux de Le Barbé *et al.* (1993), Totin (2005 et 2010) ; Vissin (2007) ; Donou (2009) ; Amoussou (2010) ; Agoïnon (2012) ; Kodja (2013) ont été mis à contribution pour déterminer les rapports entre le régime pluviométrique et l'érosion hydrique dans le secteur d'étude.

2-1-4. Données hydrométriques

Les statistiques hydrométriques (débits journaliers et mensuels) de l'Ouémé à Bonou sur la période (1965-2011) ont été tirées des bases de données du Service de l'Hydrologie de la Direction Générale de l'Eau à Cotonou. Le tableau II présente les coordonnées et les superficies des stations hydrométriques du secteur d'étude dont les données ont été utilisées.

Tableau II : Caractéristiques des stations hydrométriques retenues pour l'étude

Stations hydrométriques	Coordonnées		Aires drainées (km^2)
	Latitude	Longitude	
Ouémé à Bétérou	9°12'	2°16'	10326
Ouémé à Savè	8°00'	2°25'	23600
Ouémé à Bonou	6° 54'	2° 27'	46990

Source : *Le Barbé et al., 1993*

Le choix des stations hydrométriques (figure 3) de Bétérou et de Savè se justifie par le fait que ces stations sont positionnées en amont du secteur d'étude et sur des exutoires des différents sous-bassins du fleuve Ouémé. Il permet de suivre l'influence de l'évolution des débits du fleuve Ouémé et de ses principaux affluents dans le mouvement des particules. La station de Bonou est retenue parce qu'elle se situe sur un des exutoires de la basse vallée de l'Ouémé. Ces données ont permis de mettre en

évidence le fonctionnement hydrologique des aquifères ayant leurs exutoires au niveau des versants du bassin.

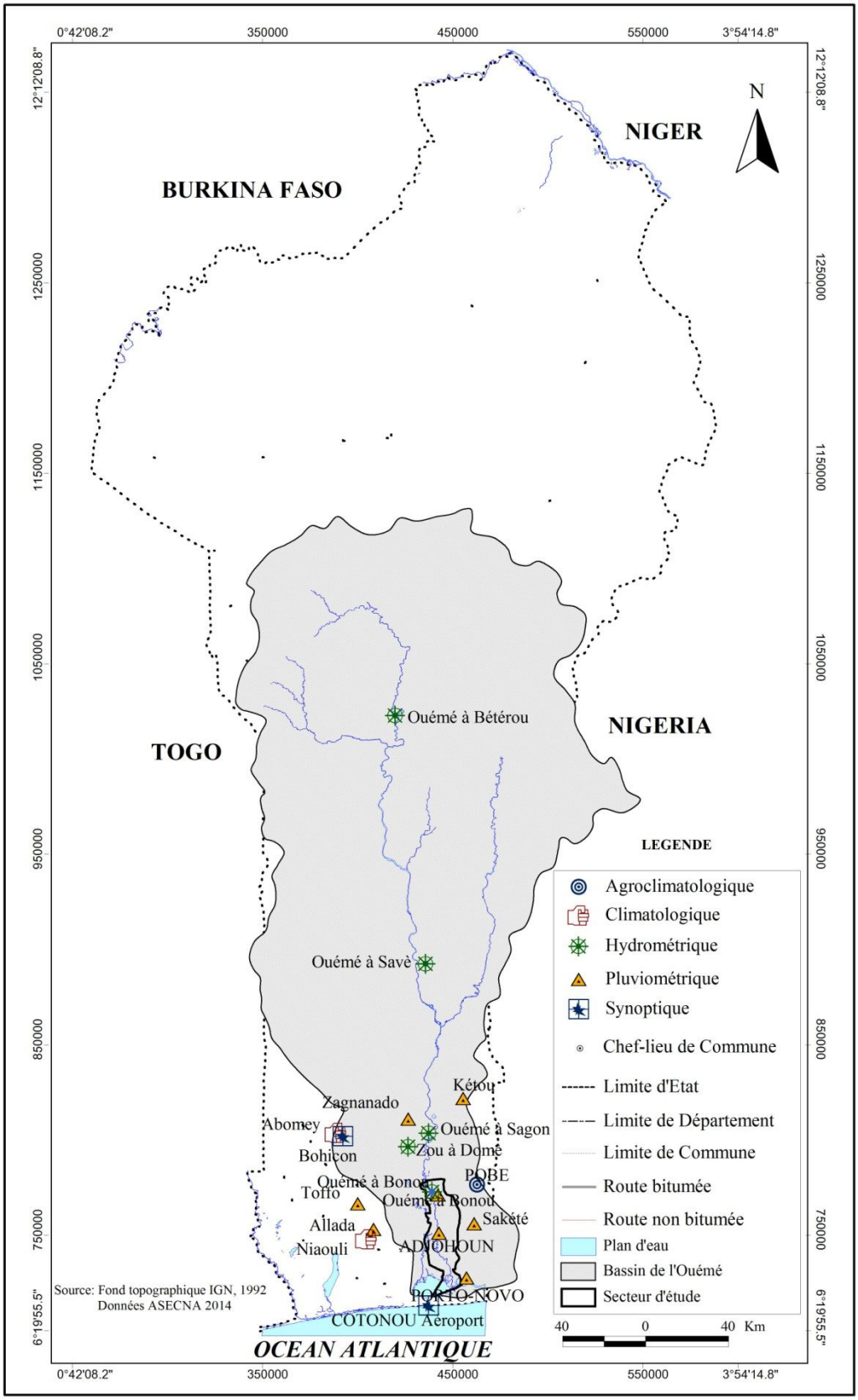


Figure 3: Répartition spatiale des stations météorologiques et hydrométriques utilisées

2-1-5. Documents planimétriques

Pour la basse vallée de l'Ouémé, il a été utilisé :

- les cartes topographiques feuille de Porto-Novo NB-31-XV de 1968 et feuille d'Affamè NB-31-XV-3d de 1963, Dahomey au 1/50000e (Type Outre-mer) sur lequel figurent les courbes de niveau et les points cotés; les principaux axes routiers, les cours d'eau et quelques agglomérations. Ces fonds topographiques sont disponible à l'Institut Géographique National;
- la carte pédologique du Sud-Bénin feuille de Porto-Novo au 1/200.000, (ORSTOM, 1970) pour les différents types de sol ;
- la carte géologique, notamment la feuille de Lokossa-Porto-Novo au 1/200.000 provenant de l'Office Béninois des Recherches Géologiques et Minières (OBRGM) pour reconnaître les ères géologiques et les faciès lithologiques du secteur d'étude ;
- la carte hydrographique du Bénin à 1/500.000 provenant de la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau) a été également utilisée afin d'apprécier le réseau hydrographique de la basse vallée de l'Ouémé ;
- la carte d'occupation et d'utilisation des terres (2001) du bassin de l'Ouémé élaborée par le projet IMPETUS sur la base de l'image MODIS land cover type, L (MOD12Q1) de 2001.

Les données sur l'occupation des sols des années 1992, 2002 et 2012 sont obtenues après traitement des images satellitales (Landsat 5 TM 1992 ; Landsat 7 ETM+ 2002 et Landsat 7 ETM+ 2012 de résolution 30 m) à 1/50.000. Une image satellitale de Google Earth Pro de 2013 a été utilisée pour l'actualisation de l'observation de l'occupation du sol du milieu test.

Les images satellitales Landsat utilisees ont été obtenues a partir du site webftp :/ftp.glcf.umiacs.umd/glcf/Landsat de « Global Land Cover Facility »"GLCF". Les images ont été traitées et interprètées par le Centre National de Télédétection, l'Institut Géographique National au Bénin, le Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale.

Le choix de l'année 1992 est justifié par l'absence d'images satellitales sur tout le bassin dans la période 1961-1970. Les images de l'année 2002 et de 2012 ont été utilisées pour apprécier l'état des unités d'occupation du sol de façon décennale.

Les différentes cartes ont servi à l'élaboration des cartes des unités morphologiques et celles des états de surface du secteur d'étude.

2-1-6. Données des états de surface

Dans cette étude, il a été utilisé, le couvert végétal, les sols en exploitation pour les carrières de sable, les sols en culture et en jachère de la basse vallée de l'Ouémé.

2-1-7. Données démographiques et socio-économiques

Les données démographiques concernent l'effectif de la population aux recensements généraux de la population et de l'habitation (RGPH) de 1979, 1992, 2002 et de 2013 à l'échelle des Communes de Bonou, Adjohoun, Aguégués, et Dangbo, disponibles à l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE). Elles ont été utilisées pour appréhender la dynamique de la population comme facteur de pression sur la basse vallée de l'Ouémé.

Les données socio-économiques intéressent les activités (agricole, exploitation des carrières de sable, etc.) organisées autour du fleuve Ouémé. Les activités de production ont été inventoriées à travers les transects installés.

Ces informations permettent, en complément de données d'occupation du sol, de décrire le degré d'anthropisation dans les différentes parties de la basse vallée de l'Ouémé et d'évaluer l'évolution de la pression démographique.

2-1-8. Données topographiques et techniques de mesure

Trois aspects de la topographie ont été pris en compte dans cette étude. Il s'agit de l'inclinaison de la pente, la longueur de pente, de la présence de concavités (et talweg) et de convexités.

Il s'agit de la mesure des pentes des différentes facettes topographiques de la basse vallée de l'Ouémé à l'aide du clinomètre. A cet effet, trois layons transversaux ont été ouverts. Sur chaque transect, le levé topographique a été effectué dans les bas de

versants, la frange hydromorphe et la plaine d'inondation. Les ruptures de pente ont permis d'identifier avec précision les différentes facettes topographiques. Sur chaque facette topographique, les mesures altimétriques sont faites tous les 25 m sauf dans les cas où, à l'intérieur d'une facette, une rupture de pente s'observe. Les cartes topographiques ont permis de caractériser les altitudes, les pentes des terrains et des vallées. Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de résolution 30 m x 30 m est utilisé.

2-1-9. Données pédologiques et leurs techniques de prélèvements

Les cartes des sols de la basse vallée de l'Ouémé sont obtenues au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE). Les sondages pédologiques le long des transects ont été effectués grâce à la tarière hollandaise. Les sondages effectués ont permis de prélever et d'apprécier la texture, la structure et la couleur du sol. Des sondages pédologiques intermédiaires très rapprochés (25 m) ont permis d'affiner le quadrillage du terrain à partir d'une maille.

Des profils pédologiques ont été réalisés in situ en vue de la prise d'échantillons pour la détermination au laboratoire des différents paramètres physiques qui régissent la dynamique de l'eau et le transport de sédiments au niveau du sol (nombre d'horizons, profondeur, texture, structure, matière organique, profondeur d'enracinement…). Les propriétés physiques des sols constituent un facteur déterminant dans l'évolution morphologique de la basse vallée de l'Ouémé.

Les données de granulométrie sont issues du tamisage des échantillons de sédiments collectés lors de carottages. Elles ont procuré une base de données de la fréquence et du pourcentage cumulé des grains composant les sédiments, traduits en graphiques qui ont permis une interprétation du mode de distribution, de l'origine éventuelle des sédiments et l'identification de la texture et de la structure des formations géologiques en place.

2-1-10. Choix des transects

Les unités de l'occupation du sol, les formations pédologiques et la densité de la population ont déterminé le choix des transects. Il a été aussi procédé à l'évaluation de

l'influence des activités humaines sur l'évolution des formes élémentaires de relief. Les coordonnées géographiques, la position topographique, l'unité morphologique, l'ampleur de l'action anthropique et la formation végétale en place relevée sur chaque transect sont présentés.

2.2. Méthode de collecte des données

2.2.1. Recherche documentaire

Le recensement et la lecture des travaux généraux et spécifiques a permis de faire l'état des connaissances sur l'influence des états de surface dans le phénomène d'érosion en général et à l'échelle de la basse vallée de l'Ouémé en particulier.

Les travaux ciblés sont ceux ayant abordé les thématiques comme la variabilité climatique, la dynamique des états de surface, l'influence des changements d'occupation et d'utilisation des terres, l'utilisation des SIG et de la télédétection comme outils.

Les approches développées par Roose (1977), Blivi (1993), Blavet (1996), Louis *et al.* (2005), Amoussou (2010) et Agoïnon (2012) pour rechercher le lien possible entre les processus érosifs et la dynamique des états de surface ont été utilisées. Avec l'utilisation des données d'occupation du sol (1992, 2002 et 2012), de la croissance démographique, de l'indice d'agressivité climatique, l'influence potentielle de la dynamique des états de surface dans la sédimentation dans la basse vallée de l'Ouémé a été analysée. Ces documents se présentent, entre autres, sous formes d'articles scientifiques, de documents de synthèse, de rapports, de mémoires, de livres et des thèses.

La documentation a été réalisée dans les centres, services et institutions de recherche (CENATEL, OBRGM, IGN, FLASH, INSAE, etc.) dont les activités ont un rapport avec l'objet de cette étude. Les recherches effectuées sur l'internet ont permis de recenser les travaux similaires faits dans le monde et d'apprécier les méthodes adoptées afin de les adapter à cette étude.

2.2.2. Travaux de terrain et méthodes de quantification de l'érosion

Les investigations sur le terrain ont permis de compléter les données documentaires.

2.2.2.1. Etudes topo-séquentielles

Les recherches topo-séquentielles regroupent les coupes morpho-pédologiques et l'occupation du sol. Elles concernent les représentations simplifiées de la topographie du terrain et de l'état d'occupation du sol le long des transects. Outre les mesures directes de terrain, d'autres informations ont été collectées auprès des acteurs.

2.2.2.2. Enquêtes auprès des acteurs

Les enquêtes socio-économiques sont faites essentiellement dans les villages ou localités traversées par les transects effectués. Les critères ayant présidés à la sélection des localités enquêtées ont trait à la position topographique, à la densité de population, à l'occupation du sol et aux activités économiques.

- **Choix des villages d'investigation**

Le choix des villages d'enquête est déterminé grâce à la technique d'enquête par sondage. Pour ce faire, la base de sondage utilisée est constituée de la liste officielle et complète des villages avec l'effectif de leur population totale en 2013. A défaut de la liste complète des ménages des villages avec leurs occupations professionnelles, la méthode des quotas *(*Agoïnon *et al.,* 2010 et Agoïnon, 2012) qui repose sur le choix raisonné a été utilisée. Le quota affecté à chaque secteur est déterminé au moyen de la formule :

$$N = n \; x \; f$$

avec *N* la taille de l'échantillon, *n* le nombre total de villages recensés par secteur, *f* le taux de sondage, fixé dans le cas d'espèce à 20 % en moyenne pour les villages et 10 % pour les autres variables. Ce taux *f* appliqué à chaque secteur a permis de dégager le nombre de villages d'enquête dans la basse vallée de l'Ouémé (Tableau III).

Tableau III : Répartition des villages cibles par Commune et par type de relief

Type de relief	Villages	Arrondissements	Communes
Plateau	Akpadanou ; Topli; Dannou Azowlissè ; Agonlin Lowé ; Gogbo Gboa-Kpakpassa ; Dogba-Hê	Akpadanou Azowlissè Atchonsa	Adjohoun (8 Villages)
	Affassa ; Wovimè Bonou centre	Affamè Bonou	Bonou (3 Villages)
	Zounguè ; Mitro ; Fingninkanmè	Zounguè	Dangbo (3 Villages)
Plaines alluviales	Gangban ; Togbota ; Ahouandjannanfon Lokossa ; Ananmin	Gangban Adjohoun	Adjohoun (5 Villages)
	Bembe I ; Bembe II ; Gbodjè; Djigbé; Kindji	Avagbodji	Aguégués (5 Villages)
	Gnanhoui-Zounmè	Damè-Wogon	Bonou (1 Villages)
	Glahounsa ; Hetin-Sota	Kessounou	Dangbo (2 Villages)

Source : *Résultat des travaux de terrain, 2014*

Plusieurs ménages ont été dénombrés dans les villages retenus. Au terme de ce dénombrement, la liste des ménages désagrégés par profession est confectionnée et une enquête par sondage a été effectuée.

- **Echantillonnage de la population**

Les investigations en milieu réel sont basées sur une population échantillonnée. Elles sont réalisées, en saisons pluvieuse et sèche de chaque année sur deux ans, à travers les interviews semi structurés à l'aide de questionnaires (guide d'entretien et d'observation) orientés vers les groupes de paysans, d'exploitants de carrière de sable, de pêcheurs, les autorités locales, les tradithérapeutes, les représentants de certaines ONGs et structures (SCDA, GRAPAD, PADSA, PADPPA, PDRT, CLCAM, CREP, etc.) qui ont une meilleure connaissance (sur les modes d'utilisation du sol, les procédés et techniques culturaux utilisés, etc.) du secteur d'étude.

L'échantillonnage des personnes enquêtées est fait suivant la méthode probabiliste de SCHWARZT (1995) : $N = (Z\alpha^2 \times PQ)/d^2$ dans les localités sélectionnées pour l'étude.

Avec N = Taille de l'échantillon; $Z\alpha$ = Ecart fixé à un 1,96 ce qui correspond à un degré de confiance de 95 %; P = nombre de ménages de l'arrondissement / nombre de ménages de la Commune, etc; Q = 1-P= Probabilité de non réalisation de l'événement; d = Le degré de précision = 0,05

Ces enquêtes se sont déroulées dans les Communes de Bonou, Adjohoun, Aguégués, et Dangbo et par choix raisonné (Tableau IV).

Tableau IV: Caractéristiques de l'échantillon utilisées

N°	Catégories socio-professionnelles	Nombre de ménages vulnérables enquêtés	Total
1	Paysans-agriculteurs en activité ou non	6 par village	150
2	Paysans-pêcheurs	3 par village	75
3	Exploitants de carrière de sable	4 par village	100
4	Autorités locales (responsable communale ; responsable des groupements de paysans ou de femme)	3 par Commune (s'il existe)	10
5	Chefs de famille	02 par village (s'il existe)	20
6	Tradithérapeutes ou chefs féticheurs	01 par village	25
7	Représentants de certaines ONGs présent dans la Commune (GRAPAD, PADSA, PADPPA, PDRT)	01 par village (s'il existe)	10
8	Services déconcentrés de l'état (CeCPA, CLCAM, CREP, FACOR)	03 par Commune (s'il existe)	10
Total			**400**

***Source** : INSAE, 2013 et travaux de terrain, 2014*

Au total, des 146 villages et quartiers de la basse vallée de l'Ouémé, les travaux de terrain ont été conduits dans 27 localités, soit un taux d'échantillonnage de 18,49 %. Ensuite 400 personnes ont été interviewées dont : 150 paysans, 100 ramasseurs de sable ou exploitants de carrière, 72 pêcheurs, 23 chefs de ménages, 10 autorités locales, 25 chefs traditionnels, 20 représentants d'ONGs et de structures.

Le choix des personnes enquêtées repose sur les critères suivants : avoir au moins quarante ans, avoir vécu dans la localité tout au moins les vingt dernières années avant l'enquête et être un acteur de la production agricole ou de l'exploitation des carrières de sable. Les autres personnes ressources sont choisies en fonction de leur responsabilité dans le développement des activités socio-économiques dans leurs localités respectives.

2.2.2.3. Techniques d'enquêtes utilisées

Les enquêtes de terrain sont réalisées grâce à l'approche MARP (Méthode Active de Recherche Participative. Ils comportent des entretiens semi-directifs, des interviews et des focus-groups. Pour Agbomahènan (2009 et 2010), Amoussou (2010) et Agoïnon (2012), la MARP est un ensemble d'approches et d'outils utilisés pour permettre aux populations rurales et urbaines de présenter leurs connaissances sur leur situation et leurs conditions de vie par rapport à un fait. Cette technique établit un processus de communication plus proche et plus révélateur que les questionnaires. Il a été mis au

point des questionnaires orientés vers les utilisateurs quotidiens du bassin (les pêcheurs, les paysans, les éleveurs et les exploitants de carrière de sable), vers les organismes non gouvernementaux (ONG) et les personnes-ressources (chefs de quartier ou de village, maires des Communes, notables, sages et chefs religieux, et agents du développement rural). Ces personnes-ressources ont été ciblées en raison de la nature des informations détenues, de leur ancienneté dans le milieu (plus de 15 ans) et de leur savoir endogène sur les risques de vulnérabilité des écosystèmes de la vallée de l'Ouémé.

2.3. Traitement des données et modèle d'analyse des résultats

Les fiches d'enquêtes ont été codifiées et ensuite traitées à l'ordinateur. Les informations obtenues sont transformées en tableaux, figures, etc. de synthèse.

2.3.1. Traitement des données climatologiques et hydrologiques

2.3.1.1. Reconstitution des données hydrométéorologiques manquantes

Les lacunes observées dans le champ des stations pluviométriques (6 stations) et celle hydrométrique à Bonou dont le taux n'excède pas 5 % ont fait l'objet d'une reconstitution. Elle vise à éliminer les biais, à garantir la fiabilité des données obtenues et d'éviter des résultats tronqués (Donou, 2009 et Totin, 2010).

Les meilleurs résultats ont été choisis grâce à la reconstitution des données pluviométriques manquantes effectuées alternativement par le biais de la régression linéaire, de la fonction puissance, des méthodes de Brunet-Moret (1969, 1971, 1979) et de prévision. L'équation de Brunet-Morel utilisée par Vissin (2007) ; Amoussou (2010) et Totin (2010) a pour expression mathématique :

$$xi = \frac{\bar{X}}{Y} yi + \varepsilon i$$

où $\overline{X} et \bar{Y}$ sont les moyennes intermensuelles aux deux stations sur une longue période ; xi, la valeur correspondante dans la matrice de référence et yi la valeur manquante à estimer dans la matrice incomplète. La valeur εi est négligeable et de ce fait n'a pas été considéré dans l'estimation des valeurs manquantes.

Le calcul de la prévision de la valeur capitalisée mensuelle des débits à partir des valeurs existantes dans les stations voisines quand la corrélation est significative, ou, dans le cas contraire, à partir des valeurs des mois encadrants dans la station lacunaire. Les valeurs connues sont des valeurs x et y existantes, et la nouvelle valeur prévue est calculée par la méthode de régression linéaire. L'équation de la fonction Prévision est :

$$a \div bx \text{ ; où } \quad a = \overline{y} - \text{b}\overline{x} \text{ et } \quad b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2}$$

avec x et y les moyennes d'échantillon (x_connus) et (y_connus) **x** représente l'observation dont la valeur va être prévue; y_connus représente la matrice ou la plage de données dépendantes; x_connus représente la matrice ou la plage de données indépendantes.

2.3.1.2. Indice pluviométrique

L'indice pluviométrique a permis d'identifier les séquences sèches ou humides et moyennes sur la période (1965-2011). L'indice pluviométrique est déterminé à partir de la formule utilisée par OMM (1992):

$$I_p = \frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma}$$

où X_i est la pluviométrie de l'année i,

$\bar{X}$ est la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence et σ est l'Ecart type de la série. :

Si I_p<0 : l'année est sèche ou déficitaire.

Si $I_p = 0$: l'année est dite moyenne ou normale.

Si $I_p > 0$: l'année est humide ou excédentaire.

2.3.1.3. Bilan climatique potentiel : indicateur des périodes d'activités

Le bilan climatique permet de mettre en évidence l'évolution du climat à travers la différence entre les apports pluvieux et la demande en eau par évapotranspiration (Franquin, 1969 ; Ogouwalé, 2006 et Boko, 2013). Il traduit la succession d'excédents et de déficits en eau dans le secteur d'étude. Ainsi, le climat devient sec quand les

précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible (Vissin, 2007 et Amoussou, 2010). Pour ces derniers, le bilan climatique (Bc en mm) exprime la différence entre la somme des abats pluviométriques (P en mm) et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP en mm). Les données d'évapotranspiration sont celles de l'ETP fournies par l'ASECNA. La formule du bilan climatique est :

$$Bc = P - ETP.$$

Quand il est supérieur à 0, il correspond à la partie de l'averse ayant pu raisonnablement donner lieu au ruissellement. Ainsi :

- le bilan climatique est excédentaire si *P* >*ETP* ;
- le bilan est déficitaire, si *P* <*ETP* ;
- le bilan est équilibré quand *P* = *ETP* (Amoussou, 2010 et Boko, 2013).

2.3.1.4. Détermination de coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement (Cr) permet de caractériser la capacité d'un bassin versant à ruisseler en fonction uniquement de la couverture du sol. Ce coefficient est défini comme suit:

$$\mathrm{Cr} = \frac{\text{Hauteur d'eau ruisselée (mm)}}{\text{Hauteur d'eau précipitée (mm)}}$$

2.3.1.5. Estimation de l'indice d'agressivité climatique

Les données pluviométriques mensuelles de 1965 à 2011 ont permis de déterminer l'indice d'agressivité climatique sur la basse vallée de l'ouémé. Ainsi il a été procédé au calcul de l'indice d'agressivité climatique de Fournier (1967) cité par Gnongbo (1996), Amoussou (2010), Eténé (2010) et Agoïnon (2012), afin de déterminer la capacité érosive du climat. L'équation donne :

$$F = {}^{p2}/_{p}$$

avec *p*, la hauteur pluviométrique mensuelle la plus élevée, et p, la moyenne pluviométrique annuelle. Les données obtenues ont été krigées sous le logiciel Surfer 11.0 pour cartographier l'agressivité érosive de la basse vallée de l'Ouémé.

2.3.2. Détermination des caractéristiques morphologiques de la basse vallée de l'Ouémé

L'étude morphologique a pour objectifs de déterminer les caractéristiques géométriques ou physiques de la basse vallée de l'Ouémé.

2.3.2.1. Détermination de la forme de la basse vallée de l'Ouémé

La forme d'un bassin influence l'allure de l'hydrogramme (Expression ou représentation, graphique ou non, de la variation des débits dans le temps) à l'exutoire du bassin. L'indice morphologique calculé, pour caractériser la basse vallée, est l'indice de compacité de Gravelius (1914) ou indice de forme (I_f)**.** Cet indice utilisé par Zannou (2011), Agoïnon (2012) et Tovidé (2013) a été déterminé à partir de la carte topographique, feuille de Porto-Novo NB-31-XV-3d, Dahomey au1/50000e (Type Outre-mer) en mesurant le périmètre de la basse vallée de l'Ouémé de même que sa surface. Il est le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle de surface équivalente. La formule de l'indice de forme (I_f) se présente comme suit :

$$I_f = 0{,}28 \times \frac{P}{\sqrt{S_b}} = 0{,}28 \times P \times (S_b)^{1/2}$$

avec I_f est l'indice de compacité de Gravelius, S_b est la surface de la basse vallée de l'Ouémé en km², P est le périmètre de la basse vallée de l'Ouémé en km.

L'indice de compacité de Gravelius est toujours supérieur à 1 et traduit la forme de la basse vallée de l'Ouémé. Cette dernière est allongée, si I_f est proche de 1,6. Elle est ramassée ou presqu'un cercle, si I_f est proche de 1(figure 1-2).

La forme d'un bassin versant accentue la vitesse d'érodibilité des sols et par conséquent le transport et le dépôt des sédiments érodés (Agoïnon, 2012).

L'application de la requête du logiciel Arc-view sous SWAT a permis de donner les limites et la superficie de la basse vallée de l'Ouémé afin de déterminer leur coefficient de forme.

2.3.2.2. Indice global de pente

La pente est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie d'une vallée. L'indice global de pente (Igp) est un des indices qui caractérise le relief du bassin et se calcule comme suit :

$$Igp = \frac{D}{L}$$

où :

• *D* représente les dénivelées, exprimées en mètre, séparant les altitudes ayant approximativement 5 % et 95 % de la surface du bassin au-dessus d'elles. Ces altitudes sont déterminées à partir des courbes hypsométriques ;

• *L* est la longueur du rectangle équivalent, exprimée en km. La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par Roche (1998), permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

• *Igp* est exprimé en m/km.

2.3.2.3. Dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique (D_S) est calculée pour la basse vallée de l'Ouémé. Cet indice de la topographie du territoire est utilisé pour une classification préliminaire des processus d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé. Il a été évalué et comparé aux données hydrogéologiques dans la basse vallée de l'Ouémé pour vérifier si un lien existe entre cette variable morphométrique et certaines données hydrogéologiques. Elle est le produit de l'indice global de pente *(Igp)* par la racine carrée de la superficie (S_b) du milieu d'étude. Elle s'exprime en mètre et est indépendante, en théorie, de l'aire du bassin.

$$D_s = Igp \times \sqrt{S_b}$$

Igp : Indice global de pente ;

S_b : est la superficie de la basse vallée de l'Ouémé, exprimée en km^2.

On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de Ds (Tableau V).

Tableau V : Classes de relief des bassins versants en fonction de D_S

Ds (m)	**<10**	**10-25**	**25-50**	**50-100**	**100-250**	**250-500**	**>500**
Relief	Très faible	Faible	Assez faible	Modéré	Assez fort	Fort	Très fort

***Source** : Vodounou, 2010 ; Zannou, 2011 et Agoïnon, 2012*

2.3.2.4. Densité de drainage (D_d)

La densité de drainage a été déterminée pour apprécier l'ampleur du phénomène érosif dans la basse vallée de l'Ouémé. Elle est définie par le rapport de la longueur totale des cours d'eau de tous ordres à la superficie de la basse vallée de l'Ouémé. L'équation de la densité de drainage utilisée est celle de Gregory, et Gardiner (1975) :

$$D_d = \frac{L_t}{S_b}$$

avec Lt : longueur totale des cours d'eau de tous ordres ; Sb : superficie de la basse vallée de l'Ouémé

2.3.3. Etude de la dynamique de la population

La dynamique de la population est étudiée au moyen du taux d'accroissement et de l'estimation de la population.

2.3.3.1. Taux d'accroissement de la population

Les données de population les plus récentes sont estimées à partir du taux d'accroissement naturel qui était en moyenne de 2,8 % entre 1979 et 1992. Le taux d'accroissement annuel est calculé à l'aide de la formule linéaire de l'INSAE (1992) ci-après :

$$T_{\langle 2002-2013 \rangle} = \frac{P_{2013} - P_{2002}}{P_{2002}}$$

où, $\boldsymbol{T_{\langle 2002-2013 \rangle}}$ le taux d'accroissement annuel de la population entre 2002 et 2013 dans le secteur d'étude.

2.3.3.2. Méthode d'estimation de la population

La formule d'estimation d'une population connue (INSAE, 2013) en un temps *t* donné avec un taux d'accroissement **r** est par définition :

$$P_t = P_o \times e^{rt}$$

avec P*t* = population estimée ; P_0 = population initialement constatée ; e = fonction exponentiel r = taux d'accroissement ; t = période d'estimation.

A ces données, il faut ajouter celles élaborées grâce aux méthodes statistiques de projection démographique.

2.3.4. Détermination du taux de couverture végétale du sol

Le taux de couverture végétale permet non seulement d'apprécier le taux d'évolution des différentes formations végétales et anthropiques mais également d'évaluer l'impact de l'écoulement sur le sol et par conséquent, sur l'évolution du relief.

Le taux de couverture végétale est calculé, selon Musy et Soutter (1991), pour toutes les unités d'occupation du sol pour les années 1992, 2002 et 2012 suivant la formule :

$$T_{co} = \frac{Superficie\ d'une\ unité\ d'occupation}{Superficie\ totale\ de\ \text{la basse vallée de l'Ouémé}} \times 100$$

2.3.5. Cartographie des secteurs d'érosion de la basse vallée de l'Ouémé

La pente, la nature du sol et le couvert végétal sont les principaux facteurs qui déterminent l'ablation et l'accumulation de matériaux.

2.3.5.1. Etablissement de la carte des pentes

Le document de base qui a servi à réaliser la carte des pentes est le fond topographique au 1/50000^{e} (éditions 1963 et 1968), disponible à l'Institut Géographique National du Bénin.

Dans une méthode classique, on détermine les limites des plages de pente entre les courbes de niveau au moyen d'une abaque calibrée pour laquelle l'écart entre deux traits correspond à une pente donnée. On trace alors une limite perpendiculaire aux courbes de niveau déterminant ainsi des plages quadrangulaires imbriquées dans lesquelles la pente est comprise entre deux valeurs limites. Ils ne représentent que le passage nécessaire d'un système érosif à l'autre. Les formes des versants sont bien marquées avec leurs séquences convexes, rectilignes et concaves et leurs replats intermédiaires témoignant des cycles d'érosion anciens. La carte des pentes ainsi dessinée se présente comme un ensemble de languettes juxtaposées.

Ensuite, on a établi la carte d'occupation du sol pour aboutir à la carte des risques d'érosion.

2.3.5.2. Réalisation des cartes d'occupation du sol

La réalisation des cartes d'occupation du sol des années 1992, 2002 et 2012 a suivi plusieurs étapes.

2.3.5.2.1. Traitement et interprétation des images satellitales

Le traitement des images Landsat 5 TM 1992; Landsat 7 ETM+ 2002 et Landsat 7 ETM+ 2012 a permis d'apprécier la dynamique d'occupation du sol de la basse vallée de l'Ouémé au cours de la même période. L'étude de la dynamique de l'occupation du sol a consisté initialement en une classification supervisée de chaque image satellite. Les classifications ont été suivies par une analyse de détection de changement pixel-par-pixel afin d'identifier et de corriger les trajectoires improbables. Une fois que ces images ont été classifiées et corrigées, la qualité du post-traitement a été évaluée afin de valider ou non les corrections faites. Il a été fait au Centre National de Télédétection (CENATEL) et au Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE) de l'UAC à l'aide du logiciel Erdas Imagine 2011 version 11.0.2. Les grandes lignes de cette démarche sont présentées par la figure 4.

Les images satellitales ont été interprétées à partir des tonalités issues du signal d'origine. Le tableau V1 présente la clé d'interprétation utilisée.

Tableau V1 : Clé d'interprétation des images satellitales

Code	Forme	Tonalité	Identification
1	Irrégulière	Rouge vif	**Forêt claire**
2	Sinueuse	Rouge vif	**Galerie forestière**
3	Irrégulière	Rouge modéré	**Savane boisée**
4	Irrégulière	Rouge pâle	**Savane arborée**
5	Irrégulière	Vert parcouru de fines traces rouges	**savane arbustive**
6	**Effilée**	**Bleu**	**Cours d'eau**

Source : CENATEL utilisé par Vissin, 2007 ; Amoussou, 2010, Agoïnon, 2012 et Boko, 2013

Après l'interprétation des images satellitales, on obtient des minutes d'interprétation.

Pour réussir les traitements des différentes images, le travail a été organisé de manière à éviter au maximum des erreurs de traitement et de classification afin d'aboutir aux résultats escomptés.

2.3.5.2.2. Vérité terrain

Des travaux de contrôle terrain ont été effectués de novembre 2013 à janvier 2014. La vérité terrain a été à partir de la minute de la classification obtenue a partir des images satellitaires, en parcourant la zone d'etude et en verifiant point par point les coordonnees geographiques des differentes unites d'occupation du sol. Ici, l'image Google Earth pro de 2014 a été utilisée pour identifier les principaux lieux (150) à visiter. Pour ce faire, des sites ont été identifiés sur l'image, auxquels des coordonnées ont été intégrées. A l'aide du Système de Positionnement Global, les unités correspondant à ces sites ont été vérifiées, sur le terrain, par l'option « GO TO » incorporée au GPS. Au niveau de chaque site, les observations faites sont consignées sur des fiches de relevés de terrain. Cette étape du travail a permis de visiter les sites échantillons, représentant chacun un thème de la nomenclature préalablement définie, et rectifier les erreurs d'interprétation, afin de valider les travaux cartographiques. D'une manière générale, la vérité-terrain apparait comme un complément indispensable à l'analyse des images satellitaires et des photos instantanées du terrain montrant des constats pertinents. Aucune autre source d'information ne peut la remplacer, elle seule nous renseigne sur l'exactitude de nos interprétations, sur les raisons et la mise en place des évolutions analysées ainsi que sur l'extension du phénomène (Catherine Bodart, 2004).

2.3.5.2.3. Correction et intégration des données de terrain

Cette étape consiste à intégrer les données collectées sur le terrain, la superposer avec la couche de base afin d'apporter les corrections nécessaires.

C'est une sorte de confrontation des informations lues sur l'image et la correspondance de ces informations sur le terrain. C'est une étape qui permet de confirmer, d'infirmer ou de nuancer l'interprétation effectuée au laboratoire. Pour ce faire, les méthodes conventionnelles d'évaluation de la précision thématique d'une carte sont employées. Il s'agit de la matrice de confusion et de l'indice de Kappa (Pontius et Millones, 2011).

L'évaluation de l'évolution de formations naturelles est fondée sur la comparaison des surfaces occupées par les différentes unités paysagiques, par les jachères, les cultures et les masses d'eau pour les années 1992 et 2012. Elle consiste à superposer les cartes

issues de l'analyse de l'occupation du sol réalisées à partir des images LANDSAT 5 TM 1992 et LANDSAT 7 ETM+ 2012 pour établir celle de l'évolution diachronique des unités paysagiques (figure 4).

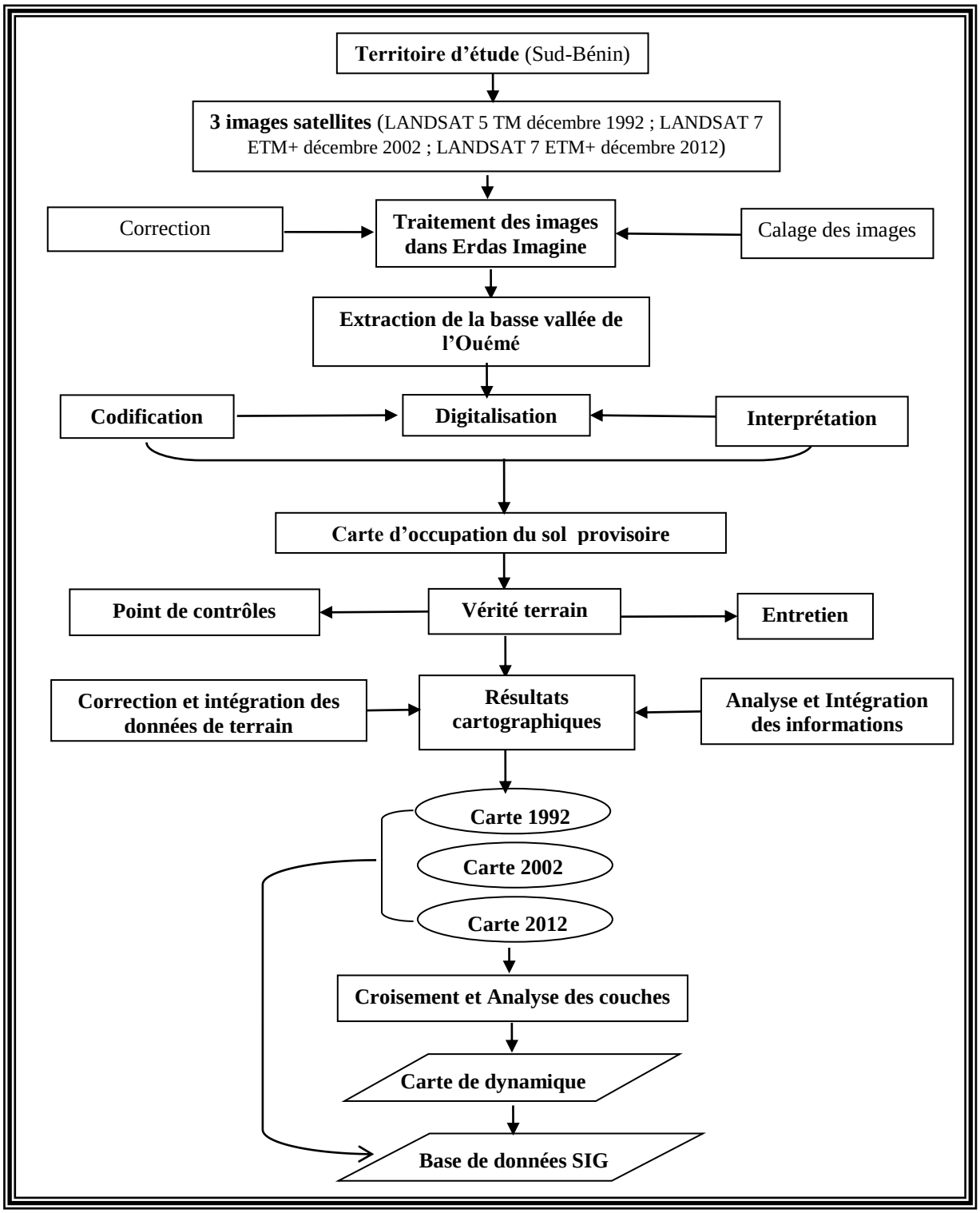


Figure 4 : Organigramme des étapes du traitement des images Landsat
Source : *Abdoulaye, 2015*

2.3.5.3. Estimation de la précision des résultats (matrice de confusion)

La matrice de confusion donne une évaluation de la précision globale de la cartographie pour chacune des unités d'occupation du sol. L'indice Kappa évalue dans la matrice de confusion l'accord entre les résultats de simulation et la situation réelle. Il s'étend de 0 à 1 et il se divise en cinq catégories (Tableau VII).

Tableau VII: Degré d'accord et valeur de Kappa

Accord	Indice Kappa
Accord très faible	0 – 0,20
Accord faible	0,21 – 0,40
Accord modéré	0,41 – 0,60
Accord substantiel	0,61 – 0,80
Accord presque parfait	0,81 – 1

***Source** : Pontius et Millones, 2011*

Plus la valeur de l'indice Kappa se rapproche de 1, plus les deux cartes comparées se ressemblent, tant du point de vue de la variété des unités d'occupation du sol que de leur disposition spatiale (regroupée, dispersée, etc.). L'indice Kappa (1) est exprimé en termes de précision globale observée **(**2) et de précision prévue (3).

$$K = \frac{Pr(a) - Pr(b)}{1 - Pr(b)} \qquad (1)$$

$$Pr\,(a) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{Nc} x_{ii} \qquad (2)$$

$$Pr\,(b) = \frac{1}{N^2}\sum_{i=1}^{Nc} (x_{+i} * x_{i+}) \qquad (3)$$

où :

K est l'indice de Kappa, Pr (a) est la précision globale observée, Pr (b) est la précision prévue, N_c est le nombre de lignes de la matrice de confusion, Nc est le nombre total d'observations, X_{ii} est le nombre d'observations dans la colonne i et la ligne i (diagonale de la matrice), X_{i+} et X_{+i} sont les totaux marginaux de la ligne i et la colonne i respectivement.

Un traitement en soi n'a pas de signification s'il n'est pas accompagné d'une estimation numérique de sa qualité (André et Ado, 2002). La matrice de confusion permet ainsi de connaitre le niveau de précision des traitements. La matrice de confusion renseigne

sur le degré de discrimination entre les unités cartographiées en théorie pendant la phase de traitement des images au bureau avant la vérité-terrain. Elle permet une première évaluation du traitement avant celle qui sera faite à l'issue du terrain.

2.3.5.4. Calcul des taux moyens annuels d'expansion spatiale (T)

La formule du taux moyen annuel d'expansion spatiale utilisée est celle qui a été proposée par Puyravaud (2003) et successivement utilisée par Sparfel (2012) dans une étude sur l'évaluation des changements d'occupation des sols et Oloukoi (2013) dans une étude de Scénario socio-économique et écologique des changements de l'occupation du sol au Bénin. Il est évalué à partir de la formule suivante :

$$T = \left({}^{1}/_{(A_2 - A_1)}\right) \times \ln({}^{S_2}/_{S_1})$$

La variable considérée est la superficie (S) de chaque unité d'occupation du sol. Les superficies ont été générées directement dans l'environnement de ArcGIS 10.1 grâce aux fonctions d'analyse spatiale. Ainsi, pour S_1 et S_2, correspondant respectivement à la superficie d'une catégorie d'occupation du sol en année A_1 et en année A_2, le taux d'expansion spatiale moyen annuel est T.

2.3.5.5. Detection des changements des unités d'occupation du sol

Les cartes de changement ont été élaborées sur la base du croisement des couches d'occupation du sol des différentes périodes. Il a été procédé au croisement des couches de deux périodes successives : 1992-2002 ; 2002-2012 et 1992-2012.

Afin de bien appréhender les grandes tendances enregistrées permettant ensuite d'analyser les causes des changements intervenus dans les différentes unités d'occupation du sol, une clé d'interprétation a été établie. Celle-ci a permis de définir trois types dynamiques intervenus dans l'évolution des unités d'occupation du sol:

- modification au sein de la végétation naturelle ou au sein des espaces anthropisés
- conversion : changements d'une catégorie d'occupation du sol en une autre (Oloukoi *et al*., 2006 ; Sarr, 2009)

- non changement : classe non affectée par des modifications ou des conversions entre deux dates (Sarr, 2009).

Cette nomenclature a été élaborée en s'inspirant de celle, utilisée par Leroux (2012) dans le cadre de la cartographie des changements d'occupation du sol dans le bassin supérieur de l'Ouémé au Bénin. Cette démarche présente l'avantage d'expliquer la dynamique du milieu à travers la mise en évidence des pressions anthropiques et naturelles qui s'y exercent, et la capacité de restauration du milieu.

2.3.5.6. Méthode d'étude prospective des unités d'occupation du sol

Le but de cette partie est d'établir une cartographie de prospective spatiale, en termes de dynamique à partir d'un modèle de simulation adapté

2.3.5.6.1. Choix d'un modèle de simulation de l'occupation du sol

Durant les dernières décennies, une variété de modèles a été développée pour simuler les changements futurs des modes d'occupation et d'usage des sols. Le tableau VIII synthétise les méthodes et outils disponibles pour chacun des modèles évalués, ainsi que leur dépendance à une approche experte et aux données utilisées.

Tableau VIII: Caractéristiques de quelques outils de modélisation

Outils de modélisation	Probabilité du Changement	Relation variables d'influence/	Programmation informatique (utilisateur)
CA_Markov	Carte d'aptitude	Evaluation Multicritères	Oui
CLUE-S	Carte d'aptitude	Régression Logistique	Oui
DINAMICA	Probabilités de transition Poids d'évidence Algorithme Génétique	Poids d'évidence Algorithme Génétique	Oui
LCM (Land Change Modeler)	Carte d'aptitude	Régression logistique Perceptron Multicouche	Oui
SpaCelle	Probabilités de transition	Règles de transition	Non

Source : Mas et al., 2011

Dans le cadre de cette recherche, le choix est porté sur l'outil SpaCelle. C'est un progiciel mis à disposition gracieusement par son auteur, Patrice Langlois, de l'Université de Rouen, disponible gratuitement sur internet http://www.spatial-modelling.info/ Cellular-Automata-SPACELLE. C'est une version multi-couches qui

intègre différentes couches de cellules maillées (carrés ou hexagones) et de couches vectorielles de lignes ou de points.

Les couches peuvent être créées directement dans la plate-forme ou importées depuis des couches de logiciels SIG (format GRID ASCII et format vectoriel « Shape »).

2.3.5.6.2. Généralité sur le modèle SpaCelle

La plate-forme de modélisation SpaCelle permet de construire des automates cellulaires en définissant :

- une liste d'états ;
- des couches cellulaires différentes, de type maillé ;
- des règles de vie et des règles de transition.

✓ **Définition des états**

Le modèle de simulation appliqué à la basse vallée de l'Ouémé est caractérisé par des choix de représentation des états selon les différentes couches cellulaires. Une résolution de cellule de 30 m de côté (résolution image Landsat, 30 m), soit 1 hectare, est fixée, ce qui permet d'intégrer sans changement les règles de vie et de transition définies dans le modèle de base de Oloukoï (2011).

✓ **Couches cellulaires**

Pour réaliser des traitements sous SpaCelle, il faut d'abord avoir les unités d'occupation du sol sous forme vectorielle (fichier de forme ".shp"). Une liste des unités d'occupation du sol a donc été établie. Le tableau IX présente les résultats obtenus.

Tableau IX: Différentes classes retenues pour l'interprétation des unités paysagiques

Code des unités	Type de formation végétale	Code unité regroupée	Désignation
	Unités d'occupation du sol		
FG	Forêt "galerie"	FF	Formations de forêts
FD	Forêt dense		
PL	Plantation (forestière, fruitière ex: palmiers à huile, cocotiers, anacardiers, orangers)	CH	Champs
MCJ	Mosaïque de cultures et de jachères		
MCJP	Mosaïque de cultures et de jachères à palmiers		
PE	Plan d'eau (fleuve, lac, barrage, mare)	PE	Plans d'eau
AG	Agglomération	Ag	Habitations

***Source** : Agbomahènan, 2014*

Au total, sept (07) différentes unités d'occupation du sol sont obtenues.

- ✓ **Règles de vie et de transition**

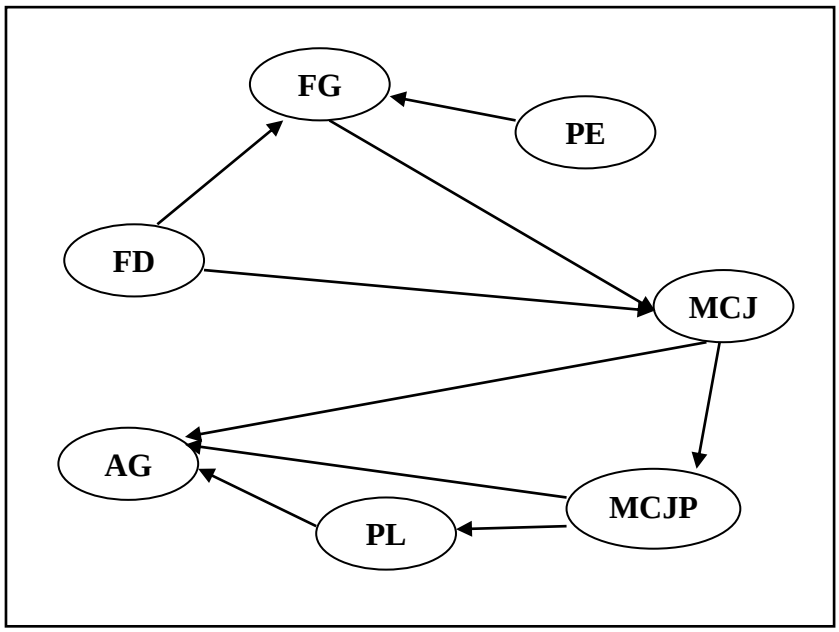
Comme signalé dans l'étape d'analyse des changements d'occupation du sol entre 1992 et 2012, les règles de transition sont normalement conçues pour intégrer les « préférences » de changement, observées dans la matrice de transition, considérant que les changements survenus dans une période passée proche, relèvent des mêmes logiques que ceux qui adviennent ensuite, dans le proche futur, toute chose égale par ailleurs, selon les hypothèses fondamentales d'un modèle de simulation.

Les règles de transition indiquent quels types d'états sont susceptibles de céder la place à d'autres états à chaque pas de temps, selon les conditions qu'elles incluent. Cela définit le «moteur» de l'automate cellulaire : des états sont consommés tandis que d'autres sont consommateurs. D'autres états enfin restent fixes durant la simulation, et sont ainsi des contraintes pour les deux groupes précédents.

La littérature portant sur la modélisation par automate cellulaire pour les changements d'occupation du sol, distingue trois types d'état (Lajoie et Hagen-Zanker**,** 2007). Ces types sont désignés ainsi :

- *vacants* : les états qui connaissent un changement comme résultat des autres dynamiques d'occupation du sol ;
- *functions* : les classes d'occupation du sol qui sont modélisées comme actives ;
- *features* : les classes d'occupation du sol qui ne sont pas supposées changer durant la simulation.

La figure 5 présente les transitions possibles entre les différentes unités d'occupation du sol dans le secteur d'étude. Les relations entre les unités d'occupation du sol sont représentées par des flèches d'épaisseur proportionnelle au nombre de règles de transition associées.



Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

Figure 5 : Relations entre états d'occupation du sol définis par les 7 règles de transition sous SpaCelle
Source : *Conçu à partir du modèle Spacelle*

La figure 5 indique la distinction entre les états d'espaces consommables (vacants), à savoir les espaces naturels, généralement considérés comme des espaces à exploiter, les états consommateurs d'espace (*functions*), qui sont les types d'espaces qui traduisent une artificialisation des espaces naturels pour répondre au besoin de la population en termes d'aménagement. La modélisation ne prend pas en compte les états fixes (*features*). Pour ces derniers états, on peut considérer que les surfaces en eau sont a priori relativement stables.

2.3.5.6.3. Modèle de base et sa validation

- ✓ **Modèle de base**

Les différentes couches d'information géographique traitées pour fournir les couches d'état du modèle dans SpaCelle sont mises en format texte « ASCII ». Les couches de surfaces (occupation du sol) sont des couches de type raster, et fournissent des fichiers « ASCII » contenant autant de lignes que les couches raster en ont et autant d'espaces entre les valeurs des états qu'il y a de colonnes dans ces couches raster. La basse vallée de l'Ouémé s'étend sur 810 Km². Les couches de cellules dans SpaCelle ont une étendue de 1784 lignes et de 3158 colonnes pour une maille de 30 m x 30 m.

- ✓ **Validation du modèle de base**

La méthode la plus répandue pour engager une phase de validation d'un modèle de simulation numérique est de lancer une simulation sur une période dont on possède des données, des mesures pour les états initiaux et terminaux (Roger et Guy, 2000). Ainsi, pour une validation simple, le modèle de base est utilisé avec les données de la basse vallée de l'Ouémé pour 2002 à la date initiale et une simulation sur 10 années permet d'obtenir un état pour 2012 à comparer avec la situation connue à cette date (vérité terrain). Les résultats cartographiés permettent de comparer les similitudes ou différences entre le simulé et l'observé et d'évaluer la capacité de reproduction du modèle.

2.3.5.6.4. Scénarii de la dynamique d'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé

Les scénarii développés dans cette étude reposent sur des hypothèses de stabilité environnementale et de tendance vers la catastrophe (Bénin Alafia, 2025 et Oloukoï, 2013).

- ✓ **Hypothèses du scénario de « stabilité environnementale »**

Les hypothèses de ce scénario ne prennent en compte aucune contrainte de gestion des forêts et des zones humides établis dans les documents d'Etude Prospective du Secteur Forestier en Afrique (FOSA Bénin, 2001; Impetus, 2007; Alafia 2025). Ce scénario part des hypothèses suivantes :

- l'agriculture est mécanisée et les techniques d'intensification agricole sont adoptées par les producteurs ;
- la situation économique des populations s'est améliorée et le taux de croissance économique au niveau national est de 12,4 % (FOSA-Bénin, 2001) ;
- le taux de disparition de la forêt est réduit de 100 000 ha /an à 50 000 ha/an et aussi le taux de la dynamique de l'occupation du sol est réduit de moitié par rapport au taux obtenu entre 1986 et 2006 ;

- la part du bois dans la satisfaction des besoins en énergie domestique des populations est réduite de 50 % au profit d'autres sources d'énergie telles que le gaz domestique.

✓ **Hypothèses du scénario « tendance vers la catastrophe »**

Le but du scénario "tendance vers la catastrophe" est de donner un aperçu de l'évolution de l'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé si rien ne change en termes de rythme des activités anthropiques.

Dans ce scénario de "tendance vers la catastrophe", la dynamique prospective de l'occupation du sol est basée sur des considérations socio-économiques, c'est-à-dire la dynamique de la population et les activités anthropiques. Ce scénario se repose sur trois hypothèses de base développées par Oloukoi (2011):

- le caractère extensif de la production agricole fait appel à l'utilisation de méthodes nocives à l'environnement (culture sur brûlis, déboisements incontrôlés, réduction de la durée des jachères, monoculture prédominante sur l'assolement en général, etc.) et dégrade sans cesse les écosystèmes en général et les sols en particulier (MECCAGPDPE-PNUD, 2000) ;
- la population est dépendante des ressources naturelles qui constituent la principale source d'énergie ;
- le taux de la dynamique de l'occupation du sol est demeuré le même que celui de la période allant de 1986 à 2006 (Oloukoi, 2011).

Ce scénario vise à se faire une meilleure idée de ce que pourrait être la situation future afin que cela suscite une prise de conscience de l'ensemble des acteurs du développement durable.

2.3.5.7. Réalisation de la carte des secteurs érodés de la basse vallée de l'Ouémé

Le but de cette étape est de comparer les modifications intervenues dans les types d'occupation et d'utilisation du sol entre 1992 et 2002 ; 2002 et 2012 et enfin 1992 et 2012 en lien avec les processus hydrologiques comme le ruissellement, l'écoulement et l'infiltration qui conditionnent l'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé. Ainsi, la

superposition des deux cartes analytiques (pentes et types d'occupation du sol) a produit la synthèse que constitue la carte d'érosion.

La caractérisation géomorphologique de la basse vallée de l'Ouémé constitue une étape très importante du traitement. Le facteur topographique est ainsi exploité pour l'évaluation de la susceptibilité à la dégradation du sol. De plus le risque de dégradation est lié à la texture des sols et aux différentes caractéristiques hydrodynamiques (capacité d'infiltration, perméabilité et porosité des types de sols) associées. Il devient donc indispensable de caractériser l'érodibilité des sols. La carte des sols est interprétée selon la texture et l'épaisseur du sol. Les indices d'agressivité ou d'érosivité des pluies de la basse vallée de l'Ouémé calculés à partir des travaux de Fournier (1967) utilisé par plusieurs auteurs au Bénin (Eténé, 2006; Amoussou, 2010 ; Agoïnon, 2012 ; etc.) ont été krigées. Les cartes relatives aux pentes, à l'érodibilité et à l'érosivité sont croisées dans l'environnement Arc View 10.1 dans une analyse multicritères pour établir la carte de sensibilité des sols. Selon Eténé (2010), l'application d'analyse multiple aboutit à des cartographies fiables.

Dans ce travail, les différents facteurs sont considérés comme ayant la même importance et sont donc intégrés dans le SIG avec la même pondération. Les résultats de la requête à partir du logiciel Arc View 10.1 sous ESRI, grâce aux extensions "Arc Trace et Visit" sous Windows donne les différentes valeurs des paramètres morphométriques. Enfin, le croisement de la carte d'occupation du sol avec la carte de sensibilité à l'érosion aboutit à la carte d'érosion hydrique. La figure 6 présente l'organigramme de la réalisation de cette carte.

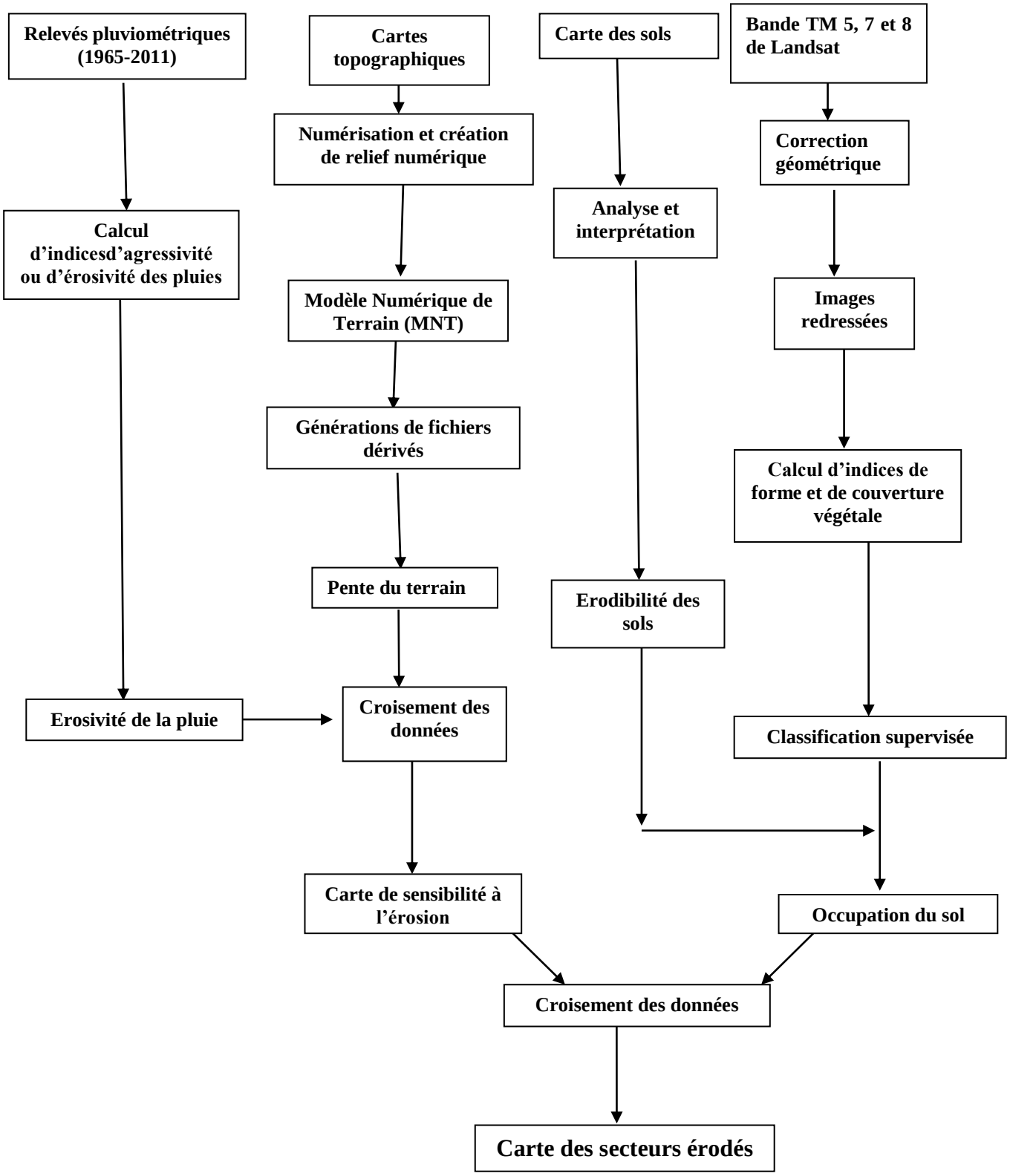


Figure 6: Organigramme des étapes de cartographie des secteurs d'érosion
***Source** : Eténé, 2010 et modifié par Agbomahènan, 2015*

2.3.5.8. Outils de traitement des données

Les différents traitements (cartographique et calculs) ont été faits à l'aide des logiciels suivants :

- Xlstat 2009 et Sphinx version 8 ont permis de faire les traitements graphiques et les calculs statistiques ;
- Map source a été utilisé pour le téléchargement des informations GPS et Map info pour la réalisation de la carte de situation géographique qui a servi d'illustration dans cette étude ;
- Erdas Imagine 2011 version 11.0.2 a été utilisé pour l'interprétation et la numérisation des images ;
- Arc View 10.1 a été utilisé pour la réalisation des cartes des différentes unités d'occupation du sol des trois périodes (1992, 2002 et 2012), des cartes pédologiques, de réseau hydrographique et le calcul de la superficie de la basse vallée de l'Ouémé.
- MapComparison Kit 3.2 (MCK), outil logiciel pour la comparaison des cartes raster afin de réaliser la carte de détection de changement entre deux périodes.
- Arc Gis 10.1 pour la réalisation des cartes des différents milieux vulnérables aux érosions.
- Le logiciel Surfer 11.0 a servi surtout à la réalisation de la carte des facettes topographiques en trois dimensions et celle de l'agressivité climatique du secteur d'étude.

2.3.6. Analyse granulométrique

Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) en vue de déterminer les pourcentages de sable, d'argile et de limons dans les différents échantillons de sols prélevés sur le terrain. Les méthodes d'analyses granulométriques varient en fonction de la taille moyenne et des tailles extrêmes du matériel à analyser.

- **Echantillonnage**

Les sédiments ont été prélevés à une profondeur approximative de 0 à 10 cm à l'aide d'une tarière hollandaise et conservé dans un sachet numéroté à température ambiante. Il est à noter que sur un même site, cinq prélèvements sont effectués sur un carré de 2

m environ et homogénéisé en vue d'un mélange constituant l'échantillon final. Tous les échantillons de sédiments sont pesés avant tout essai à l'aide d'une balance électronique (photo 1).



Photo 1: Prélèvement de carottes de sédiments à Dèkin (Commune de Dangbo)
Prise de vue : *Essoun S., Janvier 2015*

Les sédiments sont prélevés en fonction de la dynamique des formations naturelles et des activités socioéconomiques menées à proximité des différents sites ou autour du fleuve Ouémé. La figure 7 présente les points géoréférencés de prélèvements des sédiments dans la basse vallée de l'Ouémé.

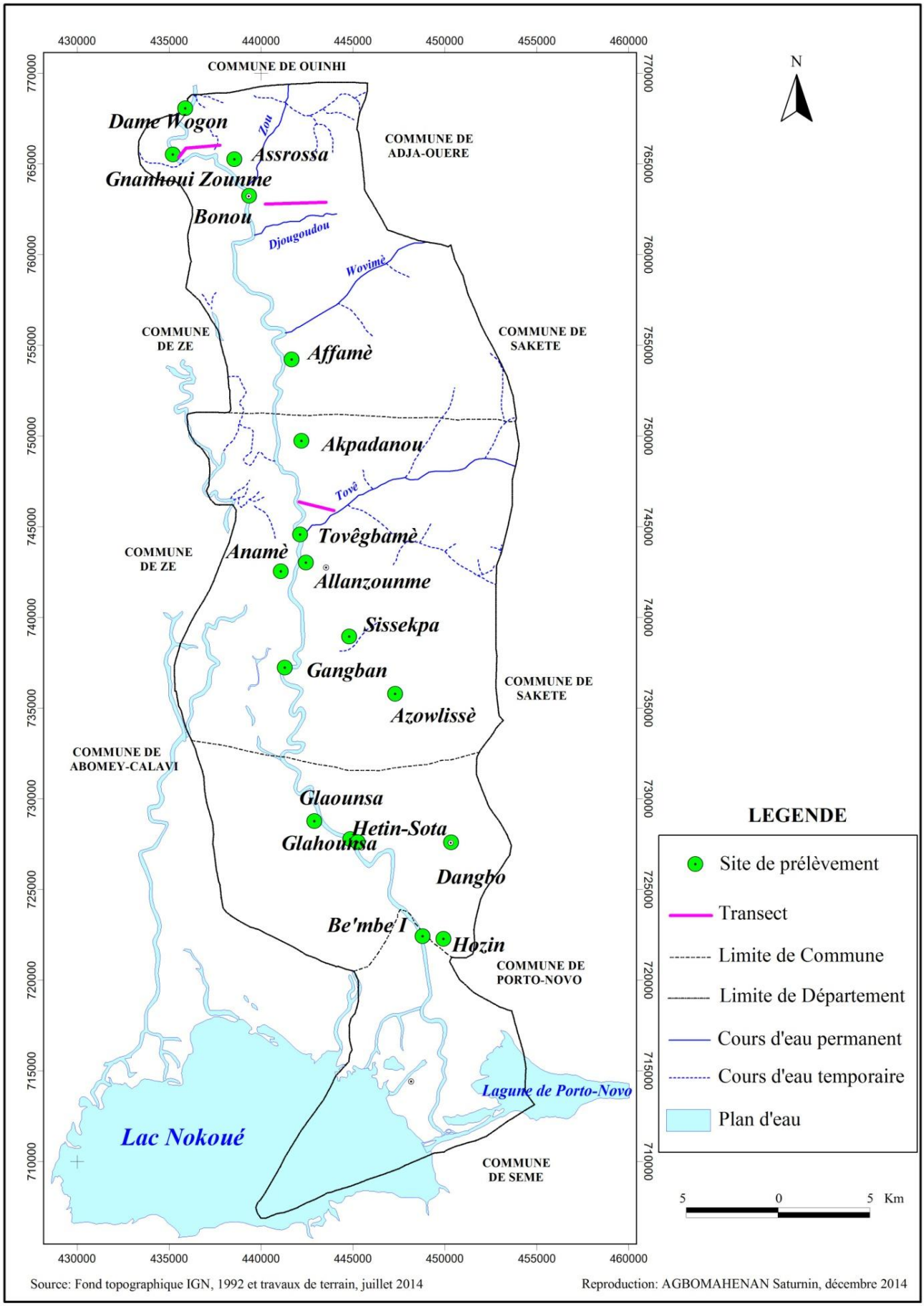


Figure 7: Réseau hydrographique, Sites de prélèvement d'échantillon de sédiments et positionnement des transects

Les sédiments prélevés ont été analysés suivant la méthode AFNOR (Association Française de Normalisation) NF X31-107 déjà utilisé par Bamisso (2015) au laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). Cette analyse vise à déterminer les pourcentages de sable, d'argile et de limons dans les différents échantillons de sols prélevés sur le terrain.

- **Analyse granulométrique**

Dans le laboratoire de sédimentologie de la FAST, une balance Sartorius TE 313 S (Max : 310g et d = 0,001g) est utilisée pour la pesée des échantillons de sédiments avant et après le séchage (planche 2). A cet effet, un prélèvement de 150 g par échantillons de sédiments est lavé au robinet après pesée afin d'éliminer la matière fine.



Planche 2: Pesé (a) et lavage au robinet (b) des échantillons de sédiments au laboratoire
Prise de vue : *Agadjihouèdé, Juillet 2015*

La planche 2 illustre le test indiqué pour séparer la matière fine, l'argile et les limons des sables. La masse de matière restante constitue la masse de sable de cet échantillon. La matière fine est constituée d'argile et de limons.

- **Séparation granulométrique des grains de sable**

Le test de séchage est utilisé en vue d'éliminer la quantité d'eau contenue dans les divers échantillons de sédiments après lavage. Ainsi, ces échantillons de sédiments sont mis à l'étuve à 70°C pendant 24 heures avant et après le lavage afin d'éliminer la masse d'eau de l'échantillon (planche 3).



Etuve servant au séchage des échantillons



Colonne de tamis de la série AFNOR

Planche 3: Dispositif de séparation granulométrique des grains de sable au laboratoire
Prise de vue : *Agadjihouèdé, Juillet 2015*

L'échantillon séché à l'étuve est à nouveau pesé avec la Balance Sartorius TE 313 S. La différence entre la masse avant et après séchage détermine la masse de matière fine éliminée lors du lavage. Cet échantillon de sédiments est versé dans la colonne de tamis de la série AFNOR. La colonne est constituée de cinq (5) tamis suivant une progression géométrique décroissantes des mailles permettant de distinguer les graviers (fraction supérieure à 2 mm) , les sables très grossiers et grossiers (2 mm et 1mm) , les sables moyens (0,50 mm et 0,25 mm), les sables fins et très fins (0,125 mm, 0,063 mm et 0,05 mm), de silt et d'argile (fraction inférieure 0,05mm) qui constituent la fraction fine qui est partie lors du lavage. Puis, les grains sont soumis à une agitation électromagnétique sur un tamisor (tamis-toiles métalliques) pendant une durée de 10 min d'amplitude 70 vibrations/mn par échantillon. Dans cette analyse les graviers n'ont pas été identifiés.

L'analyse granulométrique des sédiments, complétée par des observations de terrain (profondeur exploitable, état d'assainissement…), permet de caractériser le sol et de comprendre son fonctionnement. Le calcul de sorting Index renseigne sur la taille du sédiment et sur l'agent de transport.

La méthode utilisée est celle présentée par Salami et Tchawlassou (1992) ; Rubio *et al.*, (1997) ; Amoussou (2003 et 2010) et Agoïnon (2012). De leur méthode, il a été déduit les données de granulométrie qui sont issues du tamisage des échantillons de sédiments collectés lors des travaux de terrain.

Les résultats ont servi à apprécier la dynamique des sédiments sous les différentes formations naturelles et au niveau des activités socioéconomiques menées autour du fleuve Ouémé.

2.3.7. Analyse du bilan sédimentaire et évaluation des pertes de terre

2.3.7.1. Quantification des apports sédimentaires

- **Au niveau des piquets d'érosion**

Le bilan sédimentaire (*Bs*) a été évalué au niveau de chaque facette topographique (Pye et Blott, 2008 et Ardhuin et Magne 2010 et Agoïnon, 2012) et s'exprime par la formule :

$$Bs = \frac{\sum di}{n} \quad \text{avec}$$

- *di*, volume (m^3) de sédiments érodés ou déposés par m² au niveau d'un piquet d'érosion ;

- *n*, le nombre de piquets installés sur chaque facette topographique.

En effet, trois niveaux de mesure ont été considérés : sommet de plateau, haut de versant, mi-versant et bas de pente. A chaque niveau, la hauteur de terre déplacée ou accumulée est mesurée à l'aide des piquets d'érosion sur une placette. La somme des quantités obtenues donne le volume de terre érodé ou accumulé sur ladite placette.

- **Au niveau des pièges à sédiments**

Le volume de sédiments mesurés au niveau des pièges à sédiments pendant une durée donnée est ramené à une unité de surface de la basse vallée de l'Ouémé suivant la formule :

$$T_s = \frac{C \times V}{dt \times S}$$

où T_s traduit le taux de sédimentation ($mg.m^{-2}.j^{-1}$) ; C=concentration de sédiments dans le piège à sédiments ; V=volume du piège ; S=surface du piège et dt=temps de déploiement.

2.3.7.2. Détermination de la quantité de terre perdue et la vitesse de sapement des fondations

- **Détermination de la quantité de terre perdue**

Pour évaluer la quantité de terre perdue, la formule de Wischmeier et Smith (1960) reprise par Eténé (2010) est choisie. Elle s'exprime par la formule :

$$V = L \times l \times h$$

avec V, quantité de terre perdue ; L, longueur de la ravine choisie ; l, largeur de la ravine choisie et h, profondeur de la ravine choisie.

- **Détermination de la vitesse de sapement des fondations**

La vitesse de sapement s'exprime par la formule :

$$V_S = {}^{h}/_{a}$$

avec Vs, vitesse du sapement ; a, âge du bâtiment ; h, profondeur de déchaussement.

Les données sont analysées à l'échelle de la basse vallée de l'Ouémé et a permis de déterminer la quantité du sédiment à la sortie du bassin. Dans le but d'atteindre ces objectifs, le cadre conceptuel du modèle FPEIR a été suivi pour la réalisation de cette étude.

2.3.8. Modèle d'analyse des résultats

Il se présente comme suit (figure 8) :

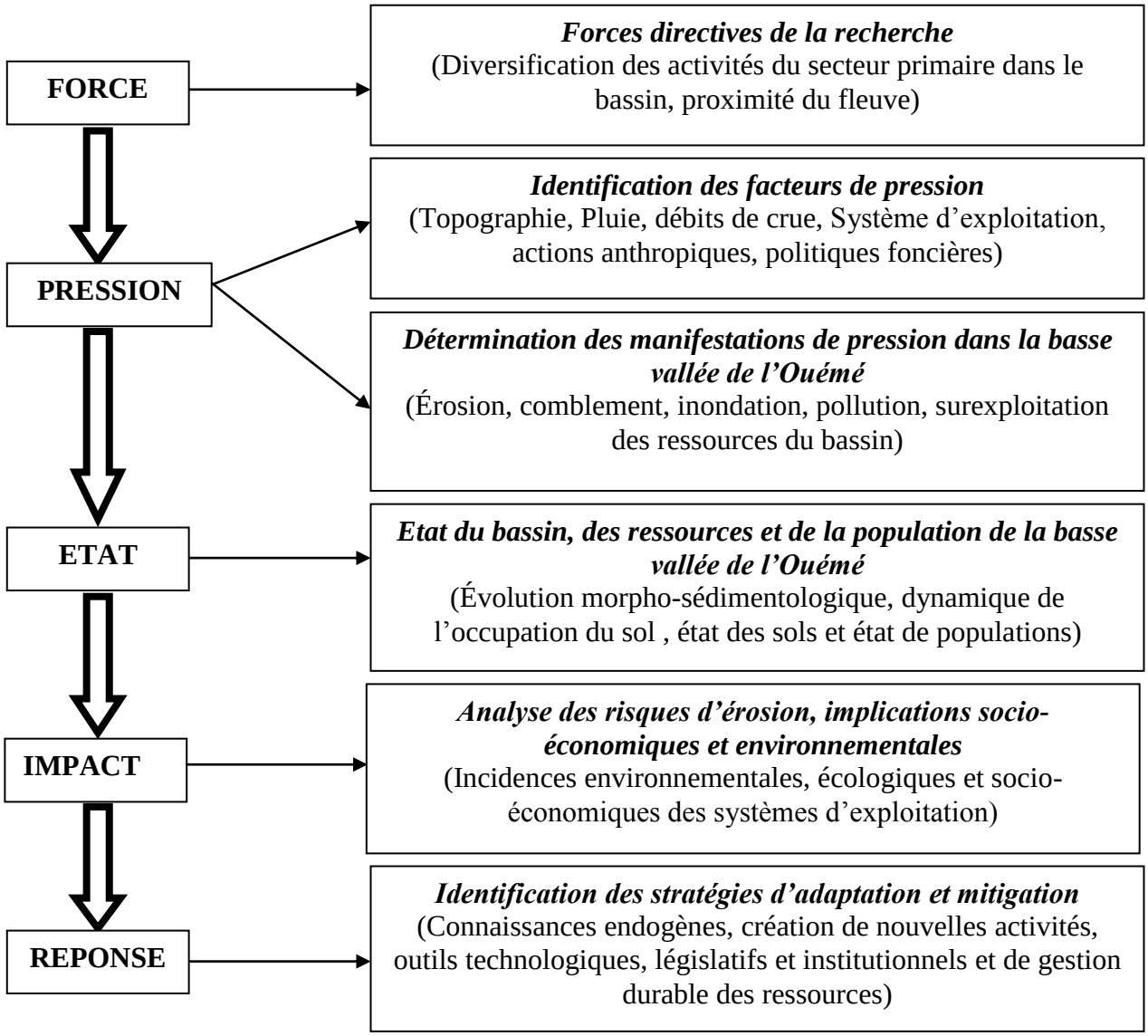


Figure 8 : Cadre conceptuel de l'analyse des résultats
Source : *Adapté de Vodounou, 2010*

L'organisation de la recherche suivant les axes de ce modèle a facilité la connaissance de l'influence des mutations des états de surface dans les processus d'érosion hydrique de la basse vallée de l'Ouémé.

Les stratégies adaptatives développées par les populations pour la maîtrise des mutations spatiales des états de surface; les modifications des formes de relief dans la basse vallée de l'Ouémé et l'acceptabilité des nouvelles pratiques ou techniques introduites sont maîtrisés.

CHAPITRE III :

CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME

Ce chapitre présente les différentes composantes physiques et humaines de la basse vallée de l'Ouémé. L'espace physique constitue l'élément déterminant sans lequel aucune recherche sur l'enlèvement, le transport et le dépôt des sédiments n'est possible. Le paysage humain (peuplement, démographie et économie) met en évidence les pratiques qui ont une influence dans les processus érosifs et sur la perception de ce phénomène par les populations de la basse vallée de l'Ouémé.

3.1. Situation géographique et cadre physique de la basse vallée de l'Ouémé

Il s'intéresse à la situation géographique et aux facteurs naturels qui conditionnent l'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé.

3.1.1. Situation géographique de la basse vallée de l'Ouémé

Le secteur d'étude est, un sous bassin de la vallée de l'Ouémé, situé dans le département de l'Ouémé. Il est situé entre 6°25'23.5'' et 6°57'56.4''de latitude nord et entre 2°21'58.7'' et 2°38'17.8'' de longitude est (figure 9). Il est sur le continuum du bassin versant de l'Ouémé appelé basse vallée. La basse vallée de l'Ouémé est limité au nord par le département du Zou, au sud par le Lac Nokoué, à l'est par la Commune d'Akpro-Missérété et le Département du Plateau et à l'ouest par celui de l'Atlantique. Elle couvre une superficie de 810 km^2 et compte en moyenne une population de 259778 habitants (INSAE, 2013) avec une densité d'environ 321 habitants au km^2. Elle couvre la presque totalité des Communes de Adjohoun (308 km^2), Aguégués (103 km^2), Bonou (250 km^2), Dangbo (149 km^2). La basse vallée de l'Ouémé est drainée par de nombreux cours d'eau dont l'Ouémé est le principal (figure 9).

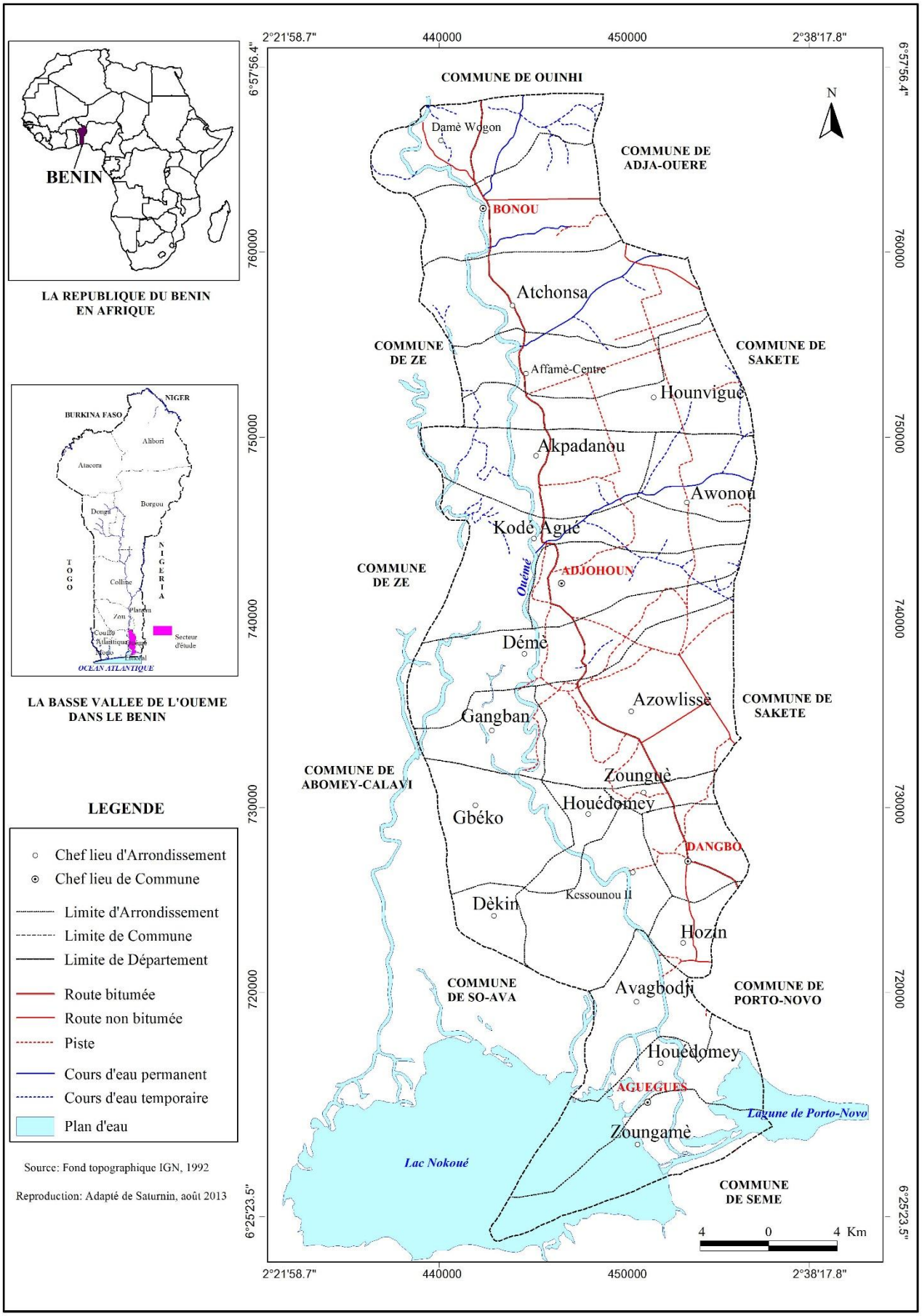


Figure 9: Situation géographique de la basse vallée de l'Ouémé

La basse vallée de l'Ouémé (figure 9) se retrouve dans un contexte climatique ouest-africain aux saisons typiques du climat subéquatorial. Il est constitué d'un ensemble géomorphologique varié reposant sur une structure géologique dont l'histoire permet de comprendre la dynamique morphologique actuelle qui participe de la régulation des activités anthropiques dont celles du secteur primaire.

3.1.2. Contexte climatique : Facteur principal de l'érosion hydrique

- **Pluviosité**

La détermination de l'évolution du régime pluviométrique mensuelle a permis de mieux cerner les périodes inhérentes à la manifestation de l'érosion. La figure 10 présente le régime pluviométrique mensuel du nombre de jours de pluie des stations de Adjohoun, Bonou, Cotonou, Pobè, Porto-Novo et Sakété.

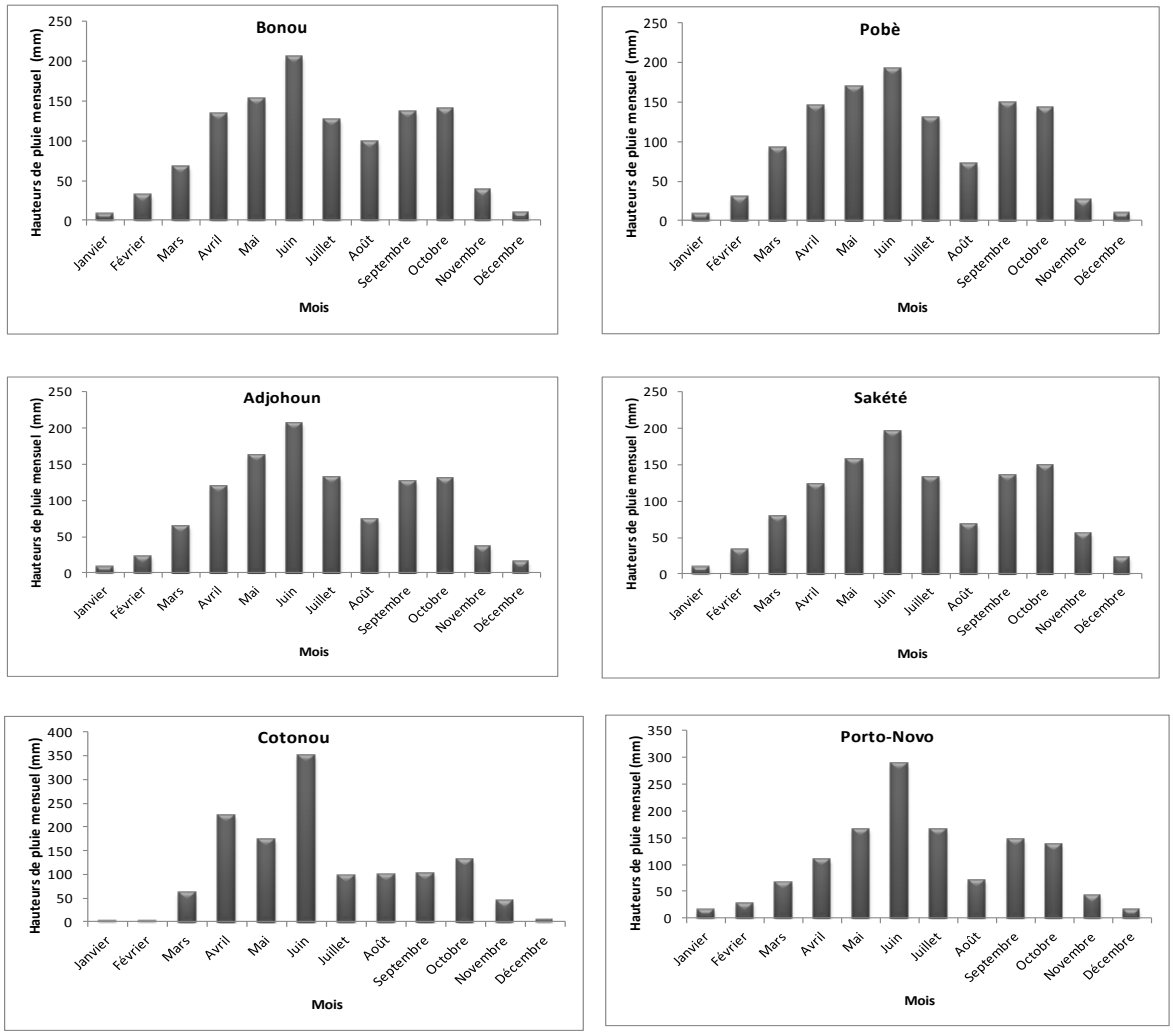


Figure 10: Régime pluviométrique de la basse vallée de l'Ouémé
***Source** : ASECNA/COTONOU, 2014*

L'analyse de la figure 10 montre que la basse vallée de l'Ouémé est caractérisée par un régime mensuel bimodal. Cette bimodalité s'observe en juin et en octobre. Elle dénote de deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La grande saison des pluies d'avril à juillet enregistre la hauteur de pluie la plus élevée. Elle concentre 58,21 % des précipitations moyennes annuelles soit 725,29 mm où le mois de Juin enregistre une hauteur de pluie de l'ordre de 287 mm soit 23,03 %. La petite saison pluvieuse qui s'étend sur septembre et octobre concentre 22,77 % soit 283,74 mm des précipitations moyennes annuelles. Le mois d'octobre enregistre une hauteur de pluie de l'ordre de 149 mm soit 11,96 %.

Au cours de la petite saison sèche d'août à septembre et de la grande saison sèche de décembre à mars on peut enrégistrer des pluies ponctuelles. Ces dernières ne provoquent que de faible ruissellement à cause des conditions initiales d'humectation moins favorables. Dans ces conditions, l'eau ruisselante ne peut transporter que des éléments fins du sol.

L'importance des gouttes de pluie qui tombent sur le sol influence les particules en transit dans la basse vallée de l'Ouémé. Si la lame d'eau déposée par la pluie n'est pas immédiatement absorbée par le sol, le ruissellement s'observe dans le sens de la pente. La hauteur pluviométrique moyenne à l'échelle annuelle varie entre 1069 mm et 1299 mm. Ainsi, la basse vallée de l'Ouémé est donc sous l'influence du climat de type subéquatorial à deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses.

- **Fréquences des pluies de la journée et celle de la nuit**

Selon le Tableau Climatologique Mensuel (TCM) utilisé par Chabi (2015), une pluie de la journée est une pluie qui commence à 6 h du matin et se termine à 18 h. Quant à la pluie de la nuit, elle commence à 18 h et se termine à 6 h le lendemain. Les analyses ont montré une variation saisonnière de ces types de pluies (figure 11).

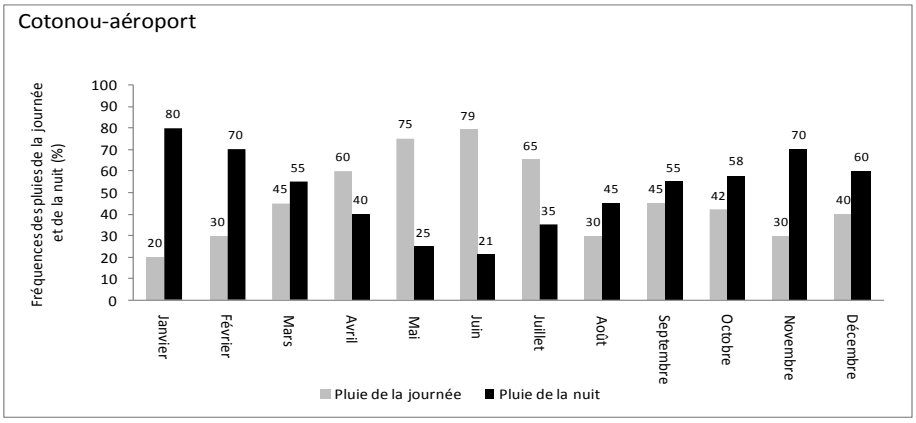


Figure 11 : Fréquences des pluies de la journée et celle de la nuit à Cotonou de 1981-2010
Source : *Chabi, Décembre 2015*

3.1.3. Contexte géologique de la basse vallée de l'Ouémé

La structure géologique du secteur d'étude est constituée de terrains récents et anciens (Le Barbé *et al.*,1993). Les terrains les plus anciens remontent au Crétacé (fin de l'ère secondaire). Cette partie s'inscrit dans le bassin méridional comprenant les grands plateaux et les plaines alluviales (Oyédé, 1991). La plaine alluviale est le siège de dépôts quaternaires récents et subactuels. Le relief du bassin, à substratum sédimentaire tendre, est très peu accidenté (OBEMINES, 1989). Son caractère monotone fait qu'il favorise l'étalement et la divagation des cours d'eau et l'alluvionnement. Les roches sédimentaires qui occupent la partie méridionale du bassin comportent des argiles, sables et grès du Maestrichtien (Crétacé supérieur), des argiles du Paléocène ; des marnes et calcaire de l'Éocène et des sables argileux du Continental terminal. La configuration de ces formations géologiques est à mettre en relation avec des processus de subsidence par la surcharge sédimentaire et de subsidence thermique. La figure 12 présente les grandes formations géologiques de la basse vallée de l'Ouémé.

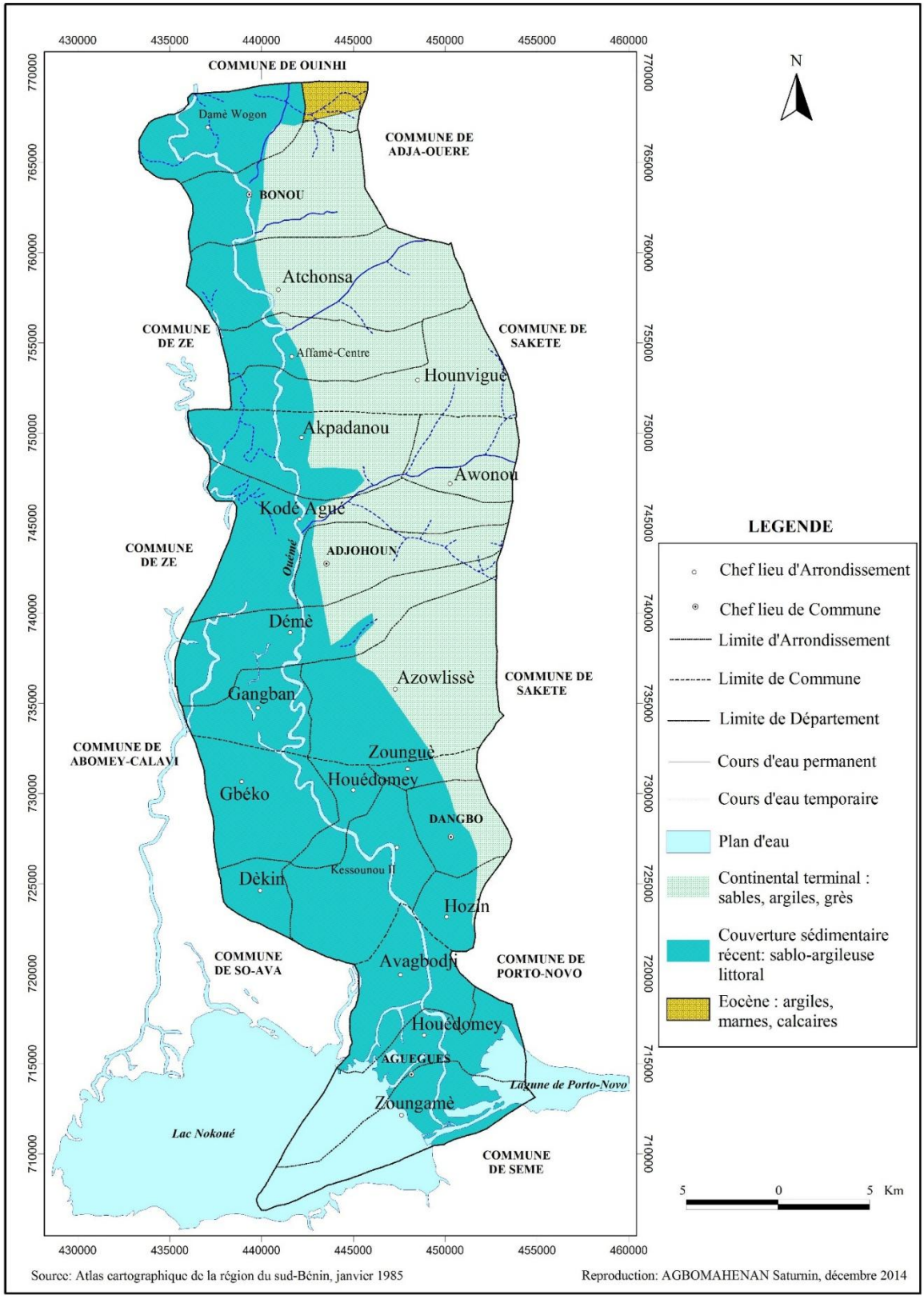


Figure 12 : Formations géologiques simplifiées de la basse Vallée de l'Ouémé

Les terrains sédimentaires constitués par ces roches ont une structure tabulaire monoclinale (Le barbé *et al.*, 1993) caractérisée par l'enfoncement graduel du socle (figure 13).

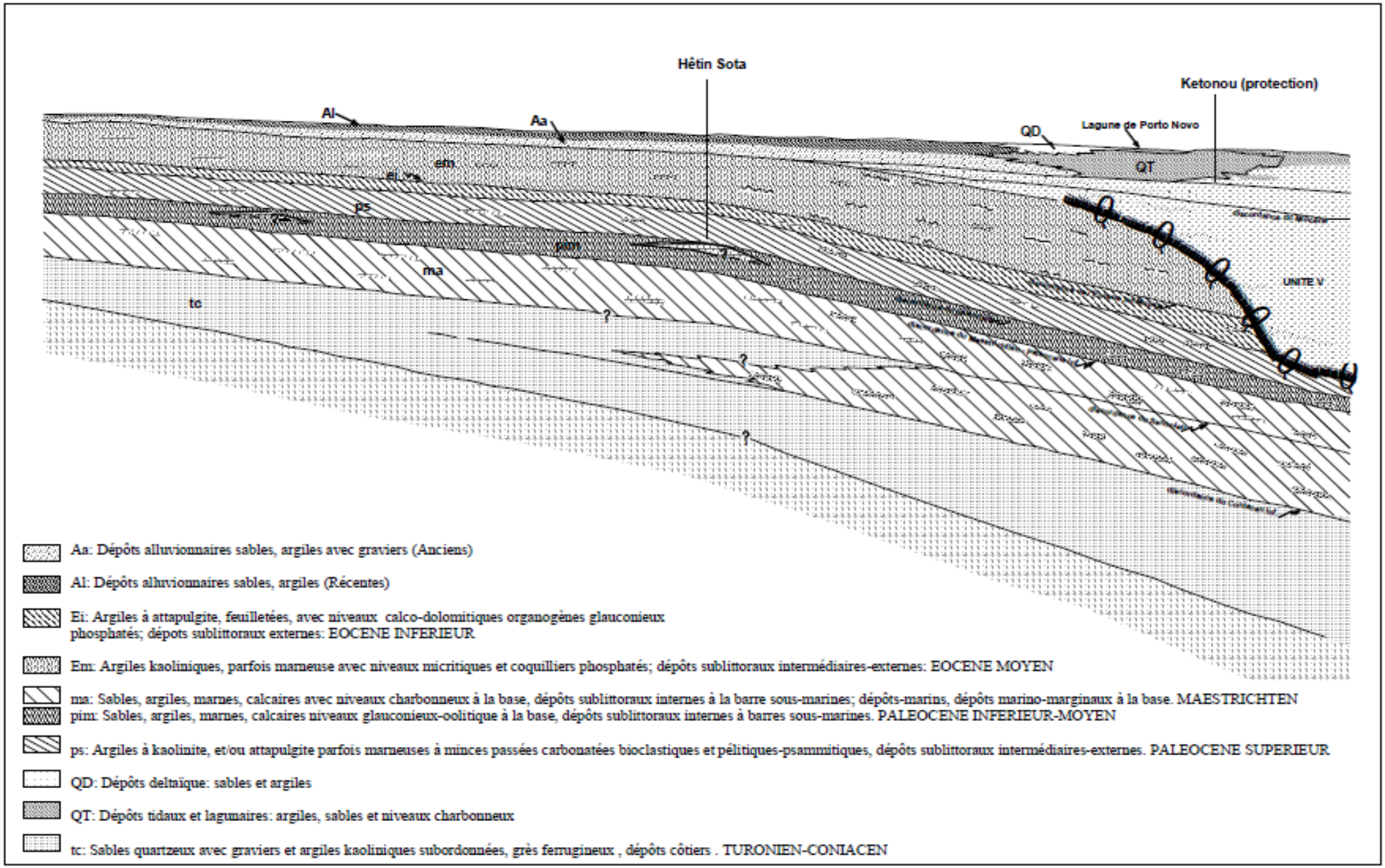


Figure 13 : Coupe géologique de la basse vallée de l'Ouémé
Source : *Carte géologique à 1/200000 ; Feuilles Lokossa-Porto-Novo ; mars 1989*

La coupe géologique (figure 13) précise la composition minéralogique des terrains de la basse vallée de l'Ouémé et qui ont donné naissance aux différents types de sols.

3.1.4. Caractéristiques pédologiques de la basse vallée de l'Ouémé

La basse vallée de l'Ouémé présente une grande diversité de sols dont les vertisols, les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes (Volkoff, 1965 ; Volkoff et Willaime, 1976 ; Poss et Rossi, 1987 ; Azontondé, 1988).

Les sols ferrallitiques de la basse vallée de l'Ouémé se retrouvent sur de grandes étendues sur les formations du Crétacé et du Continental Terminal où ils constituent les « terres de barre » (Le barbé *et al.*, 1993). Les sols issus de ce processus, typique des climats tropicaux humides sous un couvert végétal important, sont en règle générale caractérisés par une grande profondeur, une différenciation progressive des divers horizons et une coloration accentuée et homogène sur l'ensemble du profil. Ce sont des formations argilo-sableuses du Continental Terminal à structure bien nette dans les horizons profonds et à structure assez poreuse dans les horizons supérieurs. Le coefficient d'infiltration est de 87,4 %, quand ces sols sont récemment labourés et de 76,8 % quand ils sont recouverts de végétation. L'horizon superficiel est appauvri, il comprend 5 à 10 % d'argile. Ces sols caractérisent le domaine de la forêt dense semi-décidue. Celle-ci a été détruite par l'homme et remplacée par le fourré arbustif serré ou par la palmeraie naturelle dans les régions de Dogla, Yokon, Houéda, Azowlissè, etc. Les sols ferrallitiques sur le plateau sont favorables aux cultures annuelles (maïs, manioc, haricot, patate douce, arachide) et pérennes (palmier à huile, plantation de teck, d'acacia.). Ce sont des sols fertiles mais très sensibles à la dégradation d'origine anthropique et à l'érosion.

Les vertisols ou sols hydromorphes à gley sont des sols noirs montmorillonitiques, très fertiles, sur les formations marneuses ou calcaires du Paléocène et de l'Eocène de la dépression médiane d'Issaba (Le barbé *et al.*, 1993). Ces sols subissent un engorgement en période pluvieuse et deviennent plus ou moins asphyxiants. Lorsque l'engorgement est suffisamment prolongé, les hydroxydes de fer peuvent être réduits d'où une couleur grisâtre caractéristique (gley). Le coefficient d'infiltration moyen K est de 36,3 % en cette période. En saison sèche, ils présentent de larges fentes de

rétraction en se desséchant.

Les sols hydromorphes des vallées et marais sont des sols très fertiles mais inondés de façon saisonnière par les eaux de crue du fleuve Ouémé. L'hydromorphie se développe sous l'influence d'un engorgement temporaire ou permanent de la totalité ou d'une partie du profil (Le barbé *et al.,* 1993). Leur hydromorphie souvent permanente rend difficile le développement des activités agricoles, en dehors des cultures de contre saisons comme les cultures maraîchères et la riziculture en période de basse eaux et d'étiage. Ces sols se retrouvent dans les dépressions, au bas des versants sur les bourrelets de berge et dans les talwegs. Ils supportent une forêt à arbres à pain, cocotiers et palmiers à huile. Ils bénéficient de plus en plus d'aménagements hydroagricoles.

Les sols de bordure de plateaux ou versants sont des sols dont les pentes s'apparentent aux sols de plateau et constituent un catena de sols tronqués, de sols plus ou moins remaniés et colluvionnés. Ces sols sont tantôt argileux (proviennent des sols de haut de pente), tantôt sableux sur une grande épaisseur. Généralement, ils sont finement structurés et très bien drainés. Ils sont constitués de tourbe formée de boue noire très liquide en surface avec des débris de végétaux à partir de 50 cm à une profondeur très variable. Cette boue devient progressivement argileuse plastique puis sablo-argileuse. Le pH de ces tourbes est fortement acide, moins de cinq (5) dans tous les horizons. Mais les caractéristiques topographiques de pente contribuent à leur lessivage et à un rapide appauvrissement (INRAB, 1995).

Ces sols agissent de différentes manières sur le régime du cours d'eau, influencent le développement et la nature de la végétation. Ils agissent indirectement sur l'évapotranspiration (Roche, 1986; Donou, 2007 ; Amoussou, 2010 ; Kodja, 2013). Les sols de la basse vallée sont répartis en fonction des conditions topographiques et édaphiques du milieu (Le Barbé *et al.,* 1993). La présente thèse analyse la capacité de rétention en eau des différents sols (figure 14) qui dépend essentiellement de sa granulométrie, de leur porosité et de leur perméabilité (Beauchamp, 2001 cité par Amoussou, 2010).

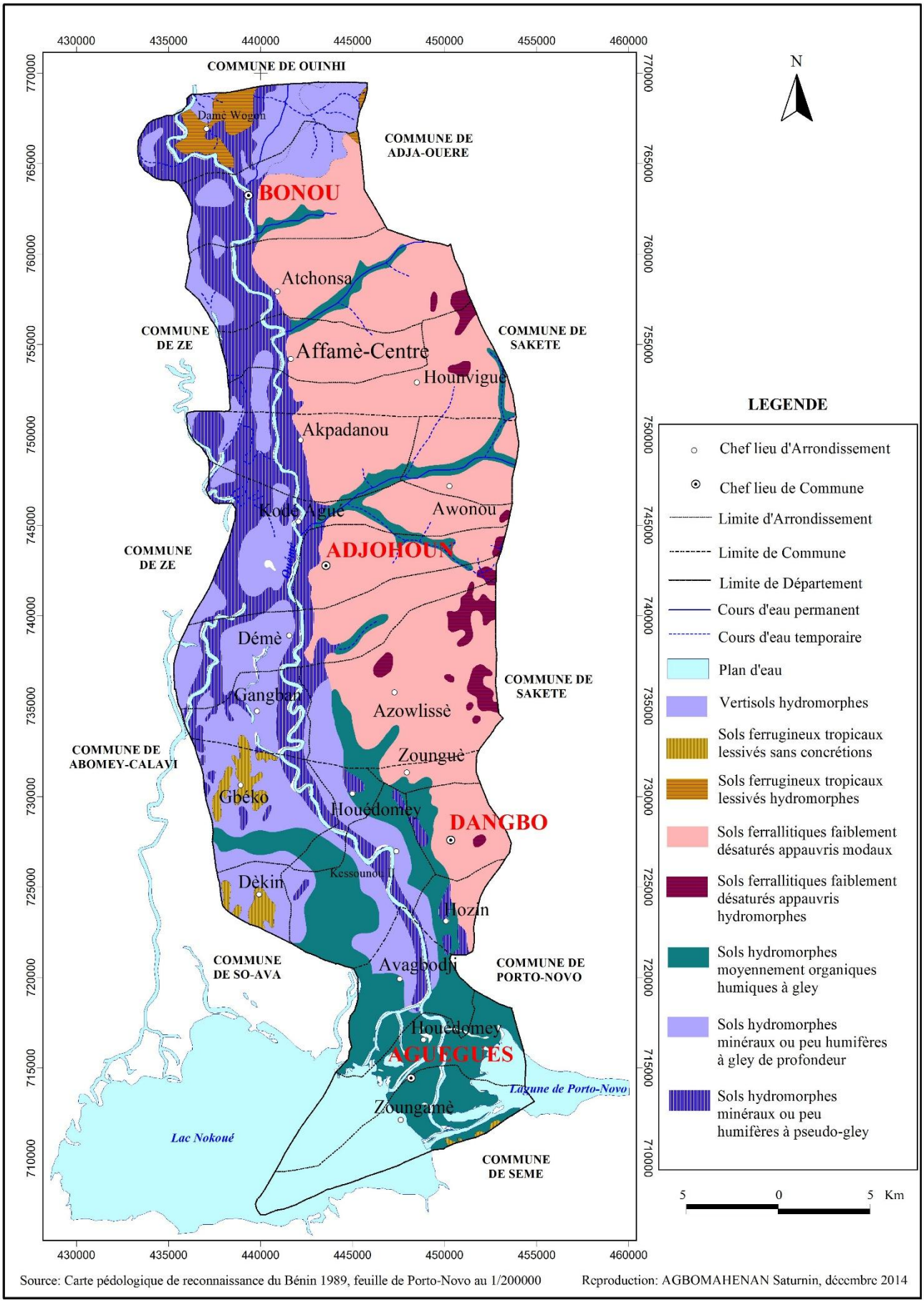


Figure 14 : Différents types de sols de la basse vallée de l'Ouémé

L’ensemble des sols de la basse vallée de l’Ouémé présente une potentialité importante pour une étendue de cultures irriguées ou non et de formations végétales (Le barbé *et al.*, 1993). Ces sols constituent le support d’un réseau hydrographique diversifié.

3.1.5. Caractéristiques hydrographiques de la basse vallée de l’Ouémé

Le fleuve Ouémé est le principal cours d’eau du secteur d’étude. Il prend sa source au nord du Bénin à Tanéka Béri dans la Commune de Copargo (Le barbé et al., 2002). Le réseau hydrographique de la basse vallée de l’Ouémé est drainé aussi par la rivière Sô, Wovimè, Djougoudou et Tovè (figure 15).

Long d’environ 84 km d’après les travaux effectués par Le Barbé en 1993, la rivière Sô prend sa source au lac Hlan et se jette dans le lac Nokoué. La rivière Sô, en rive droite, a un cours parallèle au fleuve Ouémé dont elle reçoit les eaux de débordement.

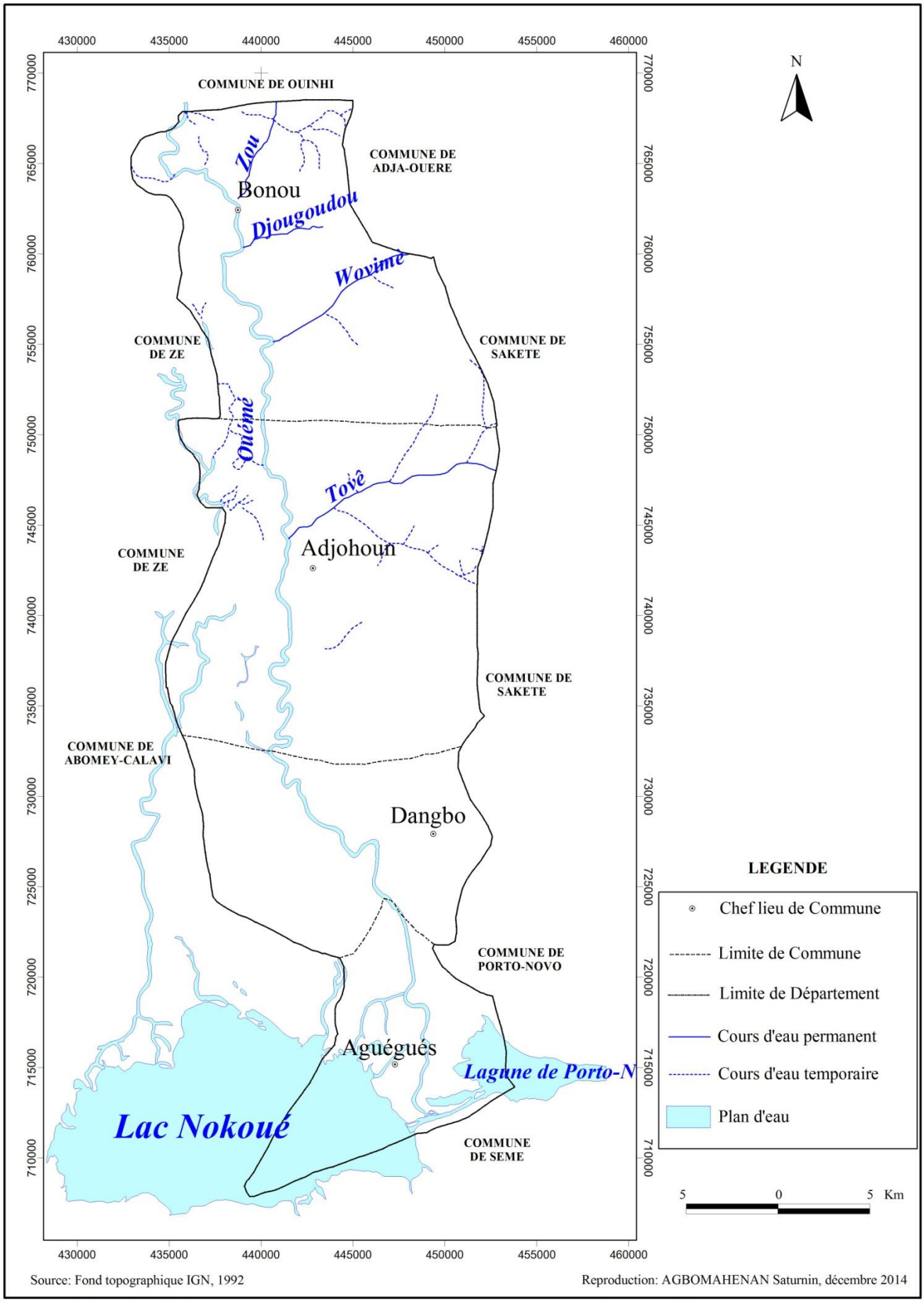


Figure 15 : Réseau hydrographique de la basse vallée de l'Ouémé

La lagune de Porto-Novo, d'une superficie de 50 km^2, est située au sud du delta et constitue l'exutoire par lequel les eaux du fleuve Ouémé se jettent dans l'océan par le chenal de Lagos.

Les plans et cours d'eau de la basse vallée de l'Ouémé sont propices à l'exploitation des ressources halieutiques. Le fleuve Ouémé qui traverse le secteur d'étude constitue sans aucun doute un atout majeur pour la production agro-piscicole. La photo 2 montre une vue partielle du fleuve Ouémé à la hauteur du village de Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon.



Photo 2: Vue partiel du fleuve Ouémé dans le village de Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon (commune de Bonou)
Prise de vue : *Agbomahènan, février 2014*

On observe en arrière plan de la photo 2, une relique de forêt galerie. Ce fleuve pénétre dans le bassin sédimentaire côtier par le nord-est du plateau de Zangnanado. Il reçoit son principal affluent qu'est la rivière Zou puis longe le plateau de Pobè-Porto-Novo avant de se jeter dans la lagune de Porto-Novo (Nonfon, 1988).

L'intensification de l'érosion latérale sur les berges et les versants (photo 2) engendrée par les forts débits de pointe (fortes crues) accroît le volume de charges solides dans le système fluvial. Elle entraîne un comblement du lit des cours et plans d'eau, modifient les biotopes des espèces halieutiques (Amoussou, 2011), d'où la disparition de certaines espèces sensibles à la profondeur et aux qualités (température de l'eau, pH, salinité) des eaux selon les dires des pêcheurs.

L’érosion des berges est amplifiée par l’absence de la végétation pouvant réduire au niveau des versants et berges la capacité des crues à éroder les particules et déraciner les arbres. Le rôle de la végétation est donc capital dans la dynamique hydrosédimentaire du bassin.

Cependant, le charriage des flux solides dans le bassin dépend de la pente et aussi de la position où la dégradation a été observée. Situés en surface de dépôt, ces flux terrigènes sont rapidement entraînés par la pluie, car ils opposent une faible résistance (Ashley *et al.*, 1992).

3.1.6. Etat du couvert végétal de la basse vallée de l’Ouémé

La spécificité de la végétation dans cette étude tient au fait que son système racinaire protège les versants contre la dégradation et le ravinement (Planche 4).



Planche 4: Reste d’un ilôt de forêt (a) à Gnanhouizounmè (Bonou) et plantation de palmier à huile (b) à Houèkpa Dogbamè (Adjohoun)
Prise de vue : *Agbomahènan; Décembre 2013*

Plusieurs types de formations végétales sont identifiés dans la basse vallée. Il s’agit notamment de la forêt galerie dégradée couvrant tous les terrains non cultivés ou en jachère ; la forêt marécageuse ; les espaces de cultures et de défrichement ; la savane arborée et arbustive. Par ailleurs, les espèces agro-forestières plantées dans la basse vallée de l’Ouémé concernent le teck (*Tectona grandis*), le bambou (*Oxthenanthera abyssin ica*), l’acacia (*Acacia auriculiformis*), le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) et le *Raphia farinifera*.

Le défrichement des formations végétales et l’abattage des espèces végétales à des fins agricoles ne sont pas sans conséquences sur la faune. Le couvert végétal dans sa

disparition a entraîné l'extinction des animaux autrefois retrouvés dans les forêts et les savanes de la basse vallée de l'Ouémé. Le milieu est sujet à une forte érosion. Ces actions anthropiques participent également de la dégradation des sols à travers les activités économiques.

3.2. Populations et activités socioéconomiques amplificateurs de l'érosion

Les pressions démographiques et les différentes activités socio-économiques pratiquées sont les principaux facteurs qui facilitent l'érosion hydrique et la dynamique des états de surface dans la basse vallée de l'Ouémé.

3.2.1. Evolution démographique des communes de la basse vallée de l'Ouémé

Les habitants de la vallée de l'Ouémé sont issus de divers courants migratoires aux origines controversées. Pour Allagbé (2011), les origines de ces migrations, à l'étape actuelle des recherches, remonteraient à six siècles avant l'ère chrétienne. Malgré une homogénéité apparente, les populations de la basse vallée de l'Ouémé, communément appelées les *Ouémènou* constituent de groupes lignagers de diverses provenances.

Les caractéristiques démographiques de la basse vallée de l'Ouémé sont issues des quatre derniers recensements généraux de la population et de l'habitation (Tableau X).

Tableau X: Caractéristiques démographiques de la basse vallée de l'Ouémé de 1979 à 2013

	Population				**Taux d'accroissement intercensitaire (%)**		
Communes	**1979**	**1992**	**2002**	**2013**	**1979-1992**	**1992-2002**	**2002-2013**
Adjohoun	41564	51301	56455	74956	1,51	0,96	2,55
Aguégués	14895	21333	26650	44484	2,60	2,25	4,66
Bonou	18474	24733	29656	44430	2,11	1,83	3,66
Dangbo	49444	59562	66055	95908	1,34	1,04	3,37
TOTAL	**124377**	**156929**	**178816**	**259778**	**1,89**	**1,52**	**3,56**

Source : *Données de l'INSAE, 2014*

Les caractéristiques démographiques des Communes ciblées (Aguégués, Dangbo, Adjohoun, Bonou) de la basse vallée de l'Ouémé, ont permis de savoir que la population du secteur d'étude est passée de 124377 habitants en 1979 à 156929 habitants en 1992, soit un taux d'accroissement intercensitaire de 1,89 %. Cette population a augmenté entre 1992 et 2002, de 1,52 % passant de 156929 habitants à 178816 habitants. Cette population a considérablement augmenté et presque doublé (259778 soit 3,56 %) au cours des dix dernières décennies (2002-2013) comme l'illustre la figure 16.

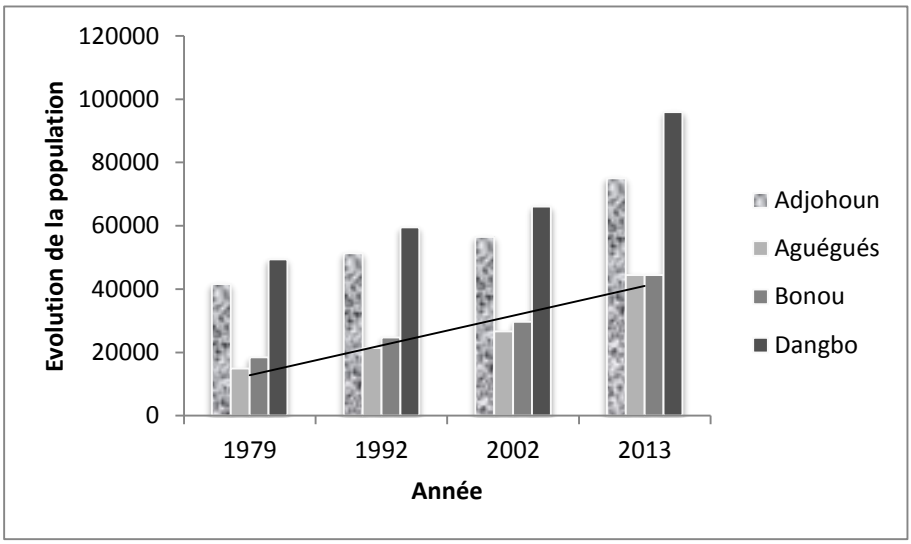


Figure 16: Evolution de la population à l'échelle des Communes cibles
Source : *Données de l'INSAE, 2014*

La croissance démographique occasionne une forte pression sur les ressources naturelles avec pour corollaire, la dégradation des formations végétales de la basse vallée de l'Ouémé. Le taux d'accroissement de la population (3,56 %) enregistré ces dernières années dans la basse vallée a entrainé le développement de plusieurs activités socioéconomiques. Dans la basse vallée se produit une installation incontrôlée dans les aires inondables des cours ou plans d'eau du bassin. L'habitat dans le secteur d'étude est généralement groupé (photo 3).



Photo 3: Occupation de la plaine d'inondation du fleuve Ouémé (en arrière plan) à Ananmè dans la Commune d'Adjohoun
Prise de vue : *Agbomahènan, février 2014*

La photo 3 montre une forme d'occupation de la berge du fleuve Ouémé *à Ananmè* dans la Commune d'Adjohoun. La population s'y est installée pour pratiquer la pêche

fluviale. Elle est localisée sur le versant (Assrossa, Lokossa, Ahouanzounmè,…) ; la vallée (Bembè I, Kessounou, Gangban) et le plateau (Dangbo, Hozin, Zounguê, Bonou centre, Adjohoun, Azowlissè, etc.).

Le prélèvement d'herbes et arbustes destinés aux ''acadja'' comme *Dialium guineense, Blighia sapida, Leucaniodiscus cupanoides, Rauvolfia vomitoria*, dénude et provoque l'érosion des versants des plateaux et le comblement des tributaires du fleuve. Cette situation qui se produit à Assrossa, Gangban et Houédomè, etc. entraîne une destruction et une dégradation du milieu naturel. La dénudation des berges et l'obstruction des plans et cours d'eau s'en suivent. Le rechargement des pistes par simple apport de sable par la population augmente l'érosion et les sédiments sableux sont ruisselés dans le fleuve. Il faut toutefois noter que la base des habitations du plateau et des versants est souvent sapée par les eaux de ruissellement. Cette dernière provoque l'écroulement des murs en saison pluvieuse (Photo 4).



Photo 4: Maison déchaussée par les eaux de ruissellement dans la Commune d'Adjohoun
Prise de vue : *Agbomahènan, Décembre 2013*

La photo 4 montre une maison déchaussée par les eaux de ruissellement dans la basse vallée de l'Ouémé. Cette situation qui se produit à Assrossa, Gangban et Houédomè, etc. entraîne une destruction et une dégradation du milieu naturel.

3.2.2. Inégale répartition de la population : Peuplement fortement rural

La figure 17 présente la répartition spatiale de la densité de la population de la basse vallée de l'Ouémé des recensements généraux de la population et de l'habitation de 1979, 1992, 2002 et de 2013.

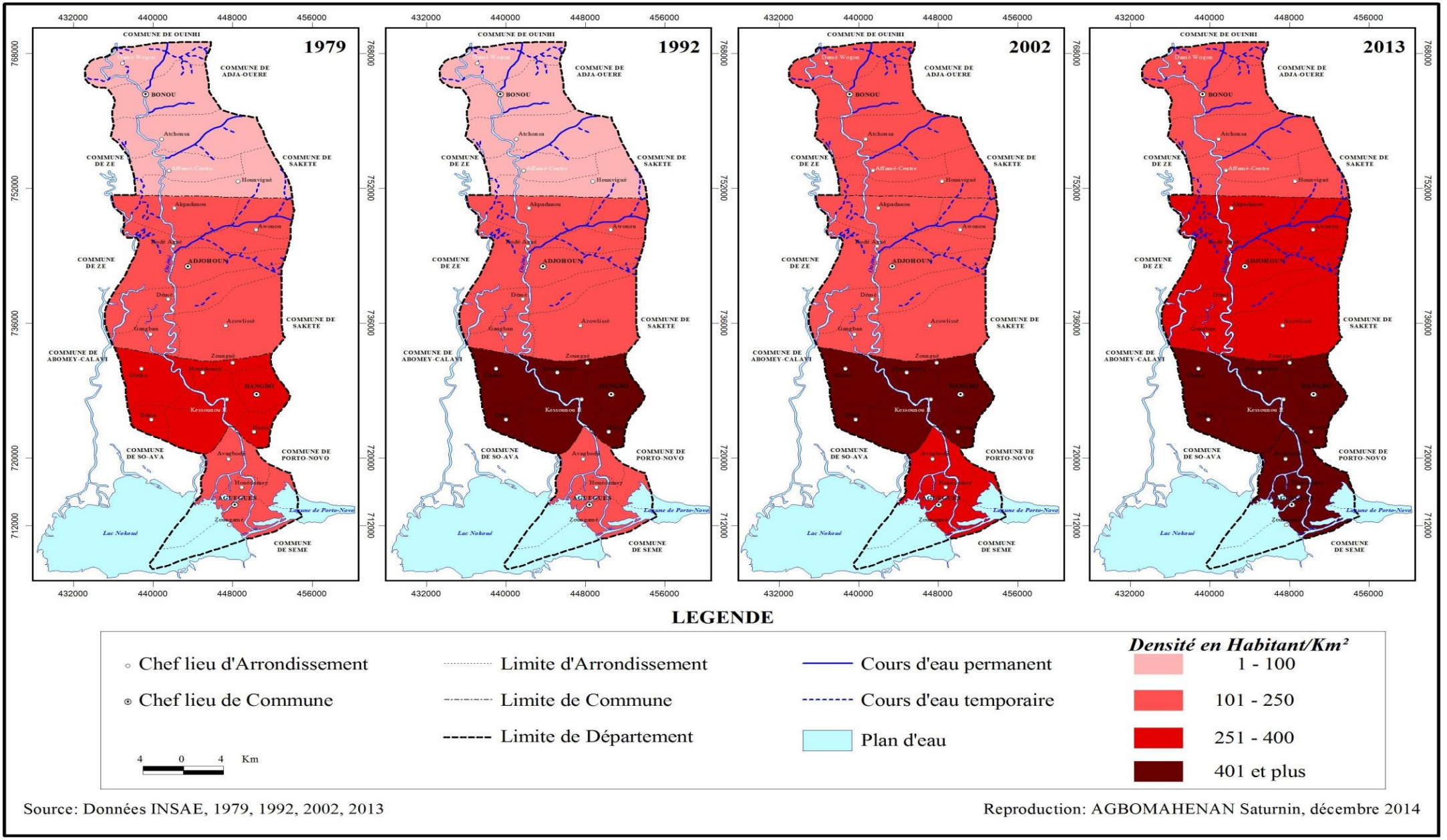


Figure 17: Evolution de la densité de population de la basse vallée de l'Ouémé de 1979 à 2013

La figure 17 montre l'évolution spatiale de la population des Communes d'Adjohoun, des Aguégués, de Bonou et de Dangbo du premier au quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation ($RGPH_{1,2,3,4}$).

La Commune de Dangbo enregistre la plus forte densité (332 habitants au km^2 en 1979 à 644 habitants au km^2 en 2013) suivie de celle de la Commune des Aguégués.

Les résultats issus des recensements de 1979, 1992 et 2002 montrent que la population rurale est respectivement estimée à 73 %, 64 % et 61 % de la population totale de la basse vallée de l'Ouémé. Cette décroissance constatée jusqu'en 2013 est le reflet du taux d'urbanisation du milieu qui varie entre 27 % (1979) à 39 % en 2013. La forte urbanisation constatée dans la basse vallée n'entame pas la prépondérance des activités agricoles. Les paysans de la basse vallée de l'Ouémé ont accru les superficies de leurs exploitations afin de répondre à la demande croissante des villes en vivres. La taille moyenne des exploitations est passée de 2,08 ha en 1980 à 3,08 ha en 1996 (soit un taux d'augmentation moyen annuel de 2,48 %) bien que les rendements des tubercules et des céréales des terrasses basses soient plus élevés que ceux du plateau.

L'accroissement démographique se traduit par l'augmentation des besoins en terres agricoles. Pour Tohozin (2011), la taille et le nombre des exploitants agricoles augmentent au fur et à mesure que l'on se déplace vers les localités du moyen delta un peu plus au nord. Près de trois quart (3/4) des paysans ont accru leurs superficies. La pénurie des terres qui en a résulté à contraint 12 % des paysans à exploiter au maximum les espaces réservés aux bovins, les abords de case, *dossota* (levées de terre constituées aux abords des trous à poissons), le talus en contact des plateaux et même les secteurs vaseux répulsifs. Par ailleurs en bordure du plateau, la durée de la jachère se réduit de plus en plus pour finir par disparaître. C'est l'exemple d'Avagbodji pour les parcelles ensemencées de tomates.

Les secteurs de forte immigration concernent Bonou et Dangbo. Les migrations internes se dirigent vers les terrasses basses et les plaines alluviales. Ce constat en milieu réel dénote des modes d'utilisation du sol.

3.2.3. Principales activités socio-économiques amplificatrice de l'érosion

3.2.3.1. Agriculture : activité dominante accélérant les processus érosifs

Les cultures vivrière et de rente constituent l'essentiel de la production agricole dans la basse vallée de l'Ouémé.

Les plus importantes cultures vivrières du bassin sont les céréales, les oléagineux, les tubercules, les légumineuses et les cultures maraîchères. Les produits céréaliers cultivés dans la basse vallée de l'Ouémé sont généralement le maïs (*Zea mays*), le riz (*Oryza sativa*), observés dans les plaines d'inondation et sur les sols hydromorphes, le sorgho (*Sorghum vulgare*). L'arachide (*Arachis hypogae*), dans les Communes d'Adjohoun, de Bonou et de Dangbo; et le sésame (*Sesanum indicum*) dans la Commune d'Adjohoun constituent les principaux types d'oléagineux cultivés (Photo 5).



Photo 5: Champ de maïs (en arrière plan) et d'arachide (au premier plan) dans la Commune de Bonou
Prise de vue : *Agbomahènan, Décembre 2013*

Pour ce qui concerne les tubercules et racines, le manioc et la patate douce sont les plus rencontrés. L'igname (*Dioscorea alata*) est cultivée surtout dans les Communes d'Adjohoun et de Bonou. Le manioc (*Manihot esculenta*) se cultive en association avec d'autres cultures, dans les localités de Akpadanou, Gangban, Affamè, etc. La patate douce (*Ipomea batatas*) dont deux variétés (blanche et rouge) sont également cultivées dans le bassin. Ces cultures sont consommatrices d'espace (planche 5). Il en résulte la destruction des îlots de savanes boisées restants ce qui accélère le processus érosif.

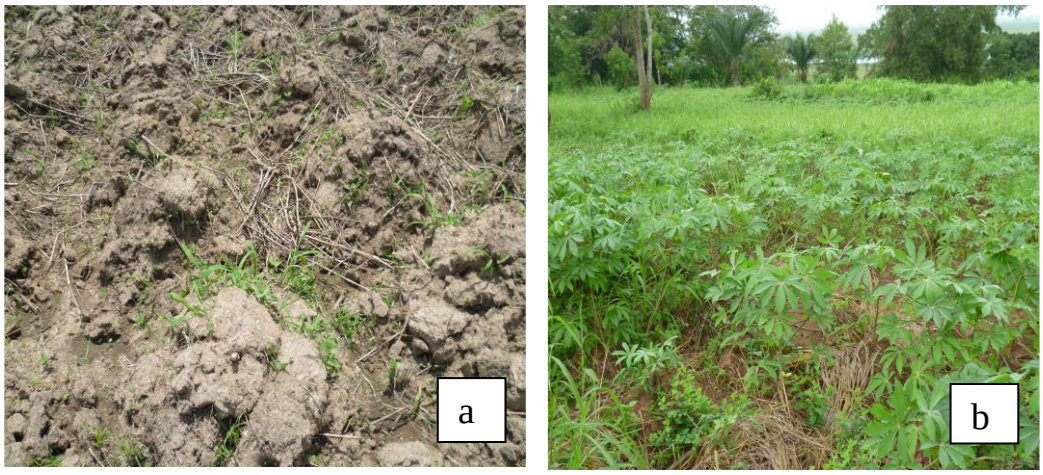


Planche 5: Buttes de sable (a) apprêtées pour recevoir des plantules de manioc à Akpadanou et champ de manioc (b) dans l'arrondissement d'Adjohoun
Prise de vue : *Agbomahènan, Décembre 2013*

Les légumineuses, notamment le niébé (*Vigna unguiculata*), le voandzou (*Voandzeia subterranea*) et le pois d'angol (*Cajanus cajan*) sont cultivées dans le bassin. Les cultures maraîchères, autrefois cultivées sur des espaces très réduits, sont de nos jours valorisées dans le milieu. Il s'agit du gombo (*Abelmoschus esculentus*), du piment (*Capsicum annum*) et de la tomate (*Lycopersion esculentum*), cultivés dans les secteurs marécageux. A ces principales cultures vivrières s'ajoute le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) et le coton (*Gossipium hirsutum*) qui constituent les cultures de rente les plus produites par les populations paysannes.

La vallée de l'Ouémé est très propice pour la culture de la banane (*Musa chinensis*). Elle résiste à la sécheresse et se développe davantage pendant les saisons pluvieuses (Kodja, 2013).

Les activités liées à chaque type de culture, les techniques et les méthodes culturales y afférentes se mènent selon un calendrier bien connu par les producteurs agricoles de la basse vallée de l'Ouémé. Les cultures de décrue et de contre saison sont très pratiquées à Bonou. Les outils de travail sont essentiellement la houe et le coupe-coupe. Les tentatives de mécanisation de l'agriculture avec l'introduction de la culture attelée dans les Communes n'ont pas connu un grand succès à cause de la non maîtrise des matériels et de l'analphabétisme des usagers.

L'existence de sols hydromophes, sols propices pour la production de palmiers sélectionnés et naturels, le riz, l'intervention de projets et d'institutions d'appui, encadrement pour la vulgarisation des techniques agricoles comme le SCDA,

GRAPAD, PADSA, PADPPA, PDRT, et les institutions de microcrédit dont CLCAM, CREP, favorisent le développement de l'agriculture et participent en même temps de la surexploitation des terres et donc des ressources naturelles. Ces différentes activités dégradent les formations naturelles augmentant ainsi la vulnérabilité du milieu physique au risque d'érosion.

3.2.3.2. Pratiques agricoles favorisant l'érosion hydrique dans la basse vallée

La figure 18 montre les techniques agricoles qui ont une incidence sur l'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé.

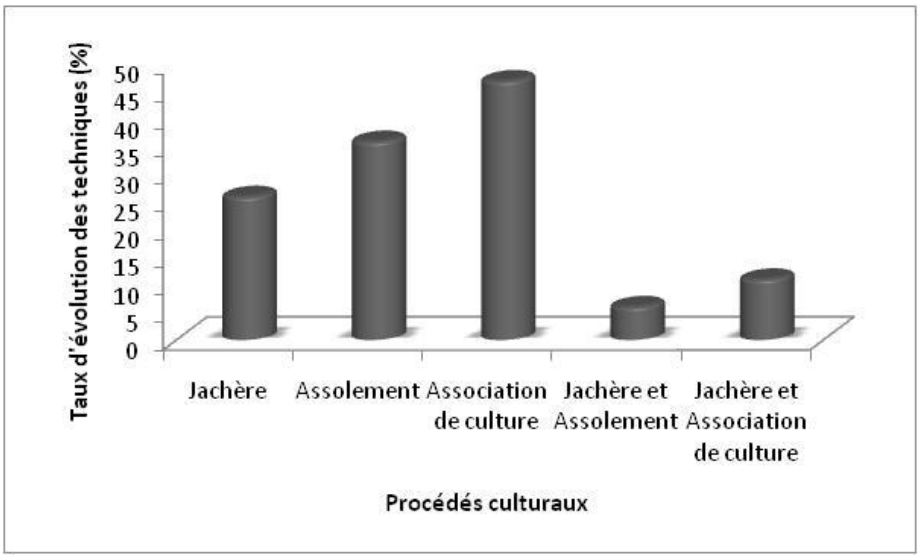
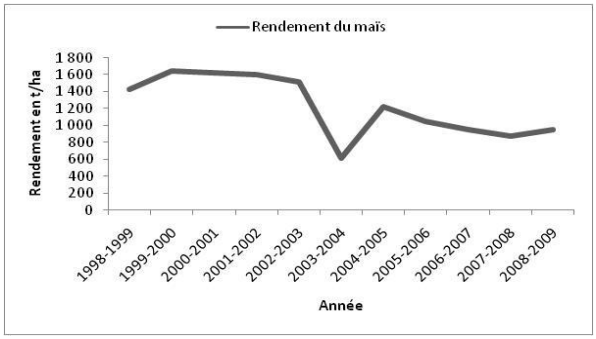
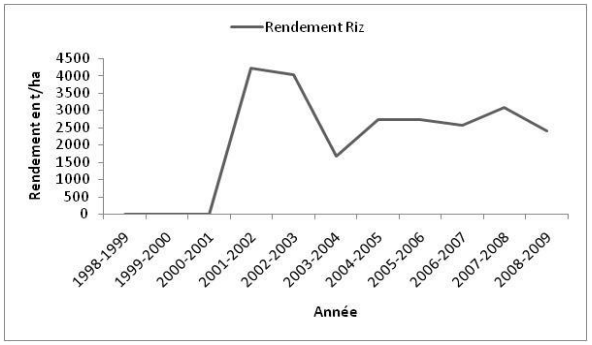


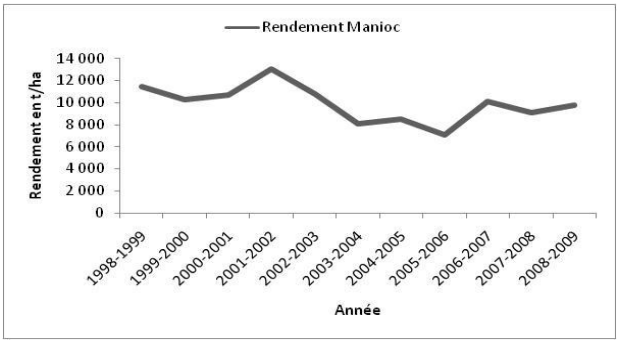
Figure 18: Techniques agricoles pratiquées dans la basse vallée de l'Ouémé
Source : *Travaux de terrain, Juillet 2014*

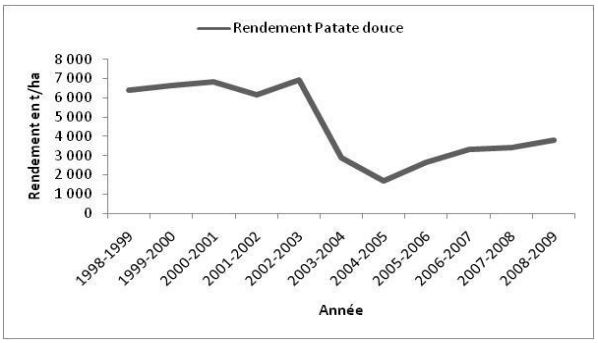
Les résultats d'enquêtes de terrain (figure 18) permettent de conclure que les techniques agricoles les plus pratiquées dans la la basse vallée de l'Ouémé sont l'association de culture (45 %) et l'assolement (35 %).

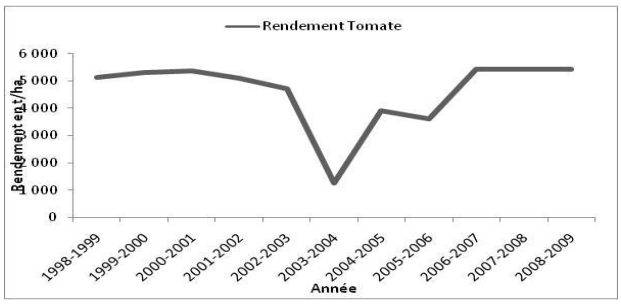
45 % de la population paysanne enquêtées pratique l'association de cultures. C'est le cas du maïs (*Zea meys*) cultivé en association avec l'arachide (*Arachis hypogaea*) et le manioc (*Manihot esculenta*). 35 % des interrogés pratique l'assolement. Cette technique rotative des types de cultures faites sur les sols permet de conserver les éléments nutritifs du sol. Par contre, seulement 15 % des agriculteurs ou maraîchers pratiquent la jachère. Elle est une pratique nécessaire à la reconstitution du sol. Elle permet de réduire l'érosion hydrique des sols. Les données issues de ces résultats confirment l'évolution de la production en fonction de la superficie dans la basse vallée de l'Ouémé (figure 19).

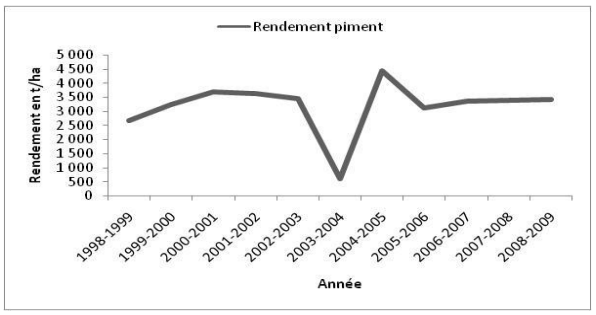


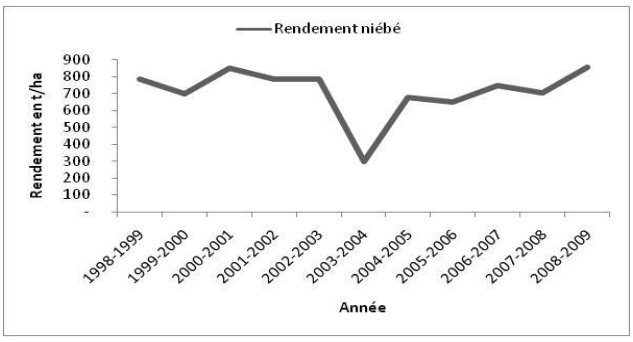


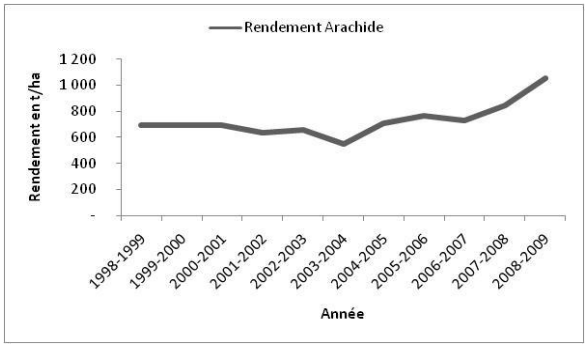












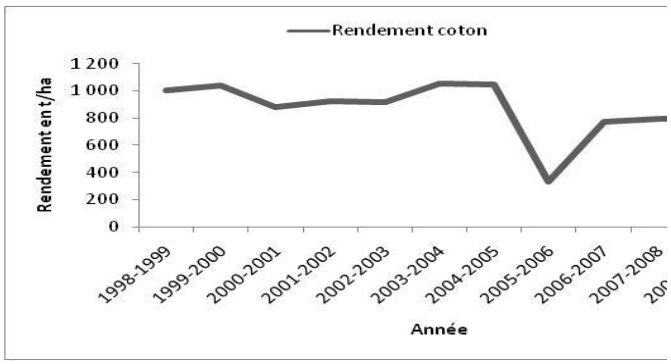


Figure 19 : Evolution du rendement par spéculation dans la basse vallée de l'Ouémé
Source des données : *MAEP, 2014*

La figure 19 présente l'évolution dans le temps du rendement des spéculations dominantes de la basse vallée de l'Ouémé. Il varie d'une culture à une autre pour la période considérée. Le rendement est de 618 à 1 648 t/ha pour le maïs ; 1675,5 à 4218,5 t/ha pour le riz; 7 048 à 13 047 t/ha pour le manioc; 1 692 à 6 949 t/ha pour la patate douce; 1 258 à 5 428 t/ha pour la tomate; 606 à 4 431 t/ha pour le piment; 295,67 à 855,67 t/ha pour le niébé ; 548,33 à 1 054,67 t/ha pour l'arachide et de 333 à 1 051 t/ha pour le coton.

Les travaux de terrain ont permis de comprendre l'influence des procédés culturaux ou des méthodes de travail du sol dans l'érosion hydrique de la basse vallée de l'Ouémé.

L'analyse des statistiques agricoles du Ministère de l'Agriculture, de l'élevage et de la pêche (2014) et les résultats d'enquêtes de terrain ont permis de conclure que les cultures vivrières occupent 86 % de l'espace agricole de la basse vallée. La part de ces cultures vivrières est quelques peu réduits par les cultures de rente.

La figure 20 montre les différentes techniques culturales pratiquées dans la basse vallée de l'Ouémé.

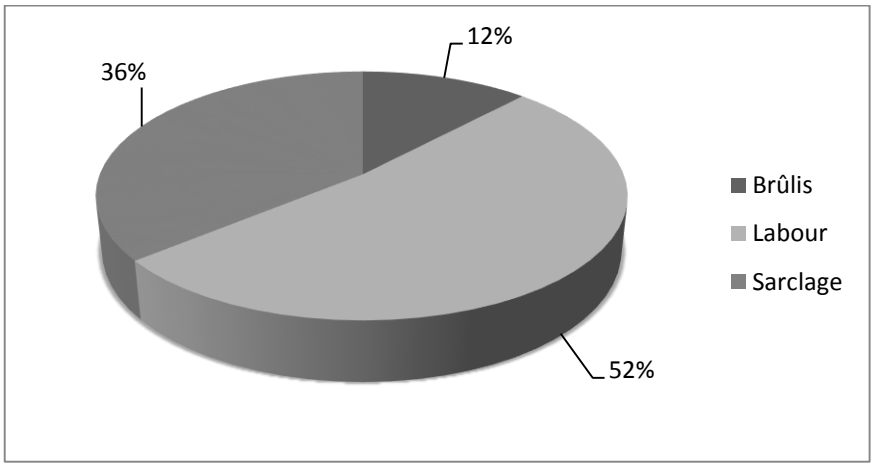


Figure 20: Techniques culturales pratiquées dans la basse vallée de l'Ouémé
Source : *Travaux de terrain, Juillet 2014*

La figure 20 permet de conclure que 52 % des enquêtés laboure la terre avant tout semis. Le labour dégrade la partie superficielle de la terre et décape la terre arable. La technique de désherbage des cultures pratiquées est le sarclage (36 %) et l'utilisation timide de tracteur. Le sarclage contribue moins à la dégradation des sols par rapport aux labours profonds. Pour 12 % des personnes interrogées, la culture sur brûlis permet aux paysans de faire passer le feu dans les champs. Ces techniques

superficielles pratiquées dans le secteur d'étude contribuent à la disparition du couvert végétal (planche 6.b) et à la dégradation du sol. Ce milieu naturel soumis aux activités humaines est sujet au risque d'érosion.



Planche 6 : Etat du sol après le passage de tracteur (Planche 6.a) et sol apprêté pour la prochaine culture (Planche 6.b) dans l'arrondissement de Damè-Wogon
Prise de vue : *Agbomahènan, mars 2014*

3.2.3.3. Exploitation forestière

L'exploitation forestière s'est traduite par une pression importante sur les ressources forestières par les populations riveraines qui, à la recherche de terres fertiles, des sources d'énergie (bois de chauffe et de charbon de bois), procèdent à des abatages dont la fréquence de prélèvement dépasse la capacité de régénérescence de la ressource. Il ne reste que les essences à bois blancs qui servent à la construction de barques tels que *Ceiba pentandra* et *Cola cordifolia*. Sur les bourrelets de berge s'observent çà et là quelques bosquets à *Pterocarpus santalinoides* et *Cynomotra megalophylla* (Photo 6).



Photo 6: Transport de bois sur le fleuve Ouémé dans la Commune d'Adjohoun
Prise de vue : *Agbomahènan, Décembre 2013*

La photo 6 montre le transport des essences végétales par les pirogues sur le fleuve Ouémé. En plus des catégories précitées d'exploitation, il convient d'ajouter les pressions exercées par les exploitants de bois de service ou d'œuvre. L'exploitation forestière constitue aujourd'hui une menace sérieuse pour l'environnement et les ressources naturelles. La dégradation de l'environnement amplifie le processus d'érosion. Ce phénomène d'érosion se rencontre plus dans les milieux les plus dépourvus de végétation, augmentant ainsi la vitesse de l'eau de ruissellement qui, par la suite contribuera au comblement des rivières.

3.2.3.4. Exploitation du sable fluvial

L'exploitation du sable fluvial est une activité qui occupe les agriculteurs de la basse vallée de l'Ouémé pendant la saison sèche (photo 7).



Photo 7: Site de stockage de sable fluviatile de Lokossa dans la Commune d'Adjohoun
Prise de vue : *Agbomahènan, Décembre 2013*

Cette activité a pris d'ampleur compte tenu de l'interdiction de l'exploitation du sable marin. L'extraction artisanale du sable fluvial destiné aux travaux de bâtiments et de génie civil comme les ponts et chaussées se fait dans le lit du fleuve Ouémé. L'exploitation du sable fluvial constitue une source de revenus importante pour les populations et des recettes pour les Communes environnantes. En dehors du sable en transit dans les chenaux du fleuve et des rivières, il y a celui des terrasses (dépôts anciens) sur lesquelles des carrières sont ouvertes. Mais, cette activité accélère le décapement des berges du fleuve Ouémé.

Conclusion partielle

Les nombreuses études réalisées sur les différents axes de la thématique de cette thèse sont appréciables. De nouvelles méthodes d'investigation mieux adaptées à la complexité de la présente étude sont utilisées pour la recherche des facteurs déterminants de l'érosion et de l'influence de la dynamique des états de surface sur le phénomène d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé. Le secteur d'étude recouvre des unités morphologiques constituées de plaines d'inondation et de plateaux entaillés par des dépressions sèches et humides. Les sols sont très variés, répartis en fonction des conditions topographiques et édaphiques du milieu. Ils participent à la régulation des activités dont celles du secteur primaire. Le développement de ces activités a contribué aux profondes modifications de la végétation sous l'action de l'homme. Ces modifications ont engendré la réduction des formations végétales naturelles laissant place aujourd'hui à des jachères, plantations et autres champs de cultures exposés à l'érosion.

DEUXIEME PARTIE :

EROSION, DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET STRATEGIES ANTI-EROSIVES

Dans la deuxième partie, il est successivement abordé les déterminants de l'érosion pluviale, la dynamique sédimentaire lié au phénomène et les actions de réduction des processus érosifs dans la basse vallée de l'Ouémé.

CHAPITRE IV :

PROCESSUS EROSIFS DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME

Dans ce quatrième chapitre consacré aux phénomènes d'érosion, il est successivement abordé l'analyse des facteurs naturels conditionnant le ruissellement et les facteurs humains qui influencent ou participent à l'évolution du phénomène d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé. La pluviométrie, la géologie, la topographie, la morpho-pédologie et les états de surface (l'occupation et l'utilisation du sol) sont autant de paramètres qui déterminent l'érosion dans le secteur d'étude.

4.1. Déterminants physiques de l'érosion pluviale dans la basse vallée de l'Ouémé

Le climat intervient à la fois sur la transformation des roches en sols (altération) et sur le transport des particules de sols (érosion).

4.1.1. Intensité des précipitations dans la basse vallée de l'Ouémé

La figure 21 présente les indices pluviométriques moyens calculés sur les périodes 1965-1974, 1975-1984, 1985-1994 et 1995-2004.

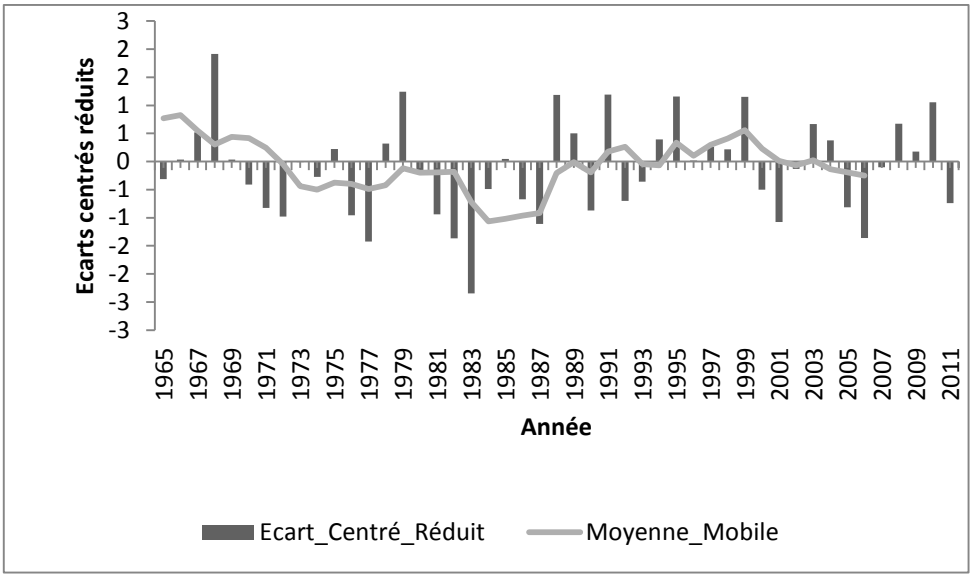


Figure 21: Evolution des indices pluviométriques dans la basse vallée de l'Ouémé
***Source** : ASECNA/COTONOU, 2013*

Il faut retenir de l'analyse de la figure 21 que les décennies 70 et 80 ont été marquées par une forte fréquence des années déficitaires alors qu'entre 1990 et 2010, il y a une tendance à la reprise pluviométrique. Ces décennies ont été plus humides, donc

excédentaires, sur toutes les stations prises en compte dans le cadre de cette étude. Au regard des anomalies pluviométriques négatives, les décennies 1970, 1980 et 2000 sont globalement déficitaires. La baisse de la pluviométrie constatée au cours de la période considérée est plus marquée au cours de ces dernières décennies.

Au cours de ces années, ce sont la grande et la petite saison pluvieuse qui influencent plus le mouvement des particules. Toutefois les mois de Mai, Juin et Juillet sont caractérisés par une forte proportion des pluies extrêmes des classes définies avec une fréquence proportionnelle de 40 %. Ces mois pluvieux font élever le risque d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé. Cette dernière a pour conséquence la destruction des infrastructures socio-économiques.

L'appréciation du phénomène d'érosion hydrique nécessite la connaissance de l'évolution de l'indice d'agressivité climatique

4.1.2. Rôle de l'agressivité climatique dans le mouvement des particules

Les surfaces topographiques de la basse vallée de l'Ouémé subissent une forte agressivité des pluies.

La figure 22 illustre la répartition spatiale de l'indice d'agressivité climatique de la basse vallée de l'Ouémé. L'indice d'agressivité climatique varie de 0,82 à 23,7. Dans la partie méridionale du secteur d'étude, l'agressivité climatique calculée est plus faible (0,82 à 7,3) que dans les autres parties (7,3 à 23,7). Il suffit de quelques pluies d'intensités moyennes à fortes pour déclencher le phénomène d'érosion. Les maxima pluviométriques soutiennent a priori une forte érosivité des sols et donc un fort taux de dénudation. Les gouttes de pluie qui tombent sur le sol nu se subdivisent en fines gouttelettes qui rebondissent après s'être chargée de limon, d'argile et de sels minéraux. Si la lame d'eau déposée par la pluie n'est pas immédiatement absorbée par le sol, l'eau pluviale commence à s'écouler dans le sens de la pente (figure 22).

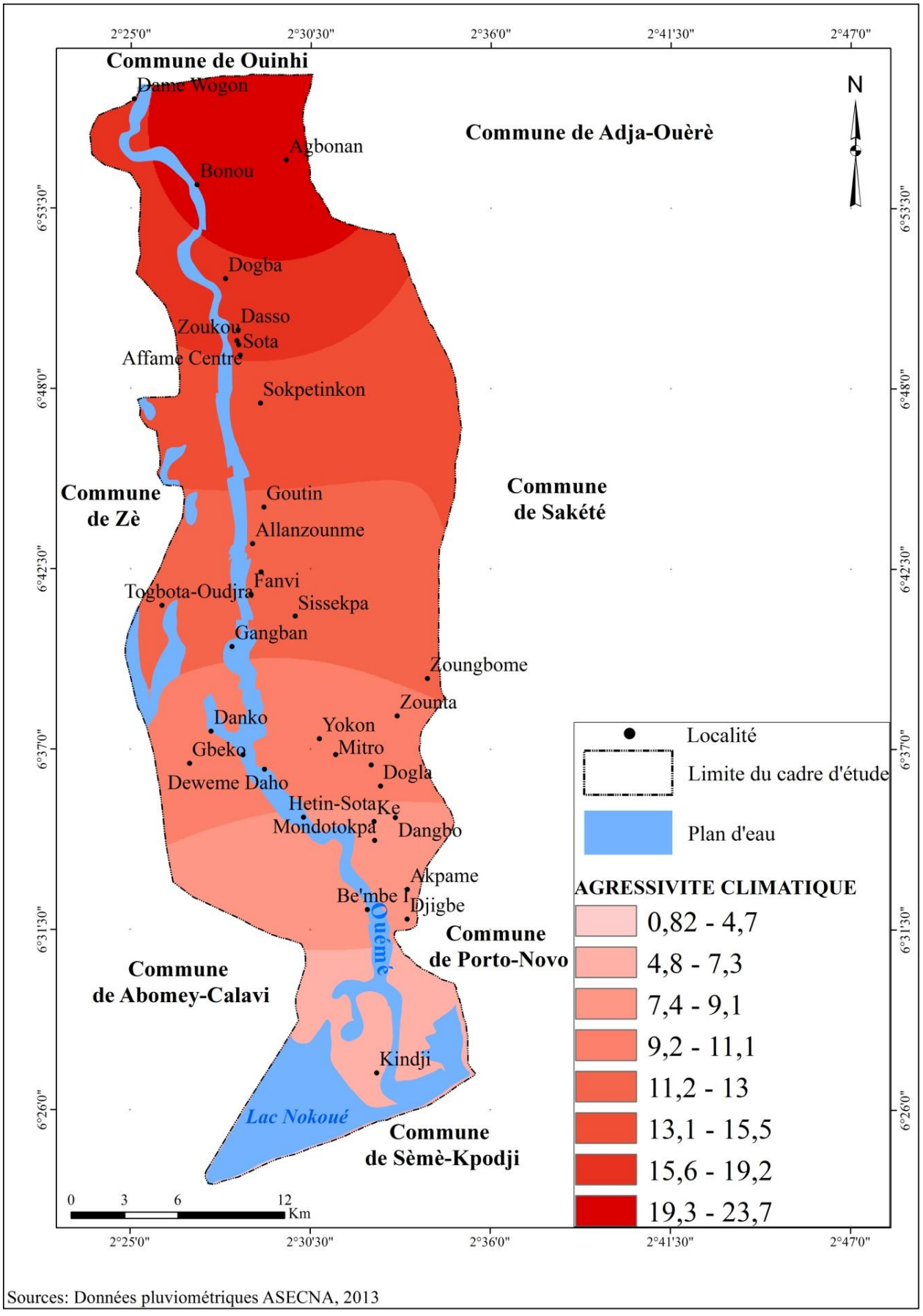


Figure 22: Répartition spatiale de l'indice d'agressivité climatique

Les résultats issus de l'interprétation de la figure 22 permettent de conclure que l'érosion commence lorsque l'indice d'agressivité de Fourrier atteint 7,3. Les plus fortes valeurs d'indice d'agressivité de Fourrier sont observées les années suivantes : 1970, 1978, 1984, 2000 et 2006. Avec la légère reprise pluviométrique des années 1990, la dégradation du couvert végétal constatée sur la période 1992-2012 et l'augmentation des lames d'eau ruisselée d'une amplitude de 0,5 à 0,8, les pertes de terre n'ont pu que s'accentuer. On peut donc conclure que le taux d'enlèvement, de transport et de dépôt des sédiments est plus élevé au cours de ces années que les autres. Le dépôt des sédiments dans la basse vallée de l'Ouémé est également dépendantes des pluies intenses.

En effet, plus les précipitations sont importantes plus leur impact sur l'érosion des sols augmente. On remarque une distribution zonale de la quantité d'eau de pluie tombée dont la stagnation suivant la pente fragilise la structure du sol et de la roche-mère de la basse vallée de l'Ouémé.

Cette forte agressivité montre l'importance des maxima pluviométriques de juin. La fragilité maximum du milieu cultivé s'observe principalement en début de saison des pluies et lors des opérations de sarclage ou de récolte intervenant pendant la saison des pluies.

A l'échelle de la parcelle ou du versant, l'intensité de l'érosion hydrique est fonction de l'érodabilité du milieu cultivé. L'enlèvement et le transport des particules de l'amont vers l'aval s'intensifient et le dépôt des sédiments s'opèrent prioritairement dans la partie aval. Les différents résultats de perte moyenne annuelle de sédiments sont en phase avec la répartition de l'indice d'agressivité climatique. La perte de sédiments est nulle dans la partie Sud de la basse vallée de l'Ouémé. Cette situation est favorisée par la diminution de la pente dans cette partie qui constitue la plaine d'inondation.

4.1.3. Bilan climatique et périodes d'activités érosives

Dans cette étude, il est procédé à une brève analyse à l'échelle du secteur d'étude de la variation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et le bilan moyen mensuel de 1965 à 2011.

❖ **Evapotranspiration potentielle (ETP)**

L'évapotranspiration potentielle mensuelle (figure 23) a été calculée pour l'ensemble de la série (1965 à 2011) à partir de l'ETP décadaire extraite des fichiers de l'ASECNA à Cotonou.

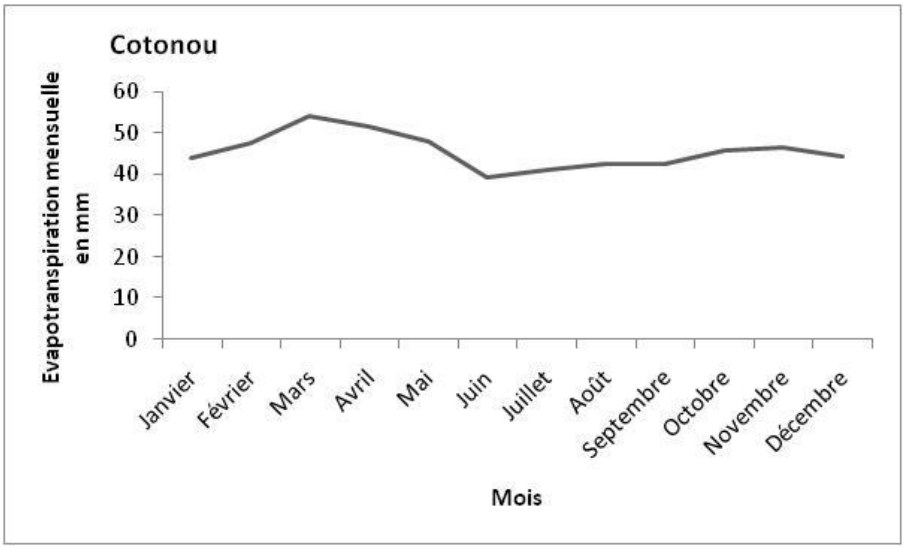


Figure 23: Variabilité inter mensuelle de l'ETP à la station synoptique de Cotonou de 1965 à 2011
***Source** : ASECNA/COTONOU, 2014*

La figure 23 permet de conclure que l'ETP est plus élevée en mars avec une variation de 52 mm à 58 mm et le mois enrégistrant également les températures les plus fortes. L'ETP baisse considérablement en juin, mois pendant lequel les pluies sont optimales.

❖ **Bilan climatique mensuel**

La figure 24 présente les variations saisonnières du bilan climatique mensuel dans le bassin. Elle permet de mettre en évidence les mois secs et ceux où la demande en eau est comblée dans le secteur d'étude.

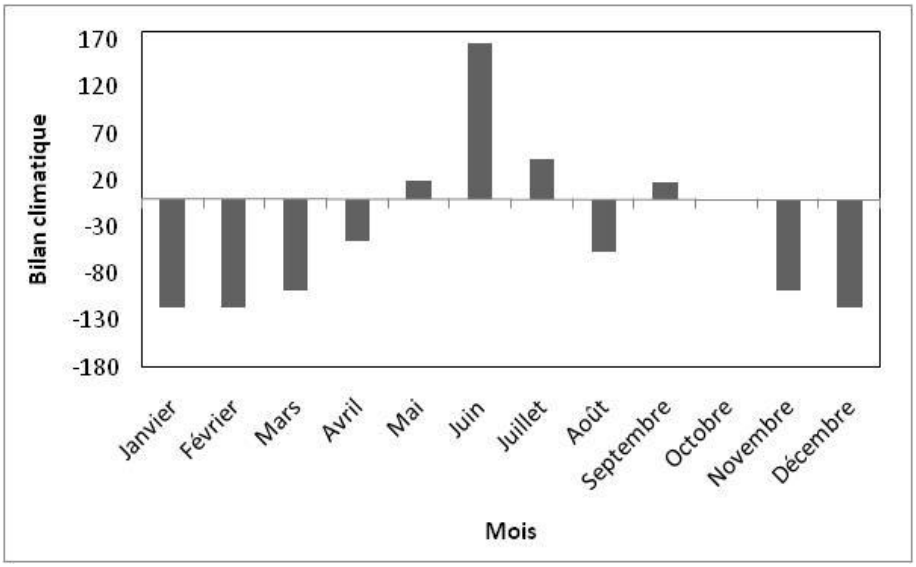


Figure 24 : Variation saisonnière du bilan climatique moyen (1965-2011)
***Source** : ASECNA/COTONOU, 2014*

L'analyse de la figure 24 montre que la demande en eau liée à l'ETP est supérieure à la pluviométrie pendant tous les mois de l'année à l'exception des mois de mai, juin, juillet, septembre et octobre qui enregistrent un bilan excédentaire. Un bilan excédentaire correspond à une période humide où l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle est inférieure à la pluviométrie mensuelle. C'est la période où les formations végétales naturelles et les cultures atteignent leur état de développement maximal. Les autres mois de l'année connaissent un bilan déficitaire. Cette situation se justifie par le fait que l'évaporation est plus importante que la pluie. Ces mois correspondent à la période de récolte et de préparation des champs par la population.

La figure 25 montre la variabilité interannuelle de l'eau de ruissellement dans la basse vallée de l'Ouémé sur la période 1965 à 2011. De 1965 à 1969, le coefficient de ruissellement varie de 0,15 à 0,23. Cette variation traduit des périodes à coefficient de ruissellement élevé comparativement à la période 1970 à 2011 qui a connu une tendance à la baisse. Il se mesure par le coefficient alpha (α) qui traduit la disponibilité de l'eau dans le mileu d'étude. La linéarité de la relation ruissellement-pluie au cours de la même période (1970 à 2011) varie entre 0,01 et 0,15 (figure 25).

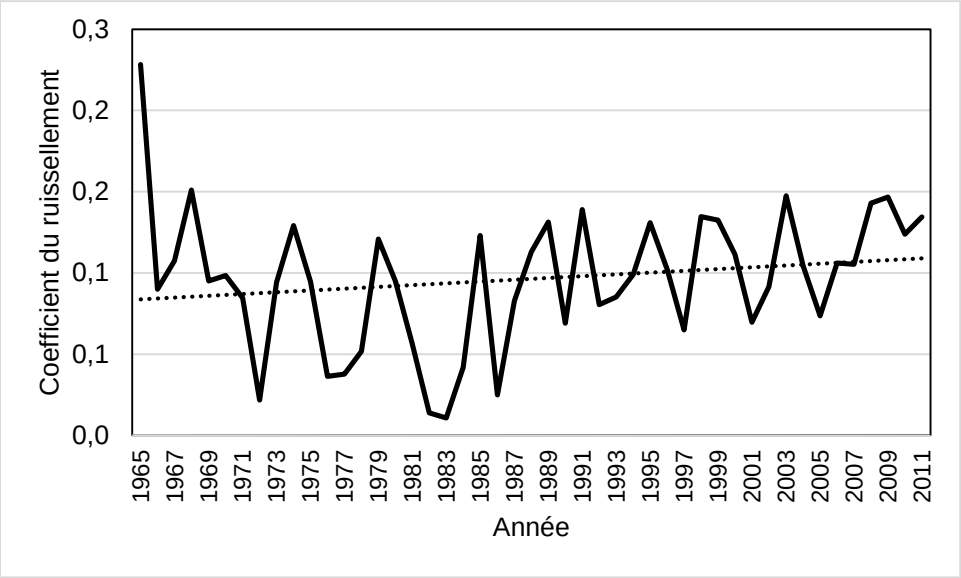


Figure 25: Variation interannuelle du ruissellement dans la basse vallée de l'Ouémé (1965-2011)
***Source** : ASECNA/COTONOU, 2014*

Le ruissellement des eaux pluviales (figure 25) provoque le décapage des sols ayant une faible épaisseur tout en étant pauvres et battants. Ces sols, présentent des traces d'érosion visibles sur des unités géographiques comme les talus et les rebords du plateau. Les infrastructures routières, les maisons et quelques champs mis à nus sont sujet aux ravinements.

4.1.4. Caractéristiques hydrologiques de la basse vallée de l'Ouémé

Elles participent à la dynamique géomorphologique de la basse vallée de l'Ouémé (Tableau XI).

Tableau XI: Débits moyens de hautes et basses eaux en amont et dans la basse vallée de l'Ouémé

Paramètres	Débits moyens des hautes eaux (m^3/s)					Débits moyens des basses eaux (m^3/s)		
Stations	**Juil**	**Août**	**Sept**	**Oct**	**Déc**	**Janv**	**Fév**	**Mars**
Bétérou	34,33	160,27	245,48	113,47	1,44	0,27	0,07	0,01
Savè	98,60	358,56	545,73	305,16	5,12	0,97	0,32	0,30
Bonou	145,17	411,82	651,18	543,10	19,60	7,73	5,63	5,51

***Source :** DG-Eau, 2014*

Le tableau XI présente les débits moyens de hautes et de basses eaux enregistrés sur la période considérée (1965-2011). Les débits moyens de hautes eaux varient respectivement de 34,33 m^3/s à 245,48 m^3/s à Bétérou, 98,60 m^3/s à 545,73 m^3/s à Savè, 145,17 m^3/s à 651,18 m^3/s à Bonou et ceux de basses eaux pour les mêmes stations sont de 0,01 m^3/s à 1,44 m^3/s (Bétérou), 0,30 m^3/s à 0,97 m^3/s (Savè), 5,51 m^3/s à 19,60 m^3/s (Bonou).

Le tableau XI a permis de suivre l'évolution des débits du fleuve Ouémé et de ses principaux affluents le long du bassin. Au total, les débits moyens de hautes eaux varient de 34, 33 m^3/s à 651,18 m^3/s et ceux de basses eaux sont de 0,01 m^3/s à 19,60 m^3/s au niveau des stations de Bétérou, de Savè et de Bonou. La répartition mensuelle des débits est instable d'une année à l'autre en raison des fluctuations pluviométriques.

Les plus forts débits, qu'on soit en période de hautes ou basses eaux, s'observent au niveau de la station hydrométrique de Bonou. Cela s'explique par le sens de l'écoulement des eaux de surface qui se fait de l'amont (stations de Bétérou et de Savè) vers l'aval (Station de Bonou).

Les mois de juillet à octobre qui ont connu des excédents correspondent à la période où les populations sont confrontées à des conséquences dommageables aux plans socioéconomique, environnemental et sanitaire. Par contre, les mois de décembre à mars facilitent la culture de contre saison. Cette dernière participe de la destruction du couvert végétal qui expose le sol du secteur d'étude à l'érosion (planche 7).

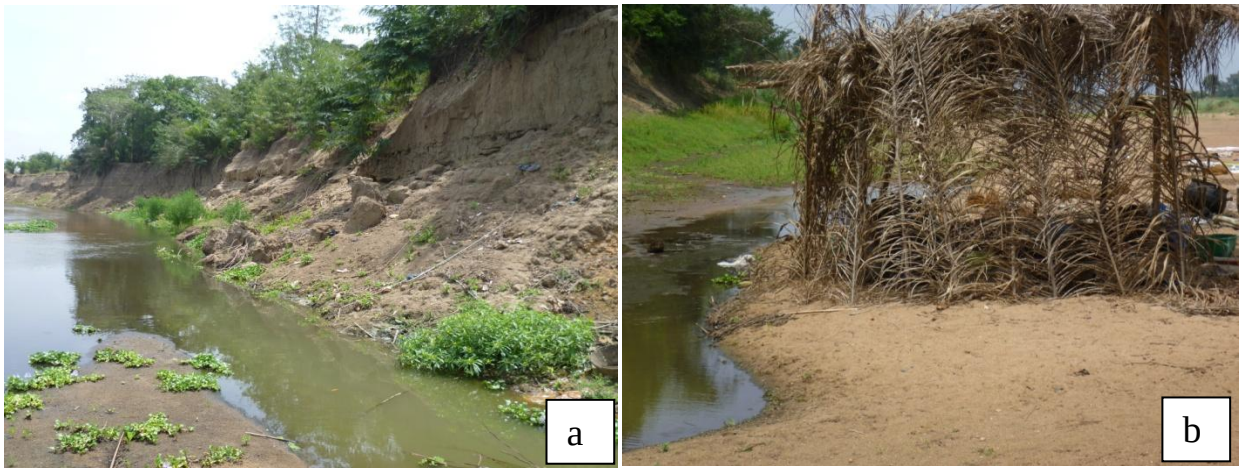


Planche 7: Sapement des berges du fleuve Ouémé (a) et Palissade servant d'abris (b) pour triturer les noix de palme à Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon (Commune de Bonou)
Prise de vue : *Agbomahènan, Février 2014*

La planche 7 montre le sapement des berges et l'assèchement du lit du fleuve Ouémé à la hauteur du village de Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon. L'intensité de l'écoulement joue un rôle d'ablation des sédiments (planche 7a). L'effet combiné des activités humaines et de la morphologie du secteur d'étude (pentes allant au-delà de 8 %) favorisent le ruissellement des eaux superficielles de la basse vallée de l'Ouémé. L'assèchement temporaire et persistant en amont du bassin s'observe

pendant certains mois de l'année associé à la saison sèche. Il est encore perceptible de nos jours, malgré la légère reprise pluviométrique enregistrée dans les années 1990 et 2000. Les populations riveraines profitent de l'assèchement du lit du fleuve pour triturer les noix de palme bouillies pour en extraire l'huile dans la Commune de Bonou.

4.1.5. Propriétés physiques et chimiques des sols de la basse Vallée de l'Ouémé

L'ensemble des propriétés physiques et chimiques découle du contexte géologique dans lequel les roches se sont formées.

4.1.5.1. Propriétés physiques des sols

Les alluvions de l'Ouémé sont caractérisées par une hétérogénéité texturale et granulométrique. Cette hétérogénéité peut se manifester par des variations brutales latérales et verticales au sein du profil. Elle est due à la nature des apports et à l'hydrodynamique de la sédimentation, influant plus sur la répartition granulométrique latérale. Les dépôts deviennent de plus en plus fins en s'éloignant du bord du fleuve où la turbulence du courant hydraulique s'amenuise progressivement.

En tenant compte des données disponibles sur l'ensemble de la plaine inondable, on peut se limiter à trois unités texturales à savoir :

- texture légère, généralement sableuse, le pourcentage de sable peut dépasser 80 % ;
- texture limoneuse, à tendance argileuse ou sableuse ;
- texture lourde, argileuse ou argilo-limoneuse, le taux d'argile peut dépasser 80 %.

La situation topographique de la basse vallée de l'Ouémé permet de conclure que 95 % de la superficie appartient à ces textures. De ce fait, les unités texturales identifiées se prêtent chacune à une spécificité sur le plan du fonctionnement hydrique interne (capacité de rétention en eau, aptitude au drainage). La présence de la matière organique dans ces formations texturales, est primordiale pour bâtir des unités structurales stables et améliorer leur perméabilité. Le tableau XII permet de mieux apprécier la texture du sol et les capacités de rétention de l'eau.

Tableau XII : Propriétés physiques des sols

Noms des sols	H	Z (cm)	CR (%)	Ks (Cm/j)	Da	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Sols ferrallitiques	1	20	26.00	12.22	1.57	11.64	14.32	74.04
rajeunis	2	63	21.00	9.36	1.75	15.66	12.96	71.38
	3	138	21.00	9.34	0.00	29.45	10.81	59.74
Sols	1	23	15.53	0.605	1.6	12.79	9.34	77.9
hydromorphes	2	85	46.54	0.2	1.6	12.79	9.34	77.9
lessivés								

Source : *Bossa, 2007 modifié à partir des travaux de terrain, 2014*

L'analyse du tableau XII montre le nombre d'horizons (H) par type de sol, la profondeur (Z) des différentes couches de sol, leurs capacités de rétention en eau (CR), leurs conductivités hydrauliques à saturation (Ks), leurs densités apparentes (Da) et leurs proportions en argile, limon et sable. La capacité de rétention est élevée au niveau des sols hydromorphes lessivés (46.54 %) et les sols ferrallitiques rajeunis (26.00 %).

Ces unités pédologiques ont une sensibilité différente à l'érosion marquée par l'influence de la pluie et de l'exploitation des sols dans le secteur d'étude. Les sols ferrallitiques et ferrugineux sont réputés, pour le mouvement des particules, par leur fragilité aussi bien sur le plan physique que sur le plan chimique.

4.1.5.2. Propriétés chimiques des sols

Elles sont à l'origine de la diversité du potentiel agricole de ces plaines.

Réserves chimiques et fertilité

Les plaines de la basse vallée de l'Ouémé bénéficient des dépôts alluviaux riches et fertiles. La figure 26 présente les profils pédologiques des sols dominants de la basse vallée de l'Ouémé.

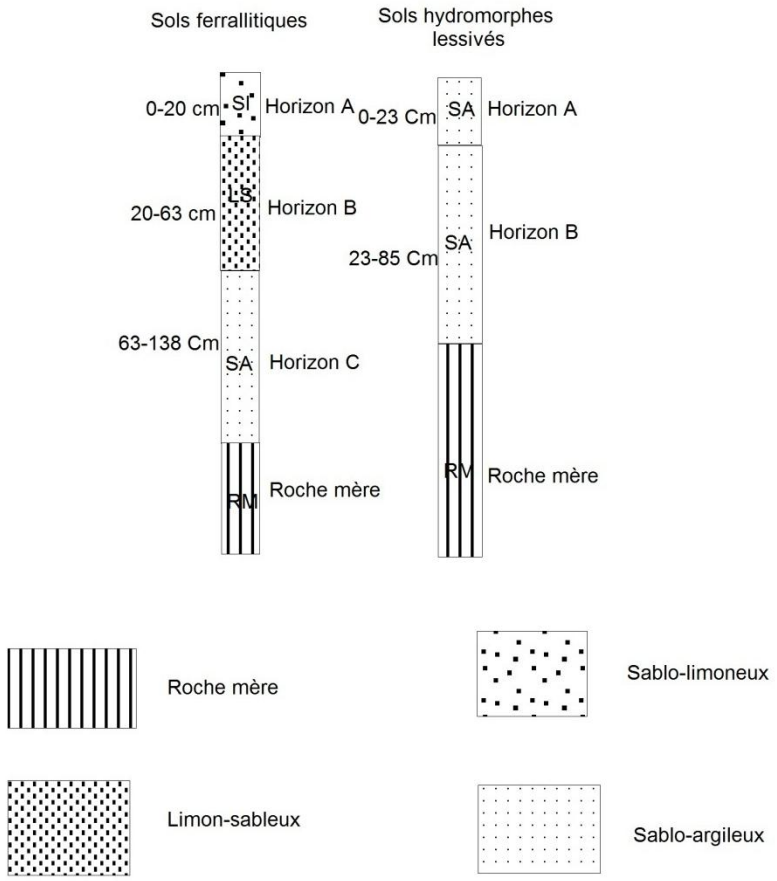


Figure 26: Profils pédologiques des sols dominants de la basse vallée de l'Ouémé
***Source** : Azontondé, (1991) repris par Agbomahènan, 2015*

L'analyse des profils pédologiques (figure 26) de quelques sols dominants de la basse vallée de l'Ouémé montre trois groupes à degré croissant du point de vue potentialité et aptitude chimique.

- unité 1, correspondant aux textures sableuses ; les domaines entrant dans cette unité peuvent être exploités par des cultures peu exigeantes en éléments nutritifs, ou encore par des cultures à système racinaire très développé qui peut explorer une grande quantité de terre;
- unité 2, correspondant aux textures limoneuses ;
- unité 3, correspondant aux textures fines, argileuses et argilo-limoneuses, généralement plus riches en matière organique. Elle peut être à vocation rizicole comme c'est le cas dans la plaine inondable de Gouti dans la Commune d'Adjohoun.

Matière organique

Le tableau XIII permet de mieux apprécier le taux de carbone organique des sols de la basse vallée de l'Ouémé.

Tableau XIII : Taux de carbone organique des sols

Noms des sols	H	CO (%)
Sols ferrallitiques rajeunis	1	0.55
	2	0.50
	3	0.11
Sols hydromorphes lessivés	1	1.69
	2	0.95

Source : *Bossa, 2007 modifié à partir des travaux de terrain, 2014*

L'analyse du tableau XIII montre que le taux de carbone organique est plus élevé au niveau des sols hydromorphes lessivés de la plaine d'inondation (0.95 % à 1.69 %) que les sols ferrallitiques rajeunis des plateaux (0.11 % à 0.55 %). Une partie du potentiel possédé par les alluvions est due à la matière organique. Pour les sols cultivés, une partie de cette matière est restituée par résidus agricoles, mais il se peut que l'essentiel soit drainé par les cours d'eau et le retrait des eaux au cours de l'inondation.

Les résultats issus de l'analyse des paramètres physico-chimiques ont révélé que les sols de la basse vallée de l'Ouémé sont perméables. Mais il reste évident que d'autres facteurs comme la pente et le type de couverture ont une sérieuse influence sur le phénomène d'érosion.

4.1.6. Topographie de la basse vallée de l'Ouémé

La topographie intervient dans le phénomène d'érosion. Elle est la description et la représentation graphique d'un terrain selon son relief (figure 27).

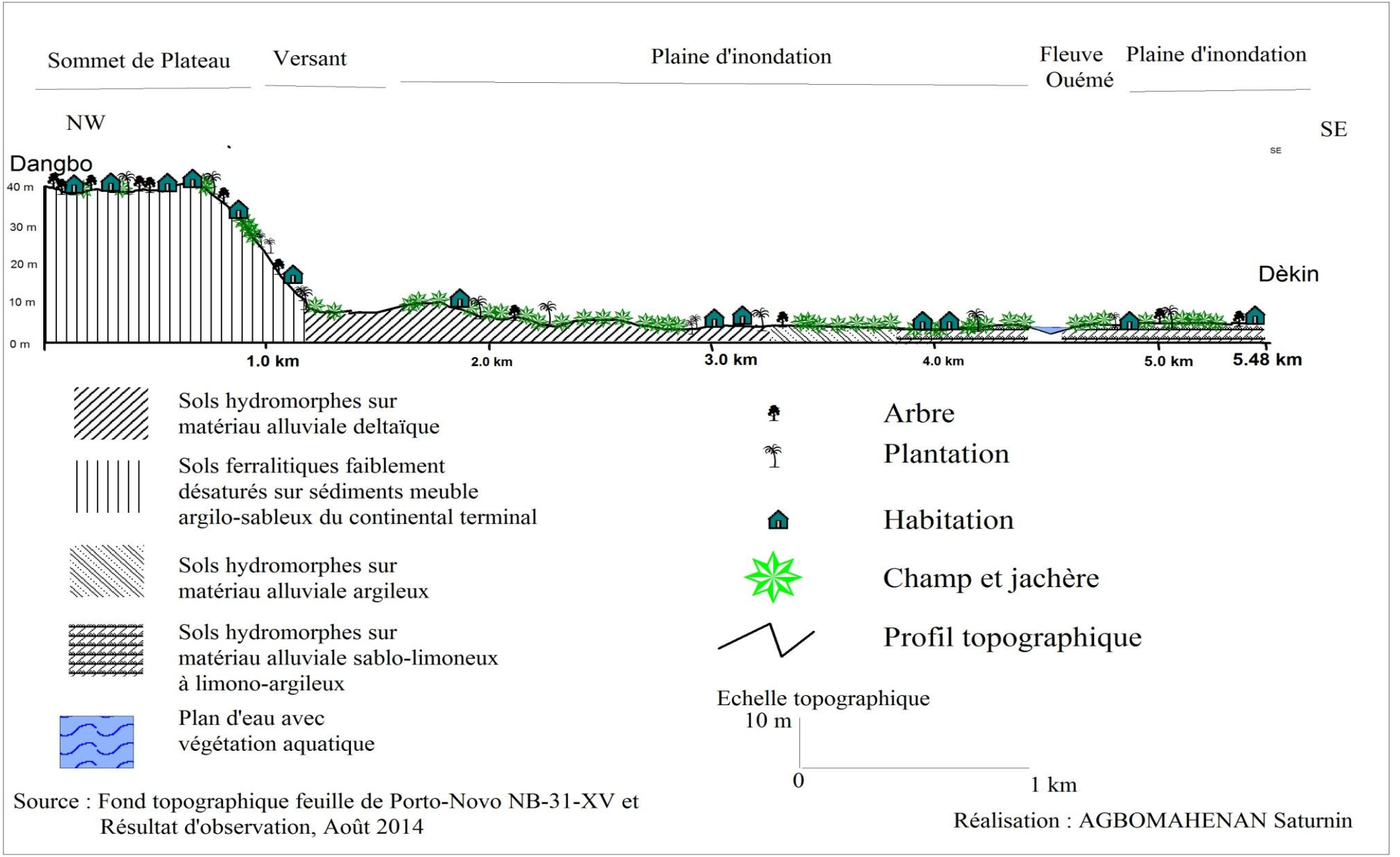


Figure 27 : Profil agro-écologique de la basse vallée de l'Ouémé entre Dangbo et Dèkin

Le profil topographique de la basse vallée de l'Ouémé est pris en compte dans cette étude à travers un certain nombre de paramètre.

4.1.6.1. Altimétrie

La figure 28 présente les différentes altitudes de la basse vallée de l'Ouémé.

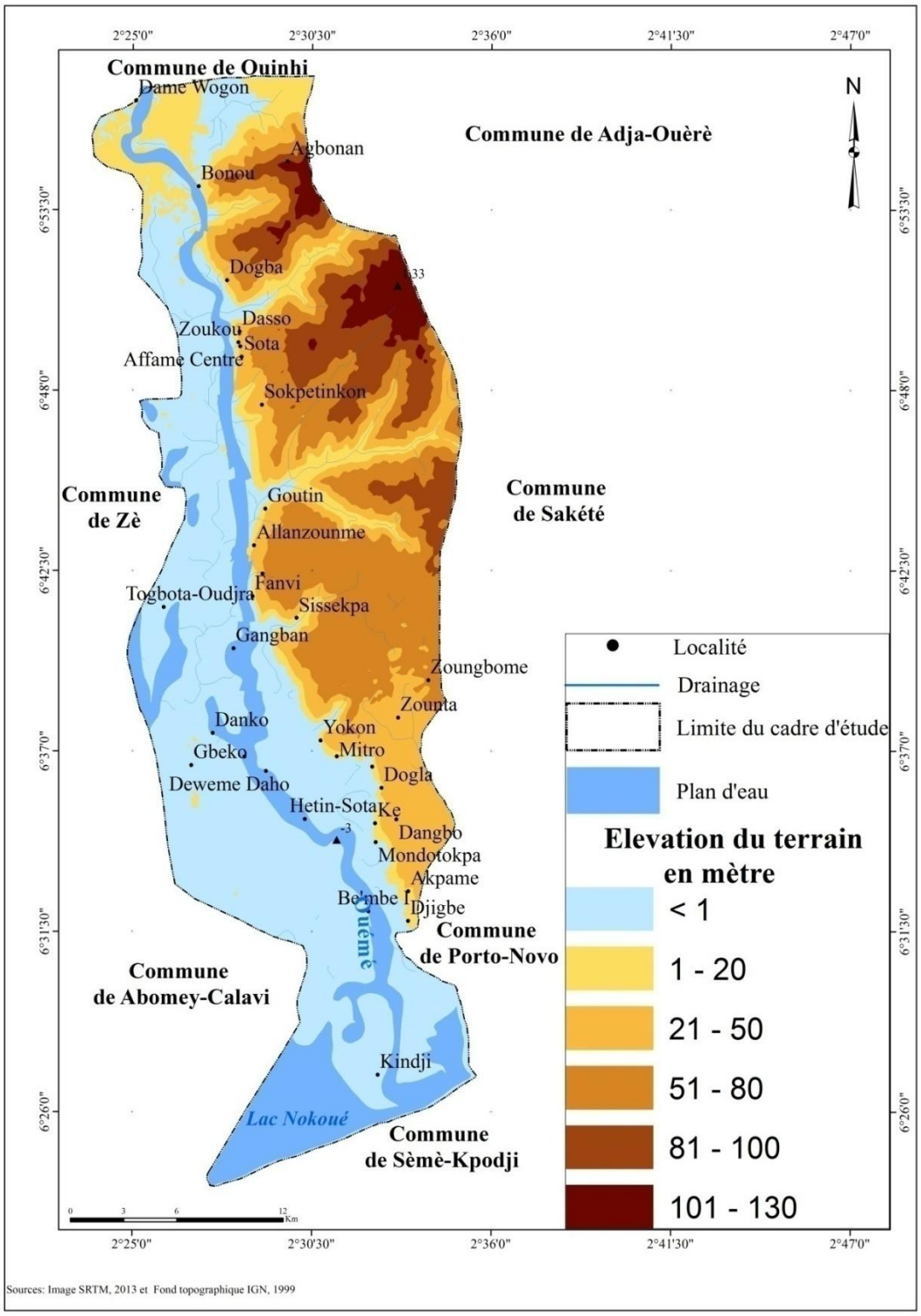


Figure 28: Variation de l'altitude dans la basse vallée de l'Ouémé

La figure 28 montre que les différentes altitudes de la basse vallée de l'Ouémé sont réparties en six catégories. Les valeurs de cette élévation verticale par rapport au niveau de la mer sont inférieures à 1m (Bembè, Gangban, Kindji, etc.) ; comprises entre 1 et 20 m (Hètin-Sota, Yokon, etc.) ; entre 21 et 50 m (Mitro, Sota, etc.) ; entre 51 et 80 m (Zounta, Dogla, etc.) ; entre 81 et 100 m (Dasso) et entre 101 à 130 m (Agbonan). Ces différentes valeurs peuvent être regroupées en deux milieux. Le milieu à basses altitudes à l'ouest (de moins de 50 m) et celui à altitudes relativement élevé à l'est (de 50 m à 130 m et plus). En dehors de l'altitude, le type de pente et la nature du sol sont aussi un facteur déterminant dans le phénomène érosif.

4.1.6.2. Différentes types de pentes de la basse vallée de l'Ouémé

L'importance spatiale des pentes a permis d'identifier trois grandes classes. Ces classes de pentes correspondent à trois grandes facettes topographiques dans le bassin. Le milieu I, pentes faibles (comprise entre 0 et 5 %) couvre plus de 67 % de la superficie (542,7 km^2) de la basse vallée de l'Ouémé et regroupe les plaines alluviales et les affluents (Kindji, Gbéko, Dèwèmè-Daho, Zounta, etc…). Les surfaces topographiques de ces localités où les pentes sont faibles présentent des rigoles très fines (Planche 9).

Le milieu II à pentes moyennes (6-10 %) occupe 28 % de la superficie soit 226,8 km^2 et englobe la plupart des versants comme à Agbonan, Gouti, Sokpetinkon, Sota, etc. Dans ces localités, les effets de l'érosion sont visibles à travers des rigoles et des ravins de taille moyenne et l'accumulation de sable à certains endroits.

Le milieu III à pentes fortes (au delà de 10 %) couvre 5 % du bassin (avec une superficie de 40,5 km^2) et est marquée par les talus. Les localités concernées par les pentes fortes (Affamè centre, Dogba, Fanvi, Sissèkpa, Gnanhoui-Zounmè, etc.) regorgent de grandes rigoles, de larges ravins, le déchaussement des infrastructures socio-économiques (poteaux électriques, maisons, etc.). Malgré que les quartiers comme Anamè, Lokossa, Gouti, pour ne citer que ceux-là soient caractérisés par de longues et fortes pentes, l'influence de l'érosion est moins catastrophique. Cette situation s'explique par l'occupation des abords immédiats de la plaine d'inondation par la population (photo 3). La figure 29 présente les différents types de pentes de la basse vallée de l'Ouémé.

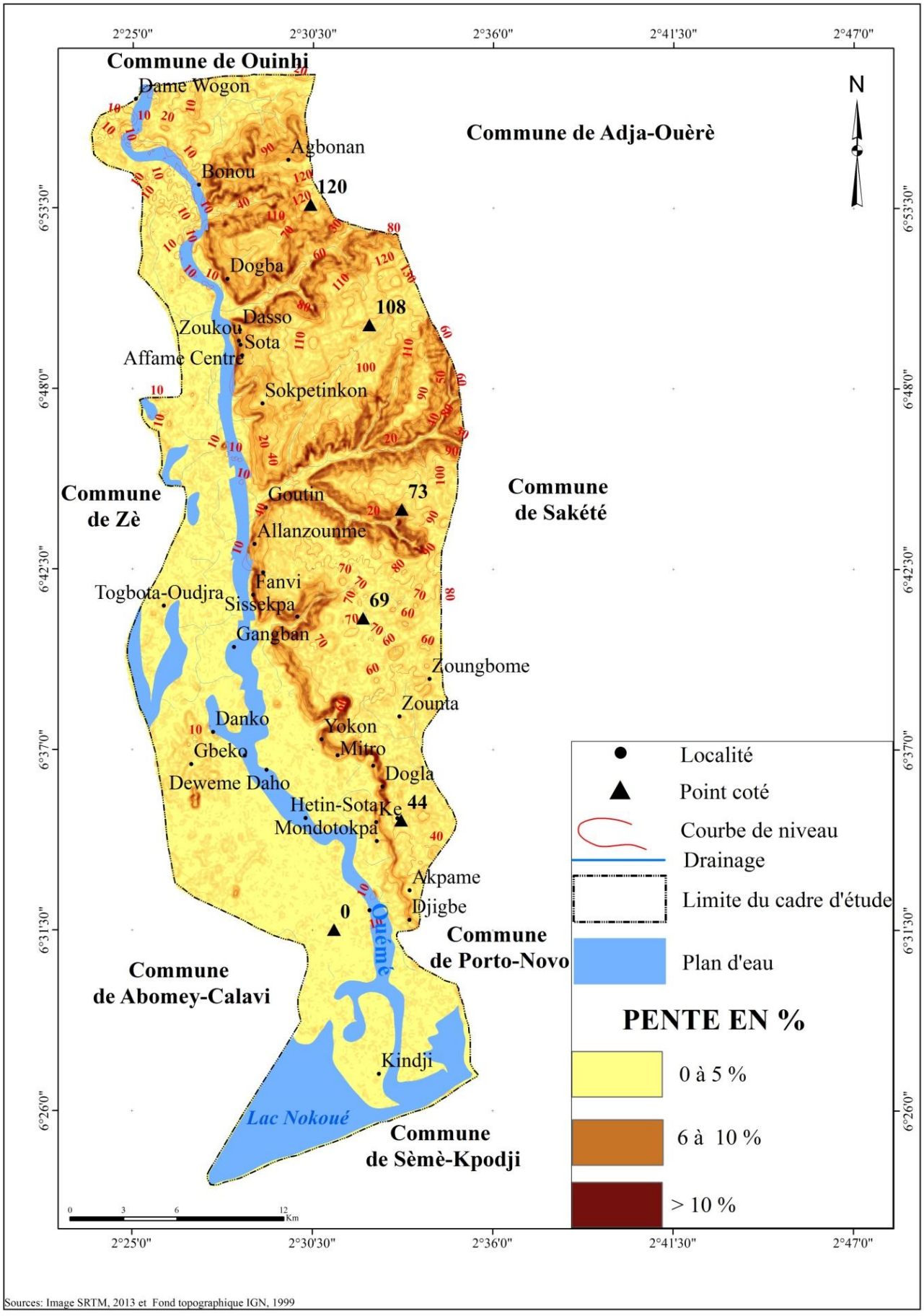


Figure 29 : Différentes types de pentes de la basse vallée de l'Ouémé

Il n'est pas rare de voir la combinaison de deux types de pentes sur un même espace (sommets de plateau de Bonou, Adjohoun et Dangbo,…). En considérant la proportion des pentes moyennes et fortes (33 % de superficie soit 267,3 km^2), la répartition des types de pentes, tel que le montre la figure 29, constitue un facteur morphométrique important, déterminant pour l'hydrodynamique dans la basse vallée de l'Ouémé. La planche 8 montre un relief à pente moyenne dans la Commune de Adjohoun.



Planche 8: Pente moyenne aménagée par la population pour accéder au village de Fanvi dans l'arrondissement de Démè (Commune d'Adjohoun)
Prise de vue *Agbomahènan, mars 2014*

La planche 8 montre un escalier réalisé par la population de la Commune d'Adjohoun pour accéder au village de Fanvi. Le bas de versant de cette pente aménagée (planche 8.a) est érodé par les eaux de ruissellement. L'arrière plan de la planche 8.b présente successivement le fleuve Ouémé, des formations végétales composées de palmier à huile ; des tas de sable fluvial et le village Fanvi. Ces variations d'inclinaison de la surface topographique entraînent une rupture de pente qui sépare des formes convexes dans la partie supérieure des versants (pente s'accentuant vers l'aval) et des formes concaves dans sa partie inférieure (pente diminuant vers l'aval). On observe bien cette rupture de pente sur un profil en long généralisé (figure 30).

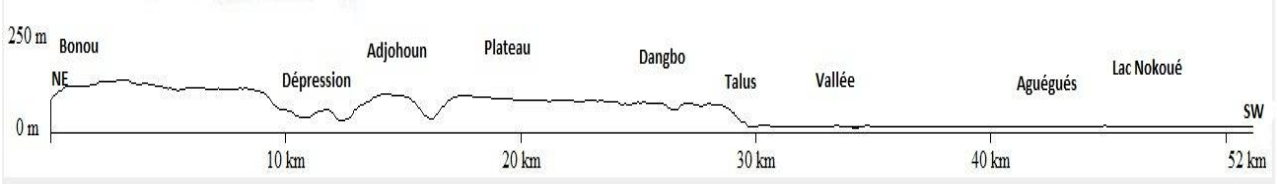


Figure 30: Profil longitudinal de la basse vallée de l'Ouémé entre Bonou et Aguégués
Source : *Conçu à partir des images SRTM, 2013 et Observations de terrain, Décembre 2014*

La figure 30 révèle le profil longitudinal de la basse vallée de l'Ouémé depuis l'amont du bassin vers l'aval. La figure 30 présente une inclinaison globale de l'amont (Bonou) vers l'aval (Aguégués). Cette pente favorise un écoulement des eaux du nord vers le sud du bassin. L'augmentation du débit vers l'aval rend possible le transport de la charge sur des pentes progressivement plus faibles (figure 31). La pente constitue donc un paramètre intéressant pour la maîtrise de la morphologie et le développement des activités humaines dans la basse vallée de l'Oumé.

Au plan morphologique, elle détermine (couplée à la géologie) la possibilité de fourniture des matériaux solides au cours d'eau par le biais des processus d'érosion des versants. La pente favorise des débits importants et la concentration des filets d'eau. Au plan socio-économique, la pente offre les possibilités d'implantation ou de développement d'activités humaines (Agriculture, Exploitation des carrières de sable, etc.). L'écoulement des eaux de pluie de l'amont vers l'aval associé à la crue du fleuve Ouémé entraîne parfois l'inondation des maisons qui sont construites sur les plaines. Cette inondation occasionne le délogement temporaire ou définitif des riverains, des problèmes de santé, etc. La figure 31 montre le profil en long du chenal de la basse vallée de l'Ouémé.

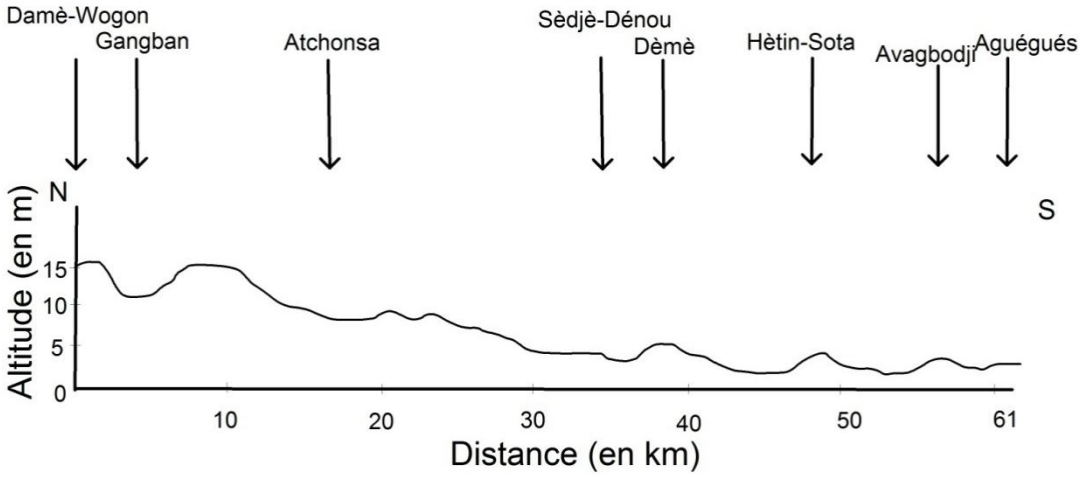


Figure 31 : Profil en long du chenal de la basse vallée de l'Ouémé
Source : *Conçu à partir des images SRTM, 2014 et Observations de terrain, Décembre 2014*

4.2. Facteurs d'érodibilité des unités morphologiques du milieu

4.2.1. Morpho-pédologie de la basse Vallée de l'Ouémé

La basse vallée de l'Ouémé regorge de multiples potentialités sur le plan morpho-pédologiques. Les unités morphologiques qui se dégagent de l'observation de la figure 32 sont les plateaux de faible altitude et la plaine inondable, d'axe nord-sud, qui s'étend de part et d'autre du fleuve Ouémé qui l'inonde annuellement entre les mois de juillet et novembre.

Les plateaux de la basse vallée de l'Ouémé sont recouverts par une formation latéritique d'une grande perméabilité. Les eaux d'infiltration réapparaissent en de nombreuses sources au pied du plateau. La plaine d'inondation est exondée durant la moitié de l'année et subit régulièrement les dépôts de charge d'alluvions du fleuve Ouémé. Ces derniers facilitent la culture des produits vivriers comme le manioc (*Manihot esculenta*), maïs (*Zea mays*) et ceux maraîchers dont la tomate (*Lycopersion esculentum*), le piment (*Capsicum annum*) et le gombo (*Abelmoschus esculentus*).

Ces deux unités morphologiques sont reliées par un talus, aux sols argileux (80 % en teneur) plus ou moins pauvres en limons et en sable en raison de la légère déclivité observée. Ils sont aptes à la culture du riz, du maïs de première saison pluvieuse et du riz flottant de deuxième saison pluvieuse. La figure 32 présente la morphologie de la basse vallée de l'Ouémé.

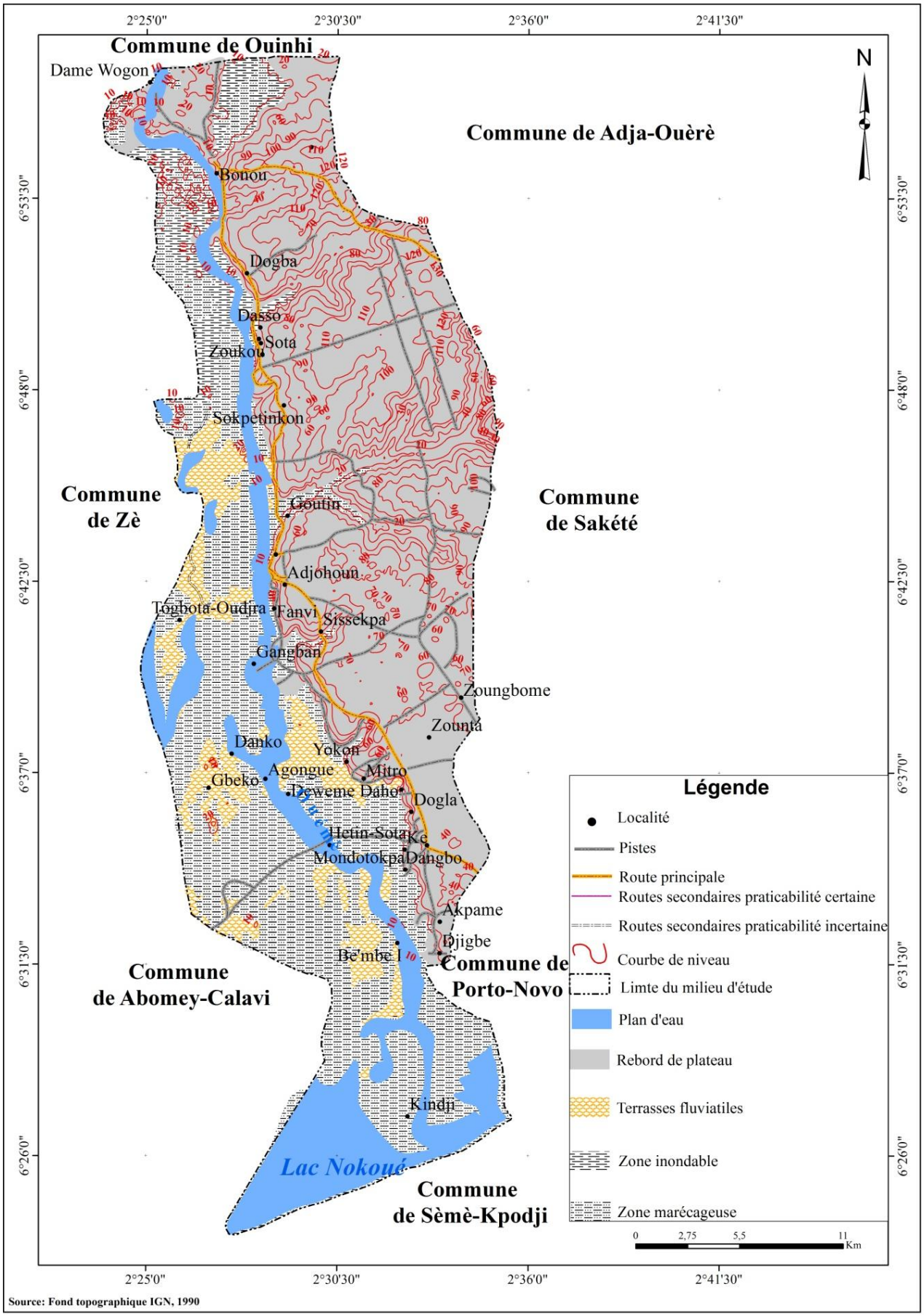


Figure 32: Unités morphologiques et localisation des villages d'enquêtes

L'exploitation des carrières de sable et le développement des activités agricoles constituent une forte pression dans ce milieu. Des indices simples (indice de compacité, indice global de pente, etc.) sont calculés pour caractériser la morphologie de la basse vallée de l'Ouémé.

4.2.2. Détermination des facteurs d'érodibilité de la basse vallée de l'Ouémé

Les facteurs d'érodibilité de la basse vallée de l'Ouémé sont connus grâce à l'évaluation de l'indice de compacité, l'indice global de pente, la pente moyenne, la dénivelée spécifique et la densité de drainage. Ces caractéristiques morphométriques ont permis d'expliquer l'érodibilité du bassin à travers sa forme, la nature de son relief, du sol et du sous-sol (Tableau XIV).

Tableau XIV : Paramètres des unités morphologiques de la basse vallée de l'Ouémé

Caractéristiques morphométriques du milieu			**Valeurs**		
Paramètres	**Symbole**	**Unité**	**Basse vallée de l'Ouémé**	**Plateau**	**Vallée**
Superficie du bassin	S_b	km^2	810	370,57	439,43
Périmètre	P	km	198	97,38	100,62
Indice de forme	I_f	-	1,95	1,41	1,34
Indice global de pente	Igp	m/km	1,78	1,65	1,89
Dénivelée spécifique	Ds	m	50,66	31,76	39,61
Pente moyenne	Pm	m/km	2 ,75	2,11	0,64
Densité de drainage	Dd	km/km^2	0,11	0,04	0,16
Relief				Modéré	

Source : *Résultats de recherche, 2014*

Le tableau XIV présente les paramètres morphométriques de la basse vallée de l'Ouémé. Ces paramètres peuvent faciliter le détachement, le transport et le dépôt des sédiments.

Indice de compacité de la basse vallée de l'Ouémé

L'analyse de ces résultats permet de conclure que le périmètre et la superficie de la basse vallée de l'Ouémé sont respectivement 198 km et 810 km^2. La longueur du bassin (90 km) est dix fois plus grande que sa largeur (9 km). L'indice de compacité de Gravelius calculé donne un résultat de 1,95. La forme générale de la basse vallée de l'Ouémé est étirée et ne le prédispose pas à un écoulement rapide ou violent. Cette forme ne lui permet pas non plus de conduire très rapidement l'eau vers l'exutoire. Son débit de pointe est cependant capable d'arracher ou de désolidariser des sédiments pour emporter les particules vers les talwegs.

Indice global de pente de la basse vallée de l'Ouémé

La valeur de la courbe hypsométrique correspondant à 5 % de la superficie du bassin est de 120 m et celle de 95 % de cette superficie est 280 m. La longueur (L) du rectangle équivalent en combinant le périmètre et la surface, est de 90 km. La valeur de l'indice global de pente Igp calculé suivant la formule Dut/L est de 1,78 m/km. L'interprétation de cette valeur montre qu'il faut parcourir 1 km pour s'élever de 1,78 m. Cette valeur de l'Igp prouve que la pente dans le bassin est en général faible.

Dénivelée spécifique (Ds) de la basse vallée de l'Ouémé

La dénivelée spécifique du bassin de la Basse Vallée de l'Ouémé est de 50,66 m (entre 50 m et 100 m), donc son relief est modéré.

Pente moyenne

Elle est de l'ordre de 2,75 m/km pour la basse vallée de l'Ouémé. La pente moyenne varie des plateaux (2,11 m/km) à la plaine d'inondation (0,64 m/km).

Densité de drainage (Dd) de la basse vallée de l'Ouémé

Elle est considérée comme très forte avec 0,16 km/km^2; forte pour 0,11km/km^2 et faible (0,04 km/km^2). Les milieux prédisposés à l'inondation sont celles situées dans les secteurs de faible perméabilité et à pente faible, en contrebas des reliefs, où le réseau de drainage est dense (infiltration faible, concentration rapide des eaux). De plus le risque à l'inondation est aussi maximal aux abords immédiats des cours d'eau.

Les abords des berges et du cours d'eau ont été ravinés pendant la crue de 2000 et de 2010. En effet, l'ampleur des ablations des sols ou des berges de cours d'eau est relative à la topographie, la vitesse de l'écoulement de l'eau en période de crue, l'inefficacité des systèmes de drainage du ruissellement et anti-érosifs installés aux abords des routes. Les activités anthropiques influencent fortement le couvert végétal.

4.3. Évolution des états de surface et son influence sur la basse vallée de l'Ouémé

La pression démographique a participé à la dégradation de l'environnement de la basse vallée de l'Ouémé.

4.3.1. État d'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé

Les cartes d'occupation du sol des années 1992, 2002 et 2012 présentent l'évolution du couvert végétal du secteur d'étude.

4.3.1.1. Description des cartes d'occupation du sol de 1992, 2002 et 2012

La figure 33 met en évidence les différents types d'occupation du sol de la basse vallée de l'Ouémé au cours de la période 1992, 2002 et 2012.

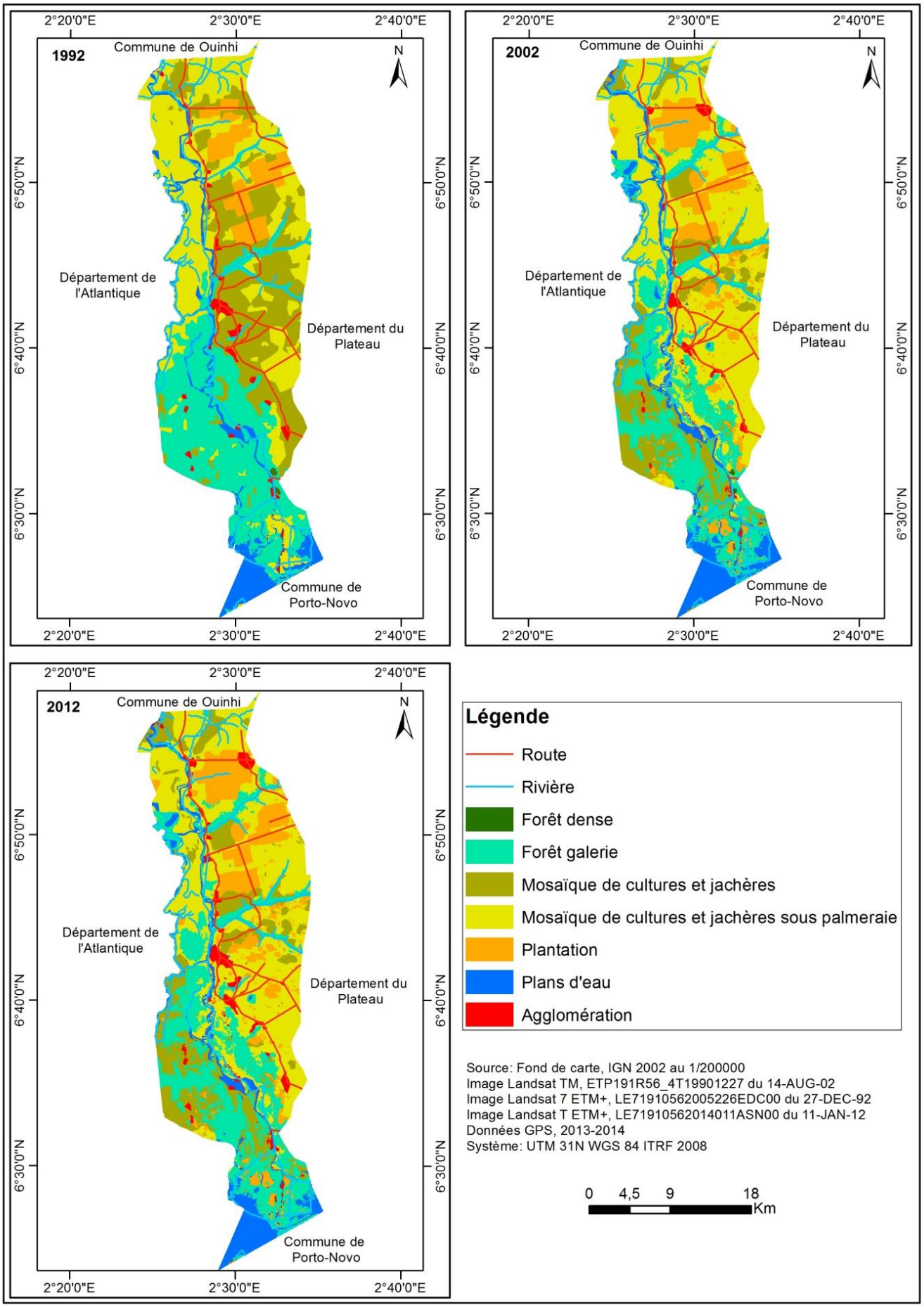
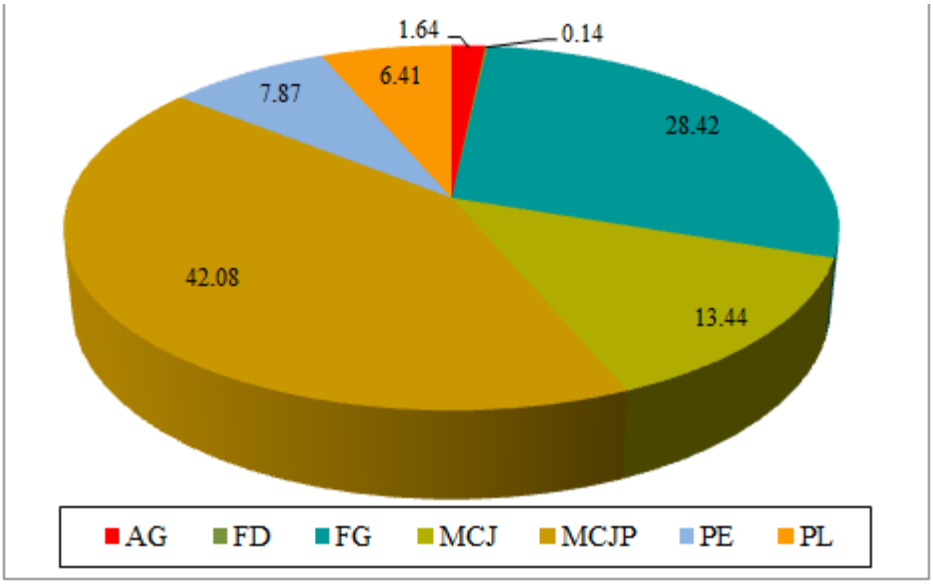


Figure 33 : Evolution des unités d'occupation du sol au cours des années 1992; 2002 et 2012

- **Etat de l'occupation du sol en 1992**

L'analyse de la figure 33 a révélé que le paysage de la basse vallée de l'Ouémé en 1992 était composé des formations naturelles (forêts denses, des forêts galeries), quelques agglomérations, une dominance des mosaïques de champs et de jachères (figure 34).



Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

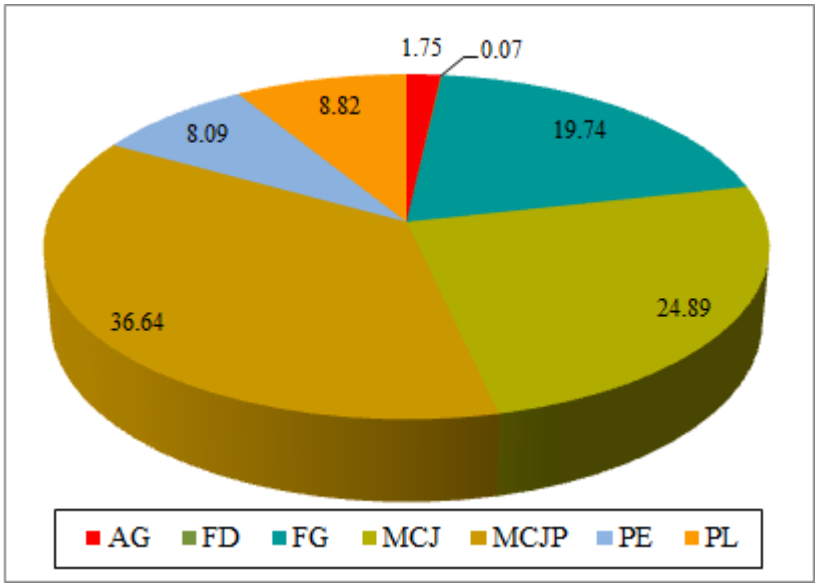
Figure 34: Distribution des différentes unités d'occupation du sol en 1992 (en pourcentage de la surface totale)
Source : Traitement des données des images Landsat TM de 1992

L'analyse de la distribution des différentes unités d'occupation du sol en 1992 montre que les formations naturelles et anthropiques occupent respectivement 231,37 km^2 soit 28,56 % et 514,90 km^2 soit 63,57 % de la superficie totale de la basse vallée de l'Ouémé. Quant aux plans d'eau, ils couvrent 63,73 km^2 soit 7,87 % de la superficie totale de la basse vallée de l'Ouémé.

L'analyse de la figure 34 révèle que le taux de couverture du sol par les formations naturelles en 1992 est de 28,56 % et les aires de cultures sont très peu étendues. Cette situation favorisait non seulement un maintien du couvert végétal mais aussi une protection du sol contre l'effet des gouttes de pluie.

➢ **Etat de l'occupation du sol en 2002**

La plupart des formations végétales identifiées en 1992 dans le secteur d'étude a subit de profondes régressions en 2002, par suite d'une croissance démographique galopante. La basse vallée de l'Ouémé ainsi mis à nu est sujet au phénomène d'érosion (figure 35).



Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

Figure 35: Distribution des différentes unités d'occupation du sol en 2002 (en pourcentage de la surface totale)

Source : *Traitement des données des images Landsat TM de 2002*

L'analyse de la figure 35 révèle que les unités d'occupation du sol de la basse vallée de l'Ouémé en 2002 sont constituées de forêt galerie (159,88 km^2 soit 19,74 %); de forêt dense (0,57 km^2 soit 0,07 %); de mosaïque de cultures et jachères sous palmeraie (296,75 km^2 soit 36,64 %) ; des mosaïques de Champs et Jachères (201,65 km^2 soit 24,89 %) ; de plantation (71,46 km^2 soit 8,82 %) ; les plans d'eau de (65,55 km^2 soit 8,09 %) et les agglomérations (14,16 km^2 soit 1,75 %).

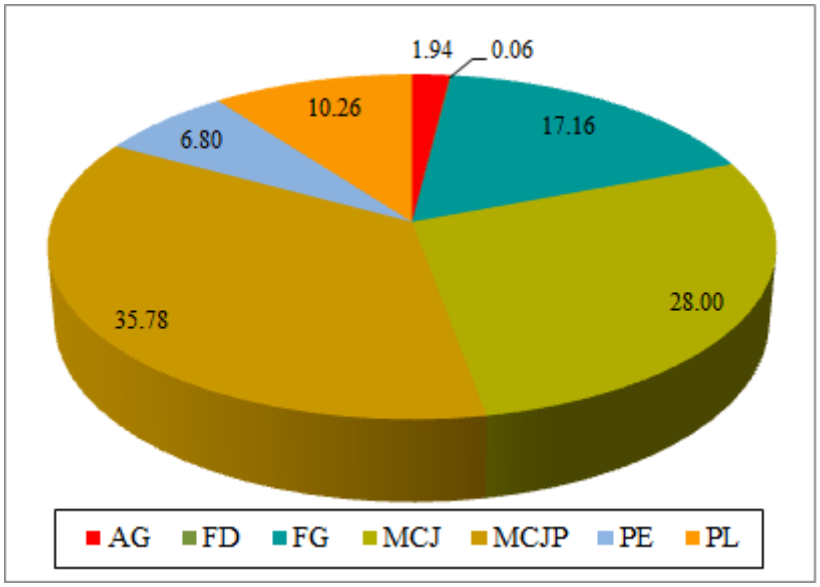
➢ **Etat de l'occupation du sol en 2012**

Les formations de forêts galeries au cours de l'année 2012 occupent 139,03 km^2 soit 17,16 % de la superficie totale du bassin et se localisent majoritairement le long des plans et cours d'eau de la basse vallée de l'Ouémé. Celles de la forêt dense s'étendent

sur 0,47 km^2 soit 0,06 % et se retrouve prioritairement sur les terrasses basses de la basse vallée de l'Ouémé.

Quant aux mosaïques de cultures et jachères sous palmeraie, elles couvrent 289,82 km^2, la plus grande superficie de la basse vallée de l'Ouémé (35,78 %), surtout du sud au nord-Est de la plaine d'inondation du secteur d'étude. Les mosaïques de cultures et jachères occupent 226,80 km^2 soit 28 % de la superficie de la basse vallée de l'Ouémé. L'extension des aires culturales a conduit à une dénudation du sol et inévitablement à l'accélération des processus de ruissellement.

L'évolution des cultures et jachères est liée à l'emprise humaine, de plus en plus intense dans le bassin, où les agglomérations occupent 15,68 km^2 soit une progression de 1,94 % et les plans d'eau de 55,12 km^2 soit 6,8 % de la superficie du bassin. Les plantations s'étendent sur une superficie de 83,0812 km^2 soit 10,26 % (figure 36).



Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

Figure 36 : Distribution des différentes unités d'occupation du sol en 2012 (en pourcentage de la surface totale)
Source : *Traitement des données des images Landsat TM de 2012*

La distribution des différentes unités d'occupation du sol de 1992 à 2012 permet de présenter le bilan des différents changements intervenus au niveau des unités d'occupation du sol de la basse vallée de l'Ouémé.

4.3.1.2. Bilan des changements intervenus entre les années 1992, 2002 et 2012 dans la basse vallée de l'Ouémé

L'analyse comparée des cartes d'occupation du sol (figures 33) des années 1992, 2002 et 2012 a permis de conclure qu'une forte pression humaine s'exerce sur les formations végétales de la basse vallée de l'Ouémé.

- **Dynamique de l'occupation du sol entre les périodes 1992 et 2002**

La matrice de transition (tableau XV) générée par le croisement des cartes d'occupation du sol de 1992 et 2002 de la basse vallée de l'Ouémé montre une évolution au niveau des différentes unités d'occupation du sol.

Tableau XV: Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 1992 et 2002

	Occupation du sol en 2002							
Occupation du sol en 1992	**FD**	**FG**	**MCJ**	**MCJP**	**PL**	**AG**	**PE**	**Total en 1992**
FD	**10,72**	0,02	0	0,70	0,10	0,00	0,00	11,54
FG	0,00	**0,46**	0,46	5,16	1,00	0,10	0,02	7,14
MCJ	2,20	0,02	**54,30**	0,00	0,20	0,00	0,01	56,73
MCJP	0,10	13,30	0,00	**0,90**	0,00	0,00	0,00	14,30
PL	0,00	0,00	1,00	0,00	**0,15**	0,20	0,00	1,35
AG	0,25	0,00	4,30	2,50	0,05	**0,84**	0,00	7,94
PE	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,97**	0,99
Total en 2002	13,27	13,8	60	9,26	1,5	1,14	1	100

Sources : *Images Landsat 5 TM de 1992 et Landsat 7 ETM+ de 2002*

Légende

Superficie demeurée stable entre 1992 et 2002

Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

L'analyse du tableau XV révèle qu'entre 1992 et 2002, 13,3 % de forêt galerie ont évolué en mosaïque de cultures et jachères sous palmeraies (progression) contre 5,16 % de forêt galerie devenues des mosaïques de cultures et jachères sous palmeraies (regression), soit un flux de 8,15 %. Les classes non naturelles, à l'exception des plantations, ont vu leurs pourcentages augmenter principalement au détriment des champs (4,30 % en faveur des agglomérations et 2,50 % vers les mosaïques de cultures et jachères).

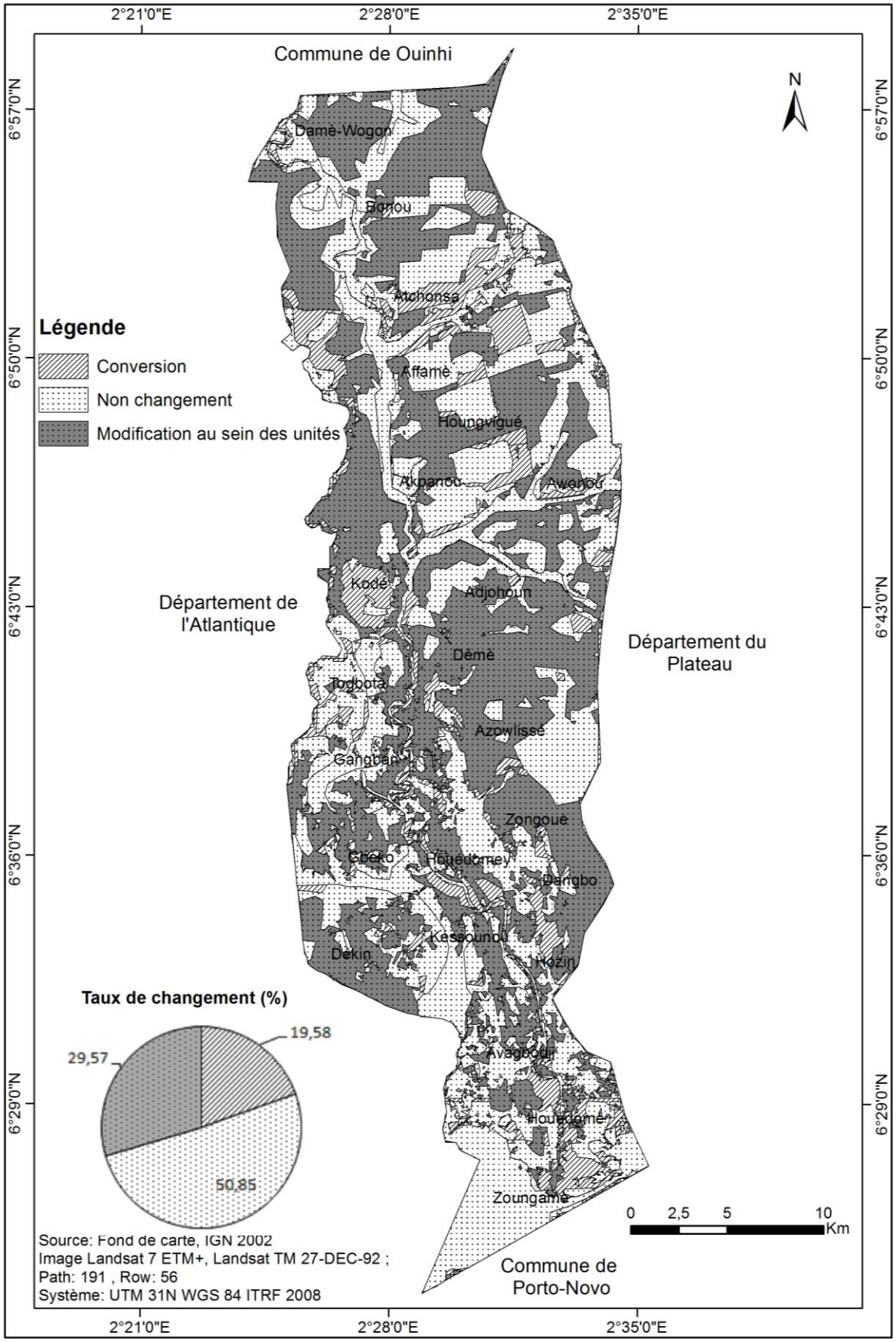


Figure 37 : Etat de changement de l'occupation du sol entre 1992 et 2002

Il ressort de cette analyse qu'entre 1992 et 2002 s'observe une stabilité des classes sur 68,34 % de la basse vallée de l'Ouémé (figure 37). Sur la même période, 7,91 % du territoire a enregistré une dynamique de densification de la végétation. Les surfaces agricoles se sont étendues de 23,74 %.

Globalement 50,85 % de la région n'ont pas subi de changements, ce qui correspond à une superficie de 411,88 km^2 sur une surface totale de 810 km^2. À cela, s'ajoutent une superficie de 158,60 km^2 soit environ 19,58 % de progression mais également 239,52 km^2 soit 29,57 % de régression.

- **Dynamique de l'occupation du sol entre les périodes 2002 et 2012**

La matrice de transition des états d'occupation du sol révèle dans la basse vallée de l'Ouémé, des cas de progression et de régression (Tableau XVI), des unités du couvert végétal et autres unités d'occupation du sol pendant la période de dix ans (2002 à 2012).

Tableau XVI: Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 2002 et 2012

	Occupation du sol en 2012							
Occupation du sol en 2002	**FD**	**FG**	**MCJ**	**MCJP**	**PL**	**AG**	**PE**	**Total en 2002**
FD	**6.3**	0	0	0	0	0.1	0.0	6.4
FG	1.5	**53.1**	9.1	0.3	0.2	1	0.42	65.62
MCJ	0	1.2	**8.1**	0.8	0.3	0.2	0.01	10.61
MCJP	0	0.1	0.5	**0.55**	0	0.2	0	1.35
PL	0	3.1	2.8	0.9	**0.2**	0	0	7
AG	0.38	0	3.43	2.27	0.58	**1.5**	0	8.16
PE	0.01	0.02	0	0	0	0	**0.93**	0.96
Total en 2012	8.19	57.52	23.93	4.82	1.28	3	1.26	100

Sources : *Images Landsat 7 ETM+ de 2002 et Landsat 7 ETM+ de 2012*

Légende

Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

Superficie demeurée stable entre 2002 et 2012

Pendant la seconde période de l'étude (2002-2012), les forêts galeries ont perdu 9,1 % au profit de la mosaïque de cultures et jachères. Les agglomérations ont progressé vers

les mosaïques de Cultures et Jachères (3,43 %), les mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers (2,27 %).

Le paysage n'est plus dominé que par les mosaïques de cultures et jachères sous palmeraie (35,78 % en 2002 contre 36, 64 % en 2012). La proportion de la classe de mosaïque de cultures et jachères a dépassé celle des forêts galeries. La classe des forêts galerie constitue donc la principale distributrice en superficie aux autres classes (figure 38). La basse vallée de l'Ouémé est ainsi exposé aux impacts des gouttes de pluie.

La basse vallée de l'Ouémé a connu une modification au sein de la végétation naturelle ou des espaces anthropisés (2,34 %) ; des changements (1,12 %) d'une catégorie d'occupation du sol à une autre et classe non affectée (96, 54 %) par des modifications ou des conversions entre deux dates (figure 38).

Ces changements dénotent de la diminution généralisée des formations de forêts depuis plus d'une décennie et une très forte progression des surfaces cultivées et/ou des jachères et des milieux d'habitation. L'évolution négative entre 2002 et 2012 des forêts galeries de la basse vallée de l'Ouémé invite à un effort de la part des riverains du fleuve Ouémé et de l'État, pour le reboisement des berges, et leur suivi. Néanmoins, la progression de la superficie des unités anthropisées est liée à l'augmentation de la population dans le secteur d'étude et par une demande croissante des terres agricoles. Toutefois, l'évolution des superficies d'unités d'occupation du sol n'est pas identique dans la basse vallée de l'Ouémé.

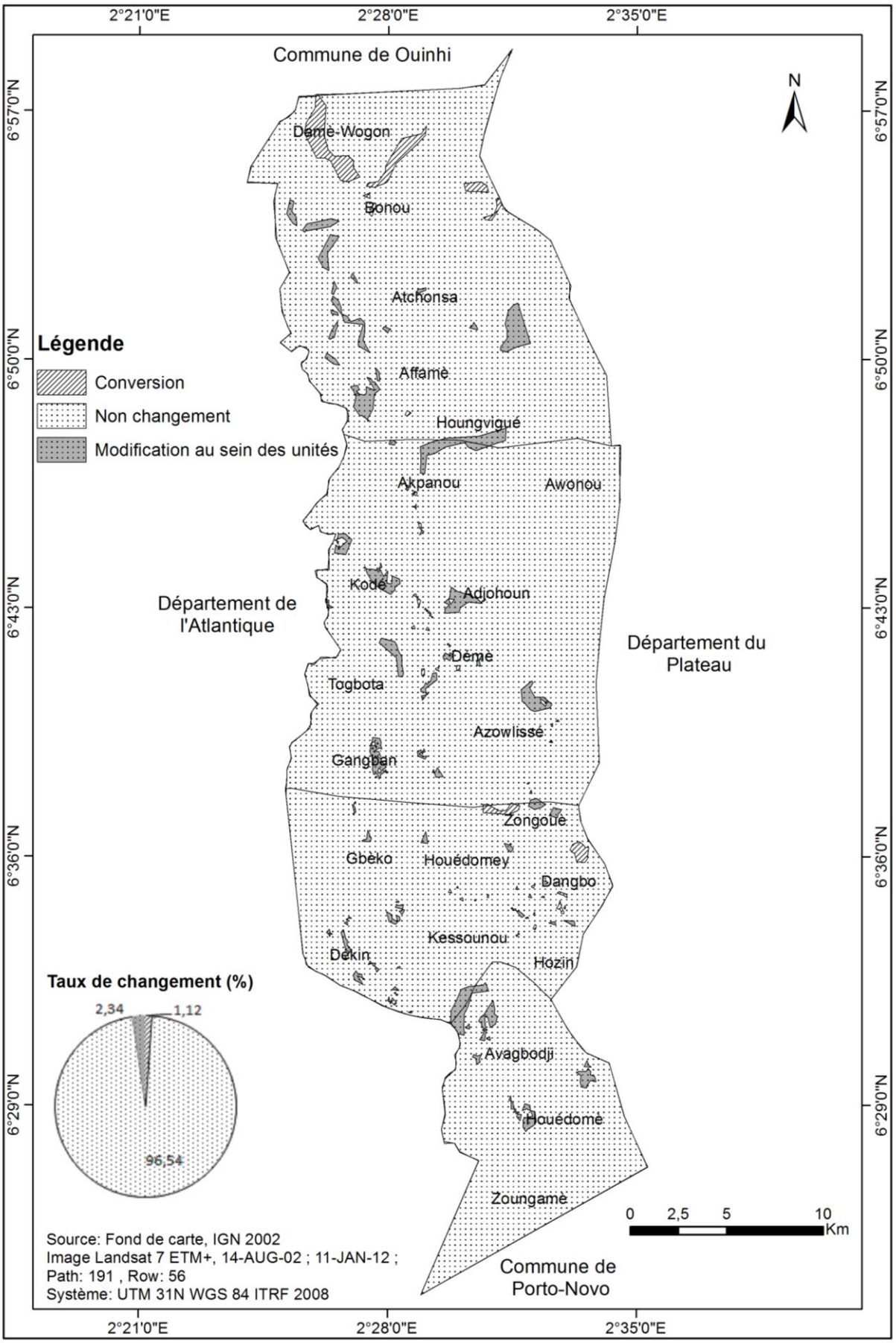


Figure 38 : Etat de changement de l'occupation du sol entre 2002 et 2012

- **Dynamique de l'occupation du sol entre les périodes 1992 et 2012**

La conversion des formations végétales et autres unités d'occupation du sol de 1992 à 2012 a été synthétisée par la matrice de transition (Tableau XVII).

Tableau XVII: Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 1992 et 2012

	Occupation du sol en 2012							
Occupation du sol en 1992	**FD**	**FG**	**MCJ**	**MCJP**	**PL**	**AG**	**PE**	**Total en 1992**
FD	**4.1**	0	0	0.0	0	0.01	0	4.11
FG	3.7	**38.02**	22.8	0.9	0.4	0.03	0.02	65.36
MCJ	0	12.4	**0.37**	0.68	0.1	0.12	0.01	13.68
MCJP	0	2.1	2.4	**0.1**	0	0.07	0	4.67
PL	0	0.1	4.18	0.95	**0.2**	0	0	5.43
AG	0	3.2	0	0	0	**0.89**	0	4.09
PE	0.01	1.18	0	0	0	0	**0.95**	2.14
Total en 2012	7.81	57	29.75	2.63	0.7	1.12	0.98	100

Sources : *Images Landsat 5 TM de 1992 et Landsat 7 ETM+ de 2012*

Légende

Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

Superficie demeurée stable entre 1992 et 2012

L'analyse de la période globale allant de 1992 à 2012 montres la perte continue des formations naturelles de la basse vallée de l'Ouémé. Ainsi, 12,4 % de forêts galerie ont été converties en mosaïque de cultures et jachères et aucune surface de champs-jachères ou de plantations arborées ne s'est transformée en forêt dense. L'importance relative des dynamiques paysagères (entre 1992 et 2012) montre une stabilité des classes de 44,63 % du paysage dont 38,02 % représente la forêt galerie, la dynamique de mise en culture (24,38 % du paysage) au-dessus de la diagonale (Tableau XVII) et la dynamique de reprise de la végétation, avec une prépondérance des mosaïques de cultures (14,5 %) en dessous de la diagonale (figure 39).

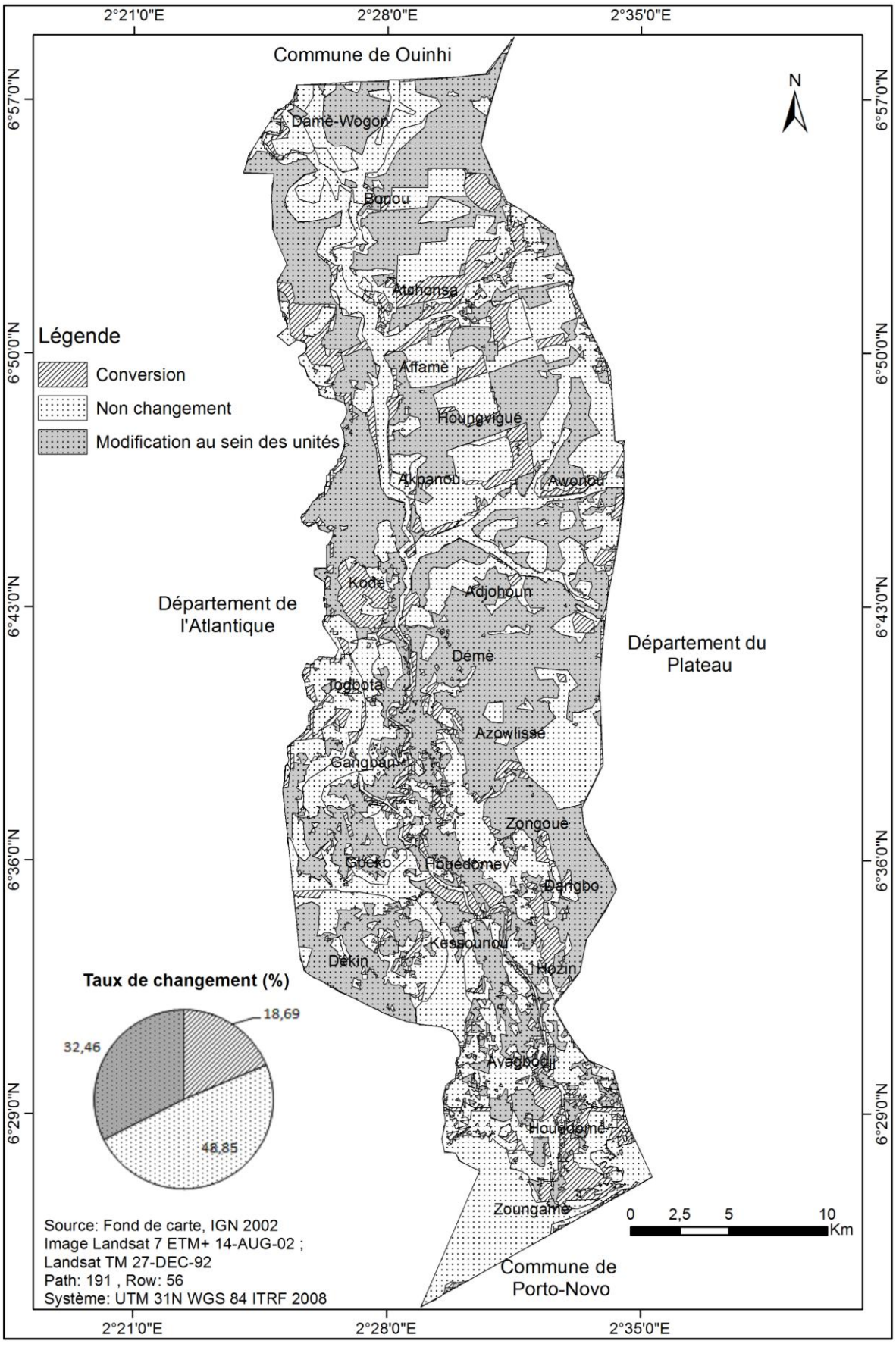


Figure 39: Etat de changement de l'occupation du sol entre 1992 et 2012

Il ressort de l'analyse de la figure 39 que la dynamique d'occupation du sol de 1992 à 2012 (Tableau XVII) montre un taux de stabilisation de 48,85 % ; un taux de conversion de 18,69 % et une modification au sein de la végétation naturelle ou au sein des espaces anthropisés (32, 46 %). Cette variation constatée dans la basse vallée de l'Ouémé est fonction des différentes activités.

La tendance à l'accroissement de la taille des exploitations et corrélativement du nombre de parcelles a une influence sur la dynamique des terroirs traditionnels. L'analyse des images Landsat TM de 1992 à 2012 montre qu'en 30 ans, les milieux de culture se sont étendus sur 623 km^2, soit une augmentation moyenne annuelle de 2,85 %, dans la basse vallée de l'Ouémé comprise entre Ahouandjananfon et Hêtin-Sota. Le gain de terre a été fait sur les prairies marécageuses et les abords des plans d'eau dans les localités d'Aguémilanhin et d'Agbonou.

Les changements observés dans l'occupation du sol, consécutifs à l'accroissement de la taille des exploitations, ont introduit des modifications dans les modes d'acquisitions et d'exploitation des terres.

Pour étendre leurs exploitations, les cultivateurs héritiers de terres aux dimensions de plus en plus réduites ont dû emprunter, prendre en gage, louer ou acheter des terres. La prise en gage de terre se fait auprès de personnes âgées possédant de vastes domaines proches du plateau, juste après le lit majeur du fleuve, de personnes endettées ou des paysans qui éprouvent un besoin urgent d'argent frais pour assurer les dépenses qu'imposent les funérailles d'un parent, le mariage ou les soins de santé d'un proche. Cette opération devient effective après le versement, par le réquérant, d'une somme d'argent qui varie suivant les dimensions de la parcelle, son éloignement, son accessibilité et les difficultés de labour qu'elle présente. A Gogbo par exemple, un hectare de terre était mis en gage contre 115 000 FCFA aux milieux des années 1990. Les cultivateurs qui n'ont pas les moyens de prendre en gage les lopins de terres les louent à des prix raisonnables. Le prix de la location d'un hectare de terre dans les milieux de contact entre la vallée et le plateau est passé de 20 000 FCFA par an au milieu des années 1980 à 40 000 FCFA dix ans plus tard. Ces prix ont presque triplé de nos jours. La durée de location d'un lopin de terre n'excède pas trois ans. A Bonou,

les cultivateurs sont parfois obligés de se regrouper en association à caractère coopératif pour bénéficier d'une attribution de 1,5 ha dans les anciens blocs culturaux de palmeraies.

4.3.2. Variation des états de surface et son influence dans la basse vallée de l'Ouémé

Les facteurs édaphiques et anthropiques déterminent la répartition des différentes formations végétales de la basse vallée de l'Ouémé. L'indice de couverture végétale a permis d'apprécier l'évolution de la végétation.

4.3.2.1. Taux d'évolution des différentes formations végétales

Le tableau XVIII présente le taux d'évolution des différentes formations végétales et anthropiques (T_{co}) dans la basse vallée de l'Ouémé.

Tableau XVIII: Taux de couverture végétale des unités d'occupation du sol

Unités d'occupation du sol $T_{co\ en}$ %	FG	MCJP	MCJ	FD	PL	PE	Ag
T_{co}_1992	28,42	42,08	13,44	0,14	6,41	7,87	1,64
T_{co}_2002	19,74	36,64	24,89	0,07	8,82	8,09	1,75
T_{co}_2012	17,16	35,78	28	0,06	10,26	6,80	1,94

Source : *Résultats de calculs, 2014*

Légende

Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

L'analyse du tableau XVIII confirme la tendance générale de la dégradation des formations naturelles au profit des activités anthropiques sur la période considérée (1992, 2002 et 2012). En effet, le taux des galeries forestières est passé de 28,42 % en 1992 à 19,74 % en 2002 et à 17,16 % en 2012. Cette régression (-11,26 %) est au profit des formations anthropiques comme les mosaïques de champs et jachères et la plantation. Leur taux est passé respectivement de 21,49 % en 1992 à 35,46 % en 2002 et à 40,20 % en 2012.

Les pratiques et techniques culturales inappropriées comme la culture itinérante sur brûlis, le désherbage, le sarclage sont la cause du déboisement intense observé dans le bassin. Elles ont pour corollaire la dégradation des terres et la perte de la biodiversité. Cette réduction du couvert végétal expose les sols aux ruissellements provoquant ainsi leur érosion.

4.3.2.2. Evolution des différentes formations végétales de 1992 à 2012

La figure 40 montre les états de surface des périodes 1992, 2002 et 2012 dans la basse vallée de l'Ouémé.

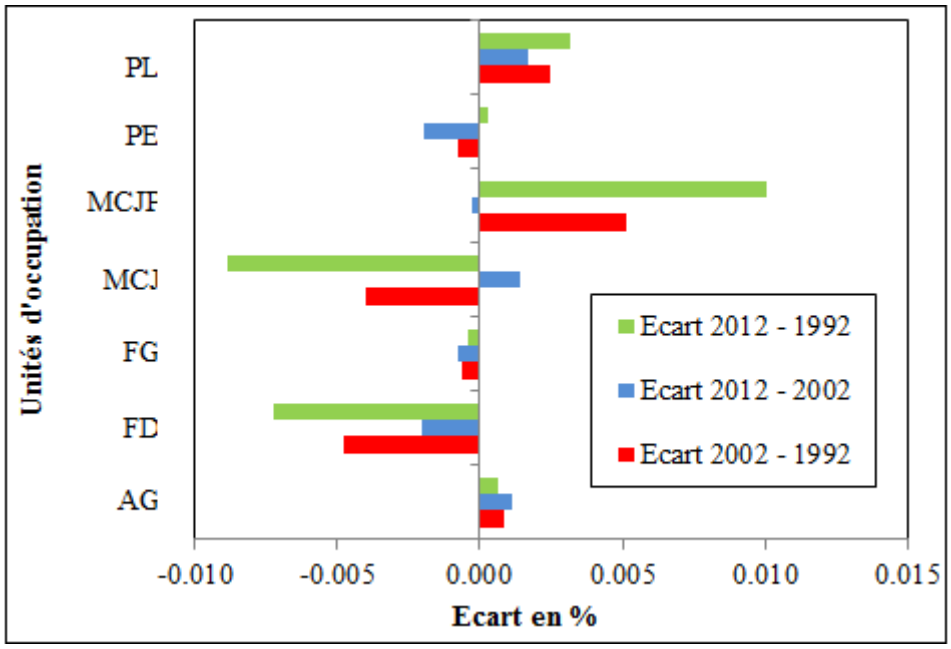


Figure 40: Synthèse de la dynamique des superficies des états de surface de 1992 à 2012
Source : *Traitement des données Landsat TM de 1992 à 2012*

Forêts Dense	***FD***	*Plantation*	***PL***	*Agglomérations*	***AG***
Galerie Forestière	***FG***	*Plans d'eau*	***PE***		
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers	***MCJP***	*Mosaïques de Cultures et Jachères*			***MCJ***

L'analyse et l'interprétation de la figure 40 a permis de conclure que les formations naturelles sont en nette régression dans la basse vallée de l'Ouémé. Cette situation qui dénote de la forte anthropisation de la basse vallée de l'Ouémé varie suivant les périodes considérées (1992-2012; 2002-2012; 1992-2002).

Ainsi, les besoins de la population s'accroissent entraînant la régression des formations naturelles. Cette réduction de la couverture végétale naturelle, entre autres due à la récession pluviométrique et à l'emprise humaine, conduit à une « savanisation », qui amplifie les effets érosifs, le ruissellement et les apports de charges solides dans le lit des cours d'eau. Cette situation est renforcée par des pratiques agricoles (culture itinérante sur brûlis, défrichement, dessouchement, billons perpendiculaires aux cours d'eau) susceptibles d'augmenter le ruissellement, l'érosion des sols moins protégés (photo 8) et le charriage des sédiments dans le lit.



Photo 8: Pratiques agricoles susceptibles d'augmenter le ruissellement
Prise de vue : *Agbomahènan, Août 2013*

La photo 8 permet de se faire une idée de l'influence de l'écoulement sur le sol. Le sol nu, de faible capacité de rétention, favorise un ruissellement rapide. L'érosion de la terre va généralement de paire avec l'absence de couverture végétale.

L'augmentation de la population nécessite de la part de l'homme, la conquête d'une partie de plus en plus importante des ressources naturelles pour sa survie. La diminution des ressources naturelles indispensables à l'homme a amené à s'intéresser au mode d'utilisation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé.

4.3.3. Projections de l'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé à l'horizon 2050

L'an 2050 est l'horizon temporel pour lequel les scénarios d'occupation du sol sont construits dans cette étude. La modélisation prospective qui informe sur les devenirs possibles d'un territoire permet d'accompagner les collectivités locales et de communiquer avec la population sur les enjeux à moyen et long termes.

4.3.3.1. Comparaison des dynamiques réelle et simulée de l'occupation du sol entre 2002 et 2012

À l'échelle du milieu test (figugre 41), la comparaison entre l'occupation du sol dérivé du modèle SpaCelle et de la réalité, montre que la simulation effectuée à partir de la situation réelle de 2002, a bien rendu compte de la création d'agglomération, qui était bien prévisible le long des plans d'eau. L'évaluation des modèles est basée sur la comparaison entre la carte simulée en 2012 et une carte de la situation réelle observée (figure 41).

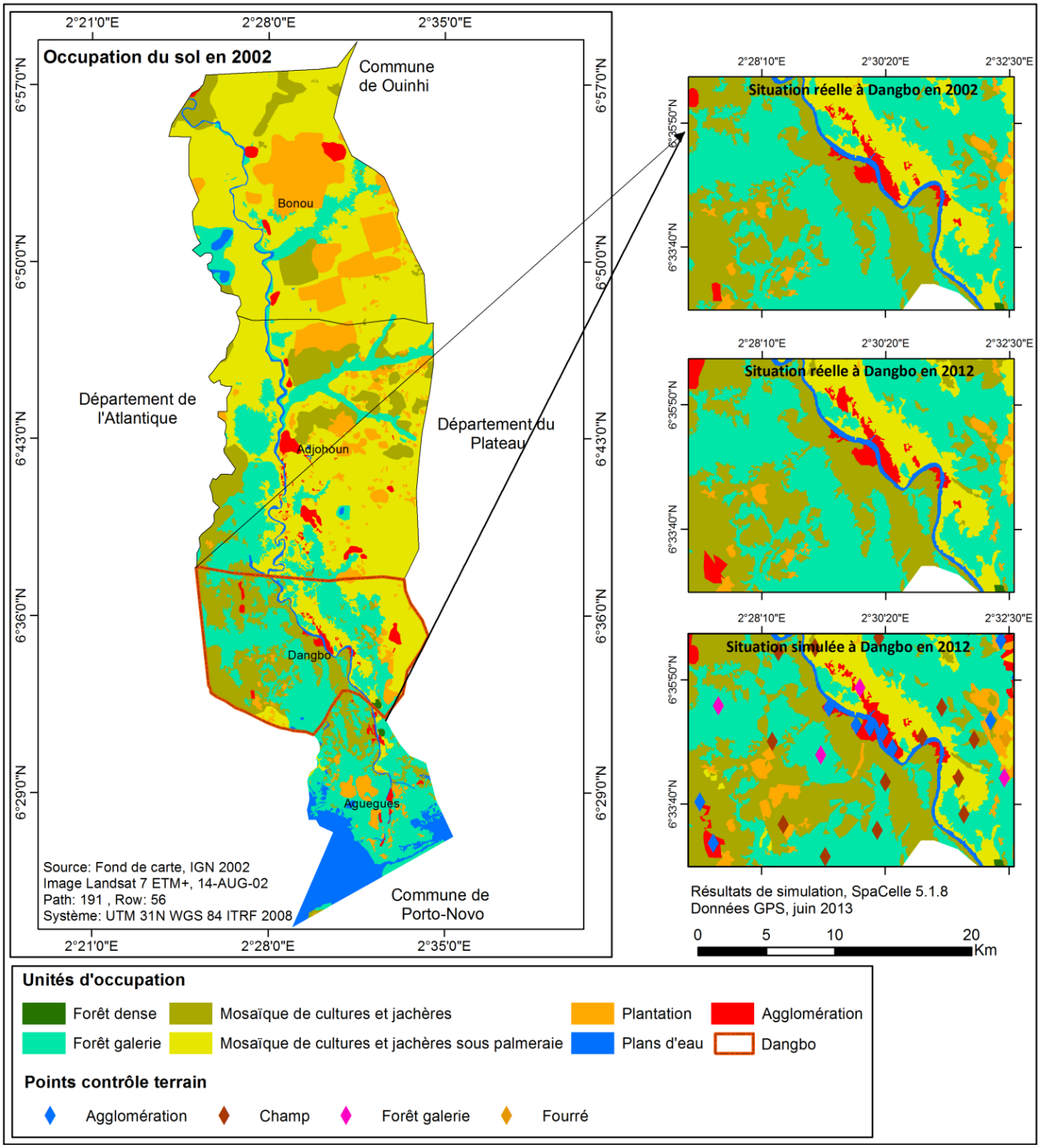


Figure 41: Exemple détaillé de la situation simulée en 2012 avec la situation réelle de 2002

La simulation a également bien localisé l'apparition de mosaïques de cultures et jachères. Enfin, le développement de l'agglomération à proximité des routes et des plans d'eau a été davantage noté dans la situation réellement observée. La comparaison du résultat de simulation pour l'occupation du sol de 2012 avec la vérité terrain montre un indice de Kappa fort de 0,99. Lorsque la comparaison est effectuée pour chaque unité d'occupation, le niveau de précision varie entre 77,71 % et 99,15 %

(tableau XIX). Les principales confusions concernent les mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers et les galeries forestières qui intègrent par erreur 8,58 % de mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers.

Tableau XIX: Matrice de confusion (en pourcentage) entre l'occupation du sol issue de la simulation et la situation réelle pour 2012

	Situation réelle 2012						
Résultats simulées 2012	**FD**	**FG**	**MCJ**	**MCJP**	**PL**	**AG**	**PE**
Pixels non classés	**0**	**0**	19.34	0	0	3.67	0
FD	**60,91**	**93.74**	0	0	0	0	0
FG	38,02	0	**77.71**	8.58	0	0	0.85
MCJ	0,37	0	2.95	**89.18**	1.19	2,08	0
MCJP	0,1	0	0	1.49	**97.92**	0	0
PL	0,é	3.13	0	0	0	**94,25**	0
AG	0	0	0	0	0.89	0	**99.15**
PE	0	3.13	0	0.75	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100

Sources : *Images Landsat 7 ETM+ de 2012*

Forêts Dense ***FD*** *Plantation* ***PL*** *Agglomérations* ***AG***
Galerie Forestière ***FG*** *Plans d'eau* ***PE***
Mosaïques de Cultures et jachère sous palmiers ***MCJP*** *Mosaïques de Cultures et Jachères* ***MCJ***

L'évaluation de la simulation à l'échelle de la commune de Dangbo montre que les grands types d'occupation du sol, en particulier les mosaïques de cultures et jachères, et les agglomérations sont bien identifiés et ce, malgré une minimisation des formations de forêts galeries et des surfaces de plantation qui sont très majoritaires dans la basse vallée de l'Ouémé.

La simulation effectuée à l'aide du modèle SpaCelle met en évidence les règles de transition élaborées permettant de conserver la distribution spatiale des différentes unités d'occupation du sol d'une manière cohérente, en identifiant 23, 01 % de pixels non classés soit 76,99 % de pixels bien classés. La simulation peut donc être considérée comme satisfaisante.

4.3.3.2. Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario de "stabilité environnementale"

La figure 42 montre les résultats cartographiques du scénario de "stabilité environnementale".

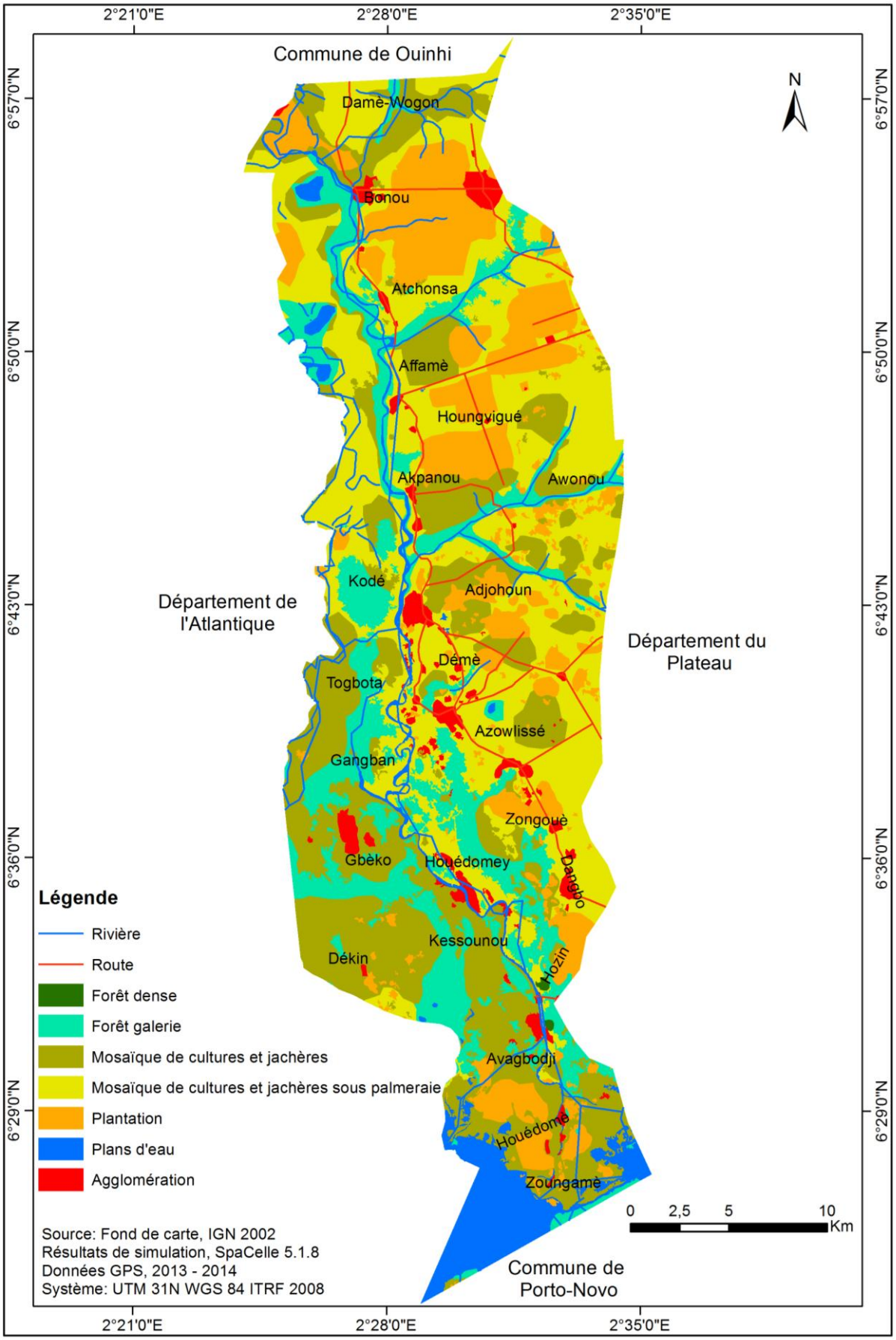


Figure 42: Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario "stabilité environnementale" à l'horizon 2050

Le scénario de « stabilité environnementale » vise une réduction des pressions sur les ressources végétales. Avec ce scénario la plupart des unités d'occupation du sol, notamment les formations naturelles et les formations anthropiques, ont présenté un état de régression ou de progression très peu sensible comme le montre le tableau XX.

Tableau XX: Projection de la superficie (en km^2 et en %) des unités de l'occupation du sol à l'horizon 2050 selon le scénario de "stabilité environnementale"

	2012		**2050**		**Bilan (en %)**
Unité d'occupation	**Km^2**	**%**	**Km^2**	**%**	
Agglomération	5,68	1,94	22,81	2,82	+0,88
Forêt dense	0,47	0,06	0,33	0,04	-0,02
Forêt galerie	139,03	17,16	101,63	12,55	-4,61
Mosaïque de cultures et jachères	226,80	28	229,63	28,35	+0,35
Mosaïque de cultures et jachères sous palmeraie	289,81	35,78	277,59	34,27	-1,51
Plans d'eau	55,12	6,8	46,17	5,7	-1,1
Plantation	83,08	10,26	131,84	16,28	+6,02
Total	**810**	**100**	**810**	**100**	

Source : *Résultat du modèle Spacelle, 2013 et* Prédiction de l'occupation des sols à l'horizon 2050

L'analyse du tableau XX montre qu'en 2050 les forêts dense et galerie ont respectivement régressé de 0,02 % (0,14 km^2) et de 4,61 % (37,40 km^2) de leur superficie en 2012. La même observation est faite pour les plans d'eau (passant de 6,8 % en 2012 à 5,7 % en 2050) et la mosaïque de cultures et jachères sous palmeraie Mosaïque de cultures et jachères sous palmeraie. Par contre, la plantation, l'agglomération, les champs et jachères connaîtront une progression entre 2012 et 2050.

4.3.3.3. Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario « tendance vers la catastrophe »

L'analyse du scénario « tendance vers la catastrophe » permet de faire des constatations au niveau des unités d'occupation du sol (figure 43).

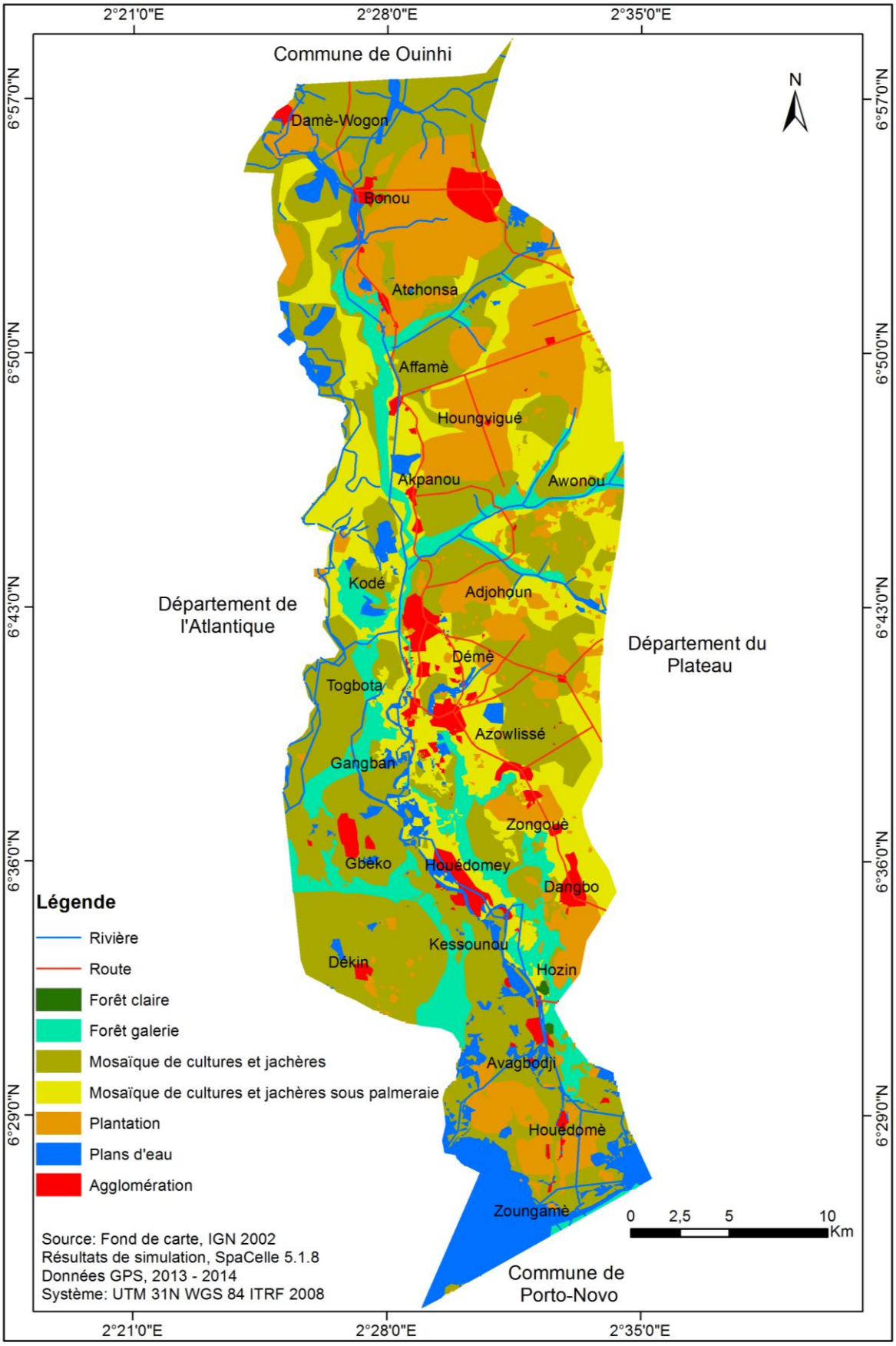


Figure 43: Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario " catastrophe naturelle" à l'horizon 2050

La projection sur la base de ce scénario révèle que les formations végétales vont pratiquement disparaître au profit des champs et jachères et des agglomérations. Le tableau XXI présente l'état d'évolution des unités d'occupation du sol pour le scénario "tendance vers la catastrophe" dans la basse vallée de l'Ouémé.

Tableau XXI: Projection de la superficie (en km^2 et en %) des unités de l'occupation du sol à l'horizon 2050 selon le scénario de catastrophe naturelle

	2012		2050		Bilan (%)
Unité d'occupation	**Km^2**	**%**	**Km^2**	**%**	
Agglomération	15,68	1,94	32,44	4,01	+2,07
Forêt dense	0,47	0,06	0,19	0,02	-0,04
Forêt galerie	205,96	25,43	26,15	3,23	-22,2
Mosaïque de cultures et jachères	159,88	19,74	318,14	39,28	+19,54
Mosaïque de cultures et jachères sous palmeraie	289,81	35,78	153,87	19	-16,78
Plans d'eau	55,12	6,8	122,39	15,11	+8,31
Plantation	83,08	10,26	56,82	19,36	+9,1
Total	**810**	**100**	**810**	**100**	

Source : *Résultat du modèle Spacelle, 2013*

Dans la basse vallée de l'Ouémé (tableau XXI), la forêt dense qui occupait une proportion de 0,06 % en 2012 sera réduite à 0,02 % en 2050. Les galeries forestières vont passer de 25,43 % en 2012 à 3,23 % en 2050. La mosaïque de cultures et jachères sous palmeraie seront réduites de 35,78 % à environ 19 % en 2050. Simultanément les agglomérations vont s'étendre de 1,94 % en 2012 à 4,01 % en 2050. De même les champs et jachères pourraient s'étendre de 19,74 % à 39,28 % en 2050. L'incidence des résultats de ce scénario développé est que dès à présent, il faudrait mettre en place une politique dynamique et volontaire de la gestion rationnelle du territoire. Les décideurs et les élus locaux doivent s'engager dans une vaste campagne de reboisement ou de reforestation qui ne se limitera pas seulement aux forêts denses, mais s'étendra aussi dans les domaines ouverts et naturels.

CHAPITRE V :

DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME

Les différentes modes d'exploitation des terres dans la basse vallée de l'Ouémé contribuent à la mise à nu du sol. Elles amplifient le transport des particules par l'eau de ruissellement. L'objectif de ce chapitre est d'établir un lien entre les pratiques humaines et leur influence sur les sols du secteur d'étude.

5.1. Analyse des flux sédimentaires dans la basse vallée de l'Ouémé

Les résultats issus de l'installation des placettes ont permis d'évaluer le taux d'enlèvement, de transport et de dépôt des sédiments dans la basse vallée de l'Ouémé selon les études de cas qui suivent.

5.1.1. Dynamique sédimentaire à Gnanhoui-Zounmè

Le mouvement des particules dans le bassin de Gnanhoui-Zounmè tient compte de la morphologie et de la topographie de la basse vallée de l'Ouémé.

5.1.1.1. Différentes formes d'utilisation du sol

Le transect réalisé à Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon (figure 44) a suivi une orientation sud-ouest et nord-est (SW/NE). Le profil du paysage est long de 750 m et présente deux sommets entre lesquels s'insère la vallée de la rivière Wôgbo.

Les sols argilo-sableux et limono-argileux sont dominants dans la localité. Le profil agro-écologique (figure 44) indique que les espaces cultivés occupent une proportion de 68,18 % contre 31,82 % pour les formations naturelles.

Les principales cultures sont le maïs (*Zea mays*), le manioc (*Manihot esculenta*) et le palmier à huile (*Elaeis guineensis*). La culture itinérante sur brûlis et la coupe des arbres sont les techniques de défrichage les plus utilisées dans cette localité. Ces techniques contribuent à la mise à nu du sol donc amplifient le transport des particules par l'eau de ruissellement. Elle favorise l'érosion pluviale dans la basse vallée de l'Ouémé.

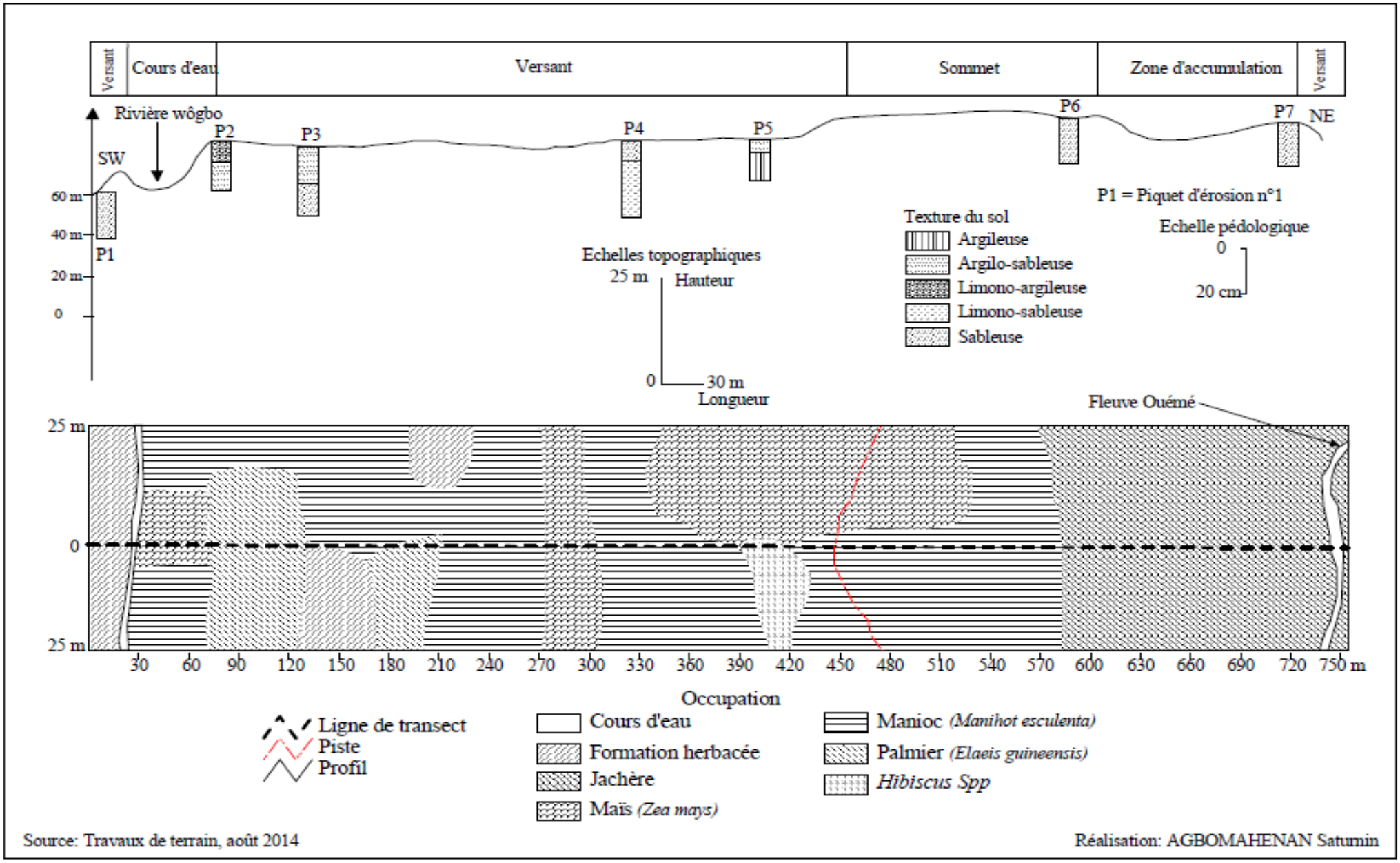


Figure 44: Profil agro-pédologique au niveau du transect réalisé à Gnanhoui-Zounmè
Source : *Travaux terrain, Août 2014*

5.1.1.2. Relevé des piquets d'érosion

Le tableau XXII présente le relevé des piquets d'érosion le long de la toposéquence réalisé à Gnanhoui-Zounmè dans la Commune de Bonou.

Tableau XXII: Relevé des piquets d'érosion le long du transect réalisé à Gnanhoui-Zounmè

Piquets	Pente (%)	Dynamique sédimentaire (cm)		Position topographique	Couverture végétale
		Enlèvement	Accumulation		
Piquet 1	18	15	00	Versant	Formation herbacée
Piquet 2	1	2	00	Rebord de plateau	Champ de manioc / Champ de maïs
Piquet 3	1	1,5	00	Versant	Palmeraie / Champ de manioc/ Formation herbacée
Piquet 4	1	2	00	Versant	Champ de manioc
Piquet 5	1	3	00	Versant	Champ de maïs / Champ de manioc/ Hibiscus
Piquet 6	1	00	5	Bas de pente	Champ de manioc/Jachère
Piquet 7	2	00	3,5	Plaine d'inondation	Jachère

***Source** : Travaux de terrain, 2014*

Le tableau XXII montre que les sédiments sont en mouvement sur des sols dénudés (piquets 2 et 6) en saisons pluvieuses. Le taux de détachement et de transport est plus constaté sur la pente forte (piquet 1), le rebord de plateau (2 cm) et le versant (3 cm). Cette observation issue des relevés des piquets d'érosion révèle que les activités anthropiques (piquet 2 et 6) influencent fortement l'enlèvement et le transport des particules. Les milieux plans sont des receptacles de sédiments (piquet 7). Le taux de sédiment le plus déposé au cours de cette campagne est de 5 cm. La palmeraie, le champ de manioc et la formation herbacée sont des secteurs privilégiés du mouvement de ces sédiments (piquets 1, 3 et 5). Dans ces formations végétales, la facette topographique en place (versant) influence peu le détachement et le transport des sédiments. Ils sont issus des dessouchements faits dans les bas de pente. Par contre la plaine d'inondation (piquet 7) est un réceptacle naturel de sédiment (3,5 cm). Dans l'arrondissement de Damè-Wogon, le mouvement des particules reste une menace pour le sol et un facteur de la dynamique du milieu.

5.1.1.3. Volume de sédiments recueillis au niveau des pièges à sédiments

La figure 45 donne les résultats des pièges à sédiments installés suivant la toposéquence de Gnanhoui-Zounmè dans la Commune de Bonou.

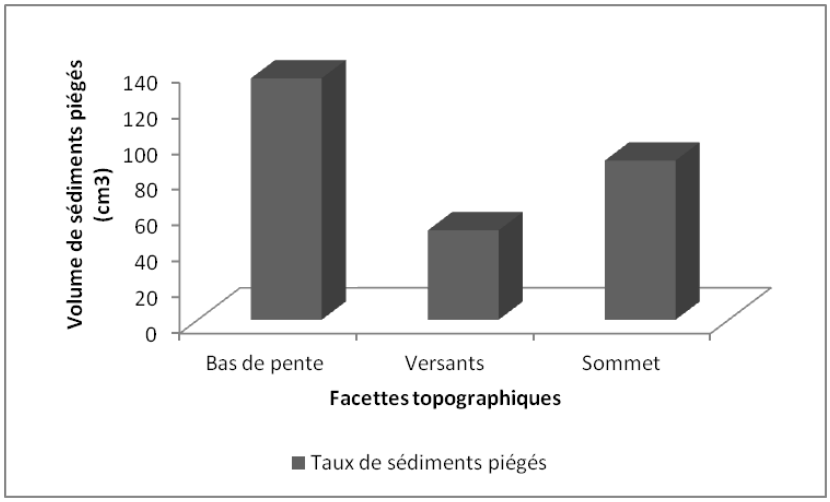


Figure 45: Sédiments piégés à Gnanhoui-Zounmè
***Source** : Données de terrain, 2014*

La figure 45 montre que la capture des sédiments est plus importante au niveau des bas de pente (135 cm^3) que sur les versants (50 cm^3) et au sommet (89 cm^3). Ces constats issus des travaux de terrain s'expliquent par le fait que le ruissellement est facilité par les facettes topographiques. La vitesse de l'eau augmente du sommet vers le bas de pente avec pour conséquence une augmentation du transport solide.

5.1.1.4. Relation entre type d'aménagement et érosion du sol

Les positions topographiques dominantes identifiées sont des sommets plans, des bas de pente et des versants à pente moyenne. Ces différentes facettes sont aménagées par les agriculteurs qui y pratiquent la culture en toute saison. Les observations de terrain révèlent que ces techniques culturales amplifient le transport des particules par l'eau de ruissellement. Le poids des sédiments recueilli est de l'ordre de 3,72 à 83,45 gramme. L'exploitation de ces ressources naturelles accentue l'ensablement du chenal du fleuve Ouémé. Le comblement des chenaux des rivières affluentes au fleuve Ouémé est induit par le transport de charges solides de l'amont vers l'aval des versants. Elle favorise l'érosion pluviale dans l'arrondissement de Damè-Wogon.

5.1.2. Dynamique sédimentaire à Djougoudouta

Elle concerne les caractéristiques topographiques, géologiques, les sédiments recueillies et les activités humaines qui ont une influence sur le milieu physique afin d'induire le processus d'érosion.

5.1.2.1. Différentes formes d'utilisation du sol

Le transect de Djougoudou (figure 46) est réalisé dans un secteur orienté Ouest-Est.

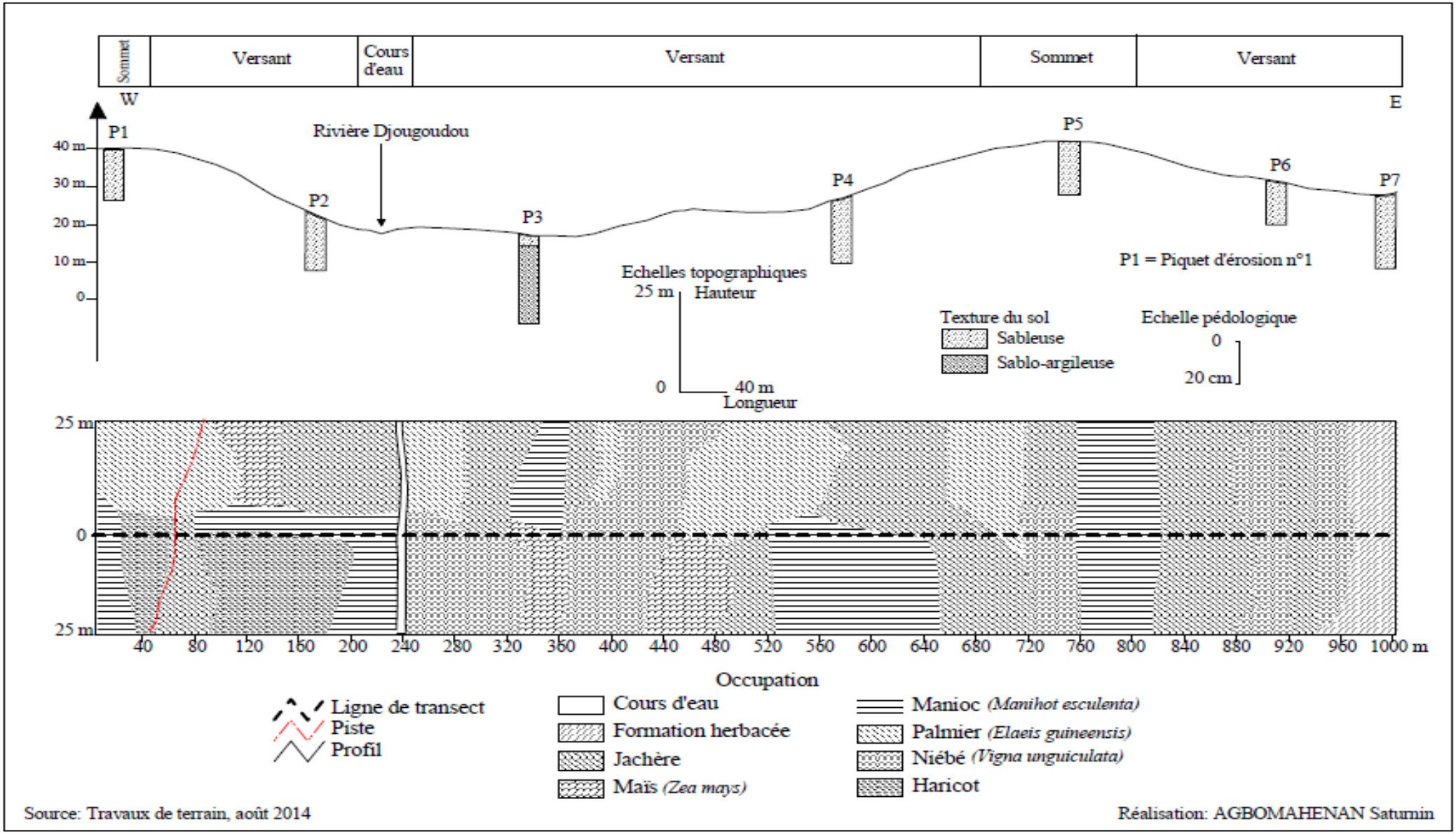


Figure 46: Profil agro-pédologique au niveau du transect réalisé à Djougoudouta
Source : *Travaux terrain, Août 2014*

Le profil agro-pédologique est long d'un Kilomètre (01km). Les positions topographiques identifiées sont des sommets plans inclinés; des versants à pente moyenne ; des versants à pente abrupte et des bas de pente. EIles se retrouvent sur un sol sablo-argileux. Ce profil agropédologique est traversé par une rivière sèche appelé Djougoudou qui alimente en saison pluvieuse le fleuve Ouémé Les cultures dominantes de ce secteur d'étude sont composées de palmeraie (*Elaeis guineensis*) qui occupe 18, 57 % de la superficie totale ; de champ de manioc avec 17,14 % et le niébé (*Vigna unguiculata*) pour 15 %. On y retrouve également le champ de maïs (*Zea mays*) et des terres qui sont mis en jachère (photo 9).



Photo 9: Vue partiel de la morphologie du paysage Bonou à Djougoudou
Prise de vue : *Agbomahènan, Août 2014*

La photo 9 montre une vue partielle du paysage de l'arrondissement de Bonou où est réalisé le transect. Elle laisse place à des formations herbacées et quelques plantations éparses de palmeraie et chiendent (*Imperata cylindrica*).

5.1.2.2. Relevé des piquets d'érosion

Les plaines d'inondation de la basse vallée de l'Ouémé ne sont pas systématiquement utilisées. Les sommets des interfluves sont utilisés pour les activités agricoles. Elles mettent à nu le sol et amplifient le phénomène d'érosion. Les versants de pente inférieure à 5 % sont tout autant utilisés à des fins agricoles. Le tableau XXIII présente les résultats des campagnes de relevé des piquets d'érosion le long du transect réalisé le long de la rivière de Djougoudouta.

Tableau XXIII: Relevé des piquets d'érosion le long du transect réalisé à Djougoudouta

Piquets	Pente (%)	Dynamique sédimentaire (cm)		Position topographique	Couverture végétale
	Pente (%)	Enlèvement	Accumulation		
Piquet 1	1	00	1,6	Sommet	Palmeraie/ Manioc
Piquet 2	9	3,5	00	Versant	Maïs/Haricot/Jachère
Piquet 3	1	00	2	Bas de pente	Jachère/Niébé/ Manioc/ Maïs
Piquet 4	7	1,6	00	Versant	Palmeraie/Jachère/ Manioc/ Haricot
Piquet 5	1	00	00	Sommet	Palmier à huile et Champ de Niébé
Piquet 6	5	0,6	00	Versant	Niébé et Maïs
Piquet 7	1	00	0,3	Versant	Formation herbacée

***Source** : Travaux de terrain, 2014*

Les relevés au niveau des piquets d'érosion installés à Djougoudouta (tableau XXIII) ont permis de conclure que les sédiments sont enlevés et transportés vers les milieux plans. Le milieu présente une pente très variée (1 à 9 %). Le plus fort taux d'enlèvement est observé au niveau du piquet 2 (3,5 cm) et de dépôt au niveau du piquet 3 (2 cm). L'enlèvement et le transport des particules sont liés par les pentes. Elles sont de 9 % (piquet 2), 7 % (piquet 4) et 5 % (piquet 6). La lecture de ce tableau montre également que le dépôt de sédiments est lié à la valeur de la pente (1%) et la formation naturelle en place (piquet 7). Cette variation du transport et de dépôt de sédiment s'explique par l'influence des types d'activités agricoles développées dans la basse vallée de l'Ouémé.

5.1.2.3. Volume de sédiments recueillis au niveau des pièges à sédiments

Le poids total des sédiments recueillis pour les deux campagnes d'observations que les piquets d'érosion à Djougoudouta est de 53,73 kg. Les matériaux recueillis sont constitués pour la plupart de limons (10 %), de sables fins (65 %) et de matières organiques (25 %). La granulométrie des échantillons recueillis des pièges à sédiment de la basse vallée de l'Ouémé montre que seuls les éléments fins sont facilement transportés par le ruissellement. L'analyse de ces résultats montre l'importance de la pente dans l'enlèvement, le transport et le dépôt des sédiments.

5.1.2.4. Relation entre type d'aménagement et érosion du sol

Le paysage actuel de la basse vallée de l'Ouémé est soumis, à une dynamique de l'occupation du sol résultant fondamentalement des activités agricoles.

Le niveau de décapement et de dépôt des matériaux des sommets vers le talweg est fonction de la pente et du taux de couverture végétal à Djougoudou (figure 46). L'érosion est plus accentuée dans les champs et la jachère que dans les formations peu perturbées.

Cependant, malgré la pente observée (5 %) sous les champs de Niébé et de Maïs (piquet 6), la perte de sédiments est presque nulle. Cette observation s'explique par le fait que ces essences contribuent au ralentissement de la vitesse du ruissellement des eaux de pluie. Par contre l'érodibilité est faible au niveau du piquet 7 constitué de la formation herbacée. Les sommets fournissent plus des sédiments au versants situés aux alentours des plans et cours d'eau de la basse vallée de l'Ouémé.

5.1.3. Dynamique sédimentaire à Gouti

Le mouvement des particules à Gouti dans la Commune d'Adjohoun est conditionné par l'aspect des facettes topographiques, de la structure géologie et les activités anthropiques.

5.1.3.1. Différentes formes d'utilisation du sol

Le transect de Gouti a suivi une orientation est-ouest et aboutit au fleuve Ouémé. Ce transect qui a traversé la voie nationale Porto-novo-Bohicon en passant par l'arrondissement de Adjohoun est composé de sommet plan incliné, de versant à pente moyenne, de bas de pente et de plaine d'inondation. Il est long de 500 mètre.

Les sols de ce secteur sont des sols hydromorphes des vallées et marais très fertiles mais inondés de façon saisonnière par les eaux de crue du fleuve Ouémé. Ils sont de texture argileuse, argilo-limoneuse à sablo-limoneuse et parfois gravillonnaire. Le paysage de Gouti (photo 10) est cultivé dans une proportion de 80 %. Seul le sommet n'est pas cultivé. Ils bénéficient de plus en plus d'aménagements hydro-agricoles (figure 47).

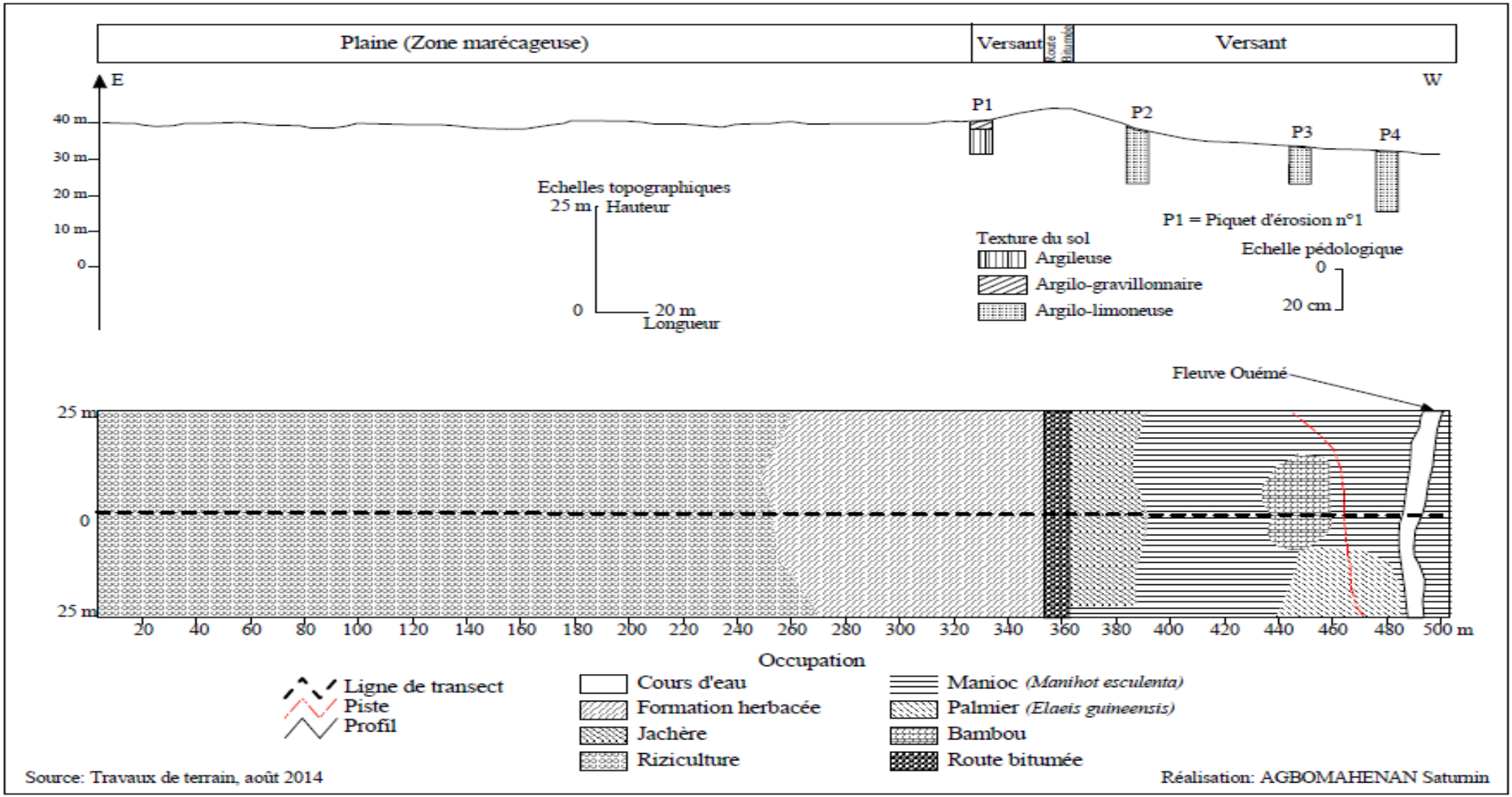


Figure 47: Profil agro-pédologique au niveau du transect réalisé à Gouti
Source : *Travaux terrain, Août 2014*

Les plaines d'inondation sont consacrées à la culture du riz (*Oryza sativa*) avec une proportion de 50 % et des cultures maraîchères. Les cultures maraîchères, autrefois cultivées sur des espaces très réduits, sont de nos jours valorisées dans le milieu. Il s'agit du gombo (*Abelmoschus esculentus*), du piment (*Capsicum annum*) et de la tomate (*Lycopersion esculentum*), cultivés dans les milieux marécageux.

Dans la plaine se développent les formations anthropiques comme la culture du manioc (*Manihot esculenta*), les plantations de palmier à huile (*Elaeis guineensis*) et quelques espèces de bambou (*Oxthenanthera abyssin*). Toutefois des formations herbacées et des jachères sont observées de part et d'autres du transect réalisé dans le milieu (Photo 10).



Photo 10: Vue partiel d'une formation herbacée dans la dépression de Gouti (Commune de Adjohoun)
Prise de vue : *Agbomahènan, Août 2014*

La photo 10 montre une formation herbacée dans laquelle un piège à sédiments et un piquet d'érosion sont installés dans la dépression de Gouti. Les résultats issus des travaux de terrain ont permis de conclure que, sous végétation dense (îlots forestiers), les phénomènes d'érosion sont limités.

5.1.3.2. Relevé des piquets d'érosion

Les piquets d'érosion installés le long du transect réalisé à Gouti renseignent sur l'épaisseur des sédiments déposés et celui de terre érodée (Tableau XXIV).

Tableau XXIV: Relevé des piquets d'érosion le long du transect réalisé à Gouti

Piquets	Pente (%)	Dynamique sédimentaire (cm)		Position topographique	Couverture végétale
		Enlèvement	Accumulation		
Piquet 1	20	11	00	Versant	Formation herbacée
Piquet 2	1	00	5	Versant	Champ de manioc
Piquet 3	1	00	3,5	Plaine d'inondation	Champ de manioc / Bambou / Palmeraie
Piquet 4	1	00	1,5	Plaine d'inondation	Champ de manioc / Palmeraie

***Source** : Travaux de terrain, 2014*

L'analyse du tableau XXIV facilite la maîtrise du mouvement des particules dans un milieu dominé par la plaine d'inondation. La plus forte pente constatée dans ce milieu dominée par une formation herbacée (photo 12) est de 20 %. Le mouvement des particules (11 cm) est ralenti par la formation herbacée en place dans ce milieu d'observation. Cette formation végétale constitue un réceptacle des sédiments en transit dans la basse vallée de l'Ouémé. Ce dernier est prolongé par un milieu plan où se développe la culture du riz. La plaine d'inondation est un lieu privilégié de dépôt de sédiment. Il varie de 1,5 à 5 cm.

5.1.3.3. Volume de sédiments recueillis au niveau des pièges à sédiments

Les résultats des pièges à sédiments installés suivant la toposéquence de Gouti a permis d'obtenir la quantité de sédiments entraînés par l'eau ruisselante (figure 48).

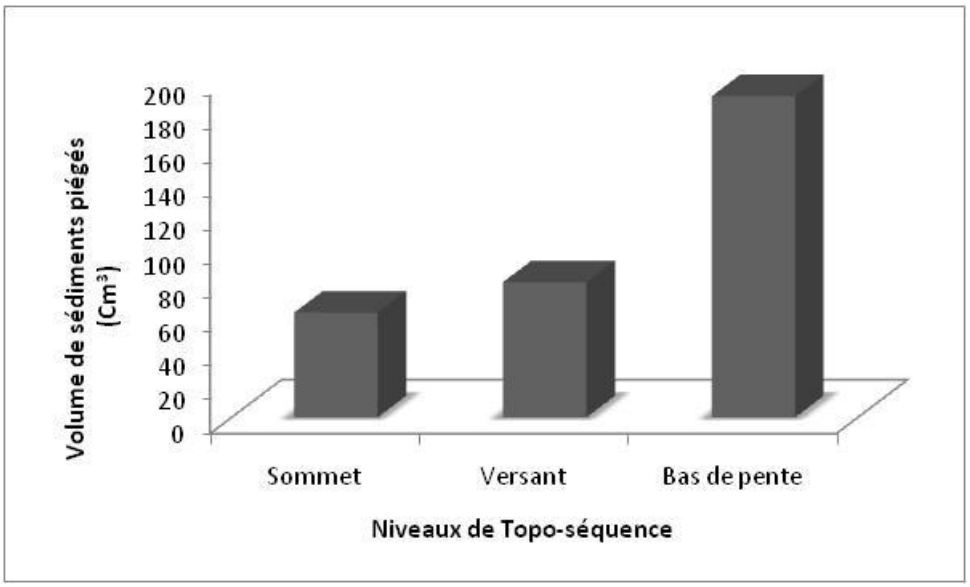


Figure 48: Quantité de sédiment entraînée par l'eau ruisselante
***Source** : Données de terrain, 2014*

La figure 48 présente pour les trois niveaux du toposéquence, le taux d'accumulation des sédiments. L'analyse de la figure 48 indique que, d'une manière générale,

l'accumulation des sédiments est plus forte sur des sols nus que sous couvert végétal. Cette accumulation est très importante au cours de la troisième décade de juin pour les parcelles situées sur le sommet (62 cm^3) et la première décade de septembre pour le versant (80 cm^3) et le bas de pente (190 cm^3). La couverture du sol par les cultures réduit de façon notable cette accumulation. Il ressort des résultats obtenus à Gouti que la quantité de sédiments accumulée au cours de la campagne agricole décroit du sommet au bas de pente.

5.1.3.4. Relation entre type d'aménagement et érosion du sol

Le taux de l'enlèvement, le transport et le dépôt des sédiments est fonction de la pente et du couvert végétal. Les versants de pentes inférieures à 4 % sont tout autant utilisés à des fins agricoles. Les végétaux et les résidus en contacts avec le sol jouent également le rôle de frein sur le ruissellement, réduisant ainsi sa force tractrice, et donc sa capacité à arracher des particules solides. Cependant, malgré la pente observée (20 %) sous la formation herbacée (piquet 1), la perte de sédiments est presque nulle. Cette observation s'explique par le fait que ces essences sont des plantes couvrantes. Les feuilles déposées par ces plantes contribuent au ralentissement de la vitesse d'écoulement des eaux de pluie. Par contre l'érodibilité est faible au niveau du piquet 4 constitué de champ de manioc et de palmeraie.

Les infrastructures routières (photo 11), les maisons et quelques champs mis à nu sont sujet aux ravinements.



Photo 11: Déchaussement de la fondation des marches d'escalier à Anamè (Commune de Adjohoun)
***Prise de vue** : Agbomahènan, Janvier 2015*

La photo 11 montre un aménagement effectué par la population d'Anamè dans la commune d'Adjohoun. La fondation des marches de cet escalier est déchaussée par les eaux de ruissellement. Dans ce milieu, la perte de terre reste une menace pour le sol et un facteur de la dynamique du milieu. La partie de la photo 11 couverte par les espèces rampantes ont montré que la végétation joue un rôle de rétention d'une partie des sédiments érodés des sommets vers les lits des plans et cours d'eau dont le principal est le fleuve Ouémé. Ces dépôts peuvent être retenus durablement s'ils sont colonisés par des végétaux. Les sédiments sont piégés par le développement des racines. Cette technique de collecte constitue une base pour la quantification des apports sédimentaires et les pertes de terre par unité morphologique dans la basse vallée.

5.1.4. Ablation et accumulation des particules par unité morphologique

Le détachement des particules au cours des campagnes de mesure de 2013 et 2014 est plus accentué sur les sommets et les versants (0,6 à 15 cm) que les autres facettes topographiques (bas de pente, plaine d'inondation). Dans la plaine d'inondation et les fonds de vallées où les pentes sont très faibles s'observe un taux de dépôt très élevé (0,3 à 5 cm). Ces études permettent de conclure que la pente constitue un facteur déterminant dans le transport et le dépôt des sédiments dans la basse vallée de l'Ouémé. Elle montre que les sédiments enlevés des sommets transitent par le versant et s'accumulent dans la plaine d'inondation, les fonds de vallée ou les lits des plans et cours d'eau (photo 12).



Photo 12: Berge du fleuve Ouémé érodée à Assrossa
Prise de vue : *Agbomahènan, Décembre 2014*

La photo 12 montre le sapement de la berge du fleuve à la hauteur du centre de santé d'Assrossa. Le sommet de la berge est plus érodé que le bas de versant. Une bonne part des particules en mouvement sur le versant de la berge provient du transport des enlèvements opérés en amont sur le plateau. Ces particules se déposent dans le lit du fleuve.

Cette forme d'érosion montre l'effet combiné des eaux de ruissellement et des actions de l'homme. La capture de sédiment par piège à sédiment diffère d'un milieu d'étude à un autre, selon l'influence des différents facteurs (Tableau XXV).

Tableau XXV: Masse de terre recueillie par campagne de mesure et par unité topographique

	Unités morphologiques		
Saisons	**Sommet de plateau (perte en t/ha/an)**	**Versant du plateau (perte en t/ha/an)**	**Plaine d'inondation (perte en t/ha/an)**
2013	5,78	7,16	4,56
2014	6,56	8, 34	4,037

***Source** : Résultats des travaux de terrain, 2013-2014*

Les résultats du tableau XXV révèlent que le taux annuel de terre perdue par érosion hydrique au cour des années 2013 et 2014 sont respectivement 17,5 t/ha/an et 18,94 t/ha/an. Les versants de plateau constituent les plus gros pourvoyeurs de sédiments dans la basse vallée de l'Ouémé.

L'exploitation du sable par les populations en période de décrue montre que la basse vallée de l'Ouémé est aussi un secteur de piégeage des sédiments érodés. L'intérêt économique que revêtent ces dépôts sédimentaires a amené les municipalités de la basse vallée de l'Ouémé à le transformer en carrière de sable. Ces carrières de sables sont en cours d'exploitation dans les communes de Bonou, d'Adjohoun et de Dangbo à l'exception de la Commune des Aguégués. Ces sables sont utilisés dans la construction des bâtiments et travaux publics.

Dans le contexte de la suppression des carrières de sable lagunaire, la détermination de la granulométrie des dépôts sédimentaires renseigne sur la taille des particules et sur la nature de leur transport.

5.2. Répartitition des particules dans la basse vallée de l'Ouémé

5.2.1. Secteurs d'érosion des sols

Le développement des activités humaines (agriculture, exploitation des carrières de sables, ….) transforme constamment les sols de la basse vallée de l'Ouémé. Dans la plaine d'inondation, les sols sont souvent formés par des alluvions qui proviennent des milieux situés en amont. Ainsi, le niveau d'érodibilité dans chaque secteur de la basse vallée de l'Ouémé a été établi à partir de l'état du couvert végétal et de différentes activités agricoles (Tableau XXVI).

Tableau XXVI: Secteurs érodés dans la basse vallée de l'Ouémé

Matériau	Erodibilité	Secteurs érodés	Types de végétation
Matières organiques	Moyenne	Le long des versants et des berges	Plantations, jachères et, par endroit, sol nu
Argiles + sables	Moyenne	Gouti, Lokossa	*Forêt Claire et Savane Boisé, Paspalum vaginatum,*
Sables	Moyenne	Bonou, Adjohoun, Dangbo	Plantations
Roches argileuses	Faible	Azowlissè, Zounga, Awonou, Djougoudou, etc.	Culture et jachère sous palmiers
Alluvions	Moyenne	Kodé-agué, Agbanta, Sota, Dasso	Prairie marécageuse, Jachère sous palmiers
Sédiments fluviatiles	Moyenne	Avagbodji, Dèmè, Gangban, Gnanhoui-Zounmè, etc.	Forêt claire, savane boisée et herbeuse
Argiles primaires, secondaires et tertiaires	Moyenne	Les berges du fleuve Ouémé	Sol nu

***Source** : d'après INRAB (1995), modifié et complété par la carte d'occupation du sol 2012 et par enquête de terrain (2014).*

L'analyse du tableau XXVI et des résultats issus des relevés des piquets d'érosion ont permis de constater que les pertes de terre sont élevées lorsque le sol est soumis à l'exploitation agricole. La destruction du couvert végétal due aux systèmes de culture pratiquée facilite le ruisselement des eaux de pluie. Ces eaux de ruissellement emportent des éléments arrachés et engendrent des ravinements. L'érosion pluviale est à l'origine du décapage de la couche superficielle (figure 49).

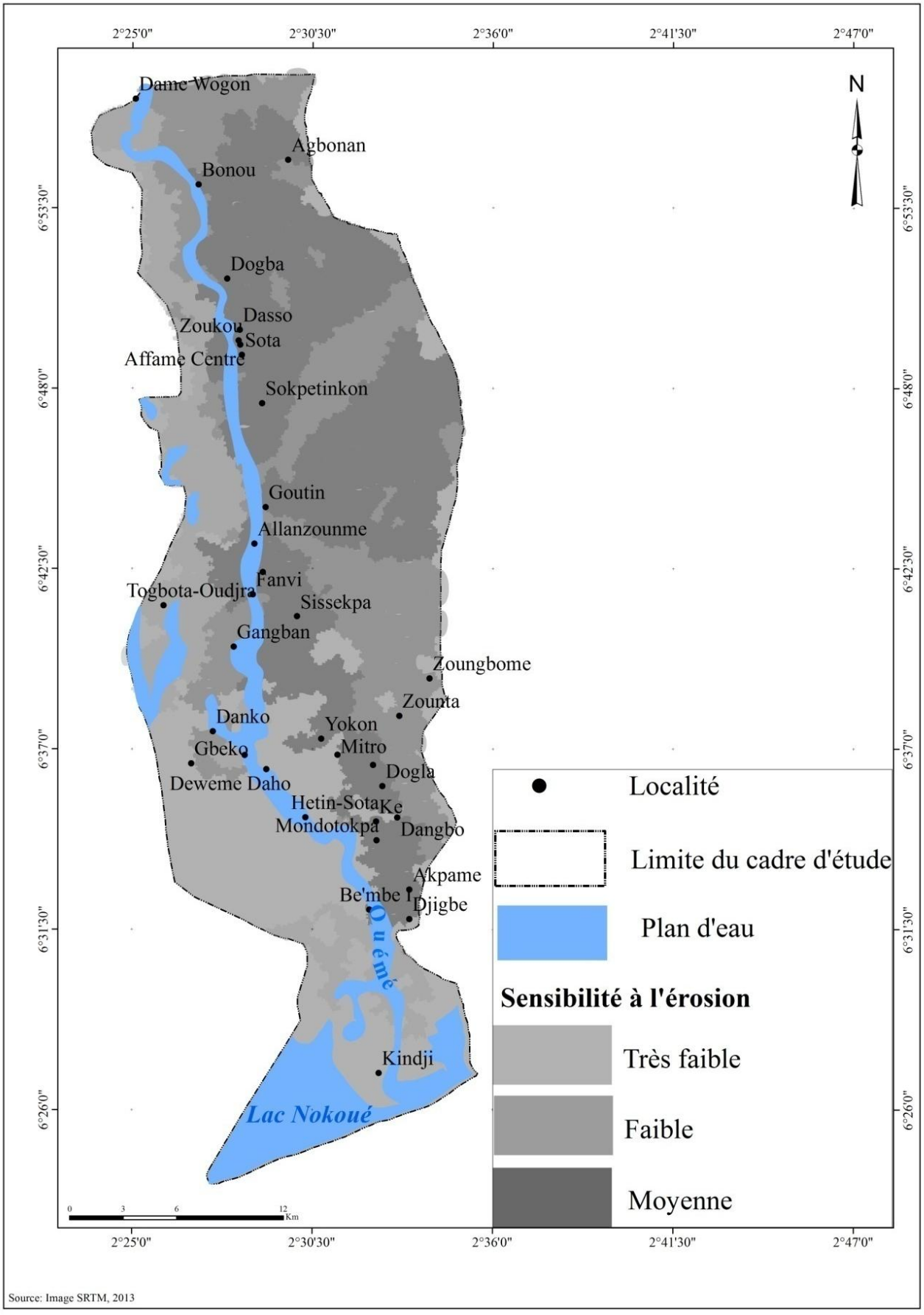


Figure 49: Spatialisation des milieux érodés dans la basse Vallée de l'Ouémé

L'observation de la figure 49 montre trois (03) niveaux de vulnérabilité aux érosions de la basse vallée de l'Ouémé. Les pertes de terre sont plus élevées en amont de la basse vallée (Bonou, Dasso, Dogba, Sokpetinkon, Sota, etc.) qu'en aval (la plupart des arrondissements de la Commune des Aguégués). Ce phénomène est lié à l'action conjuguée de la faible résistance des sols, de la plus forte pente (5 à 10 % voire 15 %) et de la dégradation du couvert végétal (confer figure 33). Les charges transportées dans le lit par ruissellement, sont charriées vers l'aval du secteur d'étude et se déposent sous forme de sables fins mélangés d'argile au long de son parcours.

Les sols sont formés en majorité sur les sédiments meubles argilo-sableux ou sablo-argileux, ce qui détermine un fort coefficient de perméabilité, une forte résistance à l'érosion et un indice d'instabilité moyen. Sur les sols sablo-gravelleux situés dans les environs de Atchonsa, Azowlissè, etc., de perméabilité moins bonne du fait de la granulométrie.

Du fait que les vertisols ont une forte proportion parmi les sols rencontrés dans ce secteur, ils évoluent dans des matériaux d'âge Eocène parfois très complexes faits d'argiles, de marnes et de calcaires, et apparaissant à faible profondeur. Ces sols, après une forte action érosive, ne présentent par endroits qu'une couche humifère couvrant le sédiment argileux avec des blocs de calcaires.

Ces sols soumis au caractère répétitif de précipitations souvent intense pendant la saison des pluies n'ont pas le temps de ressuyer entre deux averses, leur saturation est vite atteinte et la plupart des pluies, quels que soient leurs caractères, ruissellent beaucoup plus qu'elles ne s'infiltrent.

De son côté, la mise en culture des terres provoque des pertes de capacités physiques et hydrauliques des sols : un fort ruissellement et une augmentation considérable des pertes de terres par érosion, comme c'est le cas à Djougoudou et Azowlissè.

Dans la basse vallée de l'Ouémé, l'érosion se produit généralement sur des sols préalablement fragilisés ou sur des sols gorgés d'eau. Le potentiel agronomique des terres s'en trouve diminué, les risques d'inondations accrus (augmentation de l'intensité et du volume des crues de rivière) et les milieux naturels dégradés.

5.2.2. Analyse granulométrique des sédiments recueillis

Les tailles des particules sédimentaires de la basse vallée de l'Ouémé sont extrêmement diverses depuis les fines poussières transportées par l'eau des secteurs à altitudes relativement élevée jusqu'aux sables très grossiers. La répartition du diamètre des grains est également fonction du poids des particules en transit (figure 50).

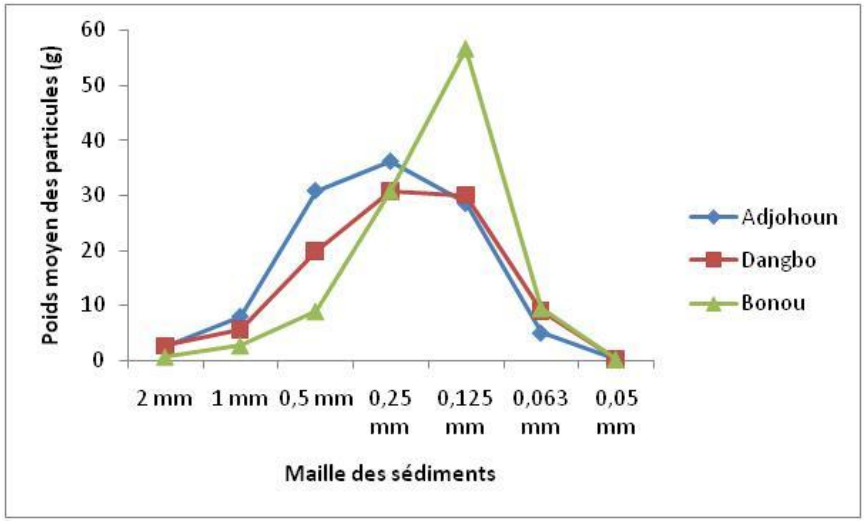


Figure 50: Répartition granulométrique du poids des sédiments
***Source** : Données de terrain, 2014*

La figure 50 montre l'évolution du poids des sédiments analysés dans la basse vallée de l'Ouémé suivant la taille, classée du sable à l'argile. Le poids des sédiments analysés varie de l'ordre de 0,05 à 97,85 gramme pour cette colonne de cinq (5) tamis utilisée. Le plus fort taux de sédiments est enregistré au niveau de silt et d'argile dont la fraction est inférieure à 0,05 mm (97,85 g à Dèkin et 83,45 g à Damè-Wogon). Au niveau des sables fins (0,125 mm), ce poids est de l'ordre de 62,08 g à Anamè ; 73,60 g à Assrossa ; 75,82 g à Djougoudou et 75,86 g à Bonou. La taille des particules diminue de l'amont (Bonou) vers l'aval (Bembè 1). Les sédiments de taille grossière sont plus enregistrés au niveau du rebord de plateau que les autres parties du système fluvial (versant et bas de pente) où le prélèvement a été fait. La figure 51 montre l'évolution de la répartition granulométrique des sédiments analysés dans la basse vallée de l'Ouémé.

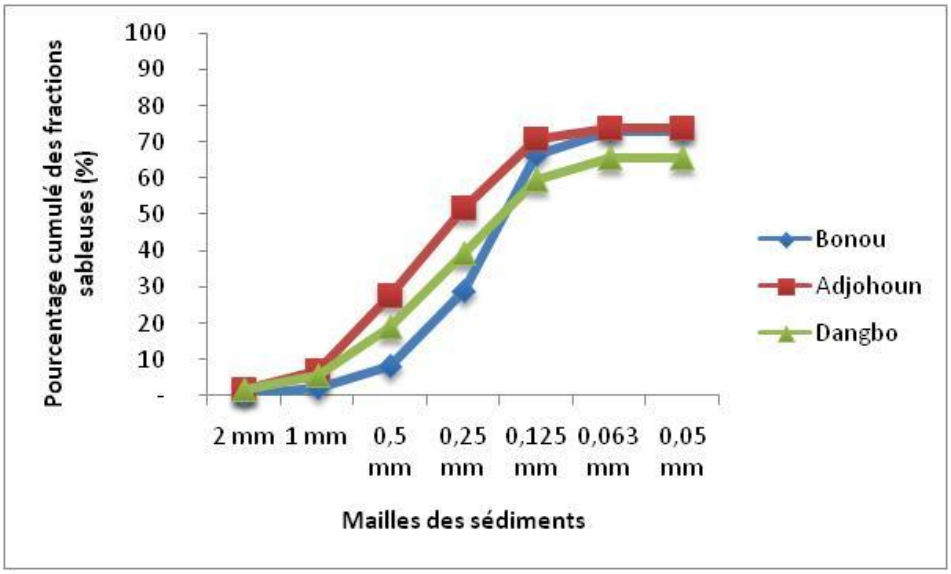


Figure 51: Répartition granulométrique de la taille des sédiments
Source : *Données de terrain, 2014*

La taille des particules (figure 51) de la commune de Bonou diminue de 72,98 % en l'amont (Assrossa, Bonou et Djougoudou) à 0,44 % vers l'aval (Damè-wogon). L'analyse des sédiments prélevés au niveau des rebords de plateau dans la commune d'Adjohoun (Akpadanou, Alanzounmè, Azowlissè, Sissèkpa, etc) varie de 73,97 % à 1,61 % vers la plaine d'inondation (Anamè). Les sédiments très fins sont plus concentrés (65,47 %) dans la plaine d'inondation comme Dèkin dans la commune de Dangbo. Cette hétérogénéité texturale des sédiments provient aussi de leur origine : soit du socle cristallin soit de roches sédimentaires affectés par l'érosion, soit de la compétence des plans et cours d'eau de la basse vallée de l'Ouémé dont le principal est le fleuve Ouémé.

La diminution de la taille des grains au cours du transport s'effectue par fragmentation, selon des mécanismes encore mal quantifiés (figure 52).

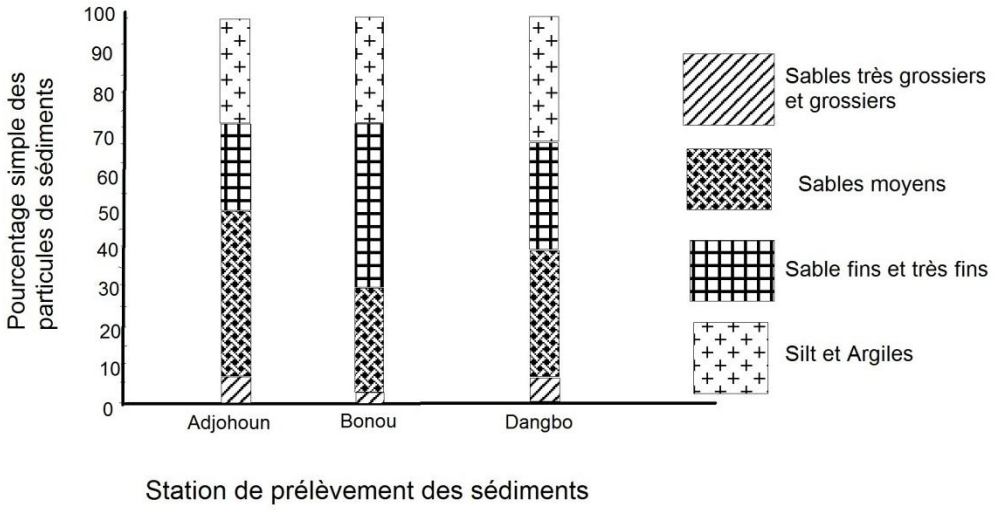


Figure 52 : Répartition des sédiments et leur abondance dans la basse vallée de l'Ouémé
***Source** : Données de terrain, 2014*

La figure 52 indique les fractions granulométriques des différents sédiments et leur abondance sur les sites de prélèvement.

- **Rebord de plateau**

Les sables très grossiers et grossiers (2 mm et 1 mm) ont une proportion de sédiment comprise respectivement entre 0,62 % à Assrossa; 0,65 % à Dèkin; 0,66 % à Djougoudou; 0,91 % à Anamè; 1,12 % à Bonou; 3,69 % à Damè-Wogon; 3,8 % à Affamè; 6,03 % à Alanzounmè; 6,3 % à Azowlissè; 6,77 % à Hozin; 6,81 % à Akpadanou; 7,95 % à Dangbo et 14,58 % à Sissèkpa.

- **Versant**

Les sables moyens (0,50 mm et 0,25 mm) ont une proportion respectivement de l'ordre de 4,28 % à Dèkin; 4,65 % à Anamè; 18,74 % à Damè-Wogon; 25,31 % à Bonou; 26,92 % à Djougoudou; 27,73 % à Assrossa; 32,38 % à Sissèkpa; 33,78 % à Affamè; 45,58 % à Dangbo; 51,42 % à Hozin; 58,42 % à Azowlissè; 62,41 % à Akpadanou et 65,30 % à Alanzounmè. Ces grosses et moyennes tailles des particules interviendront dans les gros œuvres comme les bétons, la fabrication des briques pour ne citer que ces éléments là.

- **Bas de pente**

Les sables fins et très fins (0,125 mm, 0,063 mm et 0,05 mm) ont une proportion de sédiment comprise respectivement entre 14,36 % à Alanzounmè; 15,24 % à Sissèkpa; 16,81 % à Akpadanou; 19,65 % à Azowlissè; 20,67 % à Damè-Wogon; 22,99 % à Affamè; 23,56 % à Hozin; 26,37 % à Dangbo; 28,53 % à Dèkin; 45,88 % à Anamè; 58,29 % à Assrossa; 58,69 % à Djougoudou et 60,60 % à Bonou. Ces localités sont des sites privilégiés de prélèvement des particules fines pour la réalisation des travaux de finition dans la construction des bâtiments et travaux publics.

- **Plaine d'inondation**

Cependant, la fraction fine représentée par le silt et l'argile (fraction inférieure 0,05 mm) qui sont partie lors du lavage ont une proportion de sédiment comprise respectivement entre 12,97 % (Bonou); 13,37 % (Assrossa); 13,74 % (Djougoudou); 13,97 % (Akpadanou); 14,31 % (Alanzounmè); 15,63 % (Azowlissè); 18,25 % (Hozin); 20,09 % (Dangbo); 37,79 % (Sissèkpa); 39,42 % (Affamè); 48,57 % (Anamè); 55,63 % (Damè-Wogon) et 65,23 % (Dèkin). Les sédiments prélevés sur les sites de Bembè 1 ; de Gangban-Glansan ; de Gnanhoui-Zounmè ; de Hêtin-Sota et de Tovègbamè possèdent plus de 95 % des matières argileuses. Ces différentes localités sont des secteurs potentiels d'accumulation privilégiés des sédiments charriés venus de l'amont.

De l'analyse de ces résultats de terrain, il ressort que les sédiments de taille ≥ 0,5 mm sont plus importants sur le rebord de plateau (55 à 60 %) que sur les autres parties de la basse vallée de l'Ouémé. Les sédiments de taille ≤ 0,2 mm (40 à 45 %) sont plus fréquents sur les versant que ceux de plus grande taille. Cette répartition est fonction de la vitesse des eaux de ruissellement et de la topographie de la basse vallée de l'Ouémé. Les particules ayant une taille inférieure ou égale à 0,05 mm dominent dans les bas de pente qui longe généralement le fleuve Ouémé par rapport aux autres sites de mesures. Le taux du silt et l'argile (fraction inférieure 0,05 mm) a une proportion plus élevée dans la plaine d'inondation.

L'analyse statistique de la granulométrie (le « Sorting Index » : SO) montre que les sédiments déposés sont mal trié dans la basse vallée, car le Sorting Index calculé est

égal à 1,69 (SO supérieur à 1), ce qui peut s'expliquer par l'effet de la faible rugosité de la plaine inondable. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle les sédiments sont pour la plupart déposés par charriage est vérifiée. Ce résultat témoigne de la finesse des particules en aval de la basse vallée de l'Ouémé. Ceci pourrait être lié aux sources des sédiments (pente du plateau, du versant) ou des eaux de ruissellement. Cette disparité qui existe entre les particules des sédiments peut être expliquée par les diverses sources d'alimentation des masses d'eau, mais aussi des différentes types de saisons. La pluie reste le principal agent de la dégradation du sol. Elle réduit la profondeur des sols par l'ablation des horizons superficiels. Elle provoque d'importantes pertes d'éléments fertilisants du sol. Ces pertes sont dues à un bon nombre de paramètres tels que : le système de pentes favorables au ruissellement, les pratiques culturales et l'agressivité climatique caractérisée par la concentration périodique des précipitations et le ruissellement intense qui mettent à rude épreuve le sol.

5.3. Milieux de concentration de ruissellement

La dégradation des réseaux viaires et des habitations est l'un des facteurs qui rend compte de l'influence de l'érosion pluviale sur le sol dans la basse vallée de l'Ouémé. Cette dégradation apparaît sous diverses formes compte tenu de l'importance du ruissellement. Des incisions, des rigoles et des ravines sont souvent observées dans la basse vallée de l'Ouémé.

5.3.1. Incisions

La planche 9 montre les incisions créées par l'érosion pluviale sur les voies et à la devanture d'une maison dans la basse vallée de l'Ouémé.



Planche 9 : Incisions sur une rue à Bonou (a) et Cisaillement de la devanture d'une maison à Dangbo (b)
Prise de vue : *Agbomahènan., mars 2014*

La planche 9 montre les incisions créées par les eaux de ruissellement sur les voies et les pistes de dessertes rurales (planche 9.a), le cisaillement et le déchaussement de la devanture d'une maison (planche 9.b) dans le secteur d'étude. Les eaux de pluie dessinent des tracés rectilignes correspondant aux lignes d'influence de ces gouttes de pluie au sol. Ce phénomène cisaille aussi bien le soubassement des habitations que celui des clôtures du secteur d'étude. Il entraîne le déchaussement des maisons. Ces incisions sont observées sur presque toutes les voies de la basse vallée de l'Ouémé et sont parfois prolongées par de petites rigoles (Tableau XXVII).

Tableau XXVII: Etat de dégradation des habitations dans le secteur d'étude

Commune	Total	Habitations observées dans le secteur d'étude							
		En bon état		Cisaillés		Déchaussés		Effondrés	
		Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%	Effectifs	%
Bonou	114	22	19,30	35	30,70	40	35,09	17	14,91
Adjohoun	121	35	28,92	38	31,40	29	23,97	19	15,70
Dangbo	128	27	21,09	42	32,81	39	30,47	20	15,62
Aguégués	41	17	41,46	12	29,27	07	17,07	05	12,19

Source : *Enquête de terrain, Juin 2013*

L'analyse du tableau XXVII montre que les habitations sont plus en bon état dans les Communes des Aguégués (41,46 %) suivi de la Commune de Dangbo (21,09 %) que dans les autres Communes. Cette situation s'explique par le fait que la pente est plus faible par endroit dans ces localités que dans les autres Communes. Par contre, les habitations sont plus cisaillés (32,81 %) ; déchausés (35,09 %) et effondrés (15,70 %) respectivement dans les Communes de Dangbo, de Bonou et Adjohoun.

5.3.2. Rigoles

La planche 10 montre une rigole sur deux différentes rues de la basse vallée de l'Ouémé. Ces rigoles résultent de l'élargissement progressif des incisions laissées par les traces du ruissellement sur le sol nu sous l'effet de la pente et de l'intensité des pluies. Elles dessinent des tracés plus ou moins sinueux avec des profils transversaux très irréguliers (Planche 10.a). Ces profils transversaux observés dans le secteur d'étude ont une profondeur qui varie entre 10 et 30 cm.



Planche 10: Rigole des sols sur un tronçon à Dangbo (Planche 10.a) et à Bonou (Planche 10.b)
Prise de vue : *Agbomahènan, mars 2013 (Planche 10.a) et Juin 2014 (Planche 10.b)*

La planche 10.a montre une rigole née de l'écoulement des eaux de pluie sur un versant du sol ferrallitique dans la Commune de Dangbo et de Bonou (planche 10.b). Dans ces rigoles, 15.9 cm^3/an et 7.9 cm^3/an de volume de terre sont respectivement perdues par la planche 10a et la planche 10b. La planche 10 permet de conclure que l'érosion en rigoles dans la basse vallée de l'Ouémé apparaît lorsque le ruissellement se concentre et acquiert un pouvoir d'arrachement suffisant pour mobiliser localement l'ensemble des particules. Il se forme successivement de simples griffures et des rigoles décimétriques qui peuvent évoluer en ravines métriques. Les anciens ruisseaux supprimés par l'accroissement des parcelles agricoles sont des sites privilégiés pour les rigoles et ravines.

5.3.3. Ravines

Les ravines ont une profondeur qui varie de 50 cm à plus d'un mètre. Elles occupent pratiquement certaines rues (photo 13). Les petites rigoles s'élargissent et deviennent

de profondes rigoles avec la longueur de la pente, l'accumulation d'eau ruisselée et des pertes de sol.



Photo 13: Secteur érodé à Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon
Prise de vue : *Essoun, janvier 2014*

La photo 13 montre une ravine mise en place progressivement par l'eau qui ruisselle. Les formations géologiques qui composent ces sols de la commune de Bonou sont essentiellement constituées de dépôts sablo-argileux altérés en faciès de terre de barre. La géologie des matériaux de surface est aussi caractérisée par des dépôts alluviaux de graviers. Les dépôts alluviaux récents et anciens du fleuve Ouémé sont constitués de sables, argiles avec graviers subordonnés et de niveaux charbonneux. Ces dépôts sont de faibles épaisseurs et contiennent également du sable et de l'argile facilement transportés par les eaux de pluie.

Les ravins ainsi formés divisent la rue en deux et rend les maisons de Gnanhoui-Zounmè qui sont aux alentours difficilement accessibles. Les populations ont aménagés la rue pour faciliter l'accès au lit du fleuve Ouémé afin de vaquer à leurs activités agricoles et joindre les localités comme Damè-Wogon, Assrossa et le centre-ville de la Commune de Bonou. Les mesures faites sur la ravine de cette photo ont permis d'estimer le volume de terre perdue à 21,6 cm^3/an.

Les quartiers les plus atteints sont Gbéko, Dangbo, Azowlissè, Lokossa, Anamè, Bétèkpa, etc. La plupart des rues (59 %) de ces différents quartiers sont jonchées de

ravines, ce qui rend difficile la circulation surtout lorsqu'il fait nuit sans éclairage public (photo 14).



Photo 14: Ravin mesuré dans la commune d'Adjohoun
***Prise de vue** : Agbomahènan, Avril 2014*

La photo 14 montre un aspect d'un ravin mesuré dans la commune d'Adjohoun (Tableau XXVIII).

Tableau XXVIII: Ravines mesurées dans la basse vallée de l'Ouémé

Commune	Nombre des ravines mesurées	Nombre de ravines de 0-500 cm et en %		Nombre de ravines de 500 cm à 1 km et en %		Nombre de ravines de 1 km et plus et en %	
		0-500 cm	en %	500 cm à 1 km	en %	1 km et plus	en %
Bonou	50	30	60	12	24	08	16
Adjohoun	75	57	76	08	10,67	10	13, 33
Dangbo	42	27	64, 28	03	7,14	12	28,57
Aguégués	19	15	78, 95	03	15,79	01	5,26
Total	**186**	**129**	**69,35**	**26**	**13,98**	**31**	**16,67**

***Source :** Résultats des travaux de terrain, Juin 2014*

L'analyse du tableau XXVIII montre que des 186 ravines mesurées, 129 ont une longueur comprise entre 0 à 500 m soit 69,35 % contre 26 ravines de 500 m à 1 km et 31 ravines de 1 km et plus soit respectivement 13,98 % et 16,67 %.

Les mesures faites sur les ravines du secteur d'étude ont permis de déterminer la vitesse de sapement et le volume de terre perdue (tableau XXIX).

Tableau XXIX: Vitesse de sapement des fondations et Calcul des pertes de terres

Commune	Vitesse de sapement moyenne en m/s	Volume des terres perdues par les ravinements en moyenne en m^3/an
Bonou	5,5	7
Adjohoun	6	5
Dangbo	4,7	3
Aguégués	3,33	2

Source : *Résultats de recherche, mai 2014*

Le tableau XXIX présente la vitesse de sapement par les ravins mesurés dans la basse vallée de l'Ouémé. La vitesse de sapement varie de l'amont vers l'aval. Elle est de l'ordre de 3,33 à 6 m/seconde. Ce mouvement des particules augmente le volume des terres perdues (2 à 7 m^3) par les ravinements. Les processus d'érosion présentent de nombreuses perturbations sur les habitations de la basse vallée de l'Ouémé**.**

5.3.4. Influence des eaux de ruissellement sur les infrastructures socio-communautaires

La forte concentration des eaux de ruissellement déchausse considérablement les habitations du secteur d'étude (tableau XXX).

Tableau XXX: Fondations des habitations érodées dans la basse vallée de l'Ouémé

Nombre de découvertes mesurées	Nombre de fondations non érodées et en %		Nombre de fondations peu érodées et en %		Nombre de fondations très érodées et en %	
	0 – 4 cm		**4 – 10 cm**		**10 cm et plus**	
404	94	23,27 %	144	35,64 %	166	41,09 %

Source : *Résultats de recherche, Février 2013*

Le tableau XXX montre que sur 404 fondations des infrastructures socio-économiques mesurées dans la basse vallée de l'Ouémé, 166 sont très érodées soit 41, 09 %. Ce taux témoigne de l'influence des eaux de ruissellement sur les habitations de la basse vallée de l'Ouémé. Pour y remédier, les paysans développent plusieurs stratégies dont celles du billonnage parallèle ou perpendiculaire à la pente.

CHAPITRE VI :

STRATEGIES ANTI-EROSIVES DANS LA BASSE VALLEE

Les actions d'atténuation de l'influence des mutations spatiales des états de surface dans les processus érosifs de la basse vallée de l'Ouémé sont centrées sur les pratiques culturales (travaux de labour, billonnage, semis et plantation; etc.), le reboisement (plantation forestière; enrichissement des galeries forestières). La réussite de ces actions dépend de l'implication et de la participation des populations concernées par les problèmes d'environnement posés par l'érosion.

6.1. Stratégies de lutte contre l'érosion

L'ampleur du phénomène d'érosion de la basse vallée de l'Ouémé a poussé les populations et les autorités (locales et étatiques) à mettre en place des techniques.

6.1.1. Actions de lutte contre l'érosion menée par les populations locales

Les populations de la basse vallée de l'Ouémé ont développé des techniques culturales permettant une récupération du sol et une maîtrise de l'eau de ruissellement.

- **Protection des habitations**

Pour éviter le déchaussement des bâtiments, la population du secteur d'étude développe des techniques de renforcement des soubassements des fondations (Planche 11).



Planche 11: Protection de la fondation d'une maison par une terrasse en maçonnerie (planche 11a) et en sable latéritique (planche 11b) dans l'arrondissement de Dangbo
Prise de vue : *Agbomahènan, Juin 2014*

La planche 11 montre une maison renforcée par une terrasse en maçonnerie (planche 11a) et en sable latéritique (planche 11b) dans la commune de Dangbo. Il s'agit de surélever les alentours des concessions ou de combler les ravins avec de la terre de barre ou du sable (planche 11b). Elle consiste à aménager des renforts en terre de barre ou en maçonnerie à la base des concessions. Ces renforts ont parfois 30 à 40 cm de largeur et une hauteur qui dépasse des fois 50 cm. Ils sont réalisés le long des murs de la concession qu'ils protègent. Cela permet de lutter contre le déchaussement des maisons par les eaux de ruissellement.

- **Construction des enclos**

La photo 15 montre un enclos réalisé par la population de Gnanhoui-Zounmè dans la Commune de Bonou.



Photo 15: Palissade sur un versant dans le village de Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon (Commune de Bonou)
Prise de vue : *Agbomahènan, janvier 2014*

Elle illustre un espace apprêté sur un terrain pentu pour la culture du maïs (*Zea mays*) dans le village de Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon. Ce champ est entouré de palissade et protège l'espace labouré contre les animaux et limite le processus érosif. Ces piquets espacés de deux (02) centimètres permettent de freiner le déplacement des sédiments transportés par les eaux de ruissellement.

- **Billons perpendiculaires et parallèles à la pente**

La technique de billonnage est une stratégie commune de la basse vallée de l'Ouémé. La taille et la disposition des billons varient suivant la position topographique, les types de culture et la nature du sol (planche 12).

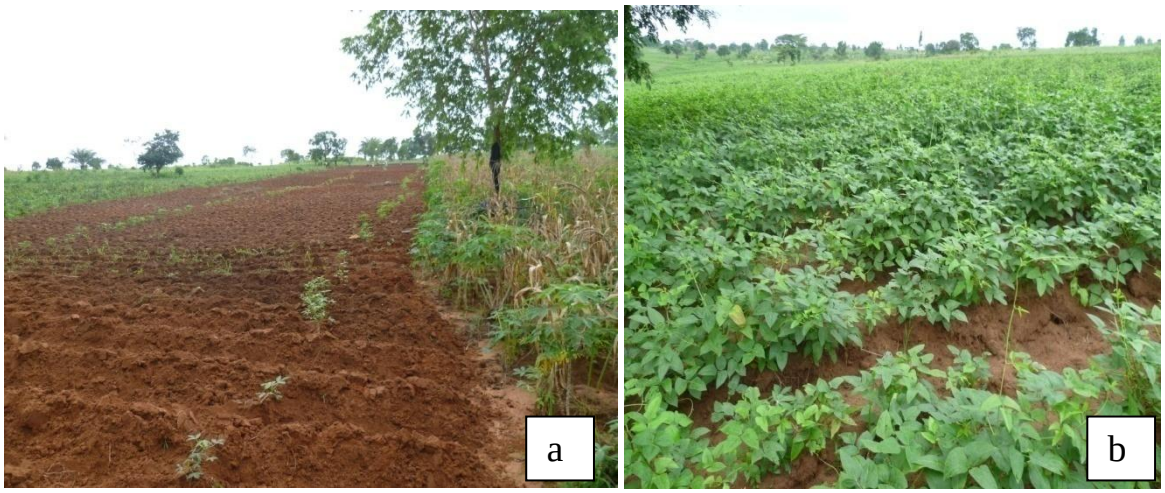


Planche 12: Système de billonnage perpendiculaire à la pente sur un haut de versant à Bonou (planche 12a) et billonnage parallèle à la pente à Adjohoun (planche 12b)
Prise de vue : *Agbomahènan, juillet 2014*

La planche 12a montre des billons perpendiculaires à la plus grande pente dans l'arrondissement de Bonou. Ces billons peuvent stocker dans les sillons une quantité non négligeable d'eau et de matériaux sableux ou limoneux. Mais les billons sont parfois emportés par les eaux de ruissellement. Mais l'efficacité de cette stratégie développée par la population agricole du secteur d'étude diminue lorsque la pente devient de plus en plus forte. Lors des averses exceptionnelles, on risque la rupture des billons ce qui provoque de graves ravinements. C'est le cas en particulier si l'horizon de surface est sableux et très perméable alors que les horizons de profondeur le sont beaucoup moins.

Le billonnage parallèle à la pente (planche 12b) est la technique endogène développée par les producteurs du secteur d'étude. Cette technique consiste à faire des billons dans le sens de la pente. La disposition des billons parallèles à la pente favorise en cas de pluviométrie exceptionnelle, l'évacuation des excès d'eau. Pour 75 % des enquêtés, cette technique favorise ainsi le ruissellement. Cette technique culturale devient de moins en moins efficace dans la lutte contre l'érosion et le ruissellement et ce**,** surtout dans les exploitations agricoles proches des habitations. La raison explicative de

l'actuelle inefficacité du billonnage parallèle, serait un appauvrissement des sols de la localité. La baisse de la fertilité est liée à un transport d'éléments solides riches en minéraux, de l'amont vers l'aval. Ce transport aurait été favorisé par le ruissellement abondant engendré par cette technique.

Pour les paysans, les gros billons parallèle ou perpendiculaire sur les versants évitent le pourrissement des racines/tubercules et la destruction rapide des billons en cas d'inondation.

- **Construction des diguettes dans le secteur d'étude**

La réalisation des diguettes est une stratégie développée par les populations agricoles. Elles ont pour rôle principal de retenir l'eau dans la parcelle. Les diguettes servent d'allées pour les déplacements entre les parcelles. Elles se dégradent souvent par affaissement et surtout par fissures provoquées par l'alternance entre inondation et assèchement des parcelles. Elle est plus développée dans la plaine d'inondation exploitée par la population pour la riziculture et les produits maraîchers (piment, tomate, etc.) (Photo 16).



Photo 16: Diguette réalisée dans la plaine d'inondation de Gouti
Prise de vue : *Agbomahènan, Octobre 2013*

La photo 16 montre une diguette en terre de 30 cm de hauteur dans la plaine inondable de Gouti dans la Commune de Adjohoun. 65 % de la population enquêtées affirme que la pente de la vallée détermine la distance entre les diguettes. Lorsqu'elle est relativement raide, les diguettes doivent être construites à une petite distance les unes

des autres. Ces diguettes en terre sont fixes, mais également sensibles à l'érosion. La quantité d'eau qui s'écoule par-dessus les diguettes est limitée. Ce système retient l'eau jusqu'au niveau des diguettes.

Les localités situées sur les terrasses basses comme Akpadanou, Anamè, Honviguè, Lokossa développent une technique communément appelé "BO" (photo 17).



Photo 17 : "BO" réalisé à Dèkin
Prise de vue : *Agbomahènan, Novembre 2014*

La technique illustrée par la photo 17 consiste à creuser un canal de dimension 3 m X 4 m qui permet de faciliter l'écoulement de l'eau et d'en stocker une certaine quantité. Cette eau stockée est utilisée plus tard pour les cultures de contre saison comme le piment. Les différents systèmes de contrôle de l'eau développée dans la basse vallée ont des limites. Ils ne fonctionnent que si la pente de la vallée est assez faible ou si l'eau ne coule pas trop vite. Il faut aussi que les sols ne soient pas trop perméables et qu'il n'y ait pas de risque de crue trop violente; car les diguettes ne résisteraient pas.

- **Aménagement spontané des rues de la basse vallée par la population**

La planche 13 rend compte de différents aménagements réalisés dans les villages parcourus dans la basse vallée de l'Ouémé. Les populations utilisent des matériaux précaires (sacs remplis de sable, morceaux de briques etc.).

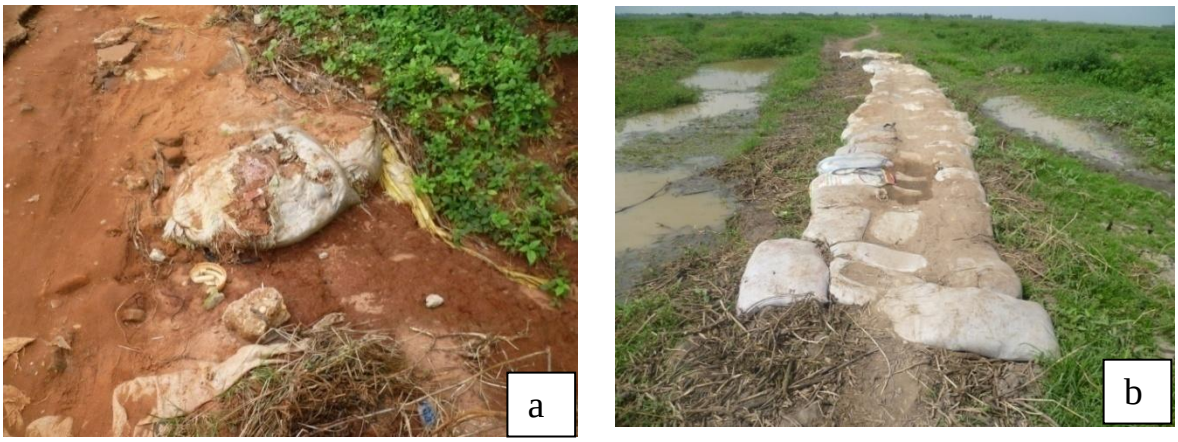


Planche 13: Sac rempli de sable pour empêcher le transport des sédiments à Dangbo
Prise de vue : *Agbomahènan, Août 2014*

La planche 13 montre un des ouvrages endogènes de protection des rues inter-maisons. Ce sont des juttes de sable, des diguettes en terre ou en bois, des morceaux de pierre ou de briques disposés en tas, des pneus. Ils sont parfois en matériau végétal précaire (stipes de palmiers, piquets, etc.) disposés dans les secteurs de ravinement (photo 18).



Photo 18: Ouvrage de franchissement réalisé pour faciliter le ruissellement et la circulation des personnes dans la Commune de Dangbo
Prise de vue : *Agbomahènan, Juin 2011*

Ces différentes stratégies consistent à limiter l'action érosive tout en stabilisant les particules arrachées en amont (photo 18). A force de s'éroder, le niveau de certaines rues est rabaissé par rapport au sol de la cour des habitations. Dans d'autres cas ce sont les ravins qui rendent pénible l'accès des concessions (Gbéko, Dangbo, Akpadanou, Gnanhoui-Zounmè, etc.). A cet effet, des marches en escaliers (photo 18) sont

construites pour faciliter l'accès aux habitations. Il est parfois prévu sous ces ouvrages des canalisations pour rendre aisé le ruissellement.

6.1.2. Autres stratégies endogènes de lutte contre l'érosion

- **Associations de cultures**

Dans la basse vallée de l'Ouémé, les paysans pratiquent l'association des cultures. Le manioc (*Manihot esculenta*) se cultive en association avec le maïs (*Zeays mays*) et l'arachide (*Arachis hypogae*). Ces deux derniers produits vivriers sont parfois associés au pois d'angol (*Cajanus cajan*) dans le bassin. L'association de plusieurs cultures sur le même billon assure la stabilité du billon, une bonne couverture du sol et réduit l'érosion. Cette technique adoptée dans le secteur d'étude vise également à conserver les éléments nutritifs du sol.

- **Résidus à la surface du sol**

Après la récolte dans le secteur d'étude, la présence de résidus à la surface du sol (mulch) assure également une protection des sols. Elle est utilisée comme technique de lutte contre l'érosion des sols. L'efficacité de cette protection dépend de la nature des résidus et de leur taux de recouvrement du sol.

L'inefficacité des stratégies endogènes et la persistance de l'érosion ont incité le pouvoir public à réaliser quelques ouvrages modernes.

6.1.3. Stratégies modernes de lutte contre l'érosion

Les stratégies modernes sont celles développées par l'Etat et les autorités locales. Elles se limitent à l'amélioration des systèmes d'évacuation des eaux pluviales, et au revêtement périodique des voies.

- **Canaux d'évacuation**

La photo 19 montre une infrastructure de canalisation des eaux de ruissellement dans la basse vallée de l'Ouémé.



Photo 19: Canaux d'évacuation des eaux à Dangbo
Prise de vue : *Agbomahènan, Avril 2013*

Elle montre le canal d'évacuation des eaux de ruissellement réalisé non loin de la maison des religieuses communément appelée « sœurs » dans la Commune de Dangbo. Les autorités des Communes concernées par cette étude réalisent des ouvrages de franchissement ou des canaux d'évacuation ou de drainage des eaux dans la basse vallée de l'Ouémé. Ce canal facilite l'écoulement des eaux du plateau vers la plaine d'inondation de la basse vallée de l'Ouémé.

- **Reboisement des berges fluviatiles de la basse vallée de l'Ouémé**

Dans la basse vallée de l'Ouémé plusieurs politiques de reboisement sont développées. Il s'agit de la plantation des espèces spécifiques comme les vitivers, de *Acacia auriculoformis,* du projet d'appui à la préservation des forêts galeries et cartographie de base numérique, etc. pour stabiliser les berges. Le projet d'appui à la préservation des forêts galeries et cartographie de base numérique vise à reboiser les berges du fleuve Ouémé. La photo 20 montre une plantation de la berge du fleuve Ouémé dans la Commune de Bonou.



Photo 20 : Plantation de *Acacia auriculoformis* dans le village de Ahouanzonmè dans l'arrondissement de Assrossa
Prise de vue : *Agbomahènan, Avril 2013*

Elle montre un processus de piégeage et de rétention d'une partie des sédiments érodés au niveau des berges du fleuve Ouémé par une barrière végétale. La présence des végétaux dans la basse vallée de l'Ouémé constitue un obstacle au ruissellement. Ces sédiments accumulés constituent un milieu favorable pour le développement des activités agricoles.

Les différentes stratégies traditionnelles ou modernes développées dans la basse vallée de l'Ouémé ne sont plus suffisantes pour faire face aux problèmes de dégradation des sols qui apparaissent avec la pression démographique.

6.2. Proposition de mesures correctives

Elles visent à renforcer les stratégies endogènes et à promouvoir de nouvelles stratégies adaptées aux caractéristiques morphologiques de la basse vallée de l'Ouémé.

6.2.1. Typologie des billonnages en fonction de la position topographique

La figure 53 schématise la façon dont les cultivateurs peuvent travailler le sol en fonction des lieux afin de réduire le processus d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé.

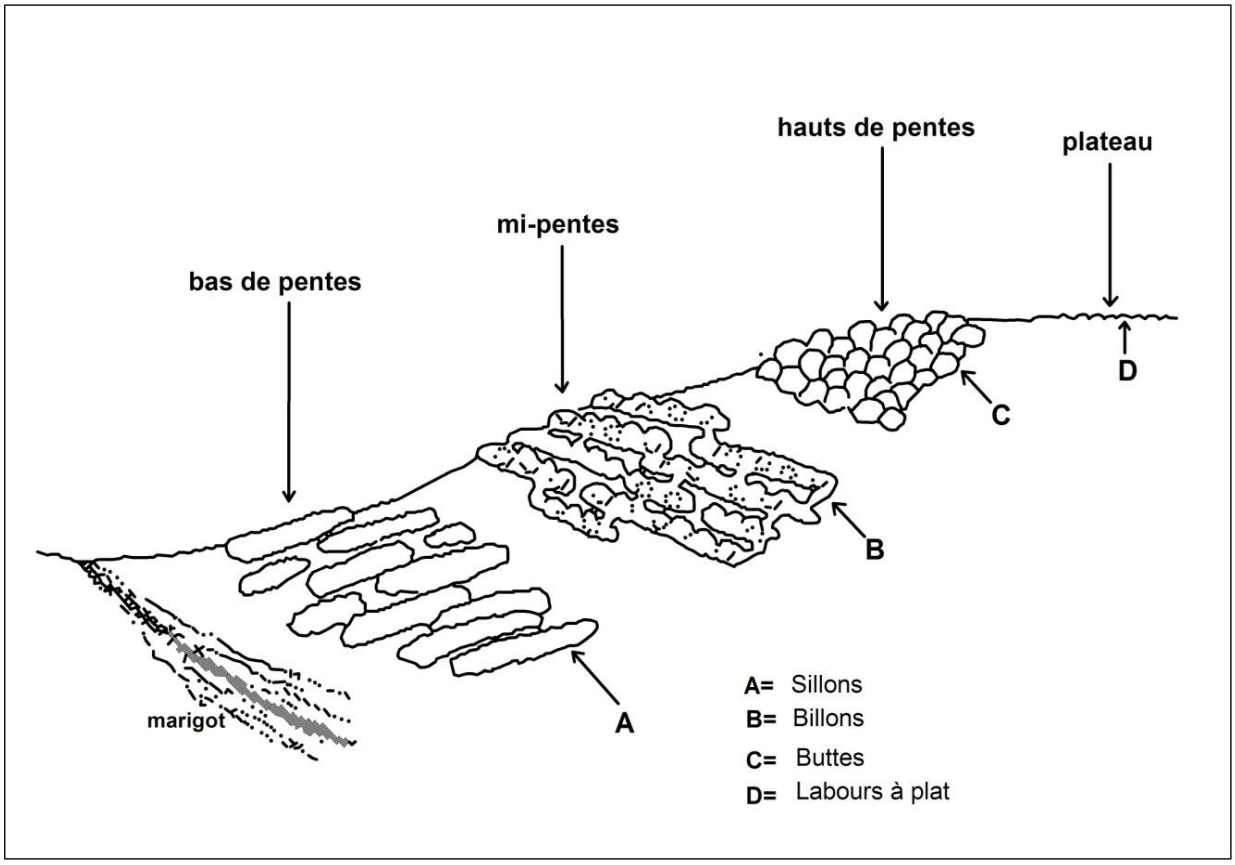


Figure 53 : Typologie des billonnages en fonction de la position topographique
Source : Conçu à partir des résultats de terrain, 2015

La figure 53 montre quelques techniques de billonnage qui peuvent être utilisées par les populations en fonction de la topographie de la basse vallée de l'Ouémé. Les facettes topographiques prises en compte dans ces différentes techniques de réduction du processus d'érosion sont les bas de pentes (A), les mi-pentes (B), les hauts de pentes (C) et le plateau (D).

Sur le plateau, la pente est faible et on observe peu de ruissellement. Il s'agira pour les populations d'enfermer l'eau de pluie pour la forcer à pénétrer dans le sol. De ce fait, les buttes ou le labour à plat sont disposées de façon à former entre elle des cuvettes qui emprisonnent l'eau.

L'excès d'eau des versants draine assez facilement, sur les pentes assez fortes, les particules des sols déjà fragilisés par les activités anthropiques. Les pratiques agricoles se sont beaucoup amplifiées sur les hauts de pentes et les mi-pentes de la basse vallée de l'Ouémé augmentant ainsi le rythme d'érosion. Le ruissellement devient assez

important sur ces pentes naturellement fortes. Le modelage du sol est établi en billons. Les billons placés perpendiculairement à la pente sont cloisonnés de façon à emprisonner l'eau de pluie. Ils sont buttés à leur sommet pour favoriser le développement des tubercules comme les ignames et les maniocs de la basse vallée de l'Ouémé. Les buttes ou les billons sont établis dans le sens de la pente de façon à ce que l'eau quitte les parcelles cultivées. Le problème est d'éviter le ruissellement et l'érosion, tout en forçant l'eau à pénétrer le sol.

Dans la plaine d'inondation, les pentes sont relativement faibles. Les sols de cette position topographique ont bénéficiés des apports d'alluvions et sont peu perméables. Les buttes ou les billons de ce milieu sont établis dans le sens de la pente afin de permettre à l'eau excédentaire de quitter les parcelles cultivées pour s'écouler vers les réseaux hydrographiques (cours et plan d'eau) de la basse vallée de l'Ouémé.

6.2.2. Technique de talus végétalisé et reboisement dans les établissements de formations

La figure 54 montre une technique qui consiste à rendre verdoyant le rebord des dépressions.

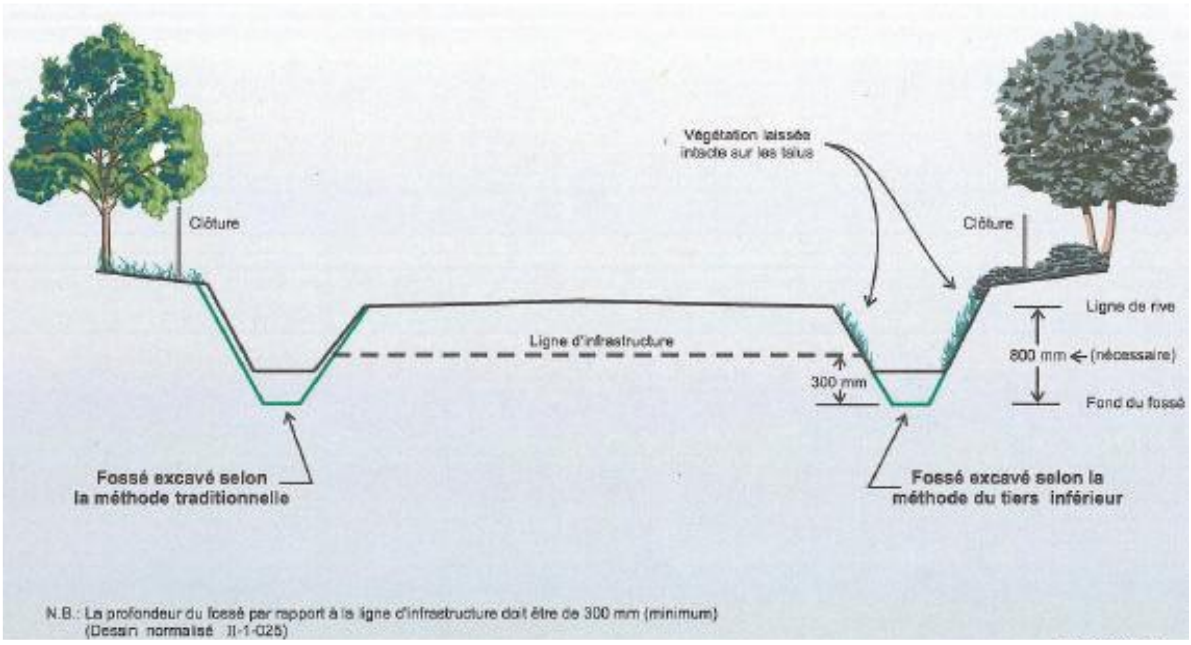


Figure 54 : Technique de talus végétalisée à utiliser dans la basse vallée de l'Ouémé
Source : *Ministère des Transports, 1997*

La figure 54 montre une technique qui consiste à rendre verdoyant la berge fluviale à travers la multiplication de reboisement. Les autorités doivent veiller au respect des

principes d'occupation des berges des milieux humides qui fait obligation du respect de la bande de 25 mètres du fleuve pour toute installation humaine. Il est convenable d'associer les apprenants des écoles primaires et collèges du secteur d'étude à la plantation des arbres. A ce niveau, comme il est fait obligation aux élèves d'apporter des matériels d'entretien (houe, coupe-coupe, balaie, etc.) dans les lycées et collèges, on peut aussi leur exigé qu'à chaque inscription que chaque apprenant apporte et plante un arbre dès son inscription dans ce centre d'éducation. Le suivi de ces plants sera assuré par l'apprenant-planteur en collaboration avec les autorités (directeurs, censeur, ou surveillant) de ces centres d'éducation. Le reboisement des berges par des arbres et l'entretien des plants par tête d'apprenant est organisé jusqu'au départ de ce dernier de ces lycées et collèges (comme les collèges d'enseignement généraux de Gangban, de Azowlissè, de Aguégués, etc.) et des établissements primaires (EPP Akpadanou, EPP Gbéko, EPP Affamè, etc.).

6.2.3. Aménagement de la basse vallée de l'Ouémé et gestion de l'eau

Les différents types d'aménagement proposés ont tenu compte des caractéristiques morphologique de la basse vallée de l'Ouémé.

6.2.3.1. Diguettes en courbes

Le principe de diguettes en courbes de niveau avec déversoirs est adapté à des situations où la quantité d'eau maximale qui traverse le bas-fond est élevée. Pour permettre l'écoulement d'une plus grande quantité d'eau à travers le système et éviter l'érosion des digues, ces dernières sont plus hautes (50 cm). Il y a dans les digues, des déversoirs avec des vannes qui servent à évacuer l'eau (figure 55).

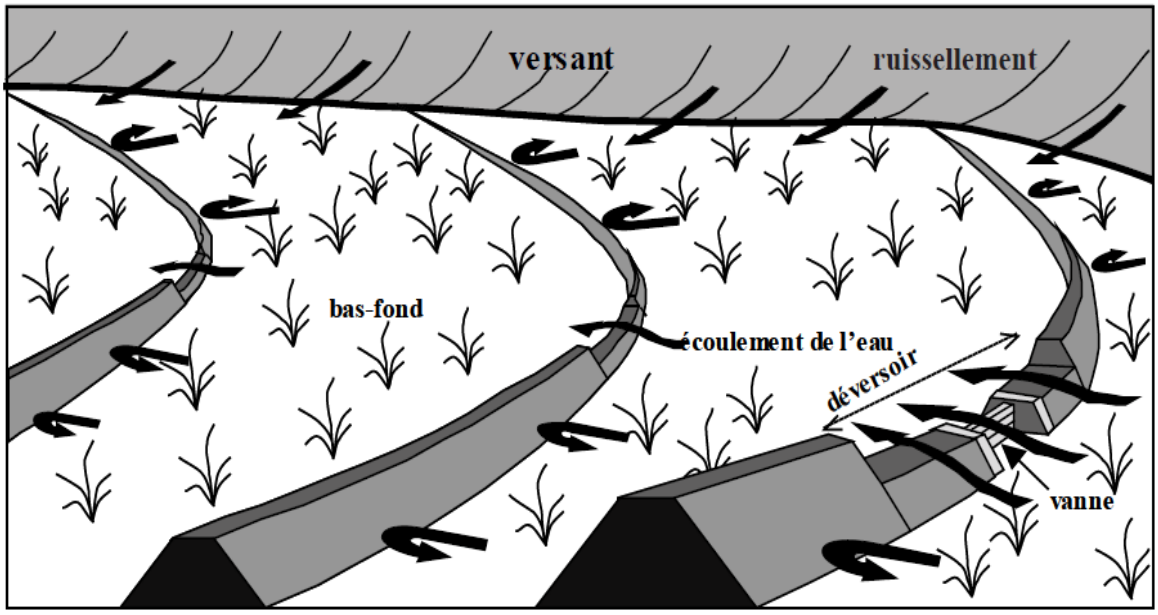


Figure 55: Diguettes en courbes de niveau avec déversoir
Source : *Dupriez et De Leener, 2007*

Les déversoirs des digues en courbes de niveau de la figure 55 doivent être relativement larges pour éviter un fort courant qui induirait un risque d'érosion. Les digues déversantes peuvent être utilisées dans la plaine d'inondation où le débit de crue décennal est élevé jusqu'à 130 litres/seconde (L/s) par mètre de largeur du receptacle. Mais, la pente longitudinale doit être faible, le talweg pas trop profond pour éviter une trop grande pression sur la digue et la perméabilité du sol pas trop élevée.

Ces déversoirs peuvent être en terre mais doivent être protégés contre l'érosion, par des feuilles de plastique par exemple. Les déversoirs peuvent également être construits avec des sacs remplis de sable ou du béton. On peut aussi associer à ce dispositif un canal central pour évacuer les crues.

6.2.3.2. Réalisation des ouvrages de diversion

La figure 56 montre un ouvrage de diversion qui peut être utilisé dans les fonds de vallées de la basse vallée de l'Ouémé où il y a un cours d'eau bien marqué.

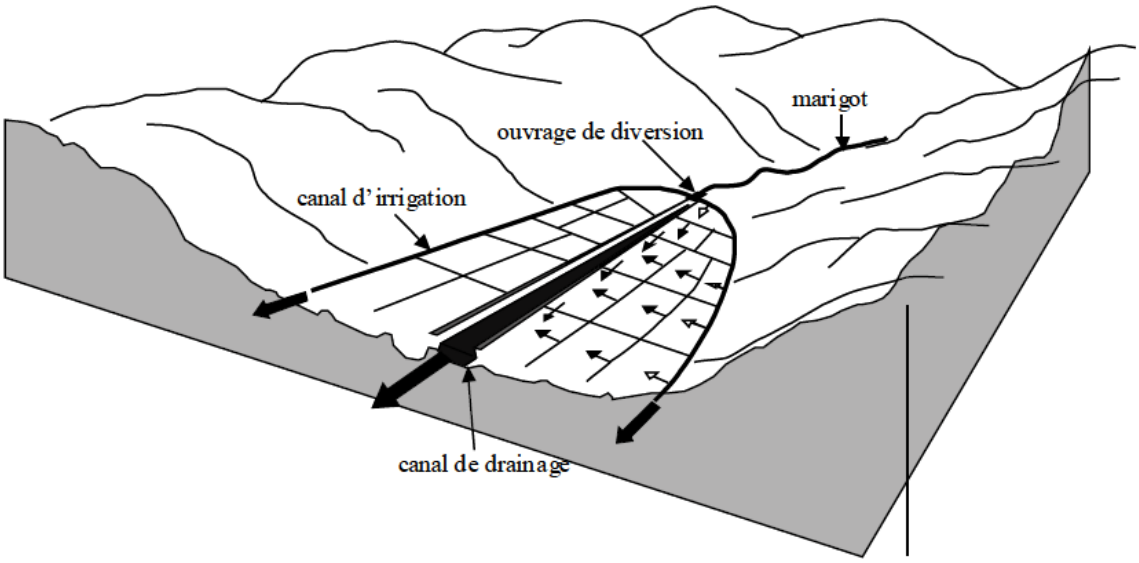


Figure 56 : Exemple d'un ouvrage de diversion pour l'épandage des crues
Source : *Dupriez et De Leener, 2007*

La figure 56 est une construction en béton qui sera faite sur ce cours d'eau à Tovègbamé pour canaliser l'eau. L'eau canalisée peut être dirigée dans des canaux périphériques pour la répartir sur les côtés de l'ouvrage de diversion qui alimentera la vallée, objet de l'étude. Ces milieux étant souvent légèrement surélevées par rapport à la partie centrale, l'eau des canaux peut être utilisée pour l'irrigation gravitaire de surface des rizières délimitées par des diguettes. Le canal central peut être utilisé pour le drainage des rizières et l'évacuation de l'excès d'eau qui n'est pas envoyé vers les canaux d'irrigation. L'ouvrage de diversion détourne l'eau des milieux bas du centre de la vallée vers les bords, afin de permettre l'irrigation des champs en aval de l'ouvrage. Ce système peut être utilisé dans les milieux à pente longitudinale inférieure à 1 %, à débit de crue décennale au plus égal à 200 L/s par mètre de largeur de bas-fond et avec des sols à faible perméabilité. En outre, ce système ne sera rentable que si l'eau qui continue à couler après l'arrêt des pluies couvre les besoins d'irrigation des cultures pour au moins un mois.

Ces ouvrages sont construits en travers de la plaine d'inondation avec deux vannes par lesquelles l'eau se déverse directement dans les canaux périphériques. Les digues principales entre les champs peuvent être construites en courbes de niveau mais les parcelles peuvent aussi avoir un tracé rectangulaire.

6.2.3.3. Mesures routinières de contrôle d'érosion

Sur la plupart des sites de construction, il est possible de contrôler l'érosion de façon efficace et sans problème majeur. Il est important de rappeler que les questions d'entretien et d'inspection sont essentielles pour assurer l'efficacité du système mis en place.

- **Ballots de paille**

Les ballots de paille sont généralement utilisés comme barrière temporaire et visent à intercepter et contenir de petites quantités de sédiments. Il faut tenir compte dans la conception des barrières de ballots de paille, que celles-ci ne peuvent qu'être utilisées dans un bassin de drainage inférieur à 0,4 ha et pour des pentes qui ont une longueur inférieure à 30 mètres. Ainsi, les critères d'installation se présentent comme:

- chaque ballot doit être bien positionné dans une tranchée d'une profondeur minimum de 10 cm ;
- si on installe la barrière au pied d'une pente, il est bon de laisser un espace de 1 à 2 m pour faciliter l'accès pour l'entretien ;
- chaque ballot doit être ancré solidement avec un minimum de deux pieux de bois de 5 par 5 cm ;
- tous les ballots doivent être fermement attachés ensemble pour éviter les espacements qui permettraient l'infiltration de sédiments ;
- disperser de la paille sur le sol en avant la barrière a pour effet de bloquer les espaces entre les ballots et d'en augmenter l'efficacité lors de son utilisation contre l'érosion en nappe ;
- dans un milieu d'écoulement en ravinement, il est important de centrer la structure dans le chenal d'écoulement et compacter le sol contre la barrière du côté qui reçoit l'écoulement ;
- après la stabilisation du milieu sensible, retirer les ballots pour ne pas limiter la capacité d'évacuation.

- **Digue d'interception**

Le tableau XXXI présente les critères de construction des digues d'interception.

Tableau XXXI: Critères de construction des digues d'interception

Largeur au sommet	Hauteur	Pente	Variation de la distance entre chaque digue et l'inclinaison de la pente		
1 mètre	45 cm	1 % ou 2 % ou plus faible	< 5 % = 100 mètres	5 %>45 mètres<10 %	10 % = 30 mètres

Source : *Eténé, 2010 modifié et adapté, 2014*

La digue d'interception est un bourrelet de terre compactée ou de gravier construit au milieu d'une pente sur un site perturbé. Son but est de réduire la longueur de la pente et diriger le ruissellement vers un exutoire stabilisé ou vers un bassin de rétention. Les critères de construction sont les mêmes que pour la digue de déviation.

6.3. Modèle de Réhabilitation des formations végétales et de lutte contre l'érosion pluviale

Il s'intéresse aux stratégies d'atténuation de l'influence des mutations des états de surface sur le phénomène d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé.

6.3.1. Création d'un Comité Intercommunale de Réhabilitation des Formations Végétales de la basse vallée de l'Ouémé (CIRFV-BVO)

La figure 57 montre un modèle pour une bonne gestion des formations naturelles qui ont une influence dans le phénomène d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé.

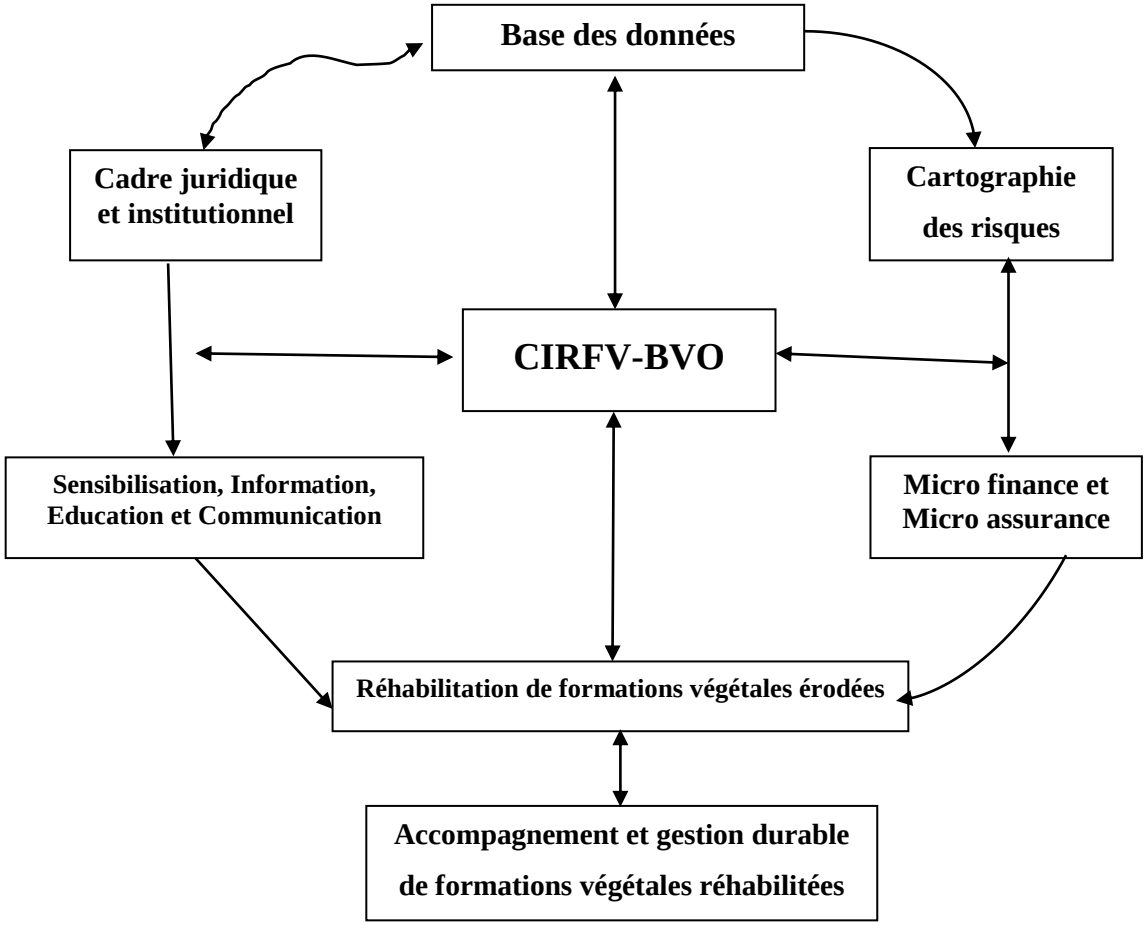


Figure 57 : Modèle pour le maintien et la sauvegarde des formations végétales de la basse vallée de l'Ouémé
Source : Conçu à partir des résultats de terrain, 2015

La figure 57 montre les composantes du Comité Intercommunale de Réhabilitation des formations végétales de la basse vallée de l'Ouémé (CIRFV-BVO). La maîtrise du phénomène d'érosion dans le secteur d'étude nécessite le développement des actions qui prennent en compte tous les acteurs impliqués dans le système. La CIRFV-BVO fusionnera toutes les structures ou organisations actuelles en charge de questions des ressources naturelles.

6.3.1.1. Composante « base des données »

Elle est chargée de collecter et de mettre à jour les données météorologiques, les données sur les impacts environnementaux et les données sur l'inventaire des actifs (infrastructures, ouvrages, etc). La constitution d'une base de données fiable et accessible est un défi que cette composante devra relever.

La collecte de données météorologiques sur la basse vallée de l'Ouémé est essentielle dans la mesure où l'on souhaite procéder à une analyse à posteriori des événements

pluvieux intenses ayant frappé le milieu et ainsi reconstruire le fil des événements pluvieux et autres.

L'analyse et le traitement de ces données faciliteront l'examen des tendances en matière d'événements extrêmes dans la basse vallée de l'Ouémé. Il peut s'avérer très intéressant dans un contexte de changement climatique afin de voir si les probabilités d'événements de pluies intenses sont effectivement à la hausse et conformes aux projections climatiques.

Les informations sur l'évolution des unités d'occupation du sol seront régulièrement collectées auprès des structures agréées (MEPN, ABE, INSAE, etc.) et des populations aux moyens des outils de collecte appropriés.

Mais son efficacité dépendra de la disponibilité des informations et de l'exploitation que les autres composantes en feront.

6.3.1.2. Composante cartographie des secteurs d'érosion

Les données collectées en milieu réel sont intégrés dans les logiciels de traitement cartographique pour une meilleure spatialisation de l'évolution du phénomène identifié. Cette spatialisation facilitera une bonne appréciation de l'influence de l'érosion des sols ou de la disparition des ressources naturelles par les décideurs afin d'envisager une meilleure projection sur la base de cet outil d'aide à la décision.

6.3.1.3. Réhabilitation des formations végétales érodés

L'échelle d'action de l'utilisation de la végétation pour la lutte contre le phénomène d'érosion est celle de la ravine et régionale.

- **Priorités d'intervention**

La ravine constitue l'échelle élémentaire d'intervention en réhabilitation des secteurs érodés. La réussite de l'installation d'une couverture végétale à l'échelle de ravine dépend de facteurs abiotiques qui s'expriment à une échelle plus vaste du bassin versant. L'influence de la végétation a principalement lieu à l'échelle d'une ravine. Au sein d'une ravine à réhabiliter, il est possible de déterminer l'étendue de la correction nécessaire et suffisante pour obtenir une extinction de cette ravine. Pour cela, on peut

utiliser le principe selon lequel la distribution spatiale de la végétation sur une ravine est importante pour la réduction de la production sédimentaire à son exutoire. C'est la présence de cette couverture végétale à l'aval de la ravine qu'il faut assurer pour envisager de manière optimale une inactivité à l'exutoire de la ravine.

La détermination des ravines prioritaires à réhabiliter est fonction de l'érodabilité des terrains et la présence d'une végétation naturelle. L'érodabilité des terrains de la basse vallée de l'Ouémé dépend directement de paramètres physiques tels que la lithologie ou la topographie. La présence d'une végétation naturelle en nette régression dans la basse vallée de l'Ouémé indique l'importance de l'activité érosive. Cet état de dégradation exprime la nécessité ou non d'une végétalisation. La végétalisation des différentes facettes topographiques doit s'effectuer dans les lits des ravines, sur les berges et éventuellement sur les bas de versant.

- **Règles d'intervention**

Les ravines identifiées dans le secteur d'étude ne seront pas entièrement végétalisées avant de stopper la production sédimentaire à son exutoire. Les hauts et les milieux de versant ne sont pas végétalisés. Ces milieux correspondent ainsi à des secteurs de « non-intervention». Un suivi et un entretien des ouvrages sont indispensables pour veiller à ce que la végétation occupe bien les secteurs-clé du lit de la ravine.

6.3.1.4. Composante micro finance et micro assurance

Cette structure s'occupe du financement des risques liés à l'influence de la mutation des unités d'occupation du sol dans le phénomène d'érosion. Les autres outils financiers de gestion des risques de catastrophe existent depuis plusieurs décennies, mais ils sont peu maîtrisés par la population locale. Ils profitent principalement aux familles à revenu intermédiaire et élevé, aux grandes sociétés et aux gouvernants.

La micro finance sera utilisée pour investir dans des activités de subsistance et pour améliorer ou réparer des habitations, actions qui peuvent réduire la vulnérabilité et augmenter la résilience en cas de catastrophe.

La micro assurance s'est imposée aussi comme solution potentielle pour étendre la couverture de l'assurance aux ménages pauvres, donner un accès au financement post-

catastrophe de manière relativement rapide, fiable et prévisible. Cette microfinance va permettre aux ménages pauvres de protéger leurs biens et de minimiser leurs pertes financières en cas de catastrophe.

La micro assurance fournit des disponibilités de trésorerie immédiate. Elle est aussi perçue comme un moyen pour promouvoir la dignité et l'autosuffisance, deux aspects souvent minés par la dépendance envers l'assistance humanitaire.

En définitive, le but visé par cette composante est de mettre en place un mécanisme qui permettra aux ménages pauvres d'avoir accès facilement à ce type de crédit.

6.3.1.5. Composante Sensibilisation, Information, Education et Communication (SIEC)

La composante SIEC est chargée d'élaborer un programme cohérent de sensibilisation et de facilitation de la mise à disposition à temps de l'information et des stratégies de sauvegarde du milieu physique y afférentes.

Un programme de sensibilisation comprenant des mesures permanentes et durables contre l'érosion et le maintien des formations végétales à l'état naturel doit être mis en place. La délimitation des milieux d'habitation et les secteurs appropriés pour des activités précises doit être elle aussi bien préparée afin d'apporter une réponse aux situations d'urgence plus efficace et plus rapide.

6.3.1.6. Composante cadre juridique et institutionnel

La réponse et l'atténuation des conséquences des inondations sont handicapées par le manque de coordination intersectorielle, de coordination verticale (entre le gouvernement, la mairie, les arrondissements et les chefs de quartier) et de coordination horizontale (entre les municipalités).

L'absence de coordination entre les administrations centrales et les collectivités locales et l'inexistence de planification notamment d'un Plan d'Occupation du sol en Milieu Rural (POTEMR) validé, favorise non seulement la confusion des rôles, mais conduit à l'immobilisme des Communes qui est obligée d'attendre les décisions du gouvernement.

La coordination entre les administrations centrales et les collectivités locales est complexe et compliquée parce qu'au niveau central, plusieurs ministères sont impliqués dans la réponse et l'atténuation des inondations et des autres catastrophes.

Le chevauchement et le recoupement des responsabilités incombant aux différents ministères sont une source d'inaction et de confusion. Ainsi, ladite composante se chargera d'analyser le cadre institutionnel adéquat. La priorité serait d'adopter un programme prioritaire visant à clarifier les rôles des uns et des autres et à développer des compétences capables d'aider à la mise en œuvre du programme gouvernemental et municipal en matière de gestion des risques et de gestion des eaux pluviales.

6.3.1.7. Accompagnement et gestion durable des unités d'occupation du sol réhabilité

La durabilité de la protection contre l'érosion à long terme va dépendre de la pérennité de la couverture végétale. L'amorce naturelle d'une deuxième génération végétale peut être effective ou non, et nécessiter une intervention humaine d'accompagnement de la dynamique végétale (éclaircies dans les peuplements forestiers, reboisements complémentaires…).

6.3.2. Guide de lutte contre l'érosion pluviale

Pour lutter efficacement contre le problème d'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé, le modèle du guide de lutte antiérosif est proposé (figure 58).

La figure 58 montre le modèle qui permet de bien contrôler le phénomène d'érosion sur les différents sites de construction des secteurs pris en compte dans cette étude. Le guide de lutte contre l'érosion a pour but d'aider les différents acteurs à planifier toute intervention dans l'espace. C'est un outil important pour la gouvernance locale et municipale. Il se repose sur le principe de base de planification ; l'Outil de décision et les pratiques de gestion optimale.

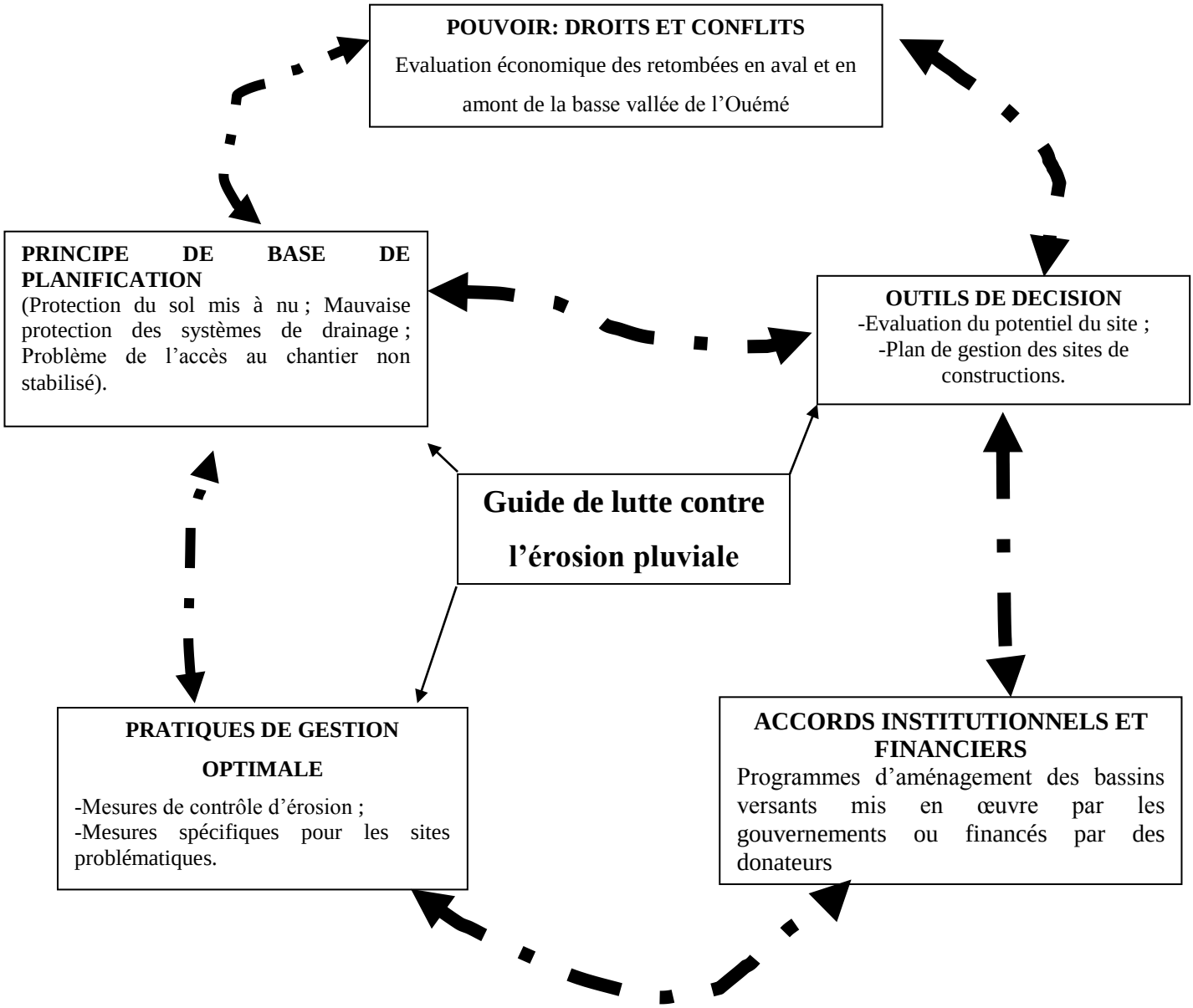


Figure 58 : Modèle de lutte contre l'érosion pluviale dans la basse vallée de l'Ouémé
Source : *Eténé, 2010 modifié et adapté au milieu d'étude, 2014*

6-4. Discussion des résultats

Dans la présente thèse, il est successivement discuté les facteurs qui ont une influence dans le processus d'érosion et son importance dans le taux d'enlèvement, du transport des particules de l'amont vers l'aval et le dépôt des sédiments.

6.4.1. Facteurs déterminants de l'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé

Dans le milieu de recherche, la baisse de la pluviométrie constatée au cours de la période considérée (1965-2011) est plus marquée ces dernières décennies.

Ces résultats sont en phase avec les travaux de Brunet Moret, (1969) ; Lambert, (1973) ; Zro *et al.,* (2014) *;* Poss et Rossi, (1987) ; Servat et Dezetter, (1991) ; Mahé, (1992) ; Ouédraogo, (2006), entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970, dans la région ouest-africaine et centrale. Il ressort de cette analyse que la récession pluviométrique marquée par la sécheresse qui caractérise l'Afrique de l'Ouest en général, est aussi évidente au Bénin depuis les années 1970 (Agoïnon, 2012). Les travaux de Boko (1988) et Houndénou (1999) ont montré que la séquence de décennies consécutivement sèches est corrélative à la baisse de la pluviométrie. Elle est caractéristique de la basse vallée de l'Ouémé, même au pas de temps mensuel.

Au Bénin, les mêmes constats ont été fait par Vissin (2001 et 2007), Ogouwalé (2006), Yabi (2008), Totin (2005 et 2010) pour les années 1970 et Vodounou (2010), Kodja (2013) et Atchadé (2014) pour les années 1987 pour qui les décennies 1970 et 1980 et la période allant de 2000 à 2005 ont connu tout comme les précipitations une baisse importante de la quantité d'eau ruisselée. Mais, la période d'après l'année 2008 permet d'observer un retour à la normale et même vers l'excédent de la quantité d'eau ruisselée dans l'ensemble du bassin. Cet excédent d'eau participe à l'enlèvement, le transport et le dépôt des sédiments.

Dans cette situation, on devait s'attendre à une diminution du coefficient d'écoulement. Mais, dans le même temps on a noté une légère augmentation des lames d'eau précipitées (187,54 mm). Elle est plus accentuée sur les mois humides que sur les mois secs à forte évapotranspiration.

L'ETP est un indicateur important pour suivre l'évolution du climat (Amoussou, 2010). Elle dépend de la transpiration du couvert végétal (à travers les stomates des plantes) et de l'évaporation des sols. On la considère comme étant l'évapotranspiration d'un couvert végétal bas continu, homogène, dont l'alimentation en eau n'est pas limitante, et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique (Boko, 1988). L'intérêt de l'analyse de l'évolution des températures dans cette étude réside dans le fait que ce paramètre climatique influence le pouvoir évaporant de l'air (Totin, 2010) et agit sur la structure des formations géologiques. Les

maxima agissent dans une large mesure en entraînant des contractions et des dilatations de la matière (Lobb *et al.*, 1995).

La faiblesse des quantités pluviométriques et la clémence des températures font que l'ETP est de loin supérieure aux quantités d'eau précipitées. Cette aridité du climat est défavorable au développement de la végétation naturelle, entrave la pédogenèse et prédispose les sols aux méfaits de l'érosion.

Cette eau ruisselée avec le comportement du système sol/végétation, contribue en partie aux réserves en eau dans les premiers horizons du sol entre 0 et 30 cm (Sutcliffe et Piper, 1986 cité par Atchadé, 2014). Pour Proffit et Rose (1991), il est aussi fonction de la formation géologique en place et de la précipitation annuelle.

L'alternance de la petite et la grande saison détermine les manifestations des extrêmes climatiques et participe de la régulation des activités socio-économiques. Mais, la connaissance du nombre d'évènements pluvieux ne permet pas d'apprécier le phénomène d'érosion. La détermination de la fréquence des pluies et l'indice d'agressivité de Fourrier (0,87 à 23,7 pour la basse vallée de l'Ouémé) sont donc nécessaires. Ces résultats sont confirmés par Eténé *et al.*, (2009), pour qui le mois de juin suivi du mois de septembre sont identifiés vulnérables en terme d'érodiblilité du sol. Aalders (1977), Hirtz (1992), Keke (2002) et Eténé *et al.*, (2009) expliquent ce phénomène par le fait que le taux d'infiltration est faible (5 %) et le taux de ruissellement est plus élevé (80 %). Aaders (1977) et Eténé (2005) ont montré que toutes averses supérieure ou égale à 10 mm entraîne le ruissellement surtout si elle intervient au cœur de la saison pluvieuse. Les résultats du calcul d'indice d'agressivité climatique donnés par la figure 25 dans la basse vallée de l'Ouémé sont conformes à ceux obtenus par Gnongbo (1996) pour le Togo méridional, Fournier (1960, 1967) pour le Togo et la Côte d'Ivoire ; par Azontondé (1991) et Amoussou (2010) pour le Bénin.

Les milieux à faible vulnérabilité au phénomène d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé ont une pente généralement comprise entre 0 et 2 %. Les recherches de Proffitt et Roose (1991) ont montré que même sur une pente inférieure à 1 %, de l'érosion peut se produire. Il s'agit d'une érosion en nappe, sans formation de rigoles ou

de ravines, les eaux de ruissellement ne parvenant pas à se concentrer. Ceux-ci affectent 56 % de la superficie de la basse vallée de l'Ouémé, avec une répartition quasi générale dans un large secteur. La plaine inondable subit régulièrement les dépôts de charge d'alluvions du fleuve Ouémé. Ces dépôts de charges solides sont à l'origine de la formation de bourrelets de berge dans la plaine inondable du delta (Agassounon, 2002 cité par Donou, 2009). C'est pourquoi Rubio *et al.* (1997), considèrent la pente comme un facteur déterminant des fonctionnements morpho-dynamique et écologique des cours d'eau.

Cette situation résulte de l'intensification de l'agriculture, qui expose davantage les sols. Le phénomène est particulièrement sensible dans les localités de Akpamè, Dangbo, Dèmè, Dogla, Dogodo, Fanvi, Gnanhoui-Zounmè, Gogbo, Lokossa et Togbota-Oudjra où se développent des activités à fort impact sur la basse vallée de l'Ouémé.

Si les facteurs "pente" et "occupation du sol" sont déterminants dans l'évaluation du phénomène d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé, la texture sablo-argileuse de nombreux sols vient renforcer les pertes de terre. En effet, selon Fourrier (1967), en l'absence de couvert végétal, les caractères des horizons superficiels en particulier la stabilité structurale et la perméabilité du sol jouent un rôle primordial dans le déclenchement et le développement de l'érosion. Mais ces deux paramètres ne jouent pas forcément dans le même sens comme c'est le cas dans la commune de Bonou.

Certes, la prise en compte de paramètres hydromorphométriques (longueur et orientation de la pente, organisation des écoulements, etc.) permettrait de pousser plus loin la réflexion (Ouattara, 2002). Mais la carte d'érosion hydrique à laquelle les résultats de la recherche sont parvenus est plus édifiante.

Il ressort de cette confrontation des résultats avec ceux d'autres chercheurs que la pente, la nature du sol, les caractéristiques morphométriques de la basse vallée de l'Ouémé et le couvert végétal sont les principaux facteurs déterminants de l'ablation et l'accumulation de matériaux dans la basse vallée de l'Ouémé.

6.4.2. Influence des états de surface dans le processus d'érosion

La croissance démographique exerce une forte pression sur les ressources naturelles de la basse vallée de l'Ouémé. La pression sur le milieu concourt à une dégradation du couvert forestier au profit des cultures. Ces ressources naturelles sont passées de 231,37 km^2 en 1992 à 139,50 km^2 vingt ans plus tard. La conversion des espaces forestiers en milieu de culture accentue les phénomènes d'érosion, dont le degré d'occurrence est lié au type d'utilisation (Bruijnzeel, 1990).

Ahiékpor (2011) précise que les techniques de culture, la pluie, le sol et le quasi non-existence de système antiérosif (76 %) favorisent l'érosion hydrique dans le bassin du lac Togo. Puigdefabregas (2005) a montré que dans une formation de forêt, que les vers rejettent 30 à 40 m^3 de terre en surface par hectare et par an. A ce volume de rejets correspond un volume comparable de pores à l'intérieur du sol et cette porosité communique avec la surface, facilitant ainsi le drainage rapide de l'eau.

Les modifications continuelles du paysage ne datent pas d'aujourd'hui, mais elles prennent à présent une ampleur inquiétante. Les éléments du milieu naturel étant modifiés, une nouvelle dynamique s'impose (Togbé, 2003).

En république du Bénin, Tenté (2009), Amoussou (2010), Agoïnon (2012) et Ali (2011 et 2014) sont parvenus à ce type d'observation. Pour ces auteurs, les pratiques agricoles s'accompagnent généralement d'une dégradation du sol. Dans leurs recherches sur l'exploitation des ressources naturelles, Vodounou et Houndagba (2007), Agbomahènan (2009 et 2010) et Tenté et Gibigayé (2011) ont montré que le développement des activités agricoles par une population en constante évolution a pour corollaire la dégradation des formations végétales et expose le milieu à une forte érosion.

L'un des résultats de Totin (2010) conclue que la variation spatiale de quelques éléments de surface pourraient avoir un impact sur la répartition des eaux pluviales en surface et leur transfert vers les réservoirs souterrains. Ces espaces en milieu tropical sont confrontés aux risques de ruissellement et d'érosion dus au comportement hydrologique.

Les nombreux travaux consacrés à l'identification des facteurs du ruissellement et d'érosion s'accordent sur un point. Le ruissellement et le déclenchement de l'érosion par ruissellement sont provoqués par un jeu complexe de facteurs interdépendants (Bochet *et al.*, 2000). Toutefois, un facteur prime sur la production du ruissellement et des sédiments : la végétation. Son influence est multiple.

La végétation tient son rôle protecteur du sol par interception des gouttes, à l'obstacle qu'elle forme face aux écoulements, au rôle stabilisateur qu'elle a sur les particules du sol, à son influence sur le comportement mécanique du sol par enrichissement en matière organique, et enfin à son influence sur la perméabilité du sol par l'entretien d'une macroporosité (Bertran *et al*., 2003). Avec la réduction de la durée de la jachère qui s'en est suivie, sont apparus localement des phénomènes de dégradation de l'environnement avec comme corollaires le recul de la forêt et l'érosion des sols (Togbé, 2003). Les menaces qui pèsent aujourd'hui sur la durabilité de ces ressources constituent, de toute évidence, des conséquences d'une utilisation non fondée sur la prise en compte de leurs caractéristiques propres et des risques inhérents aux technologies en vigueur (Tohinlo, 2001).

Descheemaeke *et al*., (2006) ont analysé l'effet de restauration de la végétation sur les hauts plateaux tigrés d'Ethiopie sur le ruissellement. Pour cela, 28 parcelles expérimentales ont été réparties sur trois sites différents. Les pentes, la couverture végétale, les types de sols et l'utilisation du sol sont différents pour les trois sites. Le ruissellement a significativement diminué sur les sols dégradés restaurés. Le ruissellement est corrélé avec les variables telles que la hauteur et l'intensité des précipitations, la durée des évènements pluviométriques et la teneur en humidité du sol. La couverture végétale totale est la variable la plus importante qui peut expliquer environ 80 % de la variation des coefficients de ruissellement. Le coefficient de ruissellement est presque nul lorsque la couverture végétale dépasse 65 %. Ils concluent que d'autres variables importantes affectent la production de ruissellement dans les sites : la matière organique du sol, la densité apparente du sol, le couvert de la litière et le gradient de pente. Sous un même climat, les taux d'érosion varient en fonction de l'état d'occupation du sol.

Dans la basse vallée de l'Ouémé, la dynamique végétale naturelle a permis de retenir durablement les sédiments piégés, grâce au développement des systèmes radiculaires et d'augmenter la capacité de piégeage des obstacles végétaux. Les sédiments érodés sont piégés par des obstacles végétaux et ne rejoignent pas l'exutoire du bassin. Cette situation peut être à l'origine du développement des carrières de sable en cours d'exploitation à Gouti, Lokossa, Adjohoun, etc.

Domingo (1996) affirme également qu'en absence de toute perturbation au niveau de la végétation, le sol se conserve et le risque d'érosion n'apparaît qu'avec l'exploitation du sol et de la végétation. Le couvert végétal atténue l'action pluviale sur le sol en ralentissant le ruissellement (Smith et Wishmeier, 1960; Fournier, 1967), permettant une bonne infiltration. Ainsi, le risque d'érosion croît avec l'intensité de l'exploitation, le plus souvent agricole, au point que l'érosion se manifeste même sur les pentes faibles.

Des mesures faites par Roose (1977) sur le site d'Adiopodoumé en Côte d'Ivoire montrent que le ruissellement tout comme l'érosion augmentent avec une diminution du couvert végétal. Les sols nus sont les plus exposés. L'érosion passe de 0,11 t/ha/an en milieu forestier à 138 t/ha/an sur un sol nu et le ruissellement de 21 mm/an à 630 mm/an. Les travaux de Meyer (1960) ont déjà montré qu'entre un sol nu et un sol couvert par 2, 5 t/ha de résidus, la réduction du ruissellement est de l'ordre de 40 %, alors que celle des pertes en terre atteint 90 %; la vitesse du ruissellement et la concentration en sédiments de ce dernier étant fortement réduite.

Francis et Thornes (1990) et Quinton *et al.*, (1997) montrent que le ruissellement et les pertes en terres diminuent à partir d'un certain seuil de couverture de façon linéaire ou exponentielle avec l'augmentation de la couverture végétale. Cette relation peut varier considérablement selon l'architecture des plantes (Quinton *et al.*, 1997), leur stade de développement et, surtout, après l'abandon des terres (Cammeraat *et al.*, 2005). D'autres auteurs aboutissent à une relation inverse où le ruissellement et l'érosion peuvent augmenter avec l'accroissement de la couverture végétale. Cela peut être dû à l'hydrophobie de la litière organique en dessous des buissons (Puigdefábregas *et al.*,

1999 ; Contreras *et al.*, 2008) ou en raison de l'épuisement des sédiments dans les plaques avec une faible couverture végétale (Nicolau *et al.*, 1996).

Des pertes en terre sont rapportées sous tous les climats et les disparitions accidentelles du couvert végétal, à la suite d'un incendie par exemple, sont toujours suivies d'une augmentation significative du taux d'érosion et de transport (Martin *et al.*, 1997 ; Rubio *et al.*, 1997 ; Inbar *et al.*, 1998 ; Li *et al.*, 2007).

6-4.3. Dynamique sédimentaire et gestion des terres de la basse vallée de l'Ouémé

La basse vallée de l'Ouémé est agressée et devient davantage agressive pour les formes d'utilisation du sol (les cultures, l'habitat, les voies de communication, etc.) par l'homme. Le mouvement des particules apparaît avec l'exploitation du sol et de la végétation sous ses formes diverses. Il croît avec l'intensité de cette exploitation, le plus souvent agricole, au point que l'érosion se manifeste même sur les pentes faibles.

Les statistiques de la FAO (2002) révèlent que, environ 40 % de la superficie totale du Bénin connaît assez bien les phénomènes d'érosion des sols. Mais, à l'intérieur des bassins versants de la basse vallée de l'Ouémé, de grandes quantités de sédiments érodés sont piégées et ne rejoignent pas l'exutoire des bassins (Beuselinck *et al.*, 2000 ; Rey, 2002).

Or, les mesures hydrologiques effectuées sous pluies simulées en Afrique de l'Ouest ont mis en évidence l'influence déterminante de trois principaux facteurs sur le comportement des sols à l'infiltration et au ruissellement : le type de sol, le couvert végétal et la structure pédologique superficielle (Casenave et Valentin, 1989 cités par Vissin, 2007).

La distribution spatiale de la végétation est alors particulièrement importante. Ainsi, en termes de gestion, il n'est pas nécessaire d'installer une couverture végétale complète sur un bassin versant hydrologique dégradé pour parvenir à atténuer la production sédimentaire à son exutoire, de même qu'il n'est pas indispensable de maintenir une couverture végétale complète sur les bassins recouverts d'une couverture végétale protectrice totale (Rey, 2002). Plusieurs études ont montré que la production

sédimentaire de bassins ou de versants diversement végétalisés ne variait pas de façon linéaire avec la couverture végétale (Rogers et Schumm, 1991 ; McIvor *et al.*, 1995).

L'activité végétative et le type de sol sont intimement liés et leurs actions combinées influencent singulièrement le ruissellement en surface (Agoïnon, 2012). La forêt par exemple, intercepte une partie de l'averse par sa frondaison. A l'inverse, le sol nu, de faible capacité de rétention, favorise un ruissellement rapide. L'érosion de la terre va généralement de paire avec l'absence de couverture végétale. La pente et le débit sont les principaux facteurs de la capacité de transport réel d'un cours d'eau (Ben Amor *et al.*, 2003). Ils déterminent ainsi le transport des flux solides de l'amont vers l'aval. Les charges solides sont également dépendantes des pluies intenses.

Le potentiel érosif de la pluie sur les plateaux du milieu de recherche est supérieur à celui des plaines. II est cependant d'un niveau élevé et ceci implique des risques importants de dégradation des sols par érosion hydrique. Ces unités morphologiques sont soit soumises à des conditions nettement plus érosives, soit jouissent d'une pluviosité dont l'agressivité est atténuée par l'altitude.

Le couvert végétal et les pratiques culturales provoquent donc des pertes en terre (Agbomahènan, 2010), car ils modifient les propriétés des sols, interviennent dans leur résistance face à l'action pluviale et jouent sur le ruissellement (Roose, 1985).

Cette situation provoque alors dans le secteur d'étude, la dégradation des sols puis la migration accélérée des particules fines vers les talwegs (Amoussou, 2010 ; Agoïnon *et al.*, 2010). La dégradation continue de l'état de surface des sols des plateaux provoquée par leur surexploitation entraîne le comblement, sous l'action des agents d'érosion (Roose, 1977; Sintondji, 2005), de certaines marécages de la basse vallée de l'Ouémé.

Van Dijk *et al.* (1996) ont montré qu'il existe un effet de filtration des écoulements au travers de la végétation. Ces écoulements déposent les sédiments suite à la réduction de leur énergie de transport. Des dépôts ont ainsi été observés à l'amont de barrières végétales (Sanchez et Puigdefabregas, 1994), sur des pentes plus fortes que celles sans végétation (Bochet *et al.*, 2000). Ces constats dans la basse vallée de l'Ouémé corroborent les travaux de Locatelli (2000) et de Agoïnon (2012) pour qui selon que la

couverture végétale est dense ou clairsemée, le poids des sédiments diminue ou augmente. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par Van Diepen et Caille (1989) pour qui le plus grand taux de pertes de sol dans un bassin versant en Nouvelle Calédonie est localisé dans les régions de sols nus.

Les résultats des travaux de McIvor *et al.,* 1995 ont prouvé que les processus de piégeage ont bien lieu et que les sédiments sont durablement retenus dans les bassins versants. Cela signifie que l'érosion produit des sédiments qui peuvent ensuite être piégés à l'aval par des barrières végétales. Ce type de stockage est important pour la culture et peut prolonger la saison de croissance de 20 ou parfois même 50 jours (Dupriez et De Leener, 2007). Cette situation correspond à une pente faible de la courbe granulométrique (Ben Amor *et al.*, 2003).

Pour Gao and Collins, (1994) et Achab *et al*., (2005), la combinaison de la taille des grains et la nature du transport donne lieu à des dépôts de particules de nature et de distribution granulométrique variables. Les argiles sont sensibles à la dispersion sous l'effet de l'influence des gouttes de pluies et à la désagrégation mécanique par l'alternance des cycles de dessiccation et d'humectation (Achab *et al.*, 2005). Dans ces cas, il y a mobilisation des particules argileuses. L'humectation de ces sols argileux entraîne un gonflement qui est une sorte de désagrégation. L'agrégat en se désagrégeant cède de l'argile qui est reprise par l'eau. Cette argile mobilisée migre dans l'eau d'infiltration, couvre la périphérie des agrégats et colmate les interstices intra-agrégats ou bien se dépose à la surface du sol pour former la croûte sédimentaire.

Mais Aalders (1977) a montré que les techniques de buttage qui se développent dans ces milieux contribuent à l'assèchement rapide des sols et consécutivement à la perte de leur fertilité. Le billonnage en courbe de niveau est deux fois plus efficace que le simple labour en courbe de niveau, il réduit l'érosion à environ 30 % du témoin travaillé à plat pour des pentes de 1 à 8 % (Agoïnon, 2012). Il est donc délicat de conseiller l'orientation des billons au cas où l'on souhaite réduire l'érosion et ceci en fonction des interactions qui existent entre la pente, les systèmes culturaux et les types de sol (Eba'a Atyi et Boukong, 2010). Cette technique permet une diminution entre 75 et 94 % de l'érosion dans les fossés (Govers *et al.*, 1999).

Une réflexion à l'échelle de la vallée de l'Ouémé pour l'aménagement forestier doit d'abord être menée. Rey *et al.* (2002) proposent pour cela une méthode de détermination et de cartographie de Zones d'Interventions Forestières Prioritaires (ZIFP) pour la protection contre l'érosion. Cette méthode fait intervenir des critères d'importance et de probabilité d'occurrence de l'aléa de stabilité des forêts. Elle préconise ainsi des interventions prioritaires en cas de forte probabilité d'occurrence de l'aléa et de faible stabilité de la forêt de protection. Cette méthode permet une approche globale, à l'échelle d'un bassin. La détermination des secteurs prioritaires d'intervention peut ainsi être réalisée par parcelle forestière de quelques hectares. Il est important de savoir qu'une surface reboisée reste moins efficace qu'une surface couverte de végétation naturelle (Eténé, 2010).

Ces résultats corroborent ceux déjà trouvés par Ahiékpor (2011) et Agoïnon (2012) pour qui les formes des bassins et le mode d'utilisation du milieu participent de façon remarquable à la mobilisation des éléments détritiques.

Conclusion partielle

Les résultats d'observations pendant ces trois années d'études ont permis de conclure qu'une forte pression humaine s'exerce sur les états de surface et en particulier sur les formations végétales de la basse vallée de l'Ouémé. Les techniques culturales développées dans la basse vallée de l'Ouémé contribuent à la mise à nu du sol. Elles amplifient le transport des particules par l'eau de ruissellement. L'ensemble des milieux d'érosion de la basse vallée de l'Ouémé est caractérisé, dans une forte proportion, par le ravinement.

Les stratégies traditionnelles et modernes développées par la population de la basse vallée de l'Ouémé ont atténué l'influence de la mutation spatiale des unités d'occupation du sol dans le processus d'érosion. Les mesures correctives proposées peuvent être prises en compte pour l'aménagement des forêts à rôle de protection contre l'érosion, aussi bien que pour repenser une politique de revégétalisation-reboisement à l'échelle de la basse vallée de l'Ouémé. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont été confrontés avec ceux déjà obtenus dans d'autres milieux de recherche par bon nombre d'auteurs.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude est une contribution à la maîtrise de l'influence des états de surface sur le phénomène d'érosion hydrique dans la basse vallée de l'Ouémé. Pour atteindre cet objectif, la recherche a été conduite selon plusieurs méthodes. Ces méthodes sont :

- l'analyse statistique des chroniques de pluies, de températures et d'évapotranspiration potentielle (ETP) disponibles sur la série 1965 à 2011 dans la basse vallée de l'Ouémé;
- la caractérisation pédologique le long des transects et les recherches topo-séquentielles qui regroupent les coupes morpho-pédologiques et l'occupation de la basse vallée de l'Ouémé;
- l'installation des piquets d'érosion et pièges à sédiments a permis d'évaluer l'intensité et la répartition des mouvements de particules ;
- la recherche morphologique qui a pour objectifs de déterminer les caractéristiques géométriques ou physiques de la basse vallée de l'Ouémé.

L'analyse et l'interprétation des données concernent la dynamique spatio-temporelle et la détermination des pourcentages de sable, d'argile et de limons dans les différents échantillons de sédiments prélevés sur le terrain.

Les données collectées et traitées ont servi à alimenter les deux parties de la thèse pour tester les hypothèses qui ont été émises. Les résultats peuvent être synthétisés en trois points:

Facteurs déterminants de l'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé

De façon synthétique, ce travail a montré que la pluviométrie demeure le principal élément de ruissellement dans le secteur d'étude. La hauteur pluviométrique moyenne à l'échelle annuelle de la basse vallée de l'Ouémé varie entre 1069 mm à 1299 mm.

Les évènements les plus importants ont lieu dans les mois de mars à juillet et de septembre à octobre. Ces deux périodes correspondent respectivement à la grande et la petite saison pluvieuse. Ces mois pluvieux font élever le risque d'érosion qui a pour

conséquence la destruction des infrastructures socio-économiques de la basse vallée de l'Ouémé.

L'influence de la variabilité pluviométrique aux échelles saisonnière et annuelle sur les ressources en eau de la basse vallée de l'Ouémé s'exprime bien par les fluctuations hydrologiques. Les mois de juillet à octobre de la période 1965 à 2011 présentent un fort écoulement qui est excédentaire par rapport au autres mois de l'année. Elles vont donc jouer sur la proportion de particules fournies aux systèmes fluviaux. Les propriétés chimiques des roches ont un rôle, quant à elles, sur la nature du matériel exporté.

L'importance spatiale des pentes et les enquêtes de terrain dans la basse vallée de l'Ouémé ont permis d'identifier les pentes faibles (0 à 5 %) ; les pentes moyennes (5-10 %) et les pentes fortes (supérieure à 10 %).

Dans cette thèse, la définition d'indices de toutes natures, est d'autant plus nécessaire que les modèles numériques de terrain et les logiciels de gestion de l'information géographique (SIG) ont permis de calculer très aisément des valeurs. Ces grandeurs sont l'indice de compacité (1,95), l'indice global de pente (1,78 m/km), la pente moyenne (2 ,75 m/km), la dénivelée spécifique (50,66 m) et la densité de drainage (0,16 km/km^2). Ces caractéristiques morphométriques ont permis d'expliquer l'érodibilité du bassin à travers sa forme, la nature de son relief, du sol et du sous-sol.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle les facteurs physiques et humains déterminent l'érosivité des terres de la basse vallée de l'Ouémé est en partie vérifiée. La nature du couvert végétal est fortement contrôlée par les activités anthropiques. Son influence est donc discutée en tant que facteur anthropique.

Analyse de l'influence des mutations spatiales de l'état de surface sur le processus érosif de la basse vallée de l'Ouémé

La recherche diachronique des cartes d'occupation du sol des années 1992, 2002 et 2012 a permis d'évaluer la dynamique des états de surface de la basse vallée de l'Ouémé. Cette dynamique d'occupation du sol et d'utilisation du sol dépend à la fois des caractéristiques humaines (socioéconomiques et démographiques), des facteurs climatiques et biophysiques.

Elle a révélé une régression très marquée des formations végétales naturelles (forêts, savanes arborées) entre 1992 et 2002 d'une part, et entre 2002 et 2012 d'autre part respectivement de -13,29 % et de -07,08 %. Cette situation est liée à l'évolution des formations naturelles anthropiques comme les mosaïques de cultures (6,72 % pour la période 1992-2002 et de 2,74 % pour celle de 2002 à 2012), de la jachère et des plantations (2,12 % entre 1992 et 2002 et 0,63 % entre 2002 et 2012). La croissance démographique a exercé sur certaines espèces de l'état de surface une forte pression. Le développement des habitations (3,63 %) spontanées a eu pour conséquence la disparition de couvert végétal et la progression des espaces de culture.

Ainsi, la dynamique de l'occupation du sol passe par une analyse de l'évolution de la population dont la croissance est de plus en plus rapide ces dernières années. Ces facteurs humains sont d'ordre social avec la taille des ménages qui influe sur les superficies des emblavures, et d'ordre culturel à travers les spéculations les plus importantes qui sont fonction des groupes socioculturels. Cette dynamique a également permis de déterminer un lien entre le ruissellement et la dégradation des formations végétales.

Les facteurs biophysiques quant à elles contribuent à la répartition et à la dynamique des unités d'occupation du sol de la vallée de l'Ouémé. Pour trouver une solution à cette situation, il est nécessaire de revoir les modes d'utilisation des espaces afin de définir des politiques de gestion rationnelle des terres orientées.

Détermination de la vulnérabilité de l'état de surface face aux activités socio-économiques dans le secteur d'étude

La mutation des états de surface appuyée de l'agent d'érosion que constitue l'eau influence le décapage des sédiments et le dépôt des matériaux dans la basse vallée de l'Ouémé.

La dégradation physique est caractérisée par l'amincissement de la couche humifère et la déstabilisation des agrégats de la structure des horizons superficiels et l'encroûtement de la surface du sol. Le feu de végétation intensif modifie la distribution de la taille des particules en transit. La dégradation biologique est relative à la réduction de la teneur en matière organique et une réduction de l'activité

biologique dans le sol. Quant-à la dégradation chimique, elle se manifeste par le lessivage des nutriments notamment le phosphore et le potassium et une faible acidification du sol. La dégradation des sols découle souvent de l'exploitation continue des mêmes terres pendant plusieurs années sans jachère.

L'intensité des hauteurs pluviométriques ont des répercussions négatives sur les différents flux sédimentaires. Ces flux présentent des variations d'intensité et une extension spatiale suivant les années, les facettes topographiques et les types de sol.

A cela s'ajoutent l'épuisement, la détérioration physique et l'érosion des sols dus à la pratique de labour plus l'essouchement ou non qui sont responsables de l'acidité des sols cultivables.

Les différentes analyses effectuées dans le cadre de cette étude ont montré que les sols sous culture s'érodent plus que les terres qui n'ont pas subie des perturbations anthropiques. La comparaison faite entre les domaines sous culture, les bas de versant et la plaine d'inondation indiquent que les sédiments sont plus en transit sur des parcelles nues que des terres sous végétation naturelles.

Cette variation de sédiments accumulés le long de la toposéquence explique bien l'efficacité des unités paysagiques et permet de confirmer l'hypothèse 2.

Face à tous ces constats, la prise de conscience individuelle et collective peut amener les populations de la basse vallée de l'Ouémé à améliorer les systèmes d'exploitation des terres. Il est urgent de promouvoir la végétalisation de la basse vallée de l'Ouémé. Des méthodes endogènes et améliorées introduites relèvent de la réhabilitation des formations végétales érodées et la restauration des sols dégradés.

Ces différentes stratégies permettent de dire que l'état de la connaissance relative aux mesures alternatives de réduction de l'érosion hydrique mises en œuvre dans la basse vallée de l'Ouémé a été amélioré.

La présente étude présente quelques limites. Ces limites sont :

- pour affiner les résultats, il est nécessaire d'actualiser les données, d'améliorer les méthodes combinatoires mises en œuvre et d'intégrer des paramètres

complémentaires (variabilité spatiale de l'érosivité des pluies, infiltrabilité des sols…).

- le traitement des données et l'analyse des résultats menés essentiellement au moyen d'outils statistiques et non de modélisation. Or, cette dernière en tant qu'approche conceptuelle, si elle est bien conduite, pourrait permettre de mieux appréhender les phénomènes étudiés.
- la pluie seule ne pourrait permettre d'expliquer le phénomène d'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé. La prise en compte des autres paramètres (température, insolation, humaine, fluviale ou leur combinaison) a rendu complexe cette étude au point où l'influence réelle de la pluie sur l'ablation, le transport et le dépôt des sédiments n'a pas été très bien élucidée.
- cette étude s'est révélée complexe du fait que l'élaboration des stratégies anti-érosives pour une gestion durable des ressources devrait tenir compte, non seulement de la pluie, mais aussi des autres facteurs naturels et humains dont dépend la basse vallée de l'Ouémé;
- enfin l'incertitude qui caractérise les projections de l'occupation des sols à l'horizon 2050 et les changements que connaîtront les systèmes socioéconomiques peuvent compromettre les stratégies anti-érosives dans la basse vallée de l'Ouémé.

Dans les prochaines recherches, il sera question de :

- étudier l'influence de l'érosion dans la dynamique des écosystèmes.
- déterminer la quantité des particules exploitables restantes pour les travaux de finition et les gros œuvres dans la basse vallée de l'Ouémé.
- approfondir l'étude sur la dynamique actuelle de la sédimentation par comparaison avec des mesures antérieures effectuées dans la basse vallée de l'Ouémé.
- d'analyser le rôle joué par le substratum géologique dans le phénomène d'érosion.
- étudier les modelés qui résultent des processus d'érosion.
- quantifier les mécanismes de la fragmentation de la taille des grains dans la basse vallée.

BIBLIOGRAPHIE

1. **A.B.E (2001) :** Guide général d'étude d'impact sur l'environnement, JC presse inter, 78 p.
2. **Aalders H. (1977) :** Mesures d'érosion sur « Terre de barre » dans le Sud du Bénin, CENAP, 46 p.
3. **Abdoulaye D. (2015) :** Dynamique de l'occupation des terres et ses incidences sur l'écoulement dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou (nord-Bénin), Thèse de doctorat unique, de l'université d'Abomey-Calavi, Bénin, 253 p.
4. **Abdourhamane T. A. (2011) :** Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : Dynamique actuelle et récente en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques **;** *Thèse de doctorat*, Université de Bourgogne, 224 p.
5. **Achab M., El Moumi B., El Arrim A. et Gutierrez Mas J.M., (2005) :** Répartition des faciès sédimentaires récents en milieu marin côtier : exemple des baies de Tanger (NW-Maroc) et de Cadix (SW-Espagne). *Actes du 17 ème colloque* « *bassins sédimentaires marocains* ». Institut scientifique, Rabat n° 27, 11 p.
6. **Afouda A. (1981) :** Etude du ruissellement en zone urbaine à Cotonou. Rapport de campagne, 1978. ORSTOM-LOME, 78 p.
7. **Afouda F., (1990) :** L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de doctorat, Paris IV, Sorbonne, 428 p.
8. **Agassounon, L. C. (2002) :** Evolution pédo-sédimentaire du géosystème margino-littoral de l'Ouémé-Sô au cours de l'Holocène (Bénin- afrique de l'ouest). Thèse de doctorat en science de la terre et de l'Environnement. URM INRA. Dijon. 417 p.
9. **Agbomahènan S. (2009):** Impacts environnementaux de l'exploitation des mines d'argiles pour la poterie dans la Commune de Djidja au Bénin , Actes du II ème Colloque des sciences, Cultures, et Technologies de l'UAC ; Abomey - Calavi , du 25 au 29 Mai 2009. (Bénin) , pp. 21-30
10. **Agbomahènan S. (2014) :** Erosion pluviale et gestion des terres dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin en Afrique de l'Ouest) ; Revue spéciale journées scientifiques de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Volume 4, numéro 9, pp. 53-65
11. **Ago E. E., Petit F., Ozer P., (2005) :** Analyse des inondations en aval du barrage de Nangbeto sur le fleuve Mono (Togo et Bénin) , in Geo-Eco-Trop, vol. 29, 2005, pp.1-14
12. **Agoïnon N. (2012) :** Etude morphodynamique du bassin versant du Zou à l'exutoire de Domè (République du Bénin). *Thèse de doctorat*, Université d'Abomey-Calavi, 238 p.
13. **Agoïnon N., Oyédé L. M. et Tchibozo H. C. F., (2007) :** Déterminants de la dynamique sédimentaire dans un bassin versant en milieu tropical: cas du bassin versant de Tèwi. In Actes du 1er colloque de l'UAC des *Sciences Cultures et Technologies, Sciences de l'eau et de la Terre*. pp. 241-252.
14. **Agoïnon N., Tchibozo H. C. F. et Houndagba C. J. (2009) :** Typologie et mise en valeur des bas-fonds dans Savalou-ouest : quelques modèles d'aménagement, *In Climat et Développement* n°7, juin 2009 : pp. 61-73.

15. **Agoïnon N., Tchibozo H. C. F. et Tchamié T. T.K. (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.
16. **Agoïnon N., Oyédé L. M., Tchibozo H. C. F. et Agbahoungba E., (2010) :** Erosion pluviale et gestion des terres dans le bassin versant supérieur de l'Agbado (Bénin en Afrique de l'Ouest). *In Climat et Développement* n°10, décembre 2010 : pp. 30-41.
17. **Agoïnon N., Toffi M. D., Orékan V., Tchibozo H. C. F., Oyédé L. M. (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-décembre 2012 ; ISSN : 0796-9694, 19 p.
18. **Aké G.E. (2010) :** Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody, 200 p.
19. **Akognongbé A., Abdoulaye D., Vissin E. W. et Boko M. (2014) :** Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oueme à l'exutoire de Bétérou (Bénin), Afrique SCIENCE 10(2) (2014), pp. 228 - 242
20. **Akpado L., (2000) :** Recherche sur les formations forestières naturelles et sur les plantations forestières au Bénin. Rome, Italie, Fao, Commission européenne, 22 p.
21. **Alary C. (1998) :** *Mécanismes et bilans d'érosion dans un bassin versant méditerranéen aménagé : le cas de la Durance (S-E France).*Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II, 276 p. et annexes.
22. **Albert D. (2008):** "Trace element mobility in soils seven years after the Aznalcállar mine spill." Chemosphere 73 (8), pp.1240-1246
23. **Ali R. K. F. M. (2014) :** Déterminants écologiques, anthropologiques et socio-économiques pour la conservation et la gestion durable des forêts sacrées et communautaires de la basse vallée de l'0uémé dans le Bénin méridional**,** Thèse de Doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 210 p.
24. **Ambroise B., (1991) :** Hydrologie des petits bassins-versants ruraux en milieu tempéré. Processus et modèle. Séminaire du *Conseil Scientifique du Département « Sciences du sol » de l'INRA*, Dijon, 26-27/03/1991, 34 p.
25. **Amoussou E., (2010) :** Variabililité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). *Thèse de doctorat*, Université de Bourgogne, Dijon, 316 p.
26. **Amoussou E., Vissin E. W. et Boko M., (2009) :** Simulation des écoulements dans le bassin versant du fleuve Mono (Afrique de l'Ouest) avec le modèle GR2M). *In Climat et Développement* n°8, octobre 2009 : pp. 26-36.
27. **André N. et Ado D. K, (2002) :** Application de la télédétection a l'aménagement des bassins versants. Cahier de la FAO; conservation des sols, pp. 45-66.
28. **Ardhuin F., Magne R. (2010) :** *Modélisation des états de mer du globe à la plage : validation de nouveaux paramètres produits par Prévimer,* Actes du colloque des XI^{e} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d'Olonne, 22-25 juin 2010, DOI : 10.5150/jngcgc.2010.002-A [http://www.paralia.fr].
29. **Arnold J. G., Srinivasan R., Muttiah R.S. et Allen P.M. (1999):** Continental scale simulation of hydrologic balance. *J. Am. Wat. Res. Assoc.* 35(5), pp. 1037 – 1051.

30. **Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S. & J.R. Williams (1998):** Large area hydrologicmodeling and assessment. Part I: Model development. J. American Water ResourcesAssociation, 34 (1), pp. 73-89.
31. **Arouna O. (2012) :** Cartographie et modélisation prédictive des changements spatio-temporels de la végétation dans la Commune de Djidja au Bénin : implications pour l'aménagement du territoire, Thèse de Doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 246 p.
32. **ASECNA**, (**2014) :** Données climatiques de la station météorologique de Cotonou, Bénin, 4p.
33. **Ashley R.M., Wotherspoon D. J. J., Goghlen B.P.** and **Mcgregor J., (1992):** "The erosion and movement of sediments and associated pollutants in combined sewers". *Water Science and Technology*, Vol 25, n°8, 1992; pp. 101-114.
34. **Atchadé A. A. G., *(*2014) :** Impacts de la dynamique du climat et de l'occupation du sol sur les ressources en eau du bassin versant de la rivière zou dans le Bénin méridional**,** Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, 235 p.
35. **Audebert A. et Blavet D., (1992) :** Sols, états de surface et rendements du cotonnier en station expérimentale (Togo central), *Cah. ORSTOM Sér. Pédol.*, vol. XXVII n°2, pp. 153-166.
36. **Audry A., Combeau A., Humbel F. X., Roose E. et Vizier J. F. (1973) :** Essais sur les études de la dynamique actuelle des sols. Définitions-Méthodologie-Techniques-limitations actuelles. Quelques voies de recherches possibles. Orstom, paris, 133 p-Annexes.
37. **Auzet, A.V. (1987) :** L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects agronomiques. Strasbourg et Paris, 53 p.
38. **Auzet V., Lilin C., Paulet B. (1987) :** L'Érosion des sols par l'eau dans les régions de grandes cultures: aspects agronomiques. Paris: Ministère de l'Environnement / Ministère de l'Agriculture, 60 p.
39. **Azontondé A. (1981) :** Synthèse des travaux sur l'érosion hydrique en République Populaire du Bénin de 1960-1980, 16 p.
40. **Azontondé H.A., (1988) :** Conservation des sols et des eaux en République Populaire du Bénin : Bilan des actions passées et Perspectives. *Communication présentée lors de la 9ème Réunion de Corrélation des sols.* Cotonou, Novembre 1988, 50 p.
41. **Azontondé, H. A., (1991) :** Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. *In Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991)*. IAHS Publ. N°199, 10 p.
42. **Bachaoui B., Bachaoui E.M., El Harti A., Bannari A. et El Ghmari A., (2007) :** Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : exemple du Haut atlas marocain, *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, pp. 393-404.
43. **Ballais J. L. (1993) :** L'érosion consécutive à l'incendie d'août 1989 sur la montagne Sainte-Victoire : trois années d'observations (1989-1992). *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n° 5, pp. 423-437.
44. **Bamisso R., (2015) :** Fonctions, Services et formes d'usages de la mangrove au Bénin : Etude prospective, Thèse de Doctorat unique. Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 201 p.

45. **Batti A. (2005) :** Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa érosion des sols dans les bassins versants en amont du lagon St Gilles (île de la Réunion). Rapport Mastère SILAT – stage IRD – unité ESPACE, 55 p.
46. **Batti A. et Depraetere C. (2007) :** Panorama des méthodes d'analyses de l'érosion dans un contexte insulaire, Composante 1A-projet 1A4, Gestion côtière intégrée ; IRD, 28 p.
47. **Beauchamp J., (2001) :** L'eau et le sol. Univ. Picardie, 32 p.
48. **Beaudou A. G. et Collinet J. (1977) :** La diversité des volumes pédologiques cartographiables dans le domaine ferrallitique Africain, *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. Vol.* XV, n°1, pp. 19-34.
49. **Ben Amor R., Brahim M.** et **Gueddari M., (2003) :** Essai d'interprètation de la dynamique sédimentaire par l'analyse granulométrique et minéralogique au large du Golfe de Gabès. *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô,* vol. 30, pp. 143-151.
50. **Benichou P., Le Breton O., (1987) :** Prise en compte automatique de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. La Météorologie, 7ème série (19), pp. 23-34.
51. **Bénin Alafia (2000) :** Des OMD au Bénin : Document de stratégies de 2000, Etudes Nationales de Perspectives à Long Terme, Bénin 2025 ALAFIA. 155 p.
52. **Berthois L., (1975) :** Etude sédimentologique des roches meubles (Techniques et méthodes), Doin, 8, Place de l'Odéon, 75006-Paris VI, 278 p.
53. **Bessoles B. (1977):** Géologie de l'Afrique : le craton ouest-africain, Mem. B.R.O.M, n°88, 402 p.
54. **Beuselinck L., Steegen A., Govers G., Nachtergaele J., Takken I. Poesen J. (2000) :** Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. *Geomorphology*, vol. 32, pp. 69-82.
55. **Birot P. (1958) :** Morphologie structurale, Type d'évolution du relief, théories orogéniques, Tome second, collection ORBIS, PUF, 108 p.
56. **Birot P. (1962) :** Contribution à l'étude de la désagrégation des roches, CDU, Paris, 232 p.
57. **Birot P. (1968) :** Précis de géographie physique générale, Colin, paris, 339 p.
58. **Blanck J. P.** (1968) : Schéma d'évolution géomorphologique de la vallée du Niger entre Tombouctou et Labbezanka (Rep du Mali), Bull. ASEQUA, 19-20, pp. 17-26.
59. **Blavet D. (1996) :** Hydro-pédologie d'un versant représentatif d'un paysage sur socle granito-gneissique d'Afrique de l'Ouest (Togo). Relations avec le comportement d'une plante cultivée ; *Thèse de doctorat*, Université de Montpellier II, 236 p.
60. **Blivi A. B. (1993) :** Géomorphologie et dynamique actuelle du littorale du Golfe du Bénin, Afrique de l'ouest. *Thèse de doctorat,* Université de Bordeaux 3, 458 p.
61. **Blivi A. B. (2000) :** Vulnérabilité de la côte togolaise à l'élevation du niveau marin : une analyse de prévision et d'impact. Collection « *Patrimoine n*11 »* Vol. 2, pp. 643-660.
62. **Bochet E., Poesen J., Rubio J. L. (2000) :** Mound development as an interaction of individual plants with soil, water erosion and sedimentation processes on slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 25, pp. 847-867.
63. **Bogaert J. & Mahamane A., (2005) :** *Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale*. Annales des Sciences Agronomiques du Bénin (7) **1** : pp. 39-68.

64. **Boko G. J. (2013) :** Trajectoires des changements dans l'occupation du sol : Déterminants et simulation. Cas du bassin versant de l'Alibori (Bénin, Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat unique, de l'université d'Abomey-Calavi, Bénin, 261 p.
65. **Boko M., Guiwa C.** et **Pérard J., 1997.** Récessions pluviométriques et dynamiques des végétaux dans le bassin du Niger au Bénin (Afrique Occidentale). In *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*. Volume 10. Thessaloniki, pp. 297-303.
66. **Boko M., (1988) :** Climats et communautés rurales au Bénin: rythmes climatiques et rythmes du développement. Thèse de Doctorat d'Etat, 2 Volumes, CRC, URA 909 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 584 p.
67. **Boko M., (2005) :** Méthodes et Techniques en Sciences Environnementales. Edition revue et corrigée, UAC /CIFRED, 305 p.
68. **Boko M., Ogouwalé, E., (2007) :** Eléments d'approche méthodologique en Géographie et sciences de l'environnement et structure de rédaction des travaux de recherche. LECREDE, FLASH DGAT, UAC, 104 p.
69. **Bokonon-Ganta E., (1987) :** Les climats de la région du Golfe du Bénin. *Thèse* de 3ème cycle soutenue à Dijon, 250 p + Annexes.
70. **Bonn F. (1996) :** *Précis de télédétection. Applications thématiques*. Édit. Presses de l'Université du Québec, vol. 2, 633 p.
71. **Bonté P**. **et Mouchel M. J. (2002) :** Flux et temps de séjour des matières en suspension, Rapport de synthèse, 249 p.
72. **Boulain, N., (2004) :** Effet des facteurs climatiques et anthropiques dans l'évolution récente des écosystèmes tropicaux : modélisation spatialisée du bilan hydrique d'un petit bassin versant sahélien. Thèse de doctorat, Université de paris VI, 171 p.
73. **Brahant P., Darracq, S., Egue, K. et Simonneux V., (1996) :** Togo : Etat de dégradation des terres résultant des activités humaines (Notice explicative de la carte), OSTROM, Paris, 1996, 57 p.
74. **Bravard J. P. et Petit F. (2000) :** Les cours d'eau : Dynamique du système fluvial ; Edition Armand Colin, 21, rue du Montparnasse, Paris ; 223 p.
75. **Bresson L., M., Valentin C., (1994) :** Soil surface crust formation : contribution of micromorphologie. *In soil micromorphologie: Studies in Management and Cenesis,* pp. *73 7-762.*
76. **Brown D. G., Aspinall R. & Bennett D. A., (2006):** Landscape Models and Explanation in Landscape Ecology – a Space for Generative Landscape Science? *Professional Geographer*, **58** (4): pp. 369-382.
77. **Brunet R.**, **(1957) :** «L'érosion accélérée dans le Terrefort toulousain». *Revue de Géomorphologie Dynamique*, n° 3-4, pp. 33-40.
78. **Brunet R., Ferras R.** et **Thery H., (1992) :** Les mots de la géographie : Dictionnaire critique.Ed. RECLUS, Collection Dynamiques du Territoire, 470 p.
79. **Brunet-Moret Y., (1969) :** "Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie" *CahiersORSTOM série hydrologie* - 1969 - Vol. 6 - N° 3 - pp. 3-100.
80. **Brunet-Moret Y., (1971) :** Etude de l'homogénéité de séries chronologiques de précipitationsannuelles par la méthode des doubles masses, *Cah.ORSTOM, sér. Hydrol*., vol.VIII, n°4,1971, pp. 3-31.

81. **Brunet-Moret Y., (1979) :** Homogénéisation des précipitations. *Cah. de L'ORSTOM* SérieHydrologie 16, pp. 147–170.
82. **Bruno J. F. et Fox D.**, **(2004) :** « L'érosion en rigole dans les coteaux du Sud-ouest ». Organisation Spatiale des activités agricoles et processus environnementaux. Paris : INRA, pp. 13-26.
83. **Cammeraat L. H. et Imeson A. C., (1999):** The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. Catena 37. pp. 107-127.
84. **Cammeraat, E., Van Beek R., Kooijman, A., (2005):** Vegetation succession and its consequences for slope stability in SE Spain. *Plant and Soil,* 278, pp. 135-147.
85. **Casenave A., Valentin C., (1989) :** Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris, 230 p. + 196 photos.
86. **Catherine Bodart, (2004) :** Les estimations continentales du couvert forestier et du couvert forestier des changements dans les écosystèmes arides de l'Afrique entre 1990 et 2000. Journal of biogeography consulté sur le site http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1365-2699.
87. **CEE**, (**1989) :** Erosion côtière dans le Golfe du Bénin, aspects nationaux et régionaux. *Rapport d'expertise*, 155 p.
88. **Chabi A. B. P. (2015) :** Essai de caractérisation spatio-temporelle des pluies journalières en milieu subéquatorial au Bénin, Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, 248 p.
89. **Clark R., (1984) :** Protéger et produire, conservation des sols en vue du développement, FAO-Rome, 40 p.
90. **Cohen M. et Rey F. (2013) :** Dynamiques végétales et érosion hydrique sur les marnes dans les Alpes françaises du Sud ; in Revue Géomorphologie : relief, processus, environnement ; pp 31-44 consulté sur le site http://geomorphologie.revues.org/223 du 01/02/2013
91. **Collinet J. et Lafforgue A. (1979) :** Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sol de Haute –Volta. ORSTOM, Abidjan, 129 p.
92. **Contreras S., Cantón Y., Solé-Benet A., (2008):** Sieving crusts and macrofaunal activity control soil water repellency in semiarid environments: evidences from. *Geoderma* 145, pp. 252‐258.
93. **Coque R. (1977):** Géomorphologie dynamique, Armand colin, Paris, 452 p.
94. **Croles-Rees A. (1990) :** Cartographie des risques d'érosion: une approche multidisciplinaire. Soil technology, pp. 351– 366
95. **Danloux J. et Laganier R., (1991) :** Classification et quantification des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur les bassins touchés par l'exploitation minière en Nouvelle Calédonie : document de travail. *Nouméa* : ORSTOM, (2), 21 p.
96. **Delcros P., (1994) :** *Ecologie du paysage et dynamique végétale post-culturale*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I, France. 269 p.
97. **Descheemaeker, K., Nyssen, J., Poesen, J., Raes, D., Haile, M., Muys, B., Seppe, D. (2006) :** Runoff on slopes with restoring vegetation: A case study from the Tigray highlands, Ethiopia, *Journal of Hydrology*, 331, pp. 219– 241.
98. **Domingo E., (1996) : «** Pression agricole et risque d'érosion dans le bassin versant du Lomon, affluent du Mono (Département du Mono-Bénin) ». *In réseau érosion bull.* 16. ORSTOM, Montpellier, pp. 181-194.

99. **Douvinet J., (2006) :** Simulation de la dynamique spatiale de processus hydrologiques. L'exemple des crues rapides du Nord de la France (Bassin Paisien). *RTP MoDyS Rencontre de Doctorants*-Lyon, 8-9 novembre 2006, pp. 8-16.
100. **Douvinet M. J. (2008) :** Les bassins versants sensibles aux « crues rapides » dans le bassin parisien –Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes, Thèse de doctorat, Université de Caen/Basse Normandie, Caen, 393 p.
101. **Douvinet J., Delahaye D. et Langlois P., (2006) :** Les apports de l'IAD à la caractérisation morphométrique des bassins-versants sensibles aux crues rapides hyper-concentrées (Bassin Parisien, Nord de la France). *Proc. Of the International Conference on ''Interactions Nature-Société. Analyse et modèles*'' 3-5 mai, La Baule, France, CD-ROM, 6 p.
102. **Dupriez H. et De Leener P. (2007) :** Les chemins de l'eau : ruissellement, irrigation, drainage ; manuel tropical ; Terres et vie-CTA ; ISBN 2-87105-009-X; 380 p + Annexes
103. **Eba'A Atyi R. et Boukong A. (2010) :** Analyse de l'impact économique, social et environnemental de la dégradation des terres en Afrique centrale. Rapport du Mécanisme Mondial de l'UNCCD. Rome, 55 p.
104. **El Hage Hassan H. (2011) :** Les apports d'un S.I.G. dans la connaissance des évolutions de l'occupation du sol et de la limitation du risque érosif dans la plaine de la Bekaa (LIBAN). Thèse de doctorat, UNIVERSITÉ D'ORLÉANS, 41 p. consulté sur le site http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/ du 20/12/2013
105. **Escadafal R., (2007) :** Les bases de la surveillance de la désertification par satellites. *Sécheresse*, **18** (4) : pp. 263-270
106. **Eténé C. G., Boko M. et Houdénou C. (2006) :** " Evènements pluvieux extrêmes et adaptations aux risque d'érosion dans la ville d'Allada (Bénin)." Actes du XIXème colloque de l'AIC, d'Eparnay, Masson Mo et chandin, pp. 238-242.
107. **Eténé C. G., Vissin E. W. et Boko M. (2009) :** Evènements pluvieux extrêmes et adaptations aux risques d'érosion dans la ville de Porto-Novo (Bénin). Revues du laboratoire de recherches Biogéographiques et de recherches environnementales ; sciences de l'environnement ; Université de Lomé, n° 005, pp. 165-174.
108. **Eténé C. G. (2010) :** Hydrologie urbaine de Bangui et ses impacts socio-environnementaux. *Thèse de doctorat*, Université d'Abomey-Calavi, 232 p.
109. **FAO et PNUE, (1980):** Bénin: Cartographie du couvert végétal et étude de ses modifications. FAO, Rome, Italie, 75 p.
110. **FAO, (2002) :** Les forêts et le secteur forestier: cas du Bénin. http://www.fao.org/forestry/country/57478/fr/ben/
111. **FAO, (2005) :** Evaluation des ressources forestières. Rapport national du Bénin. FAO, 17 p.
112. **Fauk R., (1956) :** Erosion et mécanisation agricole, Bureau des sols en Afrique de l'Ouest, 25 p.
113. **Feldwisch N., (2006):** Bodenerosion durch Wasser: Bewertungsmethodik und Instrumente der deutschen Bundesländer, Schmidt, 151p.
114. **Fiandino M. (2007) :** Cartographie des zones potentiellement érodables dans trois bassins versants méditerranéens (étang de berre, bouches-du-rhône, france), *Études de Géographie Physique*, n° XXXIV, pp. 15-26
115. **Fortin M. J., (2002) :** Analyse spatiale en écologie: problèmes statistiques et de mise à l'échelle au niveau du paysage. *Ecoscience* 9 : iii-v.

116. **FOSA–Bénin, (2001) :** L'Etude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA). République du Bénin, Ministère du Développement Rural, Direction des Forêts et des Ressources Naturelles, Bénin, 64 p.
117. **Fournier F**., **(1967) :** La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent Africain. Sols africains 12(1): pp. 5-53.
118. **Fournier F. (1960) :** *Climat et érosion*. Édit. Presses Universitaires de France, Paris, 201 p.
119. **Fournier F. (1967) :** Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau ; les recherches sur la conservation du sol en Afrique et Madagascar. *Sols Africains*, vol. XII, n° 1, pp. 6-51.
120. **Francis, C.F., Thornes, J. B., (1990):** Runoff hydrographs from three Mediterranean vegetations cover types. In: Thornes, J.B. (Ed.), Vegetation and Erosion, Processes and Environments. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, pp. 363–384.
121. **Franquin P., (1969) :** Analyse agroclimatique en régions tropicales : saison pluvieuse et saison humide. Application. *Cahiers ORSTOM, série biologie,* Paris, N° 9, pp. 65-95.
122. **Friedli S., (2006) :** Digitale Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz im Hektarraster – unter besonderer Berücksichtigung des Ackerlandes, Diplomarbeit, Geographisches Institut, Abteilung Entwicklung und Umwelt, 105 p.
123. **Frielinghaus M., (1998):** Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern, Geologisches Landesamt. pp. 30-49
124. **Fritsch J.-M., (1995) :** Occupation des sols et regimes hydrologiques : les enseignements desbasins-versants guyanais. *Annales de Géographie*. Vol. 104, n° 581, pp. 26-63.
125. **Fruitet, J., (1992) :** Outils et méthodes pour le traitement des images. Université de Marne la vallée, 30 p.
126. **Gao S. and Collins M.B., (1994):** Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coast*. Res., 10, pp. 70-78.
127. **Gavaud M. (1990) :** Nature et localisation de la dégradation des sols au Sénégal, Cah. ORSTOM, sér. Ptidol., vol XXV, N°3, pp. 253-262
128. **George P. et Verger F. (1996) :** Dictionnaire de la géographie. 6è édition, PUF, 500 p.
129. **GIEC, (2001) :** Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington. 53 p.
130. **GIEC (2007) :** Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse. GIEC, Genève, Suisse. 114 p.
131. **Girard, M. C. (1999) :** Traitement des données de télédétection, DUNOD, Paris, 529 p.
132. **Gnongbo T. Y**., (**1996) :** Le Togo méridional: etude de géographie physique. *Thèse de Doctorat* de l'Université Bordeaux III. Option géographie tropicale. Institut de Géographie, Louis Papy, Bordeaux, France, 306 p.
133. **Goussanou C., Tenté A. B. H., Djègo J., Agbani P., Sinsin B. (2011) :** Inventaire, Caractérisation et mode de gestion de de quelques produits forestiers non ligneux du bassin versant de la Donga. Annales des sciences Agronomiques 14 (1), pp. 77-99.
134. **Govers, G., Lobb D.A. et Quine T.A., (1999):** *Tillage Erosion and Translocation: Emergence of a New Paradigm in Soil Erosion Research*. Journal of Soil and Tillage Research. 51 (3-4): pp. 167-174.
135. **Gras F., (1970) :** Surfaces d'aplanissement et remaniement des sols sur la bordure orientale du Mayombe. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., VIII, 3, pp. 274-294.

136. **Gravelius H. (1914):** Grundrifi der gesamten Gewâsserkunde, Band 1: h'lufikunde (Compendium of Hydrology, vol. 1: Rivers, in German). Goschen, Berlin, Germany ; pp. 32-46.

137. **Gregory, K.J. & Gardiner, V. (1975):** Drainage density and climate. Z. Geomorph. N.F. 19 (3). pp. 287-298.

138. **Guilcher A. (1965) :** « Questions de morphologie en mélanésie équatoriale (nouvelle-Guinée; nouvelle Bretagne, Guadalcanal) », *Bull. Ass. Géogr. Français.338-339.* pp. *28-40*

139. **Hargis C. D., Bissonnette J. A. & David J. L., (1997):** Understanding measures of landscape pattern: pp. 231-261. *In:* Bissonnette J. A. (ed.). Wildlife and landscape ecology. Springer, New York.

140. **Houessou A.** et **Lang J., (1978) :** Contribution à l'étude du Continental terminal dans le Bénin méridional. *Bull. Sri. Géol.* n° 31, pp. 137-149.

141. **Houndagba C. J., (1984):** Analyse typologique des paysages d'Abomey-Zagnanado en R.P. du Bénin. Thèse 3e cycle Université Louis Pasteur Strasbourg, 286 p.

142. **Houndagba C. J., (1990):** Analyse d'un paysage de vallée, le cours inférieur de l'ouémé (Bénin). In : Richard J. F. (eds), 1990, pp. 239-251.

143. **Houndagba C. J., (2015) :** Dynamique des paysages naturels dans le centre du Bénin. Thèse de doctorat d'Etat de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 350 p.

144. **Houndagba C.J. ; Bokonon-Ganta B. E. ; Djaouga M. et Awindé M., (2011) :** Cartographie des risques naturels du département du Zou, Revue de géographie du Bénin N°10, pp. 49-70.

145. **Houndénou C., (1999) :** Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : L'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Dijon. 390 p.

146. **Humbert J. (1990) :** Intérêt de la densité de drainage pour régionaliser les données hydrologiques en zone montagneuse, Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques Université Louis Pasteur 3, rue de l'Argonne, 67083 STRASBOURG Cedex, France, IAHS Publ. no. 193, pp. 373-380.

147. **Idiéti M. E. (2012) :** Les hydro-écoregions du bassin de la pendjari au Bénin : Analyse des déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels, Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 230 p.

148. **IMPETUS Atlas du Benin (2007) :** Résultats de recherche 2000 – 2007. Troisième édition. Département de Géographie, Université de Bonn, Allemagne, 144 p.

149. **Inbar, M., Tamir, M. et Wittemberg, L., (1998):** Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology*, 24, pp. 17–33.

150. **INRAB (1995)** : les sols et leurs potentialités agricoles, les essences forestières. INRAB 76 p.

151. **INSAE, (1992) :** Cahier des villages et quartiers de villes : Département du plateau, 33 p.

152. **INSAE, (2005) :** Cahier des villages et quartiers de villes de l'Ouémé, 25 p.

153. **INSAE, (2013) :** Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation ($RGPH_4$). Direction des Etudes Démographiques, 490 p.

154. **ISSA M. S. (2012) :** Changements climatiques et agrosystemes dans le moyen benin : impacts et strategies d'adaptation, Thèse de doctorat, UAC/FLASH, 495 p.

155. **Kankpenandja L., (2010) :** Géomorphologie et Aménagement des bassins versants de l'Oti au Togo, thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo, 342 p.
156. **King D., Daroussin J., Arrouays D., (1989):**Analyse cartographique et système d'information géographique en pédologie. Sc. du sol, 27(1), pp. 89-92.
157. **Klassou S. D**., (**1996) :** Evolution climato-hydrologique récente et conséquences sur l'environnement : l'exemple du bassin versant du fleuve Mono (Togo-Bénin). *Thèse de Doctorat*, Université de Bordeaux III, 472 p.
158. **Kokou K. et Kokutse A.D., (2006) :** Rôle de la régénération naturelle dans la dynamique actuelle des forêts sacrées littorales du Togo. *Phytocoenologia* 2 (36) : pp. 403-419.
159. **König D.** (1994) : Dégradation et érosion des sols au Rwanda, Cahier d'Outre-Mer, 47 (185) janvier-mars 1994, pp. 35-47
160. **König D. (1991a) :** Contributions des méthodes agro-forestières à la lutte anti-érosive au Rwanda. Réseau Erosion, Bulletin (Montpellier), 11, pp.185-191
161. **Laforgue A. et Naan E. (1976) :** Exemple d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluie simulées. ORSTOM SER, pp.195-237
162. **Lambert R., (1973) :** Recherches hydrologiques sur le Sud-Ouest du Bassin de la Garonne. *Doctorat d'Etat*, Toulouse, 457 p.
163. **Lambin E.F., Turner B.L., Geist H.J., Agbola S.B., Angelsen A., Bruce. J.W., Coomes O.T., Dirzo R., Fisher G., Folke C., George P.S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E.F., Mortimore M., Ramakrishnan P.S., Richards J.F., Skanes H., Steffen W., Stine G.D., Svedin S., Veldkamp T.A., Vogel C., Xu J., (2001):** The causes of land-use and landcover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, **11**: pp. 261-269.
164. **Lambin E.F., Geist H.J., Lepers E., (2003):** Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environmental Resources*, **28**: pp. 205-241.
165. **Lang J. et Paradis G., (1977) :** Un exemple d'environnement sédimentaire bio-détritique non carbonate marin et continental, holocène, en climat intertropical : le domaine margino-littoral du Bénin méridional (EX-Dahomey) Rev. Géog. Phys. et géol. Dyn. (2), Vol XIX, fasc. 3, pp. 295-312.
166. **Langlois, P**. **(2001) :** Le modèle SpaCell. Base de données du Groupe Modèles du GDR Libergéo : pp. 111-125.
167. **Langlois, P. (2005) :** Les automates cellulaires pour la modélisation de systèmes spatiaux, in Modélisations en géographie : déterminismes et complexités, Ed. Guermond Y., Hermès Science, Lavoisier, pp. 321-352.
168. **Lawin V. (2000):** Etude de la filière cultures maraîchères dans les zones humides du Sud-Bénin. Rapport d'étude, PAZH, Cotonou, Benin, 2000, 113 p.
169. **Le barbé L., Alé G. Millet B., Texier H., Borel Y. et Gualde R. (1993) :** Les ressources en eaux superficielles de la République du Benin. Edition ORSTOM, 540 p.
170. **LE BARBE L., LEBEL T. & TAPSOBA D., (2002):** Rainfall Variability in West Africa during the years 1950-1990. J.climate. (15) : pp. 187 -202.
171. **Le Bissonnais Y., Montier C., Daroussin J., King D. (1998) :** Cartographie de l'aléa «Erosion des sols » en France. Edition IFEN, Collection Etudes et Travaux n° 18, août 1998, 77 p.

172. **Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C. et Daroussin J. (2002) :** L'érosion hydrique des sols en France. IFEN, INRA, France, 106 p.
173. **Legros J. P., Argeles J. (1973):** Enquête sur la précision des descriptions de profils pédologiques. Doc. ronéo. SES n° 211, INRA, Montpellier, 16 p.
174. **Leroux L. (2012) :** Analyse diachronique de la dynamique paysagère sur le bassin supérieur de l'Ouémé (Bénin) à partir de l'imagerie Landsat et MODIS- Cas d'étude du communal de Djougou, rapport HydroScience Montpellier, ANR ESCAPE, 62 p.
175. **Les Cahier d'Outre-mer N°183**, 46è année, juillet-septembre, 1993, pp. 253-272
176. **Les Cahiers d'Outre-mer N°181**, 46è année, janvier-mars, 1993, pp. 75-104
177. **Les Cahier d'Outre-mer N°185**, 47è année, janvier-mars, 1994, pp. 23-34 et 35-47
178. **Li, K. Y., Coe, M. T., Ramankutty, N., and De Jong, R., (2007):** Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. *Journal of Hydrology*. 337, pp. 258–268.
179. **Llorens P. (1993):** « Hydrological implications of afforestation of abandoned lands: water balance simulation of a small Mediterrannean mountainous basin ». Acta Geologica Hispanica, 28, 2-3. pp. 131-138.
180. **Lobb, D. A., Kachanoski R. G. et Miller M. H., (1995):** *Tillage Translocation and Tillage Erosion on Shoulder Slope Landscape Positions Measured Using 137Cs as a Tracer*. Canadian Journal of Soil Science. 75: pp. 211-218.
181. **Lobb, D.A., et Kachanoski R.G., (1999):** *Modelling Tillage Erosion on the Topographically Complex Landscapes of Southwestern Ontario*. Journal of Soil and Tillage Research. 51 : pp. 261-277.
182. **Lobb, D.A., Kachanoski R. G. et Miller M. H., (1999):** *Tillage Translocation and Tillage Erosion in the Complex Upland Landscapes of Southwestern Ontario*. Journal of Soil and Tillage Research. 51 : pp. 189-209.
183. **Locatelli B. (2000) :** Pression démographique et construction du paysage ruraldes tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar), thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts(ENGREF) ; Centre de Montpellier ; 441 p.
184. **Louis R., Sietchiping R. et Marie Basquiat J.P., (2005):** Remote sensing of the dynamic and sedimentation in Péligre lake, Haïti. Contemporary, Publishing international. *Remote sensing*, vol. 5, n°(1-2-3), pp. 33-52
185. **Loup J., (1974) :** Les eaux terrestres. Masson, Paris, 171 p.
186. **Lozet J., Mathieu C., (1986) :** Dictionnaire de science du sol.Lavoisier, Paris, 269 p.
187. **MAEP (2001) :** Déclaration de la Politique de développement Rural au Bénin, 47 p.
188. **Mahé G., (1992) ;** Les écoulements fluviaux sur la façade Atlantique de l'Afrique : Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, Analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Thèse de Doctorat en science de la terre OR SAY ORSTOM, Montpellier, 385 p + Annexes.
189. **Maignien R. (1980) :** Manuel pour la descripition des sols sur le terrain. Orstom, Paris, 112 p.
190. **Marcey F., Berville D., (2003) :** Synthèse bibliographique: bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement, Sinfotech, 28 p.
191. **Martin C., (1989) :** « Erosion et altération actuelles sur roches métamorphiques dans le massif des Maures (Var. France) », Sci. Géol. Bull. , 42, 2, pp. 91-106.

192. **Martin, C., Allée, P., Beguin, E., Kuzucuoglu, C. et Levant, M. (1997) :** *Mesure de l'érosion mécanique des sols après un incendie de forêt dans le massif des Maures. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 2,* pp. *133-142.*
193. **Maurizot P., Delfau M., (1995) :** Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud deNouvelle-Calédonie, Rapport BRGM N° R38660, 72 planches.
194. **Mbaye N. (2007) :** Systèmes de production et mutations des paysages ruraux dans la basse vallée du Ferlo au Sénégal, thèse de doctorat, *Université Bordeaux III – Michel de Montaigne, 317 p.*
195. **Mbolo M. (2002):** La collecte et analyse des données statistiques sur les PFNL. Une recherche pilote au cameroon. FAO. Rome. 137 p.
196. **McGarigal K. et Marks B. J., (1995):** *Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Structure*. Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-351 p. Oregon, USA. (disponible sur Internet http: // www.fs.fed.us/pnw/pubs/ gtr_351.pdf).
197. **McIvor J.G., Williams J., Gardener C.J. (1995):** Pasture management influences runoff and soil movement in the semi-arids tropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture,* vol. 35, pp. 55-65.
198. **MECCAGPDPE-PNUD, (2000) :** *Dynamique démographique, question agraire, et urbanisation au Bénin. Etudes Nationales de Perspectives à long terme. NLTPS-BENIN 2025*. Ministère d'Etat Chargé de la Coordination de l'Action Gouvernementale, du Plan, du Développement et de la Promotion de l'Emploi (MECCAGPDPE), et le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), 147 p. + Annexes.
199. **Mercier D. (2004):** Le commentaire de paysages en géographie physique, Armand collin, 256 p.
200. **Meyer L.D. (1960):** Use of the rainulator for runoff plot research. Soil Sci. Soc. Amer Proc., 24, pp. 319-322.
201. **Miétton M. (1998):** Dynamique de l'interface Lithosphère-Athmosphère au Burkina-Faso, L'érosion en zone de savane. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Grenoble, 511 p.
202. **Moir W.H., Ludwig J.A., Scholes R.T. (2000):** Soil erosion and vegetation in grasslands of the Peloncillo Mountains, New Mexico. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 64, pp. 1055-1067.
203. **Mondjannagni A. C. (1977) :** Campagnes et villes au sud de la République Populaire du Bénin, Thèse de Doctorat. Editions Mouton-Paris, 615 p.
204. **Morgan R.P.C. (1990):** Modelling the effect of vegetation on air flow for application to wind erosion control. In *Vegetation and erosion: processes and environments*. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 85-98.
205. **Morgan, R.P.C. (1973)**: The influence of scale in climatic geomorphology : a case study of drainage density in West Malaysia. Geografiska Ann. 55 A, pp. 107-115.
206. **Morin S., (1981):** L'évolution actuelle des milieux au Cameroun central et Occidental, Travaux de l'institut de géographie de Reins, 45-46, pp. 117-139
207. **Morin S., (1982) :** Types d'évolution des versants dans l'Ouest –Cameoun, Travaux du Laboratoire de Géographie physique Appliquée, Université de Bordeaux III, 6, pp. 39-96

208. **Morschel J., et Fox D.**, **(2004):** *Une méthode de cartographie du risque érosif: applicationaux collines du Terrefort lauragais*, France. Université de Nice. M@ppemonde 76(2004.4)http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles.art04404.html. 11 p.
209. **Moser S. C. (1996):** A Partial Instructional Module on Global and Regional Land Use/Cover Change: Assessing the Data and Searching for General Relationships. Geojournal 39(3) : pp. 241-283.
210. **Musy, A., Soutter, M., (1991) :** Physique du sol, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 335 p.
211. **Naulin H. et Triplet A. (2003) :** Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale ; parcs régional des parcs, édition : François MULET/PNR des Caps et Marais d'Opale ; SIB Imprimerie imprimé sur papier recyclé ; 44 p.
212. **Neyroud J.-A. (1990) :** La sensibilité spécifique du sol à l'érosion. Revue suisse d'agriculture. pp. 207-213
213. **Nicolau, J. M., Sole, A., Puigdefabregas, J., Gutierrez, L., (1996):** Effects of soil and vegetation on runoff along a catena in semi-arid Spain. *Geomorphology* 14, pp. 297-309.
214. **OBEMINES (1989):** Notice explicative de la Géologie † 1/200 000. Bénin, 77 p + carte
215. **Ogouwalé E., (2006) :** Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, Scénarios et Prospectives de la sécurité alimentaire. *Thèse de doctorat*, Université d'Abomey-Calavi, 277 p.
216. **Olivry J. C. (1977) :** Transport solides en suspension au Cameroun, In erosion and solid Mater Transport in Inland waters, Actes du colloque de Paris, Juillet 1977, International Association of Hydrological Sciences (IAHS), publication, pp. 134-141
217. **Oloukoi J. (2006) :** Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin. In contemporary publishing international, 6 (4), pp. 305-323.
218. **Oloukoi J. (2011) :** Utilité de la télédétection et des systèmes d'information géographique a / dans l'étude de la dynamique spatiale de l'occupation des terres au centre du bénin. Thèse de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 305 p.
219. **Oloukoi J., (2013) :** Scénario socio-économique et écologique des changements de l'occupation du sol au Bénin », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 13 Numéro 1 | avril 2013, mis en ligne le 16 avril 2013, consulté le 02 février 2014. URL : http://vertigo.revues.org/13267 ; DOI : 10.4000/vertigo.13267
220. **Oloukoi J., Mama V.J. & Agbo F. B., (2006) :** Modélisation de la dynamique de l'occupation du sol dans le Département des Collines au Bénin. *Télédétection* **6** (4) : pp. 305-323.
221. **OMM., (1992) :** Guide des pratiques hydrologiques, Organisation météorologique mondiale, *Publication n° 168*, Genève, 793 p.
222. **Orékan V., Tente B., Houndagba C. J. et Abdoulaye D., (2010) :** Occupation des terres et dynamique du couvert végétal. In : Sinsin B & Kampmann D (eds), 2010, Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest, Tome I : Bénin. Cotonou & Frankfurt/Main, pp.154 – 166

223. **Ouattara T., (2002) :** Modélisation de l'érosion hydrique en milieu semi-aride de forte énergie de relief à partir de données de Télédétection : Application à la Bolivie. Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke, 170 p.
224. **Ouédraogo A., (2006) :** Diversité et dynamique de la végétation ligneuse dans la partie orientale du Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 230 p.
225. **Oumar O. A. (2002) :** Etudes d'organisation des bassins transfrontaliers : cas de l'autorité du bassin du Niger, Rapport de réunion, Niamey, 41 p.
226. **Ouorou B. F. I. (2014) :** Contraintes climatiques, pedologiques et production agricole dans l'atacora (nord-ouest du benin), thèse de doctorat, UAC/FLASH/DGAT.241 p.
227. **Oyédé L. M. (1983) :** Un exemple de sédimentation biodétritique quaternaire dans le domaine margino-littoral en climat tropical humide : le « lac » Ahémé, (Bénin –Afrique de l'ouest). Thèse de doctorat de troisième cycle Géologie sédimentaire, UNB et Université de Djion, 171 p.
228. **Oyédé M. L. (1991) :** Dynamique sédimentaire actuelle et messages enregistrés dans les séquences quaternaires et néogène du domaine margino-littoral du Bénin (Afrique de l'ouest). Thèse de doctorat nouveau régime, Université de Bourgogne et Université Nationale du Bénin, 302 p.
229. **Oyédé L. M., Lang J. et Tswlassou G., (1988) :** Un exemple de sédimentation biodétritique, holocène en climat tropical humide : le ‘’lac’’ Ahémé (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Journal of Earth Sciences*, 7, 516, pp. 835-855.
230. **Oyédé L. M., Kaki C.** et **Laïbi R., (2007) :** Environnement sédimentaire, morphologie et faciès du lac Ahémé dans le complexe lagunaire sud-ouest béninois. *Annales des Sciences agronomiques du Bénin*. Volume 9, Numéro 1, pp. 75-98.
231. **Pagney, P., Frecaut, R., (1983) ;** Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial. Masson, PARIS, 239 p.
232. **Papy F., Boiffin F. et Doyer C. (1988) :** Influence des systèmes de cultures sur les risques d'érosion par le ruissellement concentré, Tome II : Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. Agronomie, INRA, 8, pp. 745-756
233. **Pétard J. (1993) :** Les méthodes d'analyses. Tome I. Analyses des sols. Notes techniques n°5. Orstom, Nouméa, 196 p.
234. **Petit F. E., Cosandey C. et Muxart T., (1987) :** Défrichements de terres agricoles et risque érosif, un exemple dans le sud du Massif Central français. *Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie*, n° spécial des Études Vauclusiennes, vol. 21, n° 3-4, pp. 219-227.
235. **Perraud A. et Souchère P. (1971) :** Esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle de 1/500000. Feuille Sud-Est. Édit. ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé.32 p.
236. **Pihan J. (1979) :**Risques climatiques d'érosion hydrique des sols en France. *Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen* (Strasbourg, 1978), pp. 13-18.
237. **Pofagi K. M. et A. Tonouewa (2001) :** Renversement de la Tendance à la dégradation des terres et des eaux dans le bassin Béninois du Fleuve Niger. PNUD, septembre 2001.

238. **Pontius, R. G., Millones M. (2011):** Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. International Journal of Remote Sensing 32(15): pp. 4407-4429.
239. **Poss R. et Rossi G., (1987) :** Influence des réorganisations superficielles sur l'infiltration dans les Terres de Barre (Togo méridional). Cahier ORSTOM, séri. *Pédol*., vol. XXV, n°4, pp. 405-415.
240. **Prasuhn V., (2007) :** Carte du risque d'érosion du sol en Suisse, Revue suisse Agric. N°39. pp. 53-59
241. **Proffitt A.P.B. et Rose C.W. (1991):** Soil erosion processes. II. Setting velocity characteristics of eroded sediment. *Australian Journal Research,* vol. 29, pp. 685-695.
242. **Puigdefábregas, J., (2005):** The role of vegetation patterns in structuring runoff and sedimentfluxes in drylands. *Earth Surface Processes and Landforms,* 30, pp. 133–147.
243. **Puigdefábregas, J., Sole, A., Gutierrez, L., Del Barrio, G., Boer, M., (1999):** Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews* 48 (1-2), pp. 39-70.
244. **Puyravaud, J. P., (2003):** Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management,* 177, 1–3, pp. 593–596
245. **Pye K., Blott S.J. (2008):** Decadal-scale variation in dune erosion and accretion rates: an investigation of the significance of changing storm tide frequency and magnitude on the Sefton coast, UK. *Geomorphology* 102, 3-4, pp. 652-666.
246. **Quétier F. (2006) :** Vulnérabilité des écosystèmes semi-naturels européens aux changements d'utilisation des terres. Application aux prairies subalpines de Villar d'Arène, France, thèse de doctorat ; Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France, 269 p.
247. **Quinton, J.N., Edwards, G.M., Morgan, R.P.C., (1997):** The influence of vegetation species and plant properties on runoff and soil erosion: results from a rainfall simulation study in south east Spain. Soil Use Manage. 13, pp. 143–148.
248. **Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K., Bardgett, R.D., (2010):** The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience,* 3, pp. 311–314.
249. **Rey F. (2002) :** Influence de la distribution spatiale de la végétation sur la production sédimentaire de ravines marneuses dans les Alpes du Sud. Thèse de doctorat. Grenoble : Université Joseph Fourier / Cemagref, 183 p.
250. **Rey F., Chauvin C., Richard D., Mathys N., Rovéra G. et Morel A., (2002) :** Le piégeage des sédiments marneux par des barrières végétales (Alpes du Sud, France). Bull. Réseau Erosion N° 21 : pp. 331-345.
251. **Rey F., Ballais J. L., Marre A. et Rovéra G**., (**2004) :** Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. C. R. Geoscience 336 : pp. 991–998.
252. **Rishirumuhirwa T**. **(1994) :** Facteurs anthropiques de l'érosion dans les montagnes et hauts plateaux aux Burundi, Rwanda, et Zaïre, cahiers d'Outre-Mer, 47 (185), Janvier-mars 1994 ; pp. 23-34.
253. **Roche International, (1999) :** Etude de projet d'aménagement des plans d'eau du Sud-Bénin. Volume III, Tome III. *Rapport final,* 101p+annexes
254. **Roche M. (1986) ;** Dictionnaire français d'hydrologie de surface, Masson, Paris, 228 p.
255. **Roche P., (1998) :** *Dynamique de la biodiversité et action de l'homme*. Rapport ENV-SRAE – 94233, Paris, France. 6 p.

256. **Roger W. and Guy E. (2000):** Modelling land use change with linked cellular automata and socio-economic models: a tool for exploring the impact of climate change on the island of St Lucia, in Spatial Information for Land Use Management Eds M J Hill, R J Aspinall (Gordon and Breach, Amsterdam), pp. 189-204.
257. **Rogers R.D., Schumm S.A. (1991):** The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield. Journal of Hydrology, n° 123, pp. 19-24.
258. **Roose E., (1977) :** Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Travaux et document de l'ORSTOM 78. 108 p.
259. **Roose E. (1977):** Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In: Greenland, J., Lal, R. (Eds.). Conservation and Soil Management in the Humid Tropics. Wiley, Chichester, England, pp. 177–187.
260. **Roose E. (1980) :** Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Thèse Doct. ès Sciences, Université d'Orléans, 587 p. In: *Travaux et Documents* de l'ORSTOM, Paris, n° 130, 569 p.
261. **Roose E. (1985) :** Dégradation des terres et développement en Afrique de l'ouest, ORSTOM, pp. 505-535.
262. **Roose E., (1993) :** Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale. In Floret et Serpantié (éd., 1993) : pp. 223-244.
263. **Roose É., De Noni G. et Lamachère J.M. (1998) :** L'érosion : 40 ans de recherches multidisciplinaires. *ORSTOM Actualités*, n° 56, pp. 2-9.
264. **Rossi G. et Antoine A., (1990) :** Impacts hydrologiques et sédimentologiques d'un grand barrage : l'exemple de Nangbéto (Togo-Bénin), *Rev. Géom. Dyn*. N° 39 (2), pp. 63-77.
265. **Rossi G. et Blivi A. B., (1995) :** Les conséquences des aménagements hydrauliques de la vallée du Mono (Togo-Bénin). S'aura-t-on gérer l'avenir ? *Cahiers d'Outre-Mer*, n° 48, (192), pp. 435-452.
266. **Rubio, J. L., Forteza, J., Andreu, V. et Cerni R. (1997):** Soil profil characteristics influencing runoff and soil erosion after forest fire : a case study (Valencia, Spain). *Soil Technology*, 11, pp. 67-78.
267. **Saïdou A., Adjei-Nsiah S., Kossou D., Sakyi-Dawson O. & Kuyper T. W., (2007):** Sécurité foncière et gestion de la fertilité des sols : études de cas au Ghana et au Bénin. *Cahiers Agricultures* : **16** (5) : pp. 405-412.
268. **Sanchez G., Puigdefabregas J. (1994):** Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment. Geomorphology, vol. 9, pp. 243-260.
269. **Sarr M.A., (2009) :** Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, article 472, mis en ligne le 07 octobre 2009, consulté le 30 octobre 2012. URL : http://cybergeo.revues.org/22707; DOI : 10.4000/cybergeo.22707
270. **Saura S., (2002):** Effects of minimum mapping unit on land cover data spatial configuration and composition. *Int. J. Remote sensing* 23: pp. 4853-4880.
271. **Schlaepfer R., (2002) :** *Analyse de la dynamique du paysage*. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse. 10 p.

272. **Schwartz D. (1995) :** Méthodes statistiques à l'usage des médécins et des biologistes, 4è édition, Editions médicales Flammarion, Paris, 314 p.
273. **Servat E., and Dézetter A. (1991) :** Prise en compte du type d'occupation des sols dans une modélisation pluie-débit en savane soudanaise ; paper presented at AISH ; Congress, Vienne (Autriche), AISH éd. 13 p.
274. **Sinsin B., (1991b) :** Saison de végétation et production de phytomasse dans les pâturages naturels du nord-Bénin. In actes du séminaire sur l´influence du climat sur la production des cultures tropicales. Ouagadougou, Burkina Faso. IFS-CTA, Stockholm Suède, pp. 281-292.
275. **Sintondji, L., (2005):** Modelling the rainfall-runoff process in the Upper Ouémé catchment (Terou in Benin republic) in a context of global change: extrapolation from the local to the regional scale. PhD Thesis in Hydrology and Environmental management of the Mathematics and the Natural Sciences Faculty of the University of Bonn, 205 p.
276. **Slansky M., (1959) :** Contribution à l'étude géologique du Bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. *Thèse*. Univ. Nancy, série 59, n° 165 et 1962, Mém. BRGM n° 11, 170 p.
277. **Slansky M**., (**1962) :** Contribution à l'étude du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. *Mémoire du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*. Edition Technip, Paris 7è, 223 p
278. **Smith D. D. et Wischmeier W. H., (1960):** The universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Transactions of the 7 th International Congress on Soil Science,* tome 1, pp. 418-425.
279. **Sounon Bouko B., Sinsin B. et Bio Goura B., (2007) :** Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin.*Tropicultura,* **25** (4) : pp. 193-199.
280. **Sutcliffe J. V. et Piper B, S., (1986) :** Bilan hydrologique en guinée et Togo-Bénin. *Hydrol. Continent.* Vol I, n°1, pp. 51-61.
281. **Tahri M., Merzouk A., Lamb H.F. et Maxted R.W. (1993) :** Étude de l'érosion hydrique dans le plateau d'Imelchil dans le Haut Atlas central. Utilisation d'un SIG. *Géo Observateur*, n° 3, pp. 51-60.
282. **Tansley A. G., (1935):** The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. Ecology, Vol. 16, No. 3 (Jul., 1935), pp. 284-307
283. **Tchawa P. (1993) :** La dégradation des sols dans le Bamiléké méridional, conditions naturelles et facteurs anthropiques, Cahiers d'Outre-mer, 46 (181), Janvier-mars 1993, pp. 75-104.
284. **Tchibozo C.F., (1981) :** Structure et dynamique des milieux naturels. Contribution à l'étude biogéographique de la région de l'Atakora. Etude typologique des unités de paysage du versant oriental de la chaîne de l'Atakora (Natitingou). Thèse de 3e Cycle, Université de Paris VII-Jussieu. Paris. 236 p. + Cartes h.-t. à 1/50 000è.
285. **Tchibozo C.F., (2014) :** Structure et Dynamique des paysages de la Chaîne de l'Atacora (Etude biogéographique des mutations du milieu biophysique). Thèse de doctorat d'Etat de l'Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 232 p.
286. **Tchibozo C.F., Houndagba C. J., Bamisso V., Oliveira (d') B. et Quenum Y. B. (2002):** Dimensions environnementales et économiques de l'exploitation des bas-fonds dans le Centre-Bénin. Monographie n°24, ARPAN- WI, USA, 33 p.

287. **Tenté B. A. H. (2004) :** Recherche sur les facteurs de la diversité floristique des versants du massif de l'Atacora : Secteur Perma-Toukountouna (Bénin). Thèse de doctorat unique, de l'université d'Abomey-Calavi, Bénin, 246 p.
288. **Tenté A. B. H., (2009):** Dynamique actuelle de l'occupation du sol sur le plateau d'Allada : cas de la Commune de Tori-Bossito (sud-Bénin). *In Climat et Développement* n°8, octobre 2009 : pp. 95-105.
289. **Tenté A. B. H., (2009) :** Problématique de gestion des lieux sacrées inclus dans les aires protégées de l'état. Revue en Sc de l'environnement. Tome 2 ; pp. 7-20.
290. **Tenté A. B. H. et Gibigayé M., (2011) :** Etat actuel des forêts sacrées du sud-Bénin et facteurs explicatifs de leurs dégradation : cas des arrondissements de Zinvié et de Kpanroun. IMO-IRIKISI, Vol 3, N°1, 1er semestre 2011, FLASH-UAC ; pp. 53-63
291. **Tessier L., (2003) :** Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la seine: identification de signatures naturelles et anthropiques. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 262 p.
292. **Thèbe B. (1987) :** Hydrodynamique de quelques sols du Nord Cameroun, bassins versants de Mouda, Contribution à l'étude des transferts d'échelles, Thèse de l'Université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, 238 p.
293. **Toffi M., (2008) :** Le climat, l'homme et la dynamique des écosystèmes dans l'espace littoral du Bénin. Thèse de Doctorat unique. Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 390 p.
294. **Tohinlo P. J. Y. (2001) :** Durabilité des modes d'exploitation des ressources naturelles en milieu fluvio-lacustre : cas de Agonvè (Sous-préfecture de Zagnanado, Thèse d'Agronomie, FSA, UAC, 123 p.
295. **Tohozin A. Y. (1999) :** Politiques agricoles, stratégies paysannes et dynamiques de l'espaces rural dans les basses vallées de l'Ouémé au Bénin et de la volta au Ghana. Thèse de doctorat unique, Université de Montpellier III. 511 p.
296. **Tohozin A. Y. (2011) :** A la recherche des logiques paysannes dans la basse vallée de l'Ouémé au Bénin. Mélange en l'honneur du professeur Alfred Comlan Mondjanagni ; pp. 167-191.
297. **Tohozin A. Y. et Agbomahenan S., (2012) :** Contraintes pédologiques au développement agricole dans la commune de Djidja (Bénin), «Les cahiers des Maîtrises Professionnelles » de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) ISSN 1840-5835 Vol.4, n°6, juillet 2012, pp. 103-116.
298. **Toko Imorou I., (2008) :** Etude de la variabilité spatiale de la biomasse herbacée, de la phénologie et de la structure de la végétation le long des toposéquences du bassin supérieur du fleuve Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 241 p.
299. **Toko Mouhamadou I., (2014) :** Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des îlots de forêts denses sèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin, thèse de doctorat unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 231 p.
300. **Totin V.S.H., (2010) :** *Sensibilité des eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier du Bénin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : Stratégies de gestion durable.*Thèse de Doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 283 p.
301. **Touaïba B. et Achite M., (2003) :** Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 48, n° 2, pp. 235-242.

302. **Tribak A., (2000) :** L'érosion hydrique en moyenne montagne du Pré-rif oriental (Maroc). Etude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. Thèse de doctorat d'Etat, Université Chouaib Doukkali, 351 p.
303. **Tribak A., (2002) :** Contraintes du milieu et fragilité d'un espace montagnard marocain : les montagnes du Prérif oriental. Annales de géographie, Armand Colin, Paris, 625 : pp. 227 – 245.
304. **Tribak, A., EL Garouani A. et Abahrour M., (2006) :**"Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans un.espace montagnard marocain : cas du sous bassin versant de l'Oued Tleta, Prérif oriental " In : ISCO - Marrakech: pp. 1-10
305. **Tricart J. et Cailleux A., (1957) :** Géomorphologie structurale, Fascicule, Géomorphologie des régions de plates formes. CDU, 5 places de la Sorbonne, Paris V, 252 p.
306. **Tricart J. (1965) :** Principes et Méthodes de la géomorphologie, Masson et Cie, Paris, 496 p.
307. **Tricart J., Rochefort M. et Rimbert S. (1972) :** Initiation au travaux pratiques de Géographie, S.E.D.E.S, Sorbonne-Paris, 115 p.
308. **Tricart J. (1977) :** Précis de Géomorphologie, Tome II, géomorphologie dynamique générale. C.D.U. et S.E.D.E.S, Paris, 115 p.
309. **Tricart J. (1978) :** Géomorphologie applicable, collection de géographie applicable, Masson, 204 p.
310. **Turc, L., (1955) :** Le bilan d'eau des sols : relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Annales agronomiques*, vol. 6, n° 1, pp. 3-133.
311. **Valadas B. (2004) :** Géomorphologie dynamique, Collection Campus, Armand collin, Paris, 192 p.
312. **Van Diepen et Caille X. (1989)** : L'érodibilité des terrains sableux du Zaïre et contrôle de l'érosion. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. n° 1 & 2, Paris, pp. 197-208.
313. **Van-Dijk P.M., Kwaad F.J.P.M., Klapwijk M. (1996):** Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological Processes*, vol. 10, pp. 1069-1080.
314. **Verburg, P.H., Soepboer, W., Vedkamp, A., Limpiada, A. V. (2002):** Modelling the spatial dynamics of regional land use : Environmental Management 30 (3) : pp. 391-405.
315. **Verburg, P. H., Berkel, Dv, Doorn, Av, Eupen, Mv et Heiligenberg, HARMv (2010) :** Trajectoires du changement d'utilisation des terres en Europe: une exploration basée sur un modèle de contrats à terme rurales, LandscapeEcology 25 (2): pp. 217-232.
316. **Vermont Geological Survey and Environmental Engineering (1987):** Vermont Handbook for Soil Erosion and Sediment Control on Construction Sites, Special Publication N°. 3, 49 p.
317. **Viguier J.M. (1993) :** *Mesure et modélisation de l'érosion pluviale. Application au vignoble de Vidauban (Var).* Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille II, 335 p.
318. **Vink A. P. A., (1983):** *Landscape ecology and land use*. Longman, New York, USA. 264 p.
319. **Vissin E. W. (2007) :** Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve niger, *Thèse de doctorat*, Université de Bourgogne, Centre de recherches de climatologie, CNRS-UMR 5210, Dijon, 310 p.
320. **Vodounou J. B. (2010) :** Les systèmes d'exploitation des ressources naturelles et leurs impacts sur les écosystèmes dans le bassin de la Sô au Bénin-Afrique de l'ouest. Thèse de doctorat UAC/Bénin 305 p.

321. **Vodounou J. B. et Houndagba C. J. (2007) :** Typologie des bas-fonds et systèmes de mise en valeur agricole dans la Commune de Ouèssè au Bénin. Revue N°3 du LaRBE : Science de l'environnement, Presse de l'UL, pp. 87 -108.
322. **Volkoff B., Willaime P., (1963) :** Notice explicative de la carte des sols au 1/1 000 000 de la République du Dahomey. *Rapport annuel 1962*, Centre ORSTOM de Cotonou, mult., pp.1622–1626.
323. **Volkoff B., (1965) :** Les sols de la zone littorale du Dahomey. Etude préliminaire. Notice explicative de la carte pédologique de reconnaissance au 1/50.000 Ouidah et Porto-Novo. ORSTOM, Cotonou 23 p +1 carte.
324. **Volkoff B. (1970) :** Carte pédologique de reconnaissance du Dahomey au 1/200000. Feuille de Porto-Novo, recherche n°121. ORSTOM, Cotonou-Bénin, 80 p + annexes.
325. **Volkoff B.** et **Willaime P., (1976) :** Carte pédologique de reconnaissance de la République du Bénin à 1/200.000 : Notice explicative n° 66 (1) ORSTOM. Paris 39 p.
326. **Voltz M., Andrieux P., Bouzigues R., Lennartz B., Louchart X., Moussa R. et Ribolzi O. (1998) :** Transport of water and matter in a farmed sedimentary soil system in the mediterranean environment. *16^{e} Congrès Mondial de Science du Sol* (Montpellier, 1998), 6 p.
327. **Vuillaume G. (1969) :** Analyse quantitative du rôle du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion en zone sahelienne. Cah. ORSTOM, ser. Hydrol. 6 pp. 87-132.
328. **Wassmer, P. (1984) :** L'érosion et ses variables régulatrices dans un boisement d'*Eucalyptus*, l'exemple du boisement de Josi, Bulletin agricole du Rwanda, 2, pp. 94-99
329. **White, R. and Engelen, G. (1993):** Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns, Environment Planning A, vol. 25, pp. 1175-1199.
330. **Windmeijer P. N. et Jamin J.Y. (1995):** Méthodes de caractérisation agro-écologique des bas-fonds et jeux de données minimums. Quelques résultats d'un atelier méthodologique. Rapport annuel du CBF, pp. 19-31.
331. **Wischmeiewr H. et Smith D. D. (1960):** An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. *7th Intern. Congr. Soil Sci.,* vol. 1, pp. 418-425.
332. **Wischmeier W. H. et Smith D. D., (1978):** Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agricultural Handbook, 537. U.S.D.A – S.E.A, Washington DC, 60 p.
333. **Wokou C. G. (2014):** Croissance démographique, Evolution climatique et mutations agricoles et environnementales dans le basin versant du zou au Bénin, Thèse de doctorat unique. UAC Bénin, 249 p.
334. **Yabi I. (2008) :** Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le centre Bénin, Thèse de doctorat unique de géographie, UAC/FLASH/EDP, 239 p.
335. **Zannou (2011) :** Analyse et modélisation du cycle hydrologique pour la GIRE au Bénin : Cas du bassin de l'Ouémé à Bétérou, thèse de doctorat, FAST/UAC, 356 p.
336. **Zro B.G.F., Okaingni J.C. et Kouamé K.F. (2011) :** Cartographie des sols hydromorphes de la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire) par l'approche du Spectral Angle Mapper (SAM). Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, n° 195, pp. 31-41.
337. **Zro B.G.F., Yao-Kouamé A. et Kouamé K.F. (2012) :** Évaluation spatiale et statistique de la fertilité rizicole des sols hydromorphes (gleysols) de la région du Bélier (Côte d'Ivoire). Tropicultura, vol. 30, n°4, pp. 236-242.

338. **Zro B.G.F., Kotchi V., Soro D., Niangoran C. K., Bakayoko S. et Kouamé K. F. (2014) :** Intégration de données topographiques et hydrographiques en vue de la localisation des zones humides potentielles de fond de vallée : cas d'un périmètre de la région du Bélier en Côte d'Ivoire. Physio-Géo, 2014, volume VIII, pp. 231-249.

Sites Web

1. www. geomorphologie.revues.org/223 du 01/02/2013
2. www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne/sols/mieux/climatique4.html.26/02/2006-13h20 : Mieux connaître les sols : Sols et changements climatiques.
3. eduterre.inrp.fr/eduterre-usages/nappe/html/scenarii/TP/tp1.htm : Etude de la porosité et de la perméabilité, by Vallee, Eduterre-usages, Dernière modification 25/02/2008.
4. www.icc.es/lucc/sciencep/scienceplan.html
5. mappemonde.mgm.fr/num4/articles.art04404.html.
6. www.fs.fed.us/pnw/pubs/ gtr_351.pdf).
7. www.environment.fi/syke/rebecca
8. www.ramsar.org/sitelist.pdf.
9. www.spatial-modelling.info/ Cellular-Automata-SPACELLE
10. www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/ du 20/12/2013

Liste des figures

Figure 1	**:**	Processus de ruissellement	**21**
Figure 2	**:**	Différentes formes de bassin versant	**22**
Figure 3	**:**	Répartition spatiale des stations météorologiques et hydrométriques utilisées	**38**
Figure 4	:	Organigramme des étapes du traitement des images Landsat	**55**
Figure 5	:	Relations entre états d'occupation du sol définis par les 7 règles de transition sous SpaCelle	**61**
Figure 6	:	Organigramme des étapes de cartographie des secteurs d'érosion	**65**
Figure 7	:	Réseau hydrographique, Sites de prélèvement d'échantillon de sédiments et positionnement des transects	**68**
Figure 8	**:**	Cadre conceptuel de l'analyse des résultats	**73**
Figure 9	**:**	Situation géographique de la basse vallée de l'Ouémé	**75**
Figure 10	**:**	Régime pluviométrique de la basse vallée de l'Ouémé	**76**
Figure 11	:	Fréquence des pluies de la journée et celle de la nuit à Cotonou de 1981-2010	**78**
Figure 12	**:**	Formations géologiques simplifiées de la basse Vallée de l'Ouémé	**79**
Figure 13	**:**	Coupe géologique de la basse vallée de l'Ouémé	**80**
Figure 14	**:**	Différents types de sols de la basse vallée de l'Ouémé	**82**
Figure 15		Réseau hydrographique de la basse vallée de l'Ouémé	**86**
Figure 16	**:**	Evolution de la population à l'échelle des Communes cibles	**90**
Figure 17	**:**	Evolution de la densité de population de la basse vallée de l'Ouémé de 1979 à 2013	**92**
Figure 18	**:**	Techniques agricoles pratiquées dans la basse vallée de l'Ouémé	**96**
Figure 19	:	Evolution du rendement par spéculation dans la basse vallée de l'Ouémé	**97**
Figure 20	**:**	Techniques culturales pratiquées dans la basse vallée de l'Ouémé	**98**
Figure 21	**:**	Evolution des indices pluviométriques dans la basse vallée de l'Ouémé	**103**
Figure 22	**:**	Répartition spatiale de l'indice d'agressivité climatique	**105**
Figure 23	:	Variabilité inter mensuelle de l'ETP à la station synoptique de Cotonou de 1965 à 2011	**107**
Figure 24	**:**	Variation saisonnière du bilan climatique moyen (1965-2011)	**108**
Figure 25	**:**	Variation interannuel du ruissellement dans la basse vallée de l'Ouémé (1965-2011)	**109**
Figure 26	**:**	Profils pédologiques des sols dominants de la basse vallée de l'Ouémé	**112**
Figure 27	:	Profil agro-écologique de la basse vallée de l'Ouémé entre Dangbo et Dèkin	**114**
Figure 28	:	Variation de l'altitude dans la basse vallée de l'Ouémé	**115**
Figure 29	**:**	Différentes types de pentes de la basse vallée de l'Ouémé	**117**
Figure 30	**:**	Profil longitudinal de la basse vallée de l'Ouémé entre Bonou et Aguégués	**119**
Figure 31	**:**	Profil en long du chenal de la basse vallée de l'Ouémé	**120**
Figure 32	**:**	Unités morphologiques et localisation des villages d'enquêtes	**121**
Figure 33	**:**	Evolution des unités d'occupation du sol au cours des années 1992; 2002 et 2012	**125**
Figure 34	**:**	Distribution des différentes unités d'occupation du sol en 1992 (en pourcentage de la surface totale)	**126**
Figure 35	**:**	Distribution des différentes unités d'occupation du sol en 2002 (en pourcentage de la surface totale)	**127**
Figure 36	**:**	Distribution des différentes unités d'occupation du sol en 2012 (en pourcentage de la surface totale)	**128**
Figure 37	**:**	Etat de changement de l'occupation du sol entre 1992 et 2002	**130**
Figure 38	**:**	Etat de changement de l'occupation du sol entre 2002 et 2012	**132**

Figure 39	**:**	Etat de changement de l'occupation du sol entre 1992 et 2012	**135**
Figure 40	:	Synthèse de la dynamique des superficies des états de surface de 1992 à 2012	**138**
Figure 41	**:**	Exemple détaillé de la situation simulée en 2012 avec la situation réelle de 2002	**140**
Figure 42	**:**	Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario "stabilité environnementale" à l'horizon 2050	**143**
Figure 43	**:**	Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario " catastrophe naturelle" à l'horizon 2050	**145**
Figure 44	**:**	Profil agro-pédologique au niveau du transect réalisé à Gnanhoui-Zounmè	**148**
Figure 45	**:**	Sédiments piégés à Gnanhoui-Zounmè	**150**
Figure 46	**:**	Profil agro-pédologique au niveau du transect réalisé à Djougoudouta	**151**
Figure 47	**:**	Profil agro-pédologique au niveau du transect réalisé à Gouti	**155**
Figure 48	**:**	Quantité de sédiment entraînée par l'eau ruisselante	**158**
Figure 49	**:**	Spatialisation des milieux érodés dans la basse vallée de l'Ouémé	**163**
Figure 50	**:**	Répartition granulométrique du poids des sédiments	**165**
Figure 51	**:**	Répartition granulométrique de la taille des sédiments	**166**
Figure 52	**:**	Répartition des sédiments et leur abondance dans la basse vallée de l'Ouémé	**167**
Figure 53	**:**	Typologie des billonnages en fonction de la position topographique	**184**
Figure 54	**:**	Technique de talus végétalisée à utiliser dans la basse vallée de l'Ouémé	**185**
Figure 55	**:**	Diguettes en courbes de niveau avec déversoir	**187**
Figure 56	**:**	Exemple d'un ouvrage de diversion pour l'épandage des crues	**188**
Figure 57	**:**	Modèle pour le maintien et la sauvegarde des formations végétales de la basse vallée de l'Ouémé	**191**
Figure 58	:	Modèle de lutte contre l'érosion pluviale dans la basse vallée de l'Ouémé	**196**

Liste des tableaux

Tableau I	**:**	Matériel utilisé	**35**
Tableau II	:	Caractéristiques des stations hydrométriques retenues pour l'étude	**37**
Tableau III	**:**	Répartition des villages cibles par Commune et par type de relief	**44**
Tableau IV	**:**	Caractéristiques de l'échantillon utilisées	**45**
Tableau V	**:**	Classes de relief des bassins versants en fonction de D_S	**50**
Tableau VI	**:**	Clé d'interprétation des images satellitales	**53**
Tableau VII	**:**	Degré d'accord et valeur de Kappa	**56**
Tableau VIII	**:**	Caractéristiques de quelques outils de modélisation	**58**
Tableau IX	**:**	Différentes classes retenues pour l'interprétation des unités paysagiques	**59**
Tableau X	**:**	Caractéristiques démographiques de la basse vallée de l'Ouémé de 1979 à 2013	**89**
Tableau XI	:	Débits moyens de hautes et basses eaux en amont et dans la basse vallée de l'Ouémé	**109**
Tableau XII	:	Propriétés physiques des sols	**112**
Tableau XIII	:	Taux de carbone organique des sols	**113**
Tableau XIV	**:**	Paramètres des unités morphologiques de la basse vallée de l'Ouémé	**123**
Tableau XV	**:**	Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 1992 et 2002	**129**
Tableau XVI	**:**	Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 2002 et 2012	**131**
Tableau XVII	**:**	Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 1992 et 2012	**133**
Tableau XVIII	**:**	Taux de couverture végétale des unités d'occupation du sol	**137**
Tableau XIX	**:**	Matrice de confusion (en pourcentage) entre l'occupation du sol issue de la simulation et la situation réelle pour 2012	**141**
Tableau XX	**:**	Projection de la superficie (en km^2 et en %) des unités de l'occupation du sol à l'horizon 2050 selon le scénario de "stabilité environnementale"	**144**
Tableau XXI	:	Projection de la superficie (en km^2 et en %) des unités de l'occupation du sol à l'horizon 2050 selon le scénario de catastrophe naturelle	**146**
Tableau XXII	:	Relevé des piquets d'érosion le long du transect réalisé à Gnanhoui-Zounmè	**149**
Tableau XXIII	:	Relevé des piquets d'érosion le long du transect réalisé à Djougoudouta	**153**
Tableau XXIV	**:**	Relevé des piquets d'érosion le long du transect réalisé à Gouti	**157**
Tableau XXV	**:**	Masse de terre recueillie par campagne de mesure et par unité topographique	**160**
Tableau XXVI	**:**	Secteurs érodés dans la basse vallée de l'Ouémé	**161**
Tableau XXVII	**:**	Etat de dégradation des habitations dans le secteur d'étude	**170**
Tableau XXVIII	**:**	Ravines mesurées dans la basse vallée de l'Ouémé	**173**
Tableau XXIX	**:**	Vitesse de sapement des fondations et Calcul des pertes de terres	**174**
Tableau XXX	**:**	Fondations des habitations érodées dans la basse vallée de l'Ouémé	**174**
Tableau XXXI	:	Critères de construction des digues d'interception	**190**

Liste des photos

Photo 1	:	Prélèvement de carottes de sédiments à Dèkin (Commune de Dangbo)	**67**
Photo 2	**:**	Vue partiel du fleuve Ouémé dans le village de Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon (commune de Bonou)	**87**
Photo 3	**:**	Occupation de la plaine d'inondation du fleuve Ouémé (en arrière plan) à Ananmè dans la Commune d'Adjohoun	**90**
Photo 4	**:**	Maison déchaussée par les eaux de ruissellement dans la Commune d'Adjohoun	**91**
Photo 5	**:**	Champ de maïs (en arrière plan) et d'arachide (au premier plan) dans la Commune de Bonou	**94**
Photo 6	**:**	Transport de bois sur le fleuve Ouémé dans la Commune d'Adjohoun	**100**
Photo 7	**:**	Site de stockage de sable fluviatile de Lokossa dans la Commune d'Adjohoun	**100**
Photo 8	**:**	Pratiques agricoles susceptibles d'augmenter le ruissellement	**139**
Photo 9	**:**	Vue partiel de la morphologie du paysage Bonou à Djougoudou	**152**
Photo 10	**:**	Vue partiel d'une formation herbacée dans la dépression de Gouti (Commune de Adjohoun)	**156**
Photo 11	**:**	Déchaussement de la fondation des marches d'escalier à Anamè (Commune de Adjohoun)	**159**
Photo 12	**:**	Berge du fleuve Ouémé érodée à Assrossa	**160**
Photo 13	**:**	Secteur érodé à Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon	**172**
Photo 14	**:**	Ravin mesuré dans la commune d'Adjohoun	**173**
Photo 15	:	Palissade sur un versant dans le village de Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon (Commune de Bonou)	**176**
Photo 16	**:**	Diguette réalisée dans la plaine d'inondation de Gouti	**178**
Photo 17	**:**	"BO" réalisé à Dèkin	**179**
Photo 18	**:**	Ouvrage de franchissement réalisé pour faciliter le ruissellement et la circulation des personnes dans la Commune de Dangbo	**180**
Photo 19	**:**	Canaux d'évacuation des eaux à Dangbo	**182**
Photo 20	**:**	Plantation de *Acacia auriculoformis* dans le village de Ahouanzonmè dans l'arrondissement de Assrossa	**183**

Liste des planches

Planche 1	**:**	Piquet d'érosion (a) installé à Assrossa (Commune de Bonou) et vue d'en haut d'un Piège à sédiment (b) installé dans un champ de manioc à Gouti (Commune d'Adjohoun)	**36**
Planche 2	:	Pesé (a) et lavage au robinet (b) des échantillons de sédiments au laboratoire	**69**
Planche 3	:	Dispositif de séparation granulométrique des grains de sable au laboratoire	**70**
Planche 4	:	Reste d'un ilôt de forêt (a) à Gnanhouizounmè (Bonou) et plantation de palmier à huile (b) à Houèkpa Dogbamè (Adjohoun)	**88**
Planche 5	:	Buttes de sable (a) apprêtées pour recevoir des plantules de manioc à Akpadanou et champ de manioc (b) dans l'arrondissement d'Adjohoun	**95**
Planche 6	:	Etat du sol après le passage de tracteur (Planche 6.a) et sol apprêté pour la prochaine culture (Planche 6.b) dans l'arrondissement de Damè-Wogon	**99**
Planche 7	:	Sapement des berges du fleuve Ouémé (a) et Palissade servant d'abris (b) pour triturer les noix de palme à Gnanhoui-Zounmè dans l'arrondissement de Damè-Wogon (Commune de Bonou)	**110**
Planche 8	:	Pente moyenne aménagée par la population pour accéder au village de Fanvi dans l'arrondissement de Démè (Commune d'Adjohoun)	**119**
Planche 9	:	Incisions sur une rue à Bonou (a) et Cisaillement de la devanture d'une maison à Dangbo (b)	**170**
Planche 10	:	Rigole des sols sur un tronçon à Dangbo (Planche 10.a) et à Bonou (Planche 10.b)	**171**
Planche 11	:	Protection de la fondation d'une maison par une terrasse en maçonnerie (planche 11a) et en sable latéritique (planche 11b) dans l'arrondissement de Dangbo	**166**
Planche 12	:	Système de billonnage perpendiculaire à la pente sur un haut de versant à Bonou (planche 12a) et billonnage parallèle à la pente à Adjohoun (planche 12b)	**177**
Planche 13	:	Sac rempli de sable pour empêcher le transport des sédiments à Dangbo	**180**

Annexes

Annexe 1 : Articles et Ouvrages publiés

Articles publiés			
N°	**Titre de l'article**	**Auteurs**	**Revues de publication**
1	Erosion pluviale et gestion des terres dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin en Afrique de l'Ouest)	***Saturnin AGBOMAHENAN,*** *Ernest AMOUSSOU et Agossou Brice Hugues TENTE*	Revue spéciale journées scientifiques de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Volume 4, numéro 9, pp 53-65
2	Contraintes pédologiques au développement agricole dans la commune de Djidja (Bénin)	*TOHOZIN Antoine Yves et* ***AGBOMAHENAN Saturnin***	«Les cahiers des Maîtrises Professionnelles » de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) ISSN 1840-5835 Vol.4, n°6, juillet 2012, pp 103-116.
3	Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé	***Saturnin AGBOMAHENAN,*** *Agossou Brice Hugues TENTE et Ernest AMOUSSOU*	Acte du Premier congrès international I SEE GEOMATICS Cartographie et analyse spatiale des Indicateurs Socio-Economiques et Environnementaux (ISEE) pour le Développement Durable Local et Régional (DDLR) ; Tataouine-Tunisie, 25-27 Mars, 2015
4	Impacts environnementaux de l'exploitation des mines d'argiles pour la poterie dans la Commune de Djidja au Bénin	**AGBOMAHENAN S.,** OGOUWALE E., AFOUDA F., HOUSSOU C.	Actes du II^{ème} Colloque des sciences, Cultures, et Technologies de l'UAC ; Abomey - Calavi , du 25 au 29 Mai 2009. (Bénin)
Articles en cours de publication			
	Erosion et dynamique morphologique de la basse vallée de l'Ouémé au Bénin	***Saturnin AGBOMAHENAN,*** *Ernest AMOUSSOU, Henri S. V. TOTIN et Agossou Brice Hugues TENTE*	Physio-Géo
	Agressivité climatique et érosion dans la basse vallée de l'Ouémé (République du Bénin)	***Saturnin AGBOMAHENAN,*** *Henri V. S. TOTIN, Ernest AMOUSSOU et Agossou Brice Hugues TENTE*	Les Cahiers du CBRST, Volume N°008, juin 2015, Société Environnement Développement Cotonou-Bénin,
	Dynamique sédimentaire dans la commune de Bonou en république du Bénin	***Saturnin AGBOMAHENAN,*** *Ernest AMOUSSOU, Henri S. V. TOTIN et Agossou Brice Hugues TENTE*	Les Cahiers du CBRST, Volume N°007, juin 2015, Société Environnement Développement Cotonou-Bénin,
	Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitales et du SIG dans la basse vallée de l'Ouémé	***Saturnin AGBOMAHENAN,*** *Emile EDEA ; Ernest AMOUSSOU et Agossou Brice Hugues TENTE*	Afrique sciences 12 (3) (2016) 137 – 148. ISSN1813-548X, http://www.afriquescience.info (Côte d'Ivoire)

Ouvrages publiés		
N°	**Titre des documents**	**Année de publication**
1	Manuel pédagogique à l'usage des enseignants, des candidats au Bac et aux divers concours	2015
2	Commentaire de documents Historique et Géographique en Tle AB	2014
3	Initiation au commentaire de documents Historique et Géographique en 1ère AB	2012
4	L'art de commentaire Historique et commentaire Géographique	2010
5	Cahier d'activité d'Histoire et de Géographie 2ndeABCD	2008

Participation à des rencontres scientifiques	
1	5ème Colloque de l'UAC des Sciences, Cultures et Technologies du 28 septembre au 3 octobre 2015
2	Journée Porte Ouverte (JPO) de la FLASH de Novembre 2015
3	Quatrième conférence WEST AFRICAN QUATERNARY RESEARCH ASSOCIATION/ASSOCIATION OUEST-AFRIFRICAINE D'ETUDE DU QUATERNAIRE (WAQUA) du 27 au 31 octobre 2014 à l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako (République du Mali)

4	XVI[e] édition des Journées Scientifiques Internationales de Lomé (JSIL2014) du 20 au 25 octobre 2014 sur le Campus de l'Université de Lomé,
5	IV [ème] Colloque des sciences, Cultures, et Technologies de l'UAC ; Abomey - Calavi, du 23 au 28 Septembre 2013. (Bénin)
6	Troisième Colloque de l'UAC des Sciences, Cultures et Technologies du 25 au 29 Mai 2009 au Campus d'Abomey-Calavi
7	Deuxième Colloque de l'UAC des Sciences, Cultures et Technologies du 25 au 29 Mai 2009 au Campus d'Abomey-Calavi

Annexe 2 : Résumés de quelques articles publiés

CONTRAINTES PEDOLOGIQUES AU DEVELOPPEMENT AGRICOLE DANS LA COMMUNE DE DJIDJA

Paru dans

«Les cahiers des Maîtrises Professionnelles » de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) ISSN 1840-5835 Vol.4, n°6, juillet 2012, pp 103-116 ».

AGBOMAHENAN Saturnin[1] et TOHOZIN Antoine Yves[2]

[1]Laboratoire Pierre Pagney, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)/ DGAT/ FLASH / Université d'Abomey-Calavi (Bénin), BP : 526 Cotonou
agbosatur2000@yahoo.fr
2Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales, (229) 95 85 43 47
e-mail : atohozin@yahoo.fr

RESUME

La présente étude est une contribution à une meilleure connaissance des indicateurs et perceptions paysannes sur la dynamique des ressources pédologiques dans la commune de Djidja.

Les données utilisées sont constituées des statistiques pédologiques, des statistiques sur les rendements agricoles de la commune de Djidja des campagnes 1992-2010, et des informations socio-anthropologiques collectées auprès des populations à l'aide des méthodes sociogéographiques.

L'analyse des données ont permis de constater que les populations paysannes détiennent une base d'informations tels les adages sur les faits pédologiques. Pour 77 % des paysans, la colonisation des champs par l'*Imperata cylindrica* est perçue comme signe d'appauvrissement des sols. De même, l'analyse des données pédologiques et des indices d'Allan calculé pour chaque arrondissement de la Commune de Djidja montre que la dynamique des ressources pédologiques a des effets sur la production agricoles obligeant les paysans à développer plusieurs stratégies d'adaptation. Ces stratégies se résument à l'adoption des nouvelles variétés de culture (75 % des actifs enquêtés), Réaménagement du calendrier empirique agricole (77 % des enquêtés), à l'utilisation des produits de fertilisation des terres agricoles (70 % des enquêtés), à l'offrande aux divinités afin d'implorer leur clémence sur la nature (49 %), et à la reconversion dans d'autres activités génératrices de revenus.

Mots clés : Djidja, perceptions, méthodes socio-géographiques, pédologiques, stratégies d'adaptation

EROSION PLUVIALE ET GESTION DES TERRES DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME (Bénin en Afrique de l'Ouest)

Paru dans
«Revue spéciale journées scientifiques de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), Volume 4, numéro 9, pp 53-65».

Saturnin AGBOMAHENAN[1*], Ernest AMOUSSOU[1] et Agossou Brice Hugues TENTE[2]

[1]Laboratoire, Pierre Pagney 'Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement, Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines(FLASH)

[2]Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE), DGAT, FLASH, Université d'Abomey-Calavi, BP 526, Cotonou, Bénin.

**Corespondance , courriel : agbosatur2000@yahoo.fr*

Résumé

La présente étude vise à analyser le lien entre le phénomène érosif et la dégradation des terres agricoles dans la basse vallée de l'Ouémé.

L'installation des piquets d'érosion ont permis d'apprécier le taux de transport des sédiments et l'évaluation des mouvements de particules du bassin. Les pièges à sédiments ont facilité la quantification de la masse de terre déplacée. Des enquêtes de terrain ont permis de mesurer l'adaptation des populations aux effets néfastes de l'érosion hydrique.

Le paysage actuel de la basse vallée de l'Ouémé est soumis, à une dynamique de l'occupation du sol résultant fondamentalement des activités agricoles. Les résultats ont révélé que le bassin est principalement occupé par l'agriculture et l'exploitation des carrières de sable entre 1995 et 2010. La taille des formations végétales naturelles a régressé de 34,25 % au profit des mosaïques de cultures et jachères. Les sols mis à nu à certains endroits sont fragilisés et s'érodent (17 m^3/an). Pour lutter contre cette érosion les paysans pratiquent le billonnage. Ce dernier est perpendiculaire à la pente sur les sommets et les hauts de versant tandis que sur les bas de pente, le billonnage est fait parallèlement à la pente ou rectangulaire.

Mots clés : Basse vallée de l'Ouémé, gestion des terres, adaptation, érodibilité

INFLUENCE DES ACTIONS ANTHROPIQUES SUR LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME

Paru dans
«Acte du Premier congrès international I SEE GEOMATICS Cartographie et analyse spatiale des Indicateurs Socio-Economiques et Environnementaux (ISEE) pour le Développement Durable Local et Régional (DDLR) ; Tataouine-Tunisie, 25-27 Mars, 2015».

Saturnin AGBOMAHENAN[1], Agossou Brice Hugues TENTE[2] et Ernest AMOUSSOU[1]

Laboratoire, Pierre Pagney 'Climat, Eau, Ecosystèmes et développement[1] ; Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE)[2] Université d'Abomey-Calavi, BP 526, Cotonou, Bénin. agbosatur2000@yahoo.fr

Résumé

La présente étude a pour but d'évaluer la dynamique de l'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé entre la période de 1986 à 2013. Elle a permis, grâce à la matrice de transition appuyée par le calcul d'indices de structure spatiale, de montrer que l'occupation du sol a profondément changé.

L'interprétation des images LANDSAT 5 TM 1986 et LANDSAT 8 OLI 2013 appuyé des travaux de terrain ont révélé la savanisation, la fragmentation de l'écosystème forestier et une régression des îlots de forêts dense dans le milieu d'étude. Les ressources forestières (20,37 % du paysage), se sont dégradées au profit des formations anthropiques (+ 19,43 %) telles que les champs et jachère sous palmiers, les mosaïques de champs et jachères. Les pratiques agricoles et techniques culturales inappropriées comme la culture itinérante sur brûlis et le désherbage est la cause du déboisement intense observé dans le bassin. La pression démographique et les pratiques agricoles non durables ont amplifié la modification de l'occupation du sol. Ainsi, les écosystèmes forestiers ont été substitués par des écosystèmes anthropisés menaçant alors la biodiversité du milieu d'étude.

Mots clés : Basse vallée de l'Ouémé, dynamique paysagère, occupation du sol, actions anthropiques, système agraire, biodiversité

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE L'EXPLOITATION DES MINES D'ARGILES POUR LA POTERIE DANS LA COMMUNE DE DJIDJA AU BENIN

Paru dans
«Actes du II^{ème} Colloque des sciences, Cultures, et Technologies de l'UAC ; Abomey - Calavi , du 25 au 29 Mai 2009. (Bénin)».

AGBOMAHENAN S., OGOUWALE E., AFOUDA F., HOUSSOU C.

Département de géographie et aménagement du territoire (DGAT) Université d'Abomey-Calavi (Bénin), BP : 526 Cotonou agbosatur2000@yahoo.fr

Résumé

La poterie dans les pays en développement comme le bénin, occupe une place non négligeable dans la vie socio-économique des ménages. cette activité a des influences sur les différentes composantes environnementales.

la présente étude vise à analyser les impacts de l'exploitation de l'argile sur les ressources physiques et biologiques afin de proposer des solutions. la technique de collecte des données a consisté à la recherche documentaire dans les institutions spécialisées, à la méthode accélérée des recherches participatives (MARP), des focus-groups, des observations directes, etc. l'identification des impacts des activités d'extraction de l'argile sur les composantes de l'environnement physique et les établissements humains a été faite à l'aide de la matrice de léopold.

Les résultats montrent que l'extraction de l'argile affecte les ressources naturelles. L'accès à la matière entraîne la destruction de la végétation et la disparition des terres cultivables. Pendant la saison pluvieuse, les anciennes carrières inondées se transforment en gîtes larvaires et entraînent la prolifération des moustiques et des insectes nuisibles à l'homme. L'utilisation du bois énergie pour la cuisson des produits potiers a pour conséquence la destruction du couvert forestier et la dégradation du sol.

Mots-clés : commune de Djidja, mine d'argile, exploitation, impacts environnementaux.

Annexe 3 : Fiche d'evaluation de l'enceinte surface du sol

Géosystème	Géofaciès	Géotope
Localité	Carte	Photographies
Latitude	Longitude	Altitude
Situation	Exposition	Pente
Saison	Etat	Relief
Observation		Date
Levé parcellaire ou profil écologique		

Phénomènes à relever	**Facettes topographiques**			
	Nature	***Plateau***	***Versant***	***Bas-fond***
Taux de recouvrement (%)	Phytostrate			
	Litière			
Taux d'affleurement (%)				
	Pierrailles			
Erosion	Apport/Ablation			
Surface : état hydrique	Surface sèche			
	Surface humide			
	Eau stagnante			
	Eau vive			
Granulométrie	Etat général			
Hydrisme	précipitation			
Aménagements humains				
Configuration surface	Surface plane			
	Surface convexe			
	Surface concave			

Annexe 4 : Relevé pédologique

		Horizon1 (0à-10)	Horizon2 (-10à-30)	Horizon3 (-30à-130)	Horizon4 (-130à-200)	Horizon5 (-200à-240)
Texture	Blocs					
	Galets					
	Graviers					
	Sable grossier					
	Sable fin					
	Limons					
	argile					
PH	(tout l'horizon)					
Structure	St. Fondue					
	St. Polyédrique					
	Structure massive					
	Structure particulaire					
	Porosité					

	Résistance					
couleur	(par plage)					
	(par tache)					
Caractères	Matières organiques					
	Terrain hydromorphe					
	Terrain concrétionné					
Activités biologiques	zoolites					
	Faune (territoire)					
	Flore (surface)					
	herbacées					
	ligneux					
	rhizomes					
	tubercules					
	obstacles					
	déjections					

Annexe 5 : Fiches de levée altimétrique

Station: Bonou
Localisation administrative: Arrondissement de Bonou
Orientation: W/E
Code: 2
Date: 05/08/2014

N°	Station N°2 Localisation Longueur (m)	Pente (%)	Dénivellation	Dé. C	LC (m)	Observation
1	0-25	-1	-25	-25	25	Palmeraie / Champ de manioc
2	25-50	-1	-25	-50	50	Palmeraie / Haricot
3	50-75	-6	-4,16	-54,16	75	Palmeraie / Jachère
4	75-100	-12	-2,08	-56,24	100	Palmeraie / Haricot
5	100-125	-12	-2,08	-58,32	125	Champ de maïs / Haricot
6	125-150	-10	-2,5	-60,82	150	Jachère / Haricot
7	150-175	-9	-2,77	-63,59	175	Jachère / Haricot
8	175-200	-8	-3,12	-66,78	200	Haricot / Jachère
9	200-225	-2	-12,5	-79,28	225	Champ de manioc / Jachère
10	225-236			-79,28	236	Lit du cours d'eau
11	236-250	1	25	-54,28	250	Palmeraie / Niébé
12	250-275	-1	-25	-79,28	275	Palmeraie / Niébé
13	275-300	-1	-25	-104,28	300	Jachère / Niébé
14	300-325	-1	-25	-129,28	325	Jachère / Niébé
15	325-350	-1	-25	-154,28	350	Champ de manioc / Champ de maïs
16	350-375	1	25	-129,28	375	Jachère / Niébé
17	375-400	3	8,33	-120,95	400	Niébé / Palmeraie
18	400-425	7	3,57	-117,38	425	Niébé
19	425-450	3	8,33	-109,05	450	Niébé
20	450-475	-1	-25	-134,05	475	Palmeraie / Champ de manioc

21	475-500	-1	-25	-159,05	500	Palmeraie / Jachère
22	500-525	1	25	-134,05	525	Palmeraie / Jachère
23	525-550	2	12,5	-121,55	550	Palmeraie / Champ de manioc
24	550-575	6	4,16	-117,39	575	Champ de manioc / Jachère
25	575-600	7	3,57	-113,82	600	Champ de manioc / Jachère
26	600-625	9	2,77	-111,05	625	Champ de manioc / Jachère
27	625-650	8	3,12	-107,93	650	Champ de manioc / Jachère
28	650-675	6	4,16	-103,77	675	Palmeraie / Jachère
29	675-700	9	2,77	-101	700	Palmeraie / Jachère
30	700-725	4	6,25	-94,75	725	Jachère / Niébé
31	725-750	1	25	-69,75	750	Jachère / Niébé
32	750-775	-1	-25	-94,75	775	Champ de manioc
33	775-800	-5	-5	-99,75	800	Champ de manioc
34	800-825	-6	-4,16	-103,91	825	Champ de manioc
35	825-850	-6	-4,16	-108,07	850	Jachère
36	850-875	-4	-6,25	-114,32	875	Jachère
37	875-900	-4	-6,25	-120,57	900	Jachère
38	900-925	-5	-5	-125,57	925	Niébé
39	925-950	-4	-6,25	-131,82	950	Jachère
40	950-975	-2	-12,5	-143,32	975	Niébé
41	975-1000	1	25	-118,32	1000	Niébé / Formation herbacée

DC= Dénivellation Cumulée, LC= Longueur Cumulée, D=L/P

Annexe 6: Coordonnées des piquets d'érosions et analyse granulométrique des sédiments

Tableau : Coordonnées des piquets d'érosions installés dans la basse vallée de l'Ouémé

	Djougouta		**Gnanhoui-Zounmè**		**Gouti**	
ID	X	Y	X	Y	X	Y
Piquet 1	441203	762675	435424	765268	442394	746056
Piquet 2	441057	762666	435449	765308	442934	745921
Piquet 3	440672	762663	435482	765358	442530	746015
Piquet 4	440621	762667	435621	765447	442462	746039
Piquet 5	440450	762662	435696	765457		
Piquet 6	440290	762672	435878	765494		
Piquet 7	440210	762671	435902	765506		

Source : *Travaux de terrain, Mars, 2013*

Tableau : Répartition granulométrique des sédiments de Sissèkpa

Echantillon de Sissèkpa				
Diamètre		poids (g)	% simple	% cumulé
en mm	en F			
2	-1	10,7	7,13	7,13
1	0	11,18	7,45	14,58
0,5	1	22,17	14,78	29,36
0,25	2	26,4	17,6	46,96
0,125	3	20,79	13,86	60,82
0,063	4	2	1,33	62,15
0,05	4,47	0,07	0,05	62,2
< 0,05		56,69	37,79	100

Source : *Résultats issus de l'interprètation des données de laboratoire, 2015*

Annexe 7: Images satellitales utilisées

Tableau : Caractéristiques des images satellitales utilisées

Données	Dates d'acquisition	Nombre de bandes	Capteur	Résolution spatiale
Image Landsat	27 Décembre 1992	5	TM	30 m
Image Landsat	22 Décembre 2002	7	ETM+	30 m
Image Landsat	11 Décembre 2012	7	ETM+	30 m
Image Google Earth Pro	10/04/2013	7	ETM+	

Table des matières

Dédicace 2
Sommaire 3
Sigles et Acronymes 4
Avant-propos 6
Résumé 8
Abstract 9
INTRODUCTION GENERALE 10

PREMIERE PARTIE :CADRE THEORIQUE, DEMARCHE METHODOLOGIQUE ET CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 13
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE 14
1.1. Revue critique de la littérature 14
1.1.1. Caractérisation des facteurs déterminants de l'érosion 14
1.1.2. Dynamique des états de surface et érosion 16
1.1.3. Processus de dégradation des sols 19
1.2. Problématique 20
1.2.1. Justification du sujet 20
1.2.2. Hypothèses de travail 23
1.2.3. Objectifs de recherche 24
1.3. Définition des concepts 24
1.3.1. Erosion et Erosivité 24
1.3.2. Erodibilité et Erodabilité 26
1.3.3. Ruissellement 26
1.3.4. Bassin versant 28
1.3.5. Vulnérabilité 29
1.3.6. Etats de surface 30
1.3.7. Dynamique des états de surface 32
1.3.8. Sol et Terre 32
1.3.9. Simulation et Modèle 33
CHAPITRE II : DONNEES ET METHODES D'ETUDE 35
2-1. Outils et données 35
2-1-1. Outils de mesures, d'observations et de positionnement géographique 35
2-1-2. Techniques d'évaluation des mouvements de particules 36
2-1-3. Données climatologiques 36
2-1-4. Données hydrométriques 37
2-1-5. Documents planimétriques 39
2-1-6. Données des états de surface 40
2-1-7. Données démographiques et socio-économiques 40

2-1-8. Données topographiques et techniques de mesure 40
2-1-9. Données pédologiques et leurs techniques de prélèvements 41
2-1-10. Choix des transects 41
2.2. Méthode de collecte des données 42
2.2.1. Recherche documentaire 42
2.2.2. Travaux de terrain et méthodes de quantification de l'érosion 42
2.2.2.1. Etudes topo-séquentielles 43
2.2.2.2. Enquêtes auprès des acteurs 43
2.2.2.3. Techniques d'enquêtes utilisées 45
2.3. Traitement des données et modèle d'analyse des résultats 46
2.3.1. Traitement des données climatologiques et hydrologiques 46
2.3.1.1. Reconstitution des données hydrométéorologiques manquantes 46
2.3.1.2. Indice pluviométrique 47
2.3.1.3. Bilan climatique potentiel : indicateur des périodes d'activités 47
2.3.1.4. Détermination de coefficient de ruissellement 48
2.3.1.5. Estimation de l'indice d'agressivité climatique 48
2.3.2. Détermination des caractéristiques morphologiques de la basse vallée de l'Ouémé 49
2.3.2.1. Détermination de la forme de la basse vallée de l'Ouémé 49
2.3.2.2. Indice global de pente 50
2.3.2.3. Dénivelée spécifique 50
2.3.2.4. Densité de drainage (D_d) 51
2.3.3. Etude de la dynamique de la population 51
2.3.3.1. Taux d'accroissement de la population 51
2.3.3.2. Méthode d'estimation de la population 51
2.3.4. Détermination du taux de couverture végétale du sol 52
2.3.5. Cartographie des secteurs d'érosion de la basse vallée de l'Ouémé 52
2.3.5.1. Etablissement de la carte des pentes 52
2.3.5.2. Réalisation des cartes d'occupation du sol 53
2.3.5.2.1. Traitement et interprétation des images satellitales 53
2.3.5.2.2. Vérité terrain 54
2.3.5.2.3. Correction et intégration des données de terrain 54
2.3.5.3. Estimation de la précision des résultats (matrice de confusion) 56
2.3.5.4. Calcul des taux moyens annuels d'expansion spatiale (T) 57
2.3.5.5. Detection des changements des unités d'occupation du sol 57
2.3.5.6. Méthode d'étude prospective des unités d'occupation du sol 58
2.3.5.6.1. Choix d'un modèle de simulation de l'occupation du sol 58
2.3.5.6.2. Généralité sur le modèle SpaCelle 59
2.3.5.6.3. Modèle de base et sa validation 61
2.3.5.6.4. Scénarii de la dynamique d'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé 62
2.3.5.7. Réalisation de la carte des secteurs érodés de la basse vallée de l'Ouémé 63

2.3.5.8. Outils de traitement des données 65
2.3.6. Analyse granulométrique 66
2.3.7. Analyse du bilan sédimentaire et évaluation des pertes de terre 71
2.3.7.1. Quantification des apports sédimentaires 71
2.3.7.2. Détermination de la quantité de terre perdue et la vitesse de sapement des fondations 72
2.3.8. Modèle d'analyse des résultats 72
CHAPITRE III :CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 74
3.1. Situation géographique et cadre physique de la basse vallée de l'Ouémé 74
3.1.1. Situation géographique de la basse vallée de l'Ouémé 74
3.1.2. Contexte climatique : Facteur principal de l'érosion hydrique 76
3.1.3. Contexte géologique de la basse vallée de l'Ouémé 78
3.1.4. Caractéristiques pédologiques de la basse vallée de l'Ouémé 81
3.1.5. Caractéristiques hydrographiques de la basse vallée de l'Ouémé 84
3.1.6. Etat du couvert végétal de la basse vallée de l'Ouémé 87
3.2. Populations et activités socioéconomiques amplificateurs de l'érosion 88
3.2.1. Evolution démographique des communes de la basse vallée de l'Ouémé 88
3.2.2. Inégale répartition de la population : Peuplement fortement rural 90
3.2.3. Principales activités socio-économiques amplificatrice de l'érosion 93
3.2.3.1. Agriculture : activité dominante accélérant les processus érosifs 93
3.2.3.2. Pratiques agricoles favorisant l'érosion hydrique dans la basse vallée 95
3.2.3.3. Exploitation forestière 98
3.2.3.4. Exploitation du sable fluvial 99
Conclusion partielle 100

DEUXIEME PARTIE :EROSION, DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET STRATEGIES ANTI-EROSIVES 101
CHAPITRE IV :PROCESSUS EROSIFS DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 102
4.1. Déterminants physiques de l'érosion pluviale dans la basse vallée de l'Ouémé 102
4.1.1. Intensité des précipitations dans la basse vallée de l'Ouémé 102
4.1.2. Rôle de l'agressivité climatique dans le mouvement des particules 103
4.1.3. Bilan climatique et périodes d'activités érosives 105
4.1.4. Caractéristiques hydrologiques de la basse vallée de l'Ouémé 108
4.1.5. Propriétés physiques et chimiques des sols de la basse Vallée de l'Ouémé 110
4.1.5.1. Propriétés physiques des sols 110
4.1.5.2. Propriétés chimiques des sols 111
4.1.6. Topographie de la basse vallée de l'Ouémé 113
4.1.6.1. Altimétrie 115
4.1.6.2. Différentes types de pentes de la basse vallée de l'Ouémé 116

4.2. Facteurs d'érodibilité des unités morphologiques du milieu 120
4.2.1. Morpho-pédologie de la basse Vallée de l'Ouémé 120
L'exploitation des carrières de sable et le développement des activités agricoles constituent une forte pression dans ce milieu. Des indices simples (indice de compacité, indice global de pente, etc.) sont calculés pour caractériser la morphologie de la basse vallée de l'Ouémé. 122
4.2.2. Détermination des facteurs d'érodibilité de la basse vallée de l'Ouémé 122
4.3. Évolution des états de surface et son influence sur la basse vallée de l'Ouémé 123
4.3.1. État d'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé 124
4.3.1.1. Description des cartes d'occupation du sol de 1992, 2002 et 2012 124
4.3.1.2. Bilan des changements intervenus entre les années 1992, 2002 et 2012 dans la basse vallée de l'Ouémé 129
4.3.2. Variation des états de surface et son influence dans la basse vallée de l'Ouémé137
4.3.2.1. Taux d'évolution des différentes formations végétales 137
4.3.2.2. Evolution des différentes formations végétales de 1992 à 2012 138
4.3.3. Projections de l'occupation du sol dans la basse vallée de l'Ouémé à l'horizon 2050 139
4.3.3.1. Comparaison des dynamiques réelle et simulée de l'occupation du sol entre 2002 et 2012 139
4.3.3.2. Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario de "stabilité environnementale" 141
4.3.3.3. Dynamique de l'occupation du sol pour le scénario « tendance vers la catastrophe » 143
CHAPITRE V :DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME 146
5.1. Analyse des flux sédimentaires dans la basse vallée de l'Ouémé 146
5.1.1. Dynamique sédimentaire à Gnanhoui-Zounmè 146
5.1.1.1. Différentes formes d'utilisation du sol 146
5.1.1.2. Relevé des piquets d'érosion 148
5.1.1.3. Volume de sédiments recueillis au niveau des pièges à sédiments 148
5.1.1.4. Relation entre type d'aménagement et érosion du sol 149
5.1.2. Dynamique sédimentaire à Djougoudouta 149
5.1.2.1. Différentes formes d'utilisation du sol 149
5.1.2.2. Relevé des piquets d'érosion 151
5.1.2.3. Volume de sédiments recueillis au niveau des pièges à sédiments 152
5.1.2.4. Relation entre type d'aménagement et érosion du sol 153
5.1.3. Dynamique sédimentaire à Gouti 153
5.1.3.1. Différentes formes d'utilisation du sol 153
5.1.3.2. Relevé des piquets d'érosion 155
5.1.3.3. Volume de sédiments recueillis au niveau des pièges à sédiments 156
5.1.3.4. Relation entre type d'aménagement et érosion du sol 157

5.1.4. Ablation et accumulation des particules par unité morphologique 158
5.2. Répartitition des particules dans la basse vallée de l'Ouémé..... 160
5.2.1. Secteurs d'érosion des sols 160
5.2.2. Analyse granulométrique des sédiments recueillis..... 163
5.3. Milieux de concentration de ruissellement 167
5.3.1. Incisions 167
5.3.2. Rigoles 169
5.3.3. Ravines..... 169
5.3.4. Influence des eaux de ruissellement sur les infrastructures socio-communautaires 172
CHAPITRE VI : STRATEGIES ANTI-EROSIVES DANS LA BASSE VALLEE 173
6.1. Stratégies de lutte contre l'érosion 173
6.1.1. Actions de lutte contre l'érosion menée par les populations locales 173
6.1.2. Autres stratégies endogènes de lutte contre l'érosion..... 179
6.1.3. Stratégies modernes de lutte contre l'érosion 179
6.2. Proposition de mesures correctives 181
6.2.1. Typologie des billonnages en fonction de la position topographique 181
6.2.2. Technique de talus végétalisé et reboisement dans les établissements de formations 183
6.2.3. Aménagement de la basse vallée de l'Ouémé et gestion de l'eau 184
6.2.3.1. Diguettes en courbes..... 184
6.2.3.2. Réalisation des ouvrages de diversion 185
6.2.3.3. Mesures routinières de contrôle d'érosion 187
6.3. Modèle de Réhabilitation des formations végétales et de lutte contre l'érosion pluviale188
6.3.1. Création d'un Comité Intercommunale de Réhabilitation des Formations Végétales de la basse vallée de l'Ouémé (CIRFV-BVO)..... 188
6.3.1.1. Composante « base des données »..... 189
6.3.1.2. Composante cartographie des secteurs d'érosion 190
6.3.1.3. Réhabilitation des formations végétales érodés..... 190
6.3.1.4. Composante micro finance et micro assurance 191
6.3.1.5. Composante Sensibilisation, Information, Education et Communication (SIEC) 192
6.3.1.6. Composante cadre juridique et institutionnel 192
6.3.1.7. Accompagnement et gestion durable des unités d'occupation du sol réhabilité 193
6.3.2. Guide de lutte contre l'érosion pluviale..... 193
6-4. Discussion des résultats 194
6.4.1. Facteurs déterminants de l'érosion dans la basse vallée de l'Ouémé..... 194
6.4.2. Influence des états de surface dans le processus d'érosion 198
6-4.3. Dynamique sédimentaire et gestion des terres de la basse vallée de l'Ouémé 201

Conclusion partielle 204
CONCLUSION GENERALE 205
BIBLIOGRAPHIE 210
Liste des figures 231
Liste des tableaux 233
Liste des photos 234
Liste des planches 235
Annexes 236
Annexe 1 : Articles et Ouvrages publiés 236
Annexe 2 : Résumés de quelques articles publiés 237
Annexe 3 : Fiche d'evaluation de l'enceinte surface du sol 241
Annexe 4 : Relevé pédologique 241
Annexe 5 : Fiches de levée altimétrique 242
Annexe 6: Coordonnées des piquets d'érosions et analyse granulométrique des sédiments . 243
Annexe 7: Images satellitales utilisées 244
Table des matières 245