



**ÉLABORATION D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION PHYSIQUE DE COURS
D'EAU A L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT : CAS DU BOMBORÉ**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE
OPTION : EAU AGRICOLE**

Présenté et soutenu publiquement le 25 JUIN 2013 par

Pamoussa Guilga Ouesséni KAFANDO

Travaux dirigés par :

Dr Eric HALLOT

Enseignant Chercheur au Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie Fluviale de
l'Université de Liège (ULg).

Francis GUYON

Assistant technique APEFE

Dr Dial NIANG

Enseignant Chercheur au Centre de Recherche Eau et Climat

M. Sévère FOSSI

Ingénieur de Recherche au Centre de Recherche Eau et Climat

Dr Emmanuel PATUREL

Jury d'évaluation du stage :

Président : Pr Yacouba HAMMA

Membres et correcteurs : Dr Dial NIANG

Dr Angelbert BIAOU

Ir Sévère FOSSI

Promotion [2012/2013]

DÉDICACES

Le présent mémoire, symbole de la fin d'un long et intense moment d'étude et de recherche, je le dédie d'une façon particulière à mes parents : KAFANDO Yamba Omar et SAWADOGO Abiba afin de leur témoigner toute ma gratitude. Ils ont toujours été une source de motivation et contribuent de façon continue à mon épanouissement et ma formation. Que Dieu leur accorde une longue vie pour qu'ils profitent du fruit de leurs permanents efforts.

REMERCIEMENTS

Le présent document est le couronnement d'une formation pendant laquelle j'ai bénéficié du concours de nombreuses personnes à qui j'aimerais témoigner toute ma gratitude

A cet effet, je transmets mes sincères remerciements à l'endroit de :

M. Alassane GUIRE, Directeur Générale des Aménagements et du Développement de l'Irrigation pour m'avoir accueilli au sein de sa structure pour ce travail de fin de cycle ;

Dr Eric HALLOT : enseignant-chercheur au Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie fluviatile de l'Université de Liège en Belgique, mon Directeur de mémoire, pour tous ses conseils scientifiques, l'effort et le temps consacrés pour ce travail. En dépit de la distance, il a pu par ses critiques et ses quelques séjours terrain apporter de la qualité au travail.

M. Francis GUYON, Assistant Technique APEFE, mon maître de stage, pour ses critiques enrichissantes. Il n'a cessé de me guider, de me soutenir, de me mettre dans des conditions favorables au bon accomplissement de ma mission académique.

Aussi toute ma gratitude à l'égard de Dr Dial NIANG pour son impératif soutien, son dynamisme, sa disponibilité et ses conseils. Egalement à Monsieur Sévère FOSSI, Dr Bruno BARBIER, Dr Emmanuel PATUREL ,Monsieur Corentin SOME en leur titre d'encadreurs pour la confiance qu'ils m'ont accordée, la pertinence de leurs conseils pour la conduite des travaux de cette étude.

Je n'oublie pas Monsieur Ernest OUEDRAOGO, Directeur de la météorologie et de la Climatologie du Burkina qui a permis l'acquisition des données pluviométriques.

Egalement une pieuse pensée à mes très chers frères étudiants de fin de cycle du 2iE que je ne pourrai tous nommer, à mes meilleurs amis OUEDRAOGO Lionel Arnaud ,NIKIEMA Fulgence, NABALMA Paulin, ZOUNGRANA Benjamin, TRAORE Abdel Aziz, je souhaite qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance.

Enfin à tous mes amis du quartier, qui n'ont arrêté de me soutenir, de me motiver, de m'encourager tout au long de la présente recherche, je leur transmets mes sincères remerciements.

RÉSUMÉ

Cette étude a été menée dans le bassin versant du Bombore qui est un affluent du Nakambé. Il s'agit d'un des sites pilotes d'un programme de recherche visant à développer des outils opérationnels d'aide à la décision pour la protection des retenues d'eau d'irrigation. Ce bassin versant est parcouru d'un cours d'eau subdivisé en deux principaux affluents dont l'un possède un barrage, celui de Mogtédo.

Comme la plupart des ouvrages sahéliens, ce barrage est confronté à d'énormes problèmes d'envasement et d'ensablement avec comme conséquences une diminution importante de sa capacité de stockage. Comme l'ouvrage est utilisé pour la riziculture et le maraîchage, c'est la raison pour laquelle il fait partie du nombre des ouvrages à réhabiliter.

Face à l'ampleur du phénomène, un diagnostic exhaustif à l'échelle du Bassin versant a été effectué. Il s'agissait de décrire les dégradations physiques, la granulométrie du lit, la cohésion des berges et l'occupation des sols de la plaine alluviale pour mieux comprendre l'évolution de la morphologie des cours d'eau.

Les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus montrent l'existence de gros problèmes liés notamment à la disponibilité insuffisante de l'eau. La cause principale de ce manque d'eau est l'ensablement de la ressource (bras mort du fleuve). Les conséquences en sont multiples ; on peut notamment citer :

- Une réduction des surfaces exploitées à cause de l'abandon de certaines parcelles aménagées qu'on arrive plus à irriguer ;
- Une baisse des rendements et des revenus ;
- Des charges d'exploitations de plus en plus importantes ;
- Une dégradation importante de l'ouvrage et de la digue.

MOTS CLES :

Bassin versant

Affluent

Morphologie

aval

amont.

ABSTRACT

This study was conducted in the watershed of Bombore which is a tributary of Nakambé. It is one of the pilot sites for a research program to develop decision support tools for the operational protection of water reservoirs for irrigation. This watershed is covered in a course divided into two main tributaries of which have a dam that Mogtédou water.

Like most Sahelian works, the dam is facing huge problems with silt and siltation as a consequence a significant reduction in storage capacity. As the book is used for rice cultivation and gardening, this is why it is part of many of the works to rehabilitate.

Given the scale of the phenomenon, a comprehensive across Watershed diagnosis was made. It was to describe the physical damage, the size of the bed, the cohesion of the banks and the land of the floodplain to better understand the evolution of the morphology of rivers.

The main results we have achieved demonstrate the existence of major problems including inadequate water availability. The main cause of this lack of water is the silting of the resource (dead arm of the river). The consequences are many, there may be mentioned:

- 1) Reduced exploited because of the abandonment of developed plots we get more irrigation surfaces;
- 2) A decline in yields and incomes;
- 3) Expenses Operating increasingly important;
- 4) A significant deterioration of the structure and the dam

KEYWORDS :

Watershed

Tributary

Morphology

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AEN=Agence de l'Eau du Nakambé

APEFE=Association pour la Promotion de l'Education et la Formation à l'Etranger

BV=Bassin Versant

CIEH=Comité Inter-Etats d'Etude Hydraulique

CNID : Le Comité National des Irrigations et du Drainage du Burkina

DCENN : Direction des Cours d'eau non Navigables (DCENN)

EIER=Ecole Inter-Etats de l'Equipement Rural

DGADI=Direction Générale de l'Aménagement et du Développement de l'Irrigation

GPS:Global Positioning System

MNT=Modèle Numérique de terrain

ORSTOM=Office de Recherche en Science et Technique Outre Mer

PADI=Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation

SIG=Système d'Information Géographiques

ULg=Université de Liège

WAIPRO : West African Irrigation Project

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I:Classement selon la typologie des cours d'eau(ROSGEN;1996)	36
Tableau II:Classification selon l'état morphologique d'un cours d'eau	37
Tableau III : Récapitulatif de détermination du débit décennal	42
Tableau IV:Rappel des données pour le calcul du débit décennal par la Méthode CIEH	44
Tableau V:Calcul de débit décennal par les équations du CIEH	45
Tableau VI:recapitulatif de détermination du débit décennal de l'affluent sans barrage	49
Tableau VII : Calcul de Q10 selon la méthode CIEH – Equations et coefficients à utiliser selon les découpages climatiques.....	50
Tableau VIII:Rappels de données sur le bassin	51
Tableau IX:Recapitulatifs de déterminations du débit selon CIEH (Bras sans aménagement).....	51
Tableau X:Evolution des paramètres physiques	57
Tableau XI:Estimation de la dominance granulométrique du lit mineur de l'affluent libre.....	58
Tableau XII:Estimation de la dominance du lit mineur de l'affluent avec le barrage.....	58
Tableau XIII:Pourcentage d'occupation de la plaine alluviale	59
Tableau XIV : Récapitulatif des indices de qualité physiques en fonctions du diagnostic globale...	60
Tableau XV:Coordonnées des différents tronçons d'etude	23

LISTES DES FIGURES

Figure I : Situation de la zone d'étude	27
Figure II:Réseau hydrographique du Bomboré.....	28
Figure III:Traitement du Bassin versant du Bomboré sur Arc Gis	32
Figure IV: Plan d'échantillonnage	34
Figure V:Approche sur l'évaluation de la pente.....	35
Figure VI:Approche sur l'estimation de la sinuosité	Erreur ! Signet non défini.

SOMMAIRE

DÉDICACES	I
REMERCIEMENTS	II
ABSTRACT	V
LISTE DES ABRÉVIATIONS	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTES DES FIGURES	VIII
SOMMAIRE	IX
I.INTRODUCTION	22
II. PROBLÉMATIQUE	23
II.1. Contexte.....	23
II.2 Objectifs Globals	24
II.4 Objectifs spécifiques	24
II.5.Hypothèses	24
II.6. Revue bibliographique	24
III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	26
III.1 Localisation et accessibilité de la zone d'étude	26
III.2 Climat.....	27
III.3 Végétation et sols	27
III.4. Le réseau hydrographique	28
IV. RECHERCHES DOCUMENTAIRES	28
IV.1 Généralités et définitions	29
IV.2. Facteurs et processus de détérioration	29
IV.2.1. De façons naturelles :.....	29
IV.2.2 Activités anthropiques :	29
IV.3.Risques liées aux dégradations	30
V. APPROCHE SCIENTIFIQUE.....	30
V.1. Matériels et méthodes	31
V.1.1. Délimitation du Bassin versant.	31
V.1.2 Semis de points-Plan d'échantillonnage	32
V.2 Collecte des données	34
V.2.1 Topographie	35
V.2.2- Ripisylve /occupation plaine alluviale.....	35
V.3 Paramètres et systèmes d'évaluation.....	35
V.3.1 La Pente.....	35

V.3.2 Largeur mouillée	36
V.3.3 La Sinuosité.....	36
V.5 Ripisylve	38
VI. RESULTATS.....	38
VII.1 Inventaire des différents tronçons	38
VII.2 Etude hydrologique	40
VII.2.1 Calculs des débits	40
VII.2.2 Estimations des apports solides	52
✓ Affluent portant le barrage de Mogtedo	52
✓ Affluent libre	53
VIII ANALYSES ET DISCUSSIONS	53
VIII.1. Interprétation des résultats du diagnostic	54
VIII.2 Aperçu statistique des données	57
IX RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	61
CONCLUSION.....	63
BIBLIOGRAPHIE	64
ANNEXES	66

I. INTRODUCTION

La mobilisation des ressources en eau est d'une importance capitale pour le développement socio-économique d'un pays sahélien comme le Burkina Faso où la rareté de l'eau, aggravée par une pluviométrie mal répartie dans le temps et dans l'espace constitue un frein à l'essor des activités agropastorales et à l'amélioration des conditions de vie des populations surtout rurales. Face à ces contraintes, la construction d'ouvrages à savoir les barrages permettent de stocker des volumes importants durant la saison pluvieuse et utilisables au cours de la longue période sèche. Cependant pour un pays à vocation agricole ou les retenues d'eau ont pour principal but d'alimenter les périmètres irrigués perdent leur capacité de stockage d'environ 2% de leur volume chaque année (Ministère de l'eau, 1996). En effet les bassins versants alimentant les retenues sont confrontés à des dégradations plus ou moins accentuées de leurs paramètres physiques à savoir l'érosion des berges et l'incision du lit mineur. Ces phénomènes, tant anthropiques que naturels conduisent non seulement au comblement des retenues mais aussi à une modification morphologique des cours d'eau qui adoptent de nouvelles formes en fonction des conditions climatiques et géologiques.

Dans cette approche, ils connaissent donc une perpétuelle évolution de leurs caractéristiques physiques en termes de pente, de profondeur, de sinuosité et de largeur, sous l'impact de la dynamique fluviale, de l'arrachage, du transport et du dépôt de sédiments fins, moyens ou grossiers qui en résulte (apports solides).

La présente étude concerne donc le bilan de l'état physique et du fonctionnement hydro morphologique des cours d'eau du bassin versant du Bomboré.

Ainsi donc après une présentation du bassin versant, la méthodologie utilisée pour cette étude sera proposée. Elle sera suivie du bilan hydro morphologique global et du diagnostic de l'état physique des deux affluents principaux du Bomboré.

Enfin, à l'issue du bilan, une étude comparative à travers l'analyse des données des deux bras conclura notre recherche.

II. PROBLÉMATIQUE

Le Burkina Faso est un pays sahélien qui connaît depuis plusieurs décennies une dégradation continue de ses ressources naturelles dûes à la fois à la péjoration climatique et aux actions climatiques. Pour corriger ce déséquilibre un certain nombre de retenues (plus de 2000 sur l'ensemble du pays) ont été construits. Mais malheureusement, ces retenues connaissent un certain nombre de problèmes dus en grande partie à l'envasement et à l'ensablement. La retenue de Mogtédou située dans le bassin versant du Bomboré est confrontée aux mêmes problèmes. La capacité de stockage du barrage baisse d'année en année diminuant ainsi la disponibilité de la ressource donc les surfaces à emblaver d'où une perte importante de revenus pour les exploitants. A ce rythme, plusieurs retenues risquent de disparaître dans le paysage hydrographique du Burkina Faso. Pour remédier à toutes ces contre-performances, le gouvernement burkinabè a entrepris de réhabiliter plusieurs retenues par le canal d'un vaste programme de recherche d'outils d'aide à la décision des protections d'eau d'irrigation. C'est dans ce contexte que le barrage de Mogtédou qui fait l'objet de notre étude a été retenue pour ce programme.

II.1. Contexte

Cette recherche entre dans le cadre du Programme de la DADI intitulé « Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation 2011 – 2013 » impliquant l'Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger (APEFE). Ce programme est composé de 4 résultats dont l'un vise à mettre à la disposition de la DADI, de l'Agence de l'Eau du Nakanbé (AEN) et des DRAH du Centre, du Centre Sud et du Plateau Central des outils opérationnels de protection des retenues d'eau d'irrigation. Ce programme plus communément dénommé PAPRI (Projet d'Appui à la Protection des Retenues d'eau d'Irrigation), s'appuie sur une approche de type recherche / développement impliquant également deux partenaires wallons : la Direction des Cours d'eau non Navigables (DCENN) du Service Public de Wallonie et le Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie Fluviale de l'Université de Liège (ULg). Il vise principalement le développement d'outils d'aide à la décision pour la limitation de la sédimentation des retenues d'eau à travers l'aménagement des terres et des berges des cours d'eau à l'échelle des bassins versants alimentant les retenues. Ces outils seront mis à profit à travers l'élaboration de plans d'aménagement pour 03 sites pilotes (Mogtédou, Wedbila et Kierma).

II.2 Objectif Global

L'objectif de base de cette recherche est de réaliser une évaluation diagnostique de l'impact de la retenue de Mogtédo sur le bassin versant du Bomboré.

II.4 Objectifs spécifiques

- Vue d'ensemble de l'ouvrage et structuration du diagnostic ;
- Revérification du canevas technique mis en place lors de la construction du barrage de Mogtédo ;
- Planification des actions d'amélioration des performances de la retenue.

II.5.Hypothèses

Nous cherchons à nous imprégner des problèmes de mobilisation des ressources en eau existantes dans la localité. Cependant notre but fondamental est de découvrir les différentes caractéristiques du milieu perceptible par un inventaire exhaustif des cours d'eau. Ainsi donc nous axons l'hypothèse selon laquelle : la présence du barrage de Mogtedo influe fortement sur la qualité hydro-morphologique des cours d'eau du bassin du Bomboré.

II.6. Revue bibliographique

La zone d'investigation du projet concerne la région du Plateau Central plus précisément sur le bassin versant du Bomboré qui est un affluent du Nakanbé. Il s'agit d'un bassin versant parcouru d'un cours d'eau subdivisé en deux bras dont l'un porte le barrage de Mogtédo. La zone est caractérisée par :

- la présence de nombreuses petites retenues d'eau d'irrigation avec beaucoup de problèmes de sédimentation ;
- une forte dégradation des cours d'eau à l'échelle du Bassin versant.

Dans une zone à faible pluviométrie, la présence d'une retenue est capitale pour les populations, le choix de ce site pour cette recherche se justifie par le comblement progressif. Le barrage de Mogtedo est l'une des principales retenues de la zone et il joue un rôle très important pour l'irrigation donc à l'amélioration de la sécurité alimentaire. Malheureusement,

cet ouvrage est confronté à des phénomènes d'envasement et d'ensablement influant fortement sur sa capacité de stockage. Des études menées dans la zone (Kouali, 2010.) révèlent que la retenue d'eau de Mogtéo, subirait depuis sa construction en 1963, un envasement important réduisant considérablement son volume capacitif reflétant d'une conséquence directe de l'altération physique et des mauvaises pratiques agricoles. D'autres études effectuées à l'échelle parcellaire comme celles de Wischemeier (1962), permettent de prédire le comportement hydrodynamique des parcelles cultivées mais pas le degré de dégradations. Cependant, il est difficile de faire une extrapolation de ces études à l'échelle du bassin versant ou des berges. (Mazour, M. et Roose, E. 2002) montrent que les valeurs de pertes de terre sur des parcelles de 20 mètres de long diffèrent au niveau des versants (effet cumulatif du ruissellement, présence de zone de stockage, déposition des sédiments lors du transport solide, ...). Ils ont aussi observé lors d'évènements importants, des valeurs d'érosion moyennes en parcelle, la présence de plusieurs ravines assez profondes le long des versants voisins et des quantités importantes de sédiments déplacés entraînant des modifications sur l'écoulement. Lamachère et Serpantié (1998) cité par Karambiri et Ribolzi (2003) ont déjà réalisé pour le cas du Burkina Faso plusieurs séries de mesures sédimentaires sur des champs dans le bassin versant de la retenue d'eau de Gourga dans le Yatenga au nord du pays. Ils révèlent que les pertes en terre par unité de surface à l'échelle de ce bassin versant sont cinq (05) fois plus faibles que celles d'une parcelle cultivée en mil.

Faisons remarquer que dans cette démarche de quantification des apports sédimentaires, Gresillon et Reeb(1981) ; Lamachère et Serpantié (1998) ; Karambiri et Ribolzi (2003) se sont surtout concentrés sur l'estimation du phénomène à l'échelle du bassin versant des retenues d'eau. Ils ne font pas cas de l'ampleur de la dégradation physique qu'engendrent ces transports sédimentaires. Malgré le nombre important d'études menées sur la restauration des cours d'eau naturels, peu d'entre elles se sont intéressées à la qualité physique à l'échelle des bassins versants

Cependant d'autres chercheurs se sont intéressés à l'impact des apports sur la morphologie en montrant que les activités humaines favorisent la dégradation du réseau hydrographique (ROOSE, 1996).et que l'urbanisation des zones riveraines peut aussi être source de dégradation environnementale des berges (Garand, 2009).

L'érosion hydrique se déclenche et se développe de différentes manières, selon les espaces géographiques affectés ou le type de cultures (Cerdan et al, 2006) des impacts sur la morphologie des cours d'eau.

En Europe des modèles ont été développés en prenant en compte la morphologie, la continuité du cours d'eau, l'altération des processus et l'hydrologie. Il s'agit notamment des Outils QUALPHY, REH, TELEOS.

L'agence de l'eau Rhin-Meuse a engagé depuis 1992, une démarche visant à mettre au point un outil objectif, rigoureux et reproductible d'évaluation de la qualité physique des cours d'eau d'où le développement de l'outil QUALPHY. Cette méthode consiste à évaluer le niveau de dégradation du milieu physique d'un cours d'eau par rapport à son état de fonctionnement naturel. Plusieurs auteurs tels que F. Guyon, X. Cogels, P. Vanderborght ont souvent eu à appliquer ce modèle dans certaines régions. Cependant, ces modèles sont destinés pour certains pays uniquement à cause des conditions climatiques, hydrologiques, pédologiques qui diffèrent d'une région à l'autre. Dans une approche de diagnostic physique de cours d'eau, la principale question est quelle méthode utilisée pour un état des lieux qualitatif sur la géométrie et la morphologie des cours d'eau.

III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.1 Localisation et accessibilité de la zone d'étude

Cette étude a été menée sur le bassin versant du Bomboré localisé dans la commune rurale de Mogtedo (province du Ganzourghou) dans la région du Plateau Central. Située à environ 80 kilomètres à l'est de Ouagadougou (fig. 1). Les coordonnées géographiques de la zone d'étude sont :

-Longitude : 00°50'146''W

- Latitude : 12°17'249''N

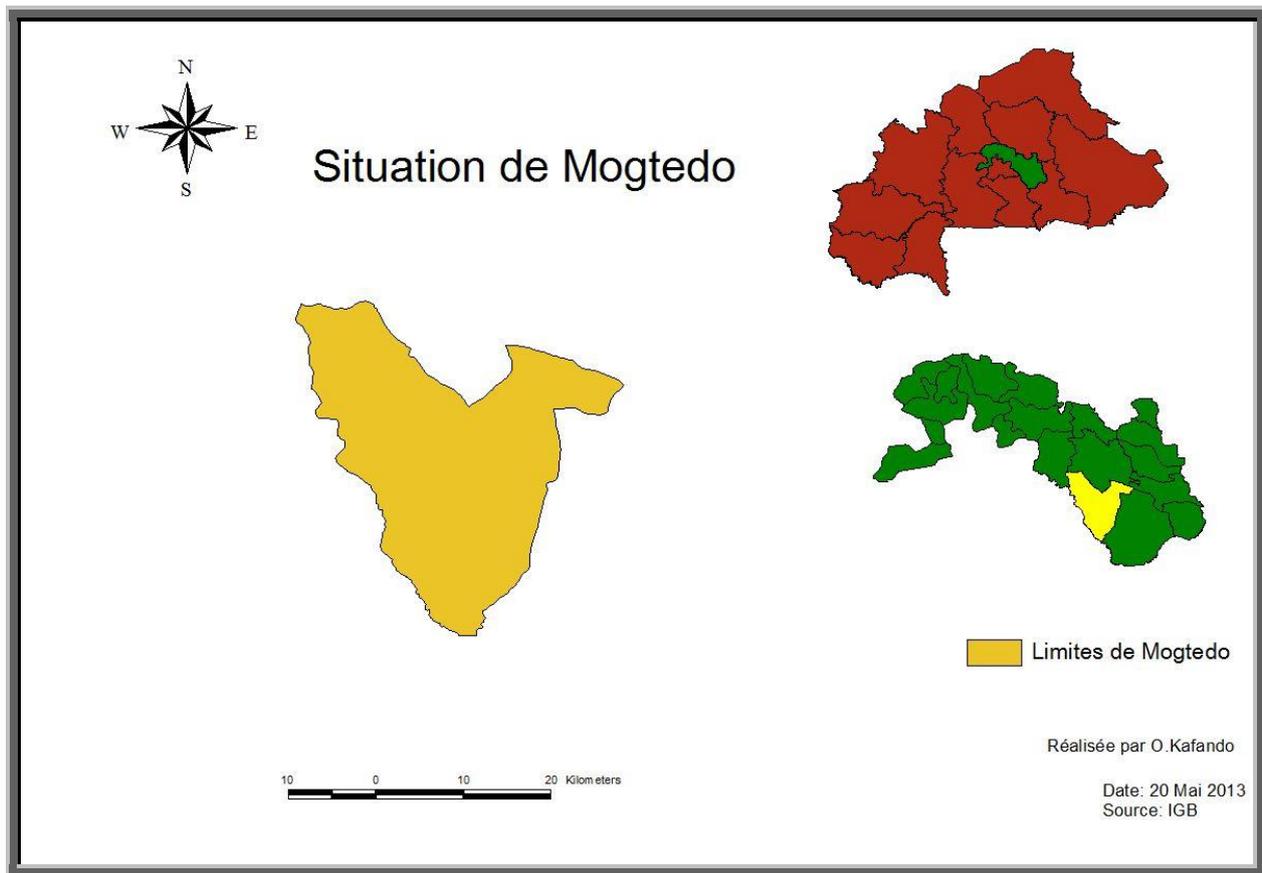


Figure I : Situation de la zone d'étude

III.2 Climat

La province du Ganzourghou dans laquelle se trouve le bassin versant du Bomboré appartient au climat soudano sahélien où les hauteurs de pluies annuelles varient de 700 à 900 mm/an et bénéficie de 120 à 140 jours de pluie de juin à mi-octobre (profil des régions 2004). La saison sèche dure de novembre à mai. Les températures sont souvent élevées et varient de façon modérée, on estime sa moyenne à 28.7° Celsius.

III.3 Végétation et sols

La végétation est essentiellement formée par une savane arbustive dégradée, et une strate arborée peu dense. En effet la végétation naturelle, fortement dégradée par une colonisation humaine ancienne par les feux de brousse et les passages de troupeaux, a fait place sur presque tout le périmètre à une savane parc anthropique à karité, raisinier, à acacias et de cailcedrat ou encore de baobab sur certains anciens sites. Les sols dominants sont majoritairement les vertisols et les sols bruns.

III.4. Le réseau hydrographique

La Bomboré est un sous bassin versant du Nakambé (figure 2) avec un régime irrégulier .Il connaît souvent des périodes d'étiage avec assèchement complet du lit. Pour cette étude ce sont les deux plus grands affluents, dont l'un alimente le barrage de Mogtedo et l'autre sans aménagement qui ont été retenus.

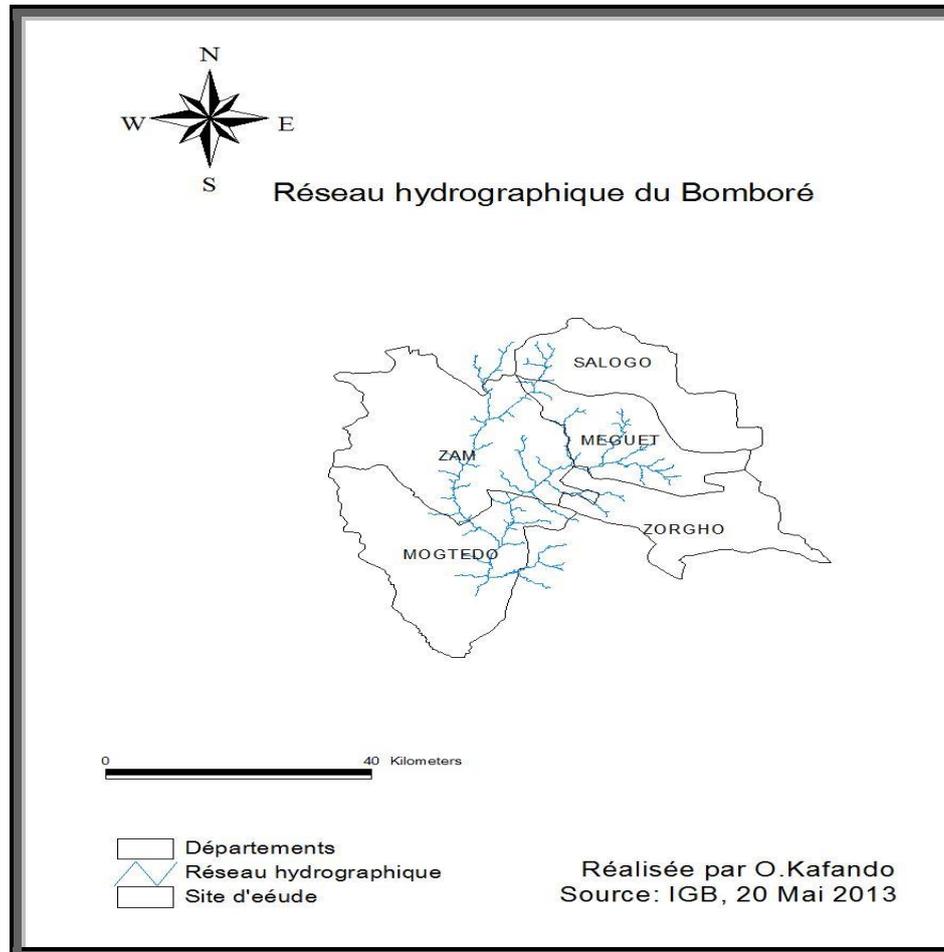


Figure II: Réseau hydrographique du Bomboré

IV. RECHERCHES DOCUMENTAIRES

Le choix de la documentation est guidé par les axes de recherches définis globalement par les points du terme de référence. Les documents consultés concernaient les bassins versants, les barrages et aménagements, la morphologie, la dynamique des cours d'eau, envasement....

IV.1 Généralités et définitions

- ✓ Bassin versant : en une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section et caractérisé par un exutoire.
- ✓ Morphologie : c'est l'ensemble des caractéristiques, la configuration et l'évolution des formes du cours d'eau. (Synonymes : hydro géomorphologie, hydro morpho dynamique,)
- ✓ Equilibre dynamique : (équilibre entre la forme du lit et le débit) les sédiments tendent à compenser les arrachements. En effet les dépôts solides en aval tendent à compenser les pertes de sol venant de l'amont

IV.2. Facteurs et processus de détérioration

IV.2.1. De façons naturelles :

La dynamique du cours d'eau :

Les cours d'eau reçoivent des sédiments issus des eaux de ruissellement arrachés aux berges et au lit. Ces sédiments sont ensuite déposés en cours de route. Plus la pente et le débit sont importants, plus la taille des sédiments transportés restent grossière. Les phénomènes d'érosion et de dépôts façonnent le lit des cours d'eau et le font évoluer en permanence. Certains secteurs sont érodés, tandis que d'autres constituent des zones de sédimentation : la combinaison de ces deux phénomènes explique le déplacement du cours d'eau au sein de sa vallée.

La granulométrie : En effet si nous avons un lit mineur constitué en majeure partie d'un substrat très cohésif, l'eau lors des crues va donc emporter les matériaux accentuant donc une incision du lit mineur et l'érosion des berges.

Enfin on peut également énoncer l'impact de la végétation qui semble être un facteur limitant l'érosion des berges. Cependant, en plus des facteurs naturels de détérioration s'ajoutent les facteurs anthropiques.

IV.2.2 Activités anthropiques :

A ce niveau il s'agit des activités des êtres vivants. Ces actions ayant des conséquences directes en relation avec la détérioration des cours d'eau. Les activités humaines accélèrent la dégradation du réseau hydrographique (ROOSE, 1991). On peut souligner l'extraction de granulats sur le lit mineur, la production de briques aux abords des cours d'eau. En outre il

apparaît utile de noter l'influence des animaux sur la dégradation ou l'évolution des cours d'eau, car durant leur passage ils piétinent et détruisent les berges et le lit.

Enfin, les cultures en amont du cours d'eau d'un barrage peuvent engendrer aussi des conséquences sur l'état physique. L'exploitation agricole intensive contribue aussi à la détérioration des cours d'eau (agriculture et agroalimentaire Canada, 2008). La superficie des zones cultivées, de plus en plus grande comparée au couvert boisé, amène un taux de ruissellement plus important vers les cours d'eau et donc un débit plus important susceptible de provoquer de l'érosion. En effet, le taux de ruissellement est plus important sur une surface cultivée que boisée (Chow et al, 1988),

IV.3. Risques liées aux dégradations

Il faut noter que plusieurs facteurs participant à la dégradation des cours d'eau peuvent entraîner à court ou à long terme des situations plus ou moins graves, on pourrait citer entre autre :

- ✓ le phénomène de l'envasement des retenues d'eau d'irrigation se caractérisant par un ensablement des cuvettes. En effet on assiste à un comblement évolutif au fil des années de la cuvette, réduisant ainsi donc sa capacité de stockage d'où la raréfaction de la ressource.
- ✓ les risques d'inondations : en effet les dépôts solides réduisant ainsi la capacité de stockage des retenues entraînent à un certain moment une incapacité à contenir les eaux provenant de l'amont. Ceci va entraîner un débordement de l'eau avec possibilité de rupture de l'ouvrage.
- ✓ Il est à noter aussi les pertes de terres cultivables : ce cas est beaucoup moins remarquable que si l'impact et la densité de la dégradation est notable. En effet à cause de l'élargissement des berges sous l'effet de l'érosion, on constate une occupation de superficies à cause du recul.
- ✓ Appauvrissement des nappes en places : plus le lit s'enfonce et plus il tend à atteindre la nappe en place et susceptible de drainer également la réserve souterraine, pouvant ainsi donc aboutir au tarissement.
- ✓ Dégradation de la qualité des eaux

Sous l'impact des méthodes culturales mais aussi avec les intrants d'origine chimique qu'utilisent les producteurs, on assiste à un changement des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Cela participe notamment au développement des maladies d'ordre hydrique.

V. APPROCHE SCIENTIFIQUE

Notre étude se fera principalement selon deux (02) échelles à savoir : le bassin versant et le tronçon échantillon.

A l'échelle du bassin versant : il s'agira d'étudier l'impact de la dégradation et du comblement de la retenue sur certains paramètres du régime hydrologique (Volumes, débits, apports...).

Quant à l'échelle du tronçon, l'étude se focalisera sur les profils en long et en travers d'une portée d'environ 20 à 100 fois la largeur du lit mineur (Shields et al. 1999).

V.1. Matériels et méthodes

La démarche méthodologique utilisée, dans le cadre de la réalisation de cette étude, est le fruit d'un processus qui a été ponctué conformément aux termes de références par la revue documentaire, les visites de terrains et les séances de travail en bureau d'étude. En conséquence elle est structurée comme suit :

V.1.1. Délimitation du Bassin versant.

D'une forme un peu arrondie et dendritique, le bassin versant du Bomboré est vaste et s'étend sur plusieurs départements de la région. Nous avons utilisé ARC GIS 9.3 pour procéder à la délimitation du bassin en question. Cette étape nous a permis de faire ressortir les zones d'accumulation des écoulements et les sens d'écoulement.

Nous avons aussi utilisé un modèle numérique de terrain (MNT) les avons exploités pour sortir des cartes en rapport avec le risque d'inondation. En plus des cartes, il était question de mettre en évidence les pentes les plus fortes et délimiter les zones comportant le plus grand risque en termes d'inondation. Cependant diverses fonctions du logiciel ARC GIS comme Fill nous permettent de mieux distinguer ces zones de dépressions.

A présent observons les différentes phases de l'élaboration du MNT.

Importation des données de bases à savoir les coordonnées(X, Y, Z)

Création de lignes ou de polygones

A partir du semis de points, effectuer une interpolation exacte (TIN)

Conversion du TIN en RASTER

Définition taille du pixel (30m*30m) dans le cas de notre étude.

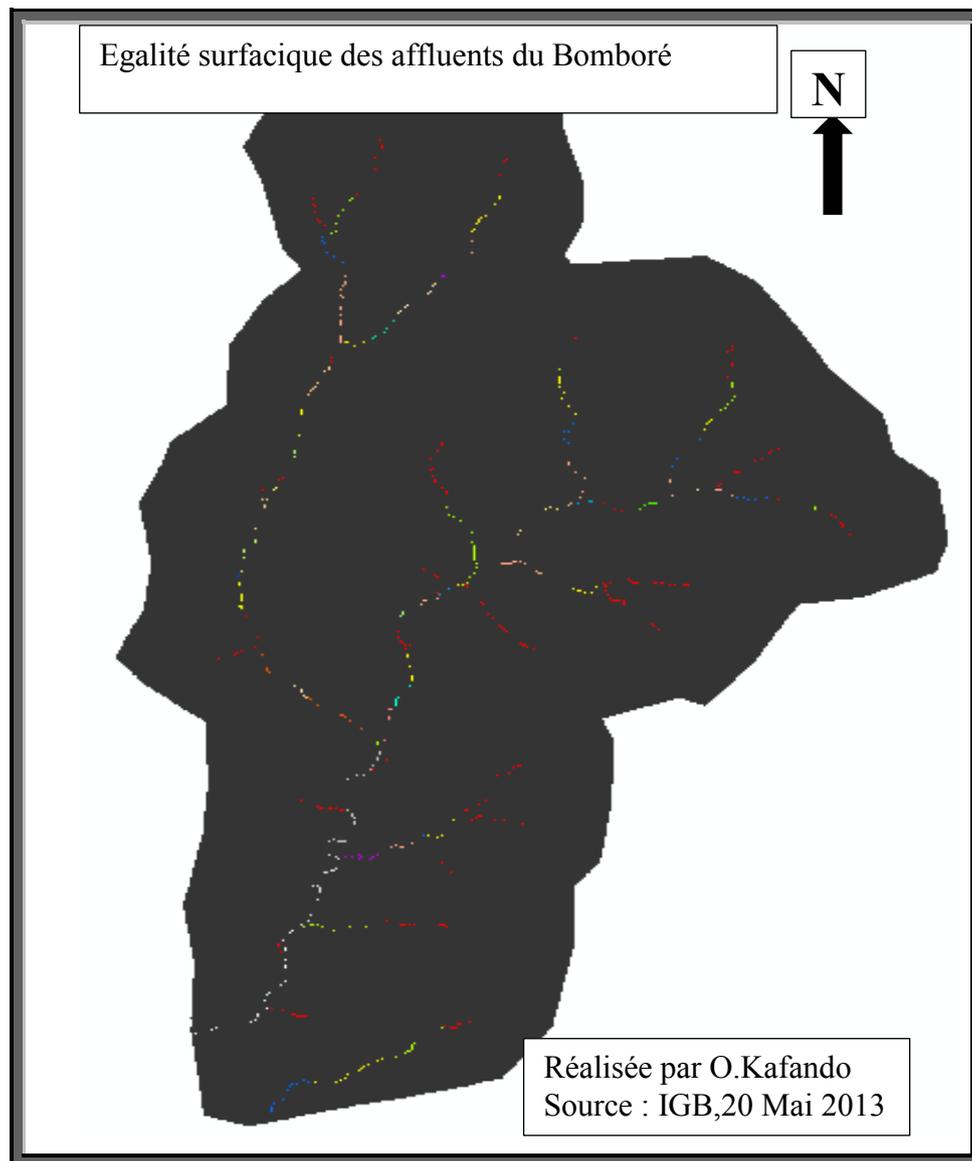


Figure III: Traitement du Bassin versant du Bomboré sur Arc Gis

V.1.2 Semis de points-Plan d'échantillonnage

Il s'agit de mettre en place un plan d'échantillonnage qui consiste à mettre au point un ensemble de sites ayant des tailles de bassin versant équivalentes. Ces points seront donc placés selon une certaine superficie de cours d'eau afin d'avoir une égale répartition et une équivalence des sites au niveau de chaque affluent.

Pour cela on fait recours au MNT (Modèle Numérique de Terrain). En effet, on procède à l'affichage du fichier RASTER, définie comme étant un ensemble de cellules ou une photo numérisée avec une résolution en pixels. (NB : Dans notre cas la taille d'un pixel est de 30*30m, valeur obtenue après un zoom approfondi sur l'image à traiter). À partir du MNT,

faire apparaître clairement le réseau hydrographique bien délimité. Ainsi donc sur ARC GIS, on procède à l'implantation des sites.

En fonction de la distance totale qui s'étend à environ 80 kilomètres sur les deux cours d'eau, il a été recommandé un morcellement d'environ quarante (40) tronçons au minimum sur lesquelles on pourra établir le diagnostic à savoir 20 sites par bras.

Partant donc de ces besoins préliminaires, il fallait donc de façon arbitraire ajuster les surfaces afin d'avoir le minimum de points requis.

D'abord une superficie de 7km², qui s'avérait aberrante car les sites dépassaient largement la norme envisagée laissant constater des points très proches et mal repartis.

Ensuite, il a été décidé d'étendre la superficie de 20 km². Cette dernière offrait des résultats non satisfaisants à nos besoins. Les points étaient peu nombreux et très espacés.

Finalement, suite à une extrapolation de nos précédentes superficies, une aire de 15 km² fut retenue pour les besoins de l'étude. En effet cette aire affichait des résultats satisfaisants avec au total 46 points repartis en moyenne par une distance allant de 1 à 1.5 kilomètre.

Suite à la conception du plan d'échantillonnage, il fallait à présent localiser avec exactitude les différents points sur le terrain (tout au long des 2 bras du cours d'eau). Pour mener à bien cette étape, le GPS, a été utilisé. Le plan d'échantillonnage issu de Arc Gis a suivi un traitement des données sur MAP SOURCE qui est un logiciel destiné à générer des conversions, tracer des itinéraires, des routes.

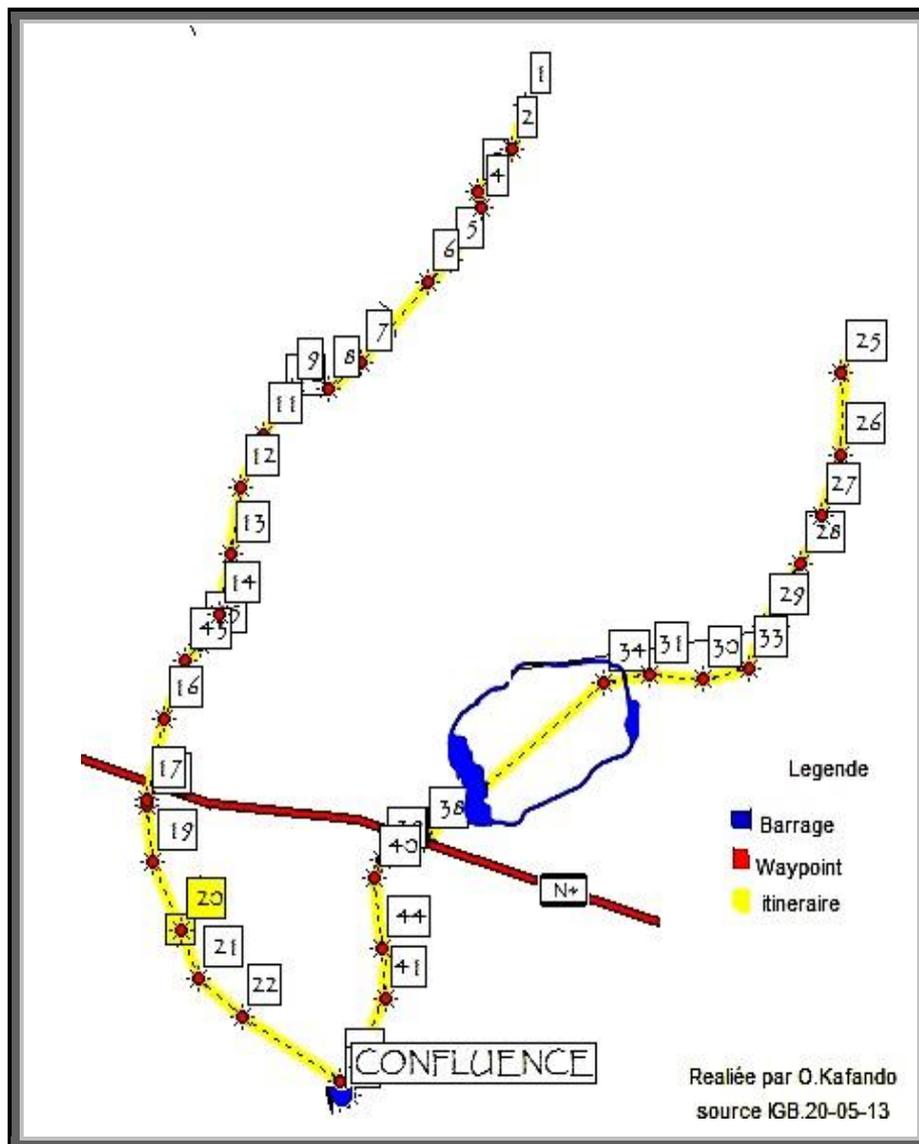


Figure IV: Plan d'échantillonnage

Cette figure nous donne un aperçu de la localisation de nos différents sites d'étude. Les coordonnées ont été répertoriées en annexe. (cf. annexe 15)

V.2 Collecte des données

La collecte des données s'est faite au niveau du lit majeur du cours d'eau principal. Des sorties de terrain ont été effectuées sur l'ensemble du bassin versant.

Le diagnostic s'est fait sur des tronçons définis sur le plan, loin des activités anthropiques et des confluences des sous bassins. Les données collectées sur le terrain concernaient la topographie, la granulométrie et l'occupation en plaine alluviale.

V.2.1 Topographie

Réalisée à l'aide d'une station totale électronique de type TC 442, elles ont permis de résumer, pour chaque tronçon, les caractéristiques générales de la morphologie du lit (profil en long et travers, largeur moyenne, granulométrie...), des berges (hauteur, pente, nature, occupation du sol.)

V.2.2- Ripisylve /occupation plaine alluviale

La ripisylve sert à l'appréciation (estimation) de la végétation sur les berges du cours d'eau. Cette partie consiste à relever toute la végétation sur une longueur déterminée. Ces fiches renseignent sur la largeur de la ripisylve, la densité et la diversité des espèces rencontrées dans chaque strate (arborée, arbustive et herbacée).

V.3 Paramètres et systèmes d'évaluation

Pour l'aspect géomorphologique, plusieurs paramètres ont été étudiés

V.3.1 La Pente

La pente sert d'indicateur sur la dynamique fluviale par rapport aux débits liquides et solides (SCHUMM, 1977). Elle permet d'évaluer les capacités morphogènes d'un cours d'eau. Des profils en long et travers sur une longueur de 200 mètres nous a permis de faire ressortir différentes valeurs de pentes et de sections du cours d'eau. La démarche utilisée est reportée sur la figure 5

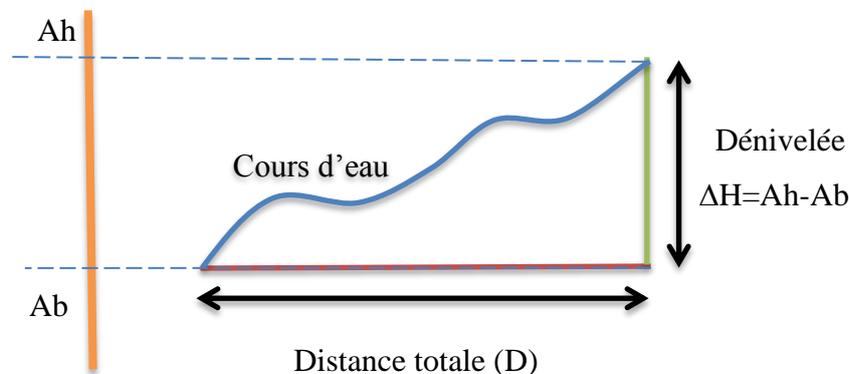


Figure V: Approche sur l'évaluation de la pente

$$\text{Pente du cours d'eau en \%} = \frac{(A_h - A_b)}{D_{\text{totale}}} * 100$$

Tableau I: Classement selon la typologie des cours d'eau (ROSGEN; 1996)

Pente	Classe de pente
$P < 0.2\%$	Pente faible
$0.2\% < p < 1\%$	Pente Moyenne
$1\% < p$	Pente forte

V.3.2 Largeur mouillée

Cette variable vient en complément de celle relative à l'ordre des cours d'eau afin de préciser leur taille et leur évolution amont-aval qui est fonction de certains critères tels que le relief, la densité de drainage, la géologie. Cette évolution amont-aval de la largeur est déterminée à partir de levé topographique (profils en travers). suite à trois stations où une valeur moyenne est retenue

V.3.3 La Sinuosité

La sinuosité d'un cours d'eau témoigne de son style fluvial. Elle est le résultat d'un équilibre entre la pente de la vallée et la charge solide transportée par le cours d'eau.

Elle est définie comme le rapport de la longueur développée par le cours d'eau à la longueur de sa vallée (en pratique, l'axe de la vallée qui a été digitalisé) (J.C. BRICE ,1964). Par définition, elle est théoriquement supérieure à 1. Cette variable a été estimée pour chaque tronçon du cours d'eau La méthode de calcul adoptée est résumée sur la figure 6.

Distance réelle du cours d'eau (Dr)



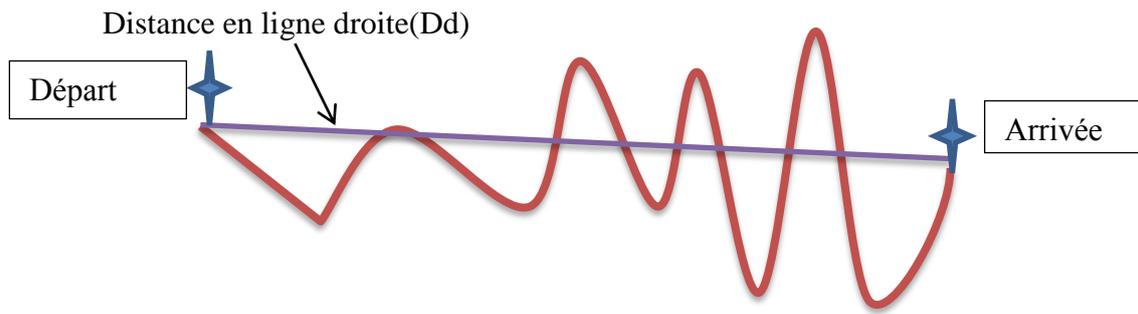


Figure VI : Approche sur l'estimation de la sinuosité

Tableau II: Classification selon l'état morphologique d'un cours d'eau

$$Is = \frac{Dr}{Dd}$$

Indice de sinuosité	formes
$Is < 1.05$	Quasi rectiligne
$1.05 < Is < 1.25$	Sinueux
$1.25 < Is < 1.5$	Fortement sinueux
$1.5 < Is$	Méandriforme

Un cours d'eau est sinueux lorsque ses berges sont non cohésives alors que pour les cours d'eau méandriformes les berges sont très cohésives (Van den Berg, 1995). C'est un paramètre qui est beaucoup utilisé pour différencier les cours d'eau.

V.4 Occupation sur la plaine alluviale

L'occupation des sols est une variable descriptive qui avec d'autres paramètres (le relief, la géologie, le climat) est utilisée pour une classification des cours d'eau. Elle est en lien direct avec les caractéristiques géomorphologiques des vallées qui fixent les possibilités d'usages des sols (les cours d'eau très étroits sont généralement boisés alors que ceux présentant un vaste lit majeur sont occupés par l'agriculture).

Cette variable est également un des facteurs de sectorisation secondaire des tronçons. En effet, des usages des sols tels que l'urbanisation ou l'enrésinement massif des fonds de vallées constituent des perturbations de la qualité écologique du lit majeur (suppression ou atteintes

directes ou indirectes à des zones de grand intérêt écologique, perturbations de la dynamique transversale des cours d'eau lors des crues, ...).

V.5 Ripisylve

La ripisylve concerne uniquement la frange arborée et arborescente naturelle le long des cours d'eau. C'est un ensemble de formations végétales présentes sur les rives. Il constitue un facteur d'équilibre et de maintien car l'arbrement des berges et des espaces riverains est indispensable à la stabilité morphologique et à la pérennité de la géométrie parcellaire des bords de cours d'eau. En effet elle préserve de l'érosion en formant un revêtement protecteur et stabilise les berges par les systèmes racinaires qu'elle développe. Elle dissipe les courants lors des crues, minimise les dommages et fixe les polluants diffus (phosphates, nitrates) Dans le cadre de notre étude l'importance de la ripisylve a été évaluée en classes de pourcentage du linéaire total du tronçon. Sur le plan morphologique la végétation joue un rôle important car lorsque les berges sont végétalisées, le lit est moins large et plus profond et la pente est un peu accentuée donc le lit mineur devient plus calibré.

VI. RESULTATS

Toutes les données brutes relevées sur le terrain sont répertoriées sous fichiers Excel et/ou cartographiées grâce au logiciel MapInfo. Elles sont dans la plupart des cas associées aux nombreuses photos réalisées sur le terrain. Un résumé par bief est réalisé, reprenant de manière synthétique toutes les informations obtenues

VII.1 Inventaire des différents tronçons

Site 1 Ce tronçon du cours d'eau est pratiquement rectiligne avec une pente relativement faible car présentant une végétation de type arboré sur la plaine alluviale et un lit mineur dominé par un sol sableux avec présence notable de limon.

Site 2: la profondeur est légèrement réduite par rapport au site précédent mais on remarque une accentuation de la largeur.

Site3 : le cours d'eau est faiblement sinueux avec une pente moyenne. La plaine alluviale est parcourue d'une végétation arborée entremêlé d'arbustes. La texture du lit est de type limono-argileux.

Site 4 : Le tronçon présente une profondeur et une largeur moyennes. Avec une pente relativement faible, cette partie du cours d'eau présente une forme quasi rectiligne. Le lit est dominé par un sol argileux avec une proportion de limon non négligeable. Nous notons également quelques apparitions de sables. La végétation est de type arbustif et herbeux entremêlé d'arbres le long du cours d'eau. En amont, la présence d'une cuvette de décantation (étang) modifie la forme du cours d'eau.

Site 5 : le profil en travers révèle un cours d'eau profond avec une largeur moyenne. La pente est moyenne et le cours d'eau fait l'objet d'une faible sinuosité. La végétation quant à elle, est dominée par des arbustes et des herbes. La couverture pédologique est sous forme argilo-limoneuse avec une partie rocheuse en aval et en faible quantité.

Site 7 : la largeur, la pente et la profondeur sont moyennes et le cours d'eau présente des sinuosités. Cette partie est caractéristique d'une zone d'intenses activités agricoles avec des champs de part et d'autres du cours d'eau.

Le cours d'eau est traversé par un radier juste en amont du site. Cette modification de la section du cours d'eau conduit à de faibles variations géométriques et le lit se présente sous forme sinueuse que l'on retrouve jusqu'au niveau du site 11 avec une intensification des cultures au niveau du site 12.

Sites 17 18 : la zone est exploitée à des fins agricoles avec la présence d'un lit mineur prononcé où nous notons beaucoup de méandres et une faible pente longitudinale. Le bas fond faiblement exploité (moins de 50%) est utilisé pour les cultures vivrières comme le riz, le maïs et le sorgho. Il est prévu d'y ériger un barrage en terre de capacité 3 407 046m³ et d'un périmètre irrigué de 213 hectares pour un coût de réalisation estimé à 3.217 810 127 francs CFA.(Revue Ganzourghou 1990-2010, 20 ans de réalisation et projets)

Juste en aval des sites 18-19, le cours d'eau devient rectiligne pour devenir très sinueux sur les sites 20-22 avec un début d'élargissement du lit. Cet aspect du cours d'eau évolue jusqu'au site 23 pour se transformer sous forme de bas fond planté par des vergers d'arbres fruitiers jusqu'à la confluence au point 46.

Quant au bras comportant le barrage de Mogtedo, à partir du point 25 vers l'aval, la zone est exploitée pour des cultures aux abords des rives. Le lit, dominé par le sable est étroit et peu profond avec l'apparition de ravines le long jusqu'au niveau du bief 27 où le lit devient

imperméable (texture argilo-limoneuse). Avec une pente relativement faible, le cours d'eau présente un profil longitudinal rectiligne accompagné d'un élargissement progressif qui se prolonge sous forme de cuvette de décantation (biefs 27 et 28).

Au site 29, un ouvrage de franchisage (dalot) a été construit. Ce tronçon est exploité à des fins agricoles sur la plaine alluviale. Dans cette partie, nous remarquons un nombre important d'ouvrages hydrauliques (dalot, radier...) et le lit mineur est constitué de sable et de graviers.

Au niveau du barrage de Mogtedo, juste en amont de la retenue, plus de 100 hectares sont exploités. (CNID-B, Juin 2010). Au niveau de la cuvette (saison sèche) le sol compacté révèle des fissures et se présente sous forme foncée (brun). Le déversoir a provoqué un dépôt important de sédiments au niveau de l'évacuateur. Au pied de l'ouvrage nous avons remarqué une forte érosion qui a engendré une dégradation continue du bassin de dissipation. Un peu à l'aval du déversoir on a en place un ouvrage de franchisage qui coupe le cours, juste à l'amont de l'ouvrage, la présence d'un bas-fond est à l'origine de l'exploitation des terres pour la riziculture. Un peu plus en aval, dans le sens de la confluence, la couverture végétale est très dense avec des pentes relativement faibles. Le lit mineur est constitué de matériaux de type argilo-sableux.

VII.2 Etude hydrologique

L'hydrologie du milieu a un rôle déterminant dans les dimensions et les formes prises par les cours d'eau la forme est façonnée progressivement en fonctions des débits qui lui parviennent depuis le bassin versant mais aussi en fonction des matériaux déposés, provenant du bassin versant et /ou arraché au fond du lit ou des berges.

VII.2.1 Calculs des débits

✓ AFFLUENT AVEC LE BARRAGE DE MOGTEDO

Méthode déterministe d'ORSTOM

Calcul des pentes : D'une façon théorique à partir de la formule de GRESILLON :

$$I = \frac{0.026}{\sqrt{S}} = \frac{0.026}{\sqrt{500}} = 0.00116$$

SI la pente est inférieure à 0.2% on a une classe de relief R2 selon les normes d'ORSTOM.

Maintenant si le bassin versant est majoritairement imperméable avec des zones perméables à faibles étendues on a donc un BV de type RI selon la classification d'ORSTOM. Ce qui nous conduit à un BV DE TYPE P2RI.

Climat de type sahélien

Végétation arbustive,

Pluie moyenne annuelle= 756.7 mm

Aire=500km².

La crue décennale sera donc déterminée suivant la formule :

$$Q_{10} = \frac{10^3 * A * K * K_{r10} * P_{10} * S}{T_b * 3600}$$

S=superficie du B.V

P₁₀=Pluie journalière décennale humide

K=coefficient de pointe=3.1 en Zone sahélien

A=Coefficient d'abattement de VUILLAUME permettant de calculer la pluie moyenne sur tout le bassin

$$A = 1 - 0.001(9 * \log t - 0.042 P_{an} + 152) * \log S$$

T=durée de retour de la crue décennale=10 ans

P_{an}=Pluie annuelle moyenne

T_b=temps de base déterminé par les abaques de Rodier et Auvray de l'ORSTOM ; il est fonction de la superficie du BV et du régime climatique.

Ainsi donc on obtient A= 0.65 pour une pluviométrie de 756.7mm et une superficie de 500km².

(Annexe1)

K_{r10}=Coefficient de ruissellement de crue décennale obtenu par extrapolation à partir de l'abaque ORSTOM de Rodier et Auvray en fonction de la perméabilité P₂ ; de la pluviométrie (150 à 800mm) dans les régimes sahéliens et subdésertiques.

Pour P₁₀ différente de 70 et 100 mm, K_{r10} est obtenu par interpolation linéaire entre K_{r70} et K_{r100}

Comme le montrent les abaques, avec une superficie de 500km² (annexe 2), nous avons :

- Pour une infiltrabilité RI et I_g = 7 m/km : K_{r70.1} = 15 et K_{r100.1} = 18.5
- Pour une infiltrabilité RI et I_g = 3 m/km : K_{r70.2} = 19 et K_{r100.2} = 23
- Pour une infiltrabilité RI et I_g = 1.16 m/km :

$$\begin{cases} K_{r70.3} = 19 + \frac{(15 - 19)(1.16 - 3)}{(7 - 3)} = 20.84 \\ K_{r100.3} = 23 + \frac{(18.5 - 23)(1.16 - 3)}{(7 - 3)} = 25.07 \end{cases}$$

$$D'où K_{r10} = 20.84 + \frac{(25.07 - 20.84)(97 - 70)}{(100 - 70)} = 24.65\%$$

Le temps de base

Temps compris entre le début et la fin du ruissellement rapide. Il peut être déterminé par abaque en fonction du régime climatique, de l'indice global de pente et de la superficie du bassin versant. (Annexe 3)

-Pour $I_g = 7$: $T_{b10.1} = 1700$ mn

-Pour $I_g = 3$: $T_{b10.2} = 3400$ mn

$$T_{b10} = 1700 + \frac{(3400 - 1700)(1.16 - 3)}{(7 - 3)} = 918 \text{ mn ou } 55080 \text{ s}$$

Connaissant tous les paramètres de l'équation, nous pouvons à présent calculer le débit de crue décennale. Nous avons alors :

Tableau III : Récapitulatif de détermination du débit décennal

Paramètres	formules	Application numérique	Résultats
Pluie Moyenne décennal P_{m10}	$A \cdot P_{10}$	$0,65 * 97$	63.05 mm
Lame d'eau décennale ruisselée L_{r10}	$P_{m10} \cdot K_{r10}$	$63.05 * 0.2465$	15.54 mm
Volume décennal ruisselé V_{r10}	$S \cdot L_{r10}$	$500 * 10^3 * 15.54$	7770912.5 m ³
Débit Moyen Q_{mr10} décennal	$\frac{V_{r10}}{T_{b10}}$	$\frac{7770912.5 \text{ m}^3}{55080 \text{ s}}$	141.084 m ³ /s

Débit Maximum Décennal Q_{r10}	$\alpha_{10} \cdot Q_{mr10}$	$2,6 * 141.084$	$366.81 \text{ m}^3/\text{s}$
Débit de pointe décennal Q_{10}	$1,05 \cdot Q_{r10}$	$1,05 * 366.81$	$385.15 \text{ m}^3/\text{s}$
Volume Retardé Décennal V_{ret10}	$0,05 \cdot Q_{r10} \cdot T_{b10}$	$0,05 * 366.81$ $* 55080$	1010194.74 m^3
Volume total décennal V_{c10}	$V_{r10} + V_{ret10}$	7770912.5 $+ 1010194.74$	8781107.24 m^3

Le débit de crue centennale est obtenu en multipliant le débit de crue décennale par un coefficient majorateur supérieur à 1, qui est fonction des précipitations de même temps de retour pour le temps de base caractéristique du bassin versant : $Q_{100} = C \cdot Q_{10}$

L'expression donnant le coefficient (C) est :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} * \frac{\left(\frac{T_b}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}$$

Où

P_{10} = Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 10 ans

P_{100} = Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 100 ans

T_b = Temps de base en heures. $T_b = 55080 \text{ s}$

K_{r10} = Coefficient de ruissellement de la crue décennale exprimé en fraction et non pas en pourcentage. $K_{r10} = 0.2465$

En zone sahelienne, nous avons : $\frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} = 0,45$

$$\text{D'où } C = 1 + 0,45 * \frac{\left(\frac{15.3}{24}\right)^{0,12}}{0,2465} = 2,73 \Rightarrow Q_{100} = 2,73 * 385.15 = 1051,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Méthode du CIEH-EIER

Cette méthode repose principalement sur des équations de régression linéaire multiple entre paramètres corrélables. La formule générale donnant le débit décennal est :

$$Q_{10} = a \cdot S^s \cdot \bar{P}_{an}^p \cdot I_g^i \cdot K_{10}^k \cdot Dd^d \dots$$

Q_{10} = Débit de crue décennale (m^3/s)

S = Superficie du bassin versant (km^2)

\bar{P}_{an} = Pluie annuelle moyenne (mm)

I_g = Indice global de pente (m/km)

Kr_{10} = Coefficient de ruissellement décennal (%)

Dd = Densité de drainage (km^{-1})

a, s, p, i, k, d, ... Sont des coefficients déterminés par la méthode de régression linéaire multiple.

Les auteurs de la méthode donnent un tableau (voir annexe 4) qui propose les régressions ayant donné les meilleurs résultats.

Le principe est de sélectionner parmi ces équations, celles qui montrent une valeur élevée de r^2 en favorisant les échantillons pour lesquelles n est élevé. Ainsi, nous pouvons retenir les équations suivantes: 10,12,18,39,40,

Kr_{10} est déterminé en fonction de la zone climatique et du substrat (annexe 6) Ainsi, nous avons :

- ✓ Pour les sables, $Kr_{10} = 2 * 10^7 * 756.7^{-2,2} = 9.27\%$
- ✓ Pour les argiles, $Kr_{10} = 300 * 756.7^{-0,3} = 41.06\%$

Pour l'ensemble du bassin versant $Kr_{10} = 9.27\% * 0,5 + 41.06\% * 0,5 = 25.165\%$

– $P_{m10} = P_{10} \cdot A$ avec $P_{10} = 97mm$ $A = 1 + \left[\frac{(161 - 0,042 \cdot \bar{P}_{an})}{1000} \cdot \log S \right]$ soit

$$A = 1 + \left[\frac{(161 - 0,042 * 756.7)}{1000} * \log(500) \right] = 1,3487$$

$$D'où P_{m10} = 97 * 1.3487 = 130,83mm$$

Tableau IV: Rappel des données pour le calcul du débit décennal par la Méthode CIEH

Superficie S	Indice de pente I _g	Coefficient Kr ₁₀	Pluie P _{m10}
500 km ²	1.16%	25.165%	130.83 mm

Le calcul de (Q_{10}) à l'aide de chaque équation nous donne les résultats suivants :

Equation

Tableau V: Calcul de débit décennal par les équations du CIEH

Equation	Formules	Résultats
10	$0,0833 \cdot S^{0,696} \cdot I_g^{0,953} \cdot K_{r10}^{0,534}$	40.6m ³ /s
12	$0,095 \cdot S^{0,643} \cdot I_g^{0,406} \cdot K_{r10}^{1,038}$	156.084 m ³ /s
18	$0,0678 \cdot S^{0,661} \cdot I_g^{0,412} \cdot K_{r10}^{1,105}$	154.77 m ³ /s
39	$0,410 \cdot S^{0,425} \cdot K_{r10}^{0,923}$	112.92m ³ /s
40	$0,254 \cdot S^{0,462} \cdot I_g^{0,101} \cdot K_{r10}^{0,976}$	106.03 m ³ /s
44	$203 \cdot S^{0,459} \cdot P_{m10}^{-1,301} \cdot K_{r10}^{0,813}$	85.37m ³ /s

Les résultats montrent que le débit de crue décennale est situé entre 110 et 155 m³/s. Nous retiendrons donc une valeur moyenne $Q_{10} = 132.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

• Choix définitif du débit de crue décennale

Les calculs obtenus par les deux méthodes d'évaluation des crues sont :

Pour la méthode ORSTOM révisée : $Q_{10} = 141.084 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour la méthode CIEH $Q_{10} = 132.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Ainsi donc pour ne pas sous estimer nos débits, on considère le cas le plus défavorable donc on retient un débit définitif de 141.084 m³/s.

Détermination du débit de crue centennale

Le débit de crue centennale est obtenu en multipliant le débit de crue décennale par un coefficient majorateur supérieur à 1, qui est fonction des précipitations de même temps de retour pour le temps de base caractéristique du bassin versant : $Q_{100} = C \cdot Q_{10}$

L'expression donnant le coefficient (C) est :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \cdot \frac{\left(\frac{T_b}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}$$

Où

P_{10} = Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 10 ans

P_{100} = Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 100 ans

T_b = Temps de base en heures. $T_b = 918 \text{ mn}$ soit 15.3heures

K_{r10} = Coefficient de ruissellement de la crue décennale exprimé en fraction et non pas en pourcentage. $K_{r10} = 0,2465$

En zone soudano sahelienne, nous avons : $\frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} = 0,45$

$$\text{D'où } C = 1 + 0,45 * \frac{\left(\frac{15,3}{24}\right)^{0,12}}{0,2465} = 2,72 \Rightarrow Q_{100} = 2,72 * 132,5 = 360,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Effets de laminage

Caractéristiques du barrage

On y retrouve un barrage compactée d'une longueur de 2 637 m et d'une hauteur maximale de 5m. Il est pourvu d'un réservoir latéral de 650m de long. Construit en 1963, sa capacité a été estimée lors de sa conception à 6 580 000 m³ (SOGETHA, 1964).

La digue est géographiquement localisée sur le parallèle 00°50' Ouest et le méridien 12°11' Nord à une altitude de 272 m au-dessus du niveau de la mer (SOME Koussao et al., 2008). Il est la principale source d'eau pour les activités socio-économiques des populations de Mogtédó et alentours. Les besoins en eau se font de plus en plus croissants chaque année.

Ce barrage est situé à cheval entre les communes rurales de Zam et de Mogtédó et à 3 kms au nord de cette dernière. Construit en 1963, il avait les caractéristiques suivantes (Hilmy S. et al. 1997):

- superficie du bassin versant: 500 km ;
- volume brut du barrage : 6 580 000 m³ ;
- longueur de la digue : 2 600 m ;
- largeur en crête de la digue : 3,5 m ;
- longueur et nature du déversoir : 650 m en béton cyclopéen
- position du déversoir : déversoir latéral ;
- type et nombre de prise d'eau : 2 prises d'eau en tour ;
- tranche d'eau exploitable : 2,83m (RG) ; 2,96m (RD).

La méthode du CIEH-EIER ou la Méthode du x_0

$$\beta_1 = \frac{Q_{\text{emax}}}{Q_{\text{cmax}}}$$

Q_{emax} = débit entrant (crue de projet)

Q_{cmax} = débit maximum évacué

β_1 se lit sur un abaque en fonction de $\log_{10} x_0$ avec :

$$X_{01} = \frac{m^2 \cdot g \cdot L_1^2 \cdot Q_{Cmax} \cdot T_{m10}^3}{S^3}$$

L_1 = longueur du déversoir (m)

S = superficie de la retenue (m²)

m = coefficient du débit de l'évacuateur

T_{m10} = temps de montée des eaux (s)

Q_{Cmax} = Débit de projet

g = pesanteur

Le temps de montée

$$T_{m10} = 0.33 T_{b10} = 0.33 \cdot 55080 \text{ s} = 18176,4 \text{ s} = 302,94 \text{ mn}$$

$$X_{01} = \frac{m^2 \cdot g \cdot L_1^2 \cdot Q_{Cmax} \cdot T_{m10}^3}{S^3} = \frac{0,4^2 \cdot 9,81 \cdot 650^2 \cdot 360,4 \cdot 18176,4^3}{2313167,26^3} = 115,95 \quad \text{Donc } \log X_{01} = 2,06$$

D'où $\beta_1 = 90,8\%$

$$D \text{ où } Q_{Cmax} = Q_{emax} \cdot \beta_1 = 360,4 \cdot 0,908 = 327,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{Cmax} = 327,24 \text{ m}^3/\text{s}$$

✓ **Affluent gauche sans aménagement**

Calcul des pentes : D'une façon théorique à partir de la formule de GRESILLON :

$$I = \frac{0.026}{\sqrt{S}} = \frac{0.026}{\sqrt{348}} = 0.00139$$

SI la pente est inférieure à 0.2% on a une classe de relief R2 selon les normes de classification d'ORSTOM. Maintenant si le bassin versant est majoritairement imperméable avec des zones perméables à faibles étendues on a donc un BV de type RI selon la classification d'ORSTOM. Ce qui nous conduit à un BV DE TYPE P2RI.

Les paramètres déterminants :

**Le régime climatique (sahélien, végétation arbustive, Pan ; 756.7 mm....)

**Type de BV : P2RI et surface du BV = 348 km² (Arcgis 9.3). Ce résultat est issu de la délimitation du bassin versant sur ARCVIEW 3.2.

Méthode d'ORSTOM

La crue décennale sera donc déterminée suivant la formule :

$$Q_{10} = \frac{10^3 \cdot A \cdot K \cdot Kr_{10} \cdot P_{10} \cdot S}{T_b \cdot 3600}$$

S = superficie du bassin versant

P10=Pluie journalière décennale humide

K=coefficient de pointe=3.1 en Zone sahélien

A=Coefficient d'abattement de **VUILLAUME** permettant de calculer la pluie moyenne sur tout le bassin

$$A=1-0.001(9*\log t-0.042 \text{ Pan} + 152)*\log S$$

$$A=0.67$$

Kr10=Coefficient de ruissellement de crue décennale obtenu par extrapolation a partir de l'abaque ORSTOM de Rodier et Auvray en fonction de la perméabilité

P2; de la pluviométrie (150 a 800mm) dans les régimes sahéliens et subdésertiques.

Pour P₁₀ différente de 70 et 100 mm, Kr₁₀ est obtenu par interpolation linéaire entre Kr₇₀ et Kr₁₀₀

Comme le montrent ces abaques, avec une superficie de 348km², nous avons :

Pour une infiltrabilité RI et I_g = 7 m/km : Kr_{r70.1} = 15 et Kr_{r100.1} = 18.5

Pour une infiltrabilité RI et I_g = 3 m/km : Kr_{r70.2} = 19 et Kr_{r100.2} = 23

Pour une infiltrabilité RI et I_g = 1.39 m/km :

$$\begin{cases} K_{r70.3} = 19 + \frac{(15 - 19)(1.39 - 3)}{(7 - 3)} = 20,61 \\ K_{r100.3} = 23 + \frac{(18.5 - 23)(1.39 - 3)}{(7 - 3)} = 24,81 \end{cases}$$

$$D'où K_{r10} = 20.61 + \frac{(24,81 - 20.61)(97 - 70)}{(100 - 70)} = 24.4\%$$

Le temps de base

– Pour I_g = 7 : T_{b10.1} = 1600 mn

– Pour I_g = 3 : T_{b10.2} = 2950 mn

$$D'où T_{b10} = 1600 + \frac{(2950 - 1600)(1.39 - 3)}{(7 - 3)} = 1056 \text{ mn ou } 63360 \text{ s}$$

Connaissant tous les paramètres de l'équation, nous pouvons à présent calculer le débit de crue décennale. Nous avons alors :

Tableau VI:recapitulatif de détermination du débit décennal de l'affluent sans barrage

Paramètres	Formules	Application numérique	Résultats
Pluie Moyenne décennal P_{m10}	$A \cdot P_{10}$	$0,65 * 97$	63.05 mm
Lame d'eau décennale ruisselée L_{r10}	$P_{m10} \cdot K_{r10}$	$63.05 * 0.244$	15.4 mm
Volume décennal ruisselé V_{r10}	$S \cdot L_{r10}$	$348 * 10^3 * 15.4$	5359200 m ³
Débit Moyen Q_{mr10} décennal	$\frac{V_{r10}}{T_{b10}}$	$\frac{5359200 \text{ m}^3}{63360 \text{ s}}$	84.58 m ³ /s
Débit Maximum Décennal Q_{r10}	$\alpha_{10} \cdot Q_{mr10}$	$2,6 * 84.58$	219.916 m ³ /s
Débit de pointe décennal Q_{10}	$1,05 \cdot Q_{r10}$	$1,05 * 219.916$	231 m ³ /s
Volume Retardé Décennal V_{ret10}	$0,05 \cdot Q_{r10} \cdot T_{b10}$	$0,05 * 219.916$ $* 63620$	696693.88 m ³
Volume total décennal V_{c10}	$V_{r10} + V_{ret10}$	5359200 + 696693.88	6055893,88 m ³

Débit de crue centennale

Le débit de crue centennale est obtenu en multipliant le débit de crue décennale par un coefficient majorateur supérieur à 1, qui est fonction des précipitations de même temps de retour pour le temps de base caractéristique du bassin versant : $Q_{100} = C \cdot Q_{10}$

L'expression donnant le coefficient (C) est :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \cdot \frac{\left(\frac{T_b}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}$$

Où

P_{10} = Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 10 ans

P_{100} = Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 100 ans

T_b = Temps de base en heures. $T_b = 63360$ s

K_{r10} = Coefficient de ruissellement de la crue décennale exprimé en fraction et non pas en pourcentage. $K_{r10} = 0.244$

En zone sahelienne, nous avons : $\frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} = 0,45$

$$\text{D'où } C = 1 + 0,45 * \frac{\left(\frac{17,6}{24}\right)^{0,12}}{0,244} = 2,78 \Rightarrow Q_{100} = 2,78 * 231 = 642.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Méthode du CIEH-EIER

Cette méthode a été proposée par Puech et Chabi-Gonni en 1983. La formule générale donnant le débit décennal est :

$$Q_{10} = a \cdot S^s \cdot \bar{P}_{an}^p \cdot I_g^i \cdot K_{10}^k \cdot Dd^d \cdot \dots$$

Q_{10} = Débit de crue décennale (m^3/s)

S = Superficie du bassin versant (km^2)

\bar{P}_{an} = Pluie annuelle moyenne (mm)

I_g = Indice global de pente (m/km)

K_{r10} = Coefficient de ruissellement décennal (%)

Dd = Densité de drainage (km^{-1})

a, s, p, i, k, d, \dots Sont des coefficients déterminés par la méthode de régression linéaire multiple.

Le principe est de sélectionner parmi ces équations, celles qui montrent une valeur élevée de r^2 en favorisant les échantillons pour lesquelles n est élevé. Ainsi, nous pouvons retenir les équations suivantes : 10, 12, 18, 39, 40, 44

Tableau VII : Calcul de Q_{10} selon la méthode CIEH – Equations et coefficients à utiliser selon les découpages climatiques

K_{r10} est déterminé en fonction de la zone climatique et du substrat. Le tableau

Tableau en annexe : Equation de K_{r10} selon la méthode CIEH

Ainsi, nous avons :

$$\text{Pour les sables, } K_{r10} = 2 * 10^7 * 756.7^{-2,2} = 9.27\%$$

Pour les argiles, $Kr_{10} = 300 * 756.7^{-0,3} = 41.06\%$

Pour l'ensemble du bassin versant $Kr_{10} = 9.27\% * 0,5 + 41.06\% * 0,5 = 25.165\%$

$$P_{m10} = P_{10} \cdot A \text{ avec } P_{10} = 97mm$$

$$A = 1 + \left[\frac{(161 - 0,042 \cdot \bar{P}_{an})}{1000} \cdot \log S \right] \text{ soit}$$

$$A = 1 + \left[\frac{(161 - 0,042 * 756.7)}{1000} * \log(348) \right] = 1,33$$

$$D'où P_{m10} = 97 * 1.33 = 129.01mm$$

Tableau VIII:Rappels de données sur le bassin

Superficie S	Indice de pente I _g	Coefficient Kr ₁₀	Pluie P _{m10}
348 km ²	1.39%	25.165%	129.01 mm

Le calcul de (Q₁₀) à l'aide de chaque équation nous donne les résultats suivants en fonctions des données ci-dessus.:

Tableau IX:Recapitulatifs de déterminations du débit selon CIEH (Bras sans aménagement)

Equation	Formules	Résultats
10	$0,0833 \cdot S^{0,696} \cdot I_g^{0,953} \cdot Kr_{10}^{0,534}$	37.48m ³ /s
12	$0,095 \cdot S^{0,643} \cdot I_g^{0,406} \cdot Kr_{10}^{1,038}$	133.06 m ³ /s
18	$0,0678 \cdot S^{0,661} \cdot I_g^{0,412} \cdot Kr_{10}^{1,105}$	131.22 m ³ /s
39	$0,410 \cdot S^{0,425} \cdot Kr_{10}^{0,923}$	96.80m ³ /s
40	$0,254 \cdot S^{0,462} \cdot I_g^{0,101} \cdot Kr_{10}^{0,976}$	91.34 m ³ /s
44	$203 \cdot S^{0,459} \cdot P_{m10}^{-1,301} \cdot Kr_{10}^{0,813}$	73.62 m ³ /s

Les résultats montrent que le débit de crue décennale est situé probablement entre 90 et 130 m³/s. Nous retiendrons donc une valeur moyenne $Q_{10} = 110 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Choix définitif du débit de crue décennale

Les calculs obtenus par les deux méthodes d'évaluation des crues sont :

Pour la méthode ORSTOM révisée : $Q_{10} = 84.58 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour la méthode CIEH : $Q_{10} = 110 \text{ m}^3/\text{s}$

Ainsi donc pour ne pas sous-estimer nos débits, on considère le cas le plus défavorable donc on retient un débit définitif décennal de $110 \text{ m}^3/\text{s}$

Le débit de crue centennale est obtenu en multipliant le débit de crue décennale par un coefficient majorateur supérieur à 1, qui est fonction des précipitations de même temps de retour pour le temps de base caractéristique du bassin versant : $Q_{100} = C \cdot Q_{10}$

L'expression donnant le coefficient (C) est :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \cdot \frac{\left(\frac{T_b}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}$$

Où

P= Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 10 ans

P_{100} = Précipitation journalière correspondant à une période de retour de 100 ans

T_b = Temps de base en heures. $T_b = 17.6$ heures

K_{r10} = Coefficient de ruissellement de la crue décennale exprimé en fraction et non pas en pourcentage. $K_{r10} = 0,2465$

En zone soudano sahelienne, nous avons : $\frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} = 0,45$

$$\text{D'où } C = 1 + 0,45 * \frac{\left(\frac{17,3}{24}\right)^{0,12}}{0,2465} = \Rightarrow Q_{100} = 2,76 * 110 = 303,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

VII.2.2 Estimations des apports solides

Les matériaux arrachés du sol par les eaux de ruissellement s'accumulent au fond des cuvettes réduisant ainsi les capacités de stockage au fil des années. Pour l'estimation des apports, nous envisagerons deux approches à bases de formules empiriques :

✓ Affluent portant le barrage de Mogtedo

**Formule de GOTTSCHALK

Dégradation spécifique =D= $260 * S^{-0.1}$ (S=superficie du B.V)

$$D=260*500^{-0.1}=139.66 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

Le volume moyen annuel en apports solides

$$Vs1 = D * S \text{ donc on a } Vs1. = 139.66 * 500 = 69830 \text{ m}^3/\text{an}$$

****Formule du CIEH-EIER (GRESILLON)**

$$\text{Dégradation spécifique } = D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right) * S^{-0.1}$$

$$D = 700 * \left(\frac{756.7}{500}\right) * 500^{-0.1} = 143.32 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

Le Volume moyen annuel en apports solides

$$Vs2 = D * S \text{ donc nous avons } D = 523.72 * 500 = 71658.81 \text{ m}^3/\text{an}$$

✓ **Affluent libre**

****Formule de GOTTSCHALK**

$$\text{Dégradation spécifique } = D = 260 * S^{-0.1} \text{ (S=superficie du B.V)}$$

$$D = 260 * 348^{-0.1} = 144.81 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

Le volume moyen annuel en apports solides

$$Vs1 = D * S \text{ donc on a } Vs1. = 144.81 * 348 = 50393,88 \text{ m}^3/\text{an}$$

****Formule du CIEH-EIER (GRESILLON)**

$$\text{Dégradation spécifique } = D = 700 * \left(\frac{P}{500}\right) * S^{-0.1}$$

$$D = 700 * \left(\frac{756.7}{500}\right) * 348^{-0.1} = 590,1 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$$

Le Volume moyen annuel en apports solides

$$Vs2 = D * S \text{ donc nous avons } D = 590.1 * 348 = 205354.8 \text{ m}^3/\text{an}$$

Pour cette partie des estimations des apports solides, on peut donc en déduire que les apports sont beaucoup plus importants au niveau du bras portant le barrage parce que cet affluent est beaucoup plus grand induisant donc des apports en matériaux élevés. Partant également des méthodes utilisées pour l'estimation des apports, on peut donc conclure que la formule **GOTTSCHALK** est fiable par rapport à celle de **GRESILLON**.

VIII ANALYSES ET DISCUSSIONS

Ce chapitre concerne la discussion des résultats que nous avons obtenus lors de cette étude.

VIII.1. Interprétation des résultats du diagnostic

Sur cette partie du cours d'eau portant le barrage de Mogtedo, nous remarquons que les dimensions géométriques sont faibles du fait que la présence du barrage bloque l'écoulement de l'eau et au fil cette partie va se combler surtout sous l'influence de l'érosion hydrique. Les lits mineurs sont recouverts majoritairement de sable. Le peu d'écoulement ne peut pas provoquer beaucoup de dégâts vu que l'énergie cinétique de l'eau est minimale à cause des faibles vitesses et la plaine alluviale est exploitée à des fins agricoles. Au niveau du bras sans barrage, la bande riveraine est parsemée d'arbres.

Suivant le sens de l'écoulement, d'amont en aval, il y a lieu de constater que les paramètres géométriques évoluent peu à peu d'un tronçon à l'autre. Cela laisse penser que les cours d'eau subissent un changement morphologique qui est fonction des variables qui évoluent de manière différente. Cette variation pourrait s'expliquer par la différenciation de la végétation mais également par la présence d'un étang à gauche (influencé par les activités anthropiques en amont du bief 4) qui joue sur les caractéristiques du cours d'eau. L'étang atténue la dynamique de l'eau et joue au même titre un rôle de décanteur engendrant un faible débit qui contribue à l'incision du lit et à un dépôt sédimentaire. La présence de ravines sur ce même site est issue de l'importance des vitesses d'écoulement et l'eau a tendance à creuser sur son chemin tout tracé qu'elle emprunte. Il se crée alors des zones de dépressions remplies d'eau en saison humide, par suite du très faible drainage interne des sols constituant leur fond. En fin de saison sèche, le fond des cuvettes présente un horizon craquelé à structure feuilletée correspondant aux différents niveaux de sédimentation de particules de taille identique (annexe 17)

D'amont en l'aval, sur le bras gauche, les paramètres varient certes mais de façon faibles. Plusieurs tronçons sur ce bras sont marqués par une accentuation des cultures aux abords du cours d'eau, également des aménagements de bas-fonds (plaines rizicoles) y sont présents. Cependant les pentes demeurent faibles mais contrairement à la sinuosité qui s'accroît avec une texture du lit de type argilo-limoneux. Cependant du côté droit, le cours d'eau reste rectiligne tout en s'élargissant et le lit mineur, de nature sableuse est favorable à l'érosion.

Du côté droit, le cours d'eau est traversé par un ouvrage hydraulique : un barrage. Cet ouvrage qui, certes est un appui au développement du secteur sylvo-agro-pastorale joue également un rôle de stabilisateur du lit mineur. A l'amont du barrage, on constate une intensification des cultures, un élargissement progressif du cours d'eau avec de faibles variations de profondeurs (annexe 18). Ce phénomène est sous l'emprise de l'impact des sédiments drainés depuis

l'amont et selon la taille des grains ils sont déposés à la limite de la retenue ou dans la cuvette par décantation. Aussi au pied du déversoir, les dépôts s'avèrent tellement importants que la hauteur moyenne de l'évacuateur se voit réduite à moins de 1.5 mètre. En effet les fortes variations en termes de largeurs en amont sont très souvent dues à la présence de radiers ou d'autres ouvrages hydrauliques servant de passages aux usagers en périodes de crues. Cependant ces ouvrages ne sont pas sans conséquences car ils contribuent à calibrer le lit qui est très souvent recouvert de sable à ces endroits et avec une variation des paramètres physiques. On constate à cet effet des tronçons marqués par de grandes largeurs s'accompagnant de faibles profondeurs en amont de l'ouvrage mais juste à l'aval on assiste à un phénomène peu différent car l'écoulement est sous l'influence de la section de l'ouvrage (annexe 19) donc induisant un cours d'eau plus étroit et un lit incisé. Cela justifie également la variation de pente, parce qu'en amont la pente régresse et en aval elle augmente.

Juste en aval du barrage, on peut observer l'aménagement du périmètre irrigué destiné aux cultures de contre-saisons. Cependant après le déversoir on constate une érosion aigue en place due à la chute d'eau lors des crues. En effet le barrage dispose d'un bassin de dissipation ayant pour objectif d'adoucir la chute en vue d'éviter l'érosion au pied de l'évacuateur. Cependant la fluctuation d'eau a mis hors d'état fonctionnel les ouvrages en place. Pour ce faire, afin de minimiser l'érosion qui s'accroît, une réhabilitation a eu lieu. En effet cela consistait à renforcer les ouvrages annexes en place, ainsi donc il y'a eu lieu de poses de gabions. Par suite une majeure partie des pierres qui est formée la pose est emportée le long du cours d'eau sur une importante distance, on en déduit alors que l'eau requiert une certaine dynamique en aval. Le lit mineur est mis à nus laissant percevoir la roche latéritique mère en place. Par contre l'eau qui s'écoule à partir du déversoir est soumis à une pente extrêmement forte mais faible en terme de volume. La largeur que crée l'eau au pied du déversoir se verra réduite plus en aval. Aussi la route Nationale 4 servant d'ouvrage de franchissement coupe également le cours d'eau à nouveau. Ainsi donc un dalot cadre sert de support à la route et permet le passage de l'eau en temps de crues. En amont de l'ouvrage, des cultures occupent une grande partie du lit majeur qui est inondé totalement lors des averses. La pente relativement faible sous l'effet de la recherche de l'équilibre dynamique, Les sédiments drainés plus en amont se voient déposés à l'entrée de l'ouvrage, et comme il y a l'incapacité à laisser passer toute l'eau au même débit, on assiste à une inondation, un élargissement du lit majeur. Cela s'explique du fait que la section du cours d'eau n'arrive pas à absorber tout le flux hydrique alors l'eau se voit contrainte de marquer une pose dans son écoulement à cause des nouvelles dimensions auxquelles elle est

confrontée. On assiste à des sols compacts et des berges non cohésives. Cependant, plus on avance dans le sens de l'écoulement on constate des dimensions un peu différentes qu'en amont, les largeurs régressent tandis que les profondeurs s'accroissent. Cela traduit la faible dynamique de l'eau qui y circule. Avec un faible débit il est difficile d'assister à une nette érosion des berges, cependant elle accentue la dégradation du lit mineur. Le faible écoulement tend à effectuer un balayage des matériaux fins en surface, incisant ainsi le lit. L'éloignement du barrage en direction de la confluence se traduit également par une zone végétalisée. Du fait du faible écoulement, le cours d'eau se voit infecté par l'eutrophisation qui est un développement excessif de la végétation.

Du côté gauche du bassin versant, plus on s'approche de la confluence et on constate que les paramètres géométriques gardent à peu près leurs aspects habituels. En effet, les largeurs et les profondeurs varient de façon modérées. Cependant, on constate que le cours d'eau devient de plus en plus sinueux, voire méandriques à certains biefs (annexe 20). L'accentuation des courbes matérialise la sinuosité: la plus grande partie de l'eau se dirige vers le côté concave des courbes, entraînant une importante érosion de ce côté. La vitesse de l'eau qui s'écoule du côté convexe de la courbe est plus lente, les matériaux peuvent se déposer. Ainsi, peu à peu, la rivière dessine des courbes de plus en plus grandes et sinueuses formant au fur et à mesure des méandres.

Par suite juste avant la confluence, le lit majeur est large mais avec un lit mineur peu profond. On a l'impression de constater une zone d'attente due à un problème d'évacuation. En effet l'eau qui n'a pas subi de modifications majeures d'écoulement le long de son trajet arrive en quantité notable à la confluence. Du fait du volume d'eau venant de chaque bras on a un volume cumulé et un débit élevé. Le cours d'eau principal ne pouvant donc pas contenir toutes les eaux, le bras gauche ayant un volume élevé d'eau tend à élargir son lit majeur formant une zone de stockage ou d'attente et subissant du même coup le processus de décantation. De manière plus explicite, la section du cours d'eau n'arrive pas à absorber tout le flux hydrique lors des fortes averses. Le bras gauche, dominant à la confluence, dû à la dynamique de son écoulement, tend à subir une bifurcation. Il se déverse dans le bras principal mais aussi dans le bras droit portant le barrage, modifiant le sens de l'écoulement et participant davantage à son élargissement.

Sur les deux sites, des puisards sont installés sur le lit mineur ou sur la plaine inondable. Ces puisards sont pratiquement pleins de sédiments après la saison pluvieuse traduisant l'importance des dépôts.

VIII.2 Aperçu statistique des données

Suite à notre recherche, après un traitement approfondi des données sur Tanagra on peut résumer les analyses qui en résultent :

Tableau X:Evolution des paramètres physiques

		Affluent libre	Affluent avec barrage
	Profondeur	1,324 m	1,419 m
	Largeur	5,93m	9,14 m
Amont			
	Pente	0,318 m	0,146 m
	Sinuosité	1,195 m	1,241 m
	Profondeur	1,265 m	1,545 m
	Largeur	6,32 m	7,69 m
Aval			
	Pente	0,176 m	0,227 m
	Sinuosité	2,118 m	1,477 m

Cette Table nous renseigne sur les paramètres morphologiques d'amont en aval des deux principaux cours d'eau .On constate également donc les différences entre les deux affluents.

Tableau XI: Estimation de la dominance granulométrique du lit mineur de l'affluent libre

S	4	36,36	
A	4	36,36	
L	2	18,18	
G-S	1	9,09	
Paramètres	Nombre	%	Histogramme
G	4	36,36	
L	3	27,27	
A	3	27,27	
S-G	1	9,09	
S	0	0,00	
Paramètres	Nombre	%	Histogramme
A	4	36,36	
S	5	45,45	
L	2	18,18 %	

Tableau XII: Estimation de la dominance du lit mineur de l'affluent avec le barrage

Paramètres	Nombre	%	Histogramme
S	2	13,33 %	
L	4	26,67 %	
A	7	46,67 %	
S-G	1	6,67 %	
G	1	6,67 %	
Paramètres	Nombre	%	Histogramme
L	9	60,00 %	
A	5	33,33 %	
S	1	6,67 %	
Paramètres	Nombre	%	Histogramme
A	2	13,33 %	
S	8	53,33 %	
P	1	6,67 %	
L	1	6,67 %	
G	3	20,00 %	

On constate que les deux cours d'eau présentent des différences granulométriques. En effet sur l'affluent gauche on a un lit beaucoup plus dominé par un sol majoritairement argilo-sableux avec une quantité pas négligeable de graviers et de sable répandu le long du cours d'eau. Cependant à droite de la confluence dans le sens inverse de l'écoulement, le sol est beaucoup plus argileux avec également une forte répartition de limon et de sable le long du cours d'eau.

En somme ces différences granulométriques du lit sont dues à une occupation des sols qui diffèrent depuis l'amont et se poursuit peu à peu. (cf Tableau XIII).

Tableau XIII: Pourcentage d'occupation de la plaine alluviale

Paramètres	Affluent libre	Affluent avec barrage
Sols nus	3%	3.18%
cultures	53%	70.45%
Herbes et Arbustes	20.67%	10%
Arbres	23.33%	10.46%
Plantations	00%	5.91%

L'affluent libre est beaucoup plus dominé par des cultures qui s'avèrent néanmoins minimales par rapport au bras portant le barrage. Par contre les sols nus sont apparemment à pourcentage égale. Cependant la végétation est beaucoup plus dense du coté sans aménagement.

Par suite, le traitement des données nous a permis de générer un tableau récapitulatif nos analyses statistiques en cinq classes suivant les indices de qualité physique qui en résultent, fonctions de l'état de dégradation du cours d'eau par rapport à son type de référence typologique.

Tableau XIV : Récapitulatif des indices de qualité physiques en fonctions du diagnostic globale

Indice de qualité	Classe	Signification – interprétation
V 80-100%	excellente Qualité	Etat proche de l'état naturel qu'il devrait avoir, compte tenu de sa typologie (état de référence du cours d'eau).
IV 60-80%	assez bonne Qualité	Pression anthropique modérée, qui entraîne un éloignement de son état de référence. Toutefois, il conserve une bonne fonctionnalité et offre les composantes physiques nécessaires.
III 40-60%	moyenne Qualité (médiocre)	Le milieu commence à se banaliser et à s'écarter de façon importante de l'état de référence. Le tronçon a subi des interventions importantes (aménagement hydrauliques). Son fonctionnement s'y trouve perturbé. Appauvrissement de certains écosystèmes mais avec un fonctionnement satisfaisant dans l'un des compartiments étudiés (lit mineur, lit majeur, berges).
II 20-40%	Mauvaise Qualité	Perturbation majeur du milieu. En général les compartiments (lit mineur, lit majeur, berges) sont atteints fortement par des altérations physiques d'origine anthropique. La disponibilité en habitats naturels devient faible et la fonctionnalité du cours d'eau est très diminuée.
I 00-20%	très mauvaise Qualité	Milieu totalement artificialisé, ayant totalement perdu son fonctionnement et son aspect naturel (cours d'eau canalisés).

En définitive les deux cours d'eau présentent des différences morphologiques et géométriques. En effet le bras sans barrage a une assez bonne qualité qui se traduit par une pression anthropique modérée, qui entraîne un éloignement de son état de référence. Toutefois, il conserve une bonne fonctionnalité et offre les composantes physiques nécessaires tandis l'affluent ayant subi un aménagement est plutôt d'un indice équivalent à II ou III selon les tronçons définissant une perturbation majeure du milieu. En général les compartiments (lit mineur, lit majeur, berges) sont atteints fortement par des altérations physiques d'origine anthropique. La disponibilité en habitats naturels devient faible et la fonctionnalité du cours d'eau est très diminuée, aussi le milieu commence à se banaliser et à s'écarter de façon importante de l'état de référence. Le tronçon a subi des interventions importantes (aménagements hydrauliques). Son fonctionnement s'y trouve perturbé. Appauvrissement de certains écosystèmes mais avec un fonctionnement satisfaisant dans l'un des compartiments étudiés (lit mineur, lit majeur, berges). En bref on constate à l'amont du barrage une différence de largeur sur les deux affluents mais en aval une variation des profondeurs en plus de la sinuosité qui diffèrent.

IX RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

A l'issue de cette présente recherche, vue la problématique et les analyses menées à l'échelle du bassin versant sur les causes et l'impact de la sédimentation, il serait envisageable d'étendre l'étude sur d'autres sites ou régions dans le besoin de :

- Evaluer les impacts des pratiques hydro-agricoles au niveau des berges des retenues d'eau sur le plan quantitatif (apports sédimentaires) et qualitatif.
- Permettre la comparaison des apports sédimentaires provenant des berges des retenues avec ceux provenant du bassin versant en vue de réorienter les mesures de protection des retenues.
- Effectuer le suivi scientifique de l'efficacité de certains aménagements des bassins versants en termes de réduction de la sédimentation des retenues d'eau d'irrigation. Aussi cette présente étude pourrait faire l'objet d'une standardisation en fonction de indices de qualité afin d'établir un plan de restauration ou d'aménagement convenable du milieu physique.

Néanmoins pour assurer une pérennité de l'ouvrage mais également dans le but d'un entretien des versants alimentant les retenues, il serait judicieux de mener des actions protectrices, en effet :

- Envisager la protection des berges à l'aide de techniques de génie végétal, présentant l'avantage

d'intégrer des arbustes et des plantes buissonnantes qui stabilisent la rive grâce à leur système racinaire et qui se régénèrent s'ils sont endommagés.

-Installation des sites d'abreuvement contrôlés afin de minimiser de façon considérable le piétinement des animaux.

-Envisager des campagnes de pratiques culturales à travers la sensibilisation des agriculteurs sur les risques des mauvaises pratiques.

-Veillez à l'instauration d'une marge entre le cours d'eau et les champs mais aussi pratiquer des cultures antiérosives comme le Zai ou thassa, tout en incluant la mise en place d'un cordon pierreux.

-Le retour à l'état de référence est certes irréversible mais contribuer à un recalibrage naturel en végétalisant et en essayant également a un talutage.

Pour l'incision du lit mineur on pourrait en effet placer de grosses pierres servant de roche en place, induisant un effet érosif minimale.

CONCLUSION

L'étude diagnostique à l'échelle du bassin versant a permis de faire l'état des lieux du bassin versant de Bomboré et de situer les contraintes majeures agissant sur la morphologie et la géométrie des cours d'eau afin de proposer des solutions de restauration.

L'étude a montré que le barrage de Mogtédo localisé sur un des bras du cours d'eau principal est confronté à d'énormes problèmes. En effet, celui connaît plusieurs phases d'ensablement et d'envasement diminuant constamment sa capacité de stockage. Comme il exploité pour la riziculture et le maraîchage, il se pose un sérieux problème de disponibilité de la ressource engendrant ainsi des pertes énormes de revenus pour les exploitants.

Du point de vue géomorphologique, l'étude des paramètres physiques montre que la majeure partie des biefs connaissent d'importants phénomènes d'érosion qui ont tendance à modifier les paramètres comme la pente, le fond du lit mineur etc...Cependant, certaines berges sont protégées à cause de leur végétalisation qui permettent de rendre plus stable et de supporter les fortes vitesses issues du ruissellement. Cette étude de diagnostic servira à l'élaboration d'un protocole servant à prioriser les actions importantes à mener pour assurer la survie de cet ouvrage qui risque de disparaître si rien n'est fait.

BIBLIOGRAPHIE

Ministère de l'eau (BF, 1996) :), Méthodologie d'évaluation des performances et de diagnostic des systèmes irrigués, Ouagadougou, 118p.

Kouali, G. N. ,2010. Compétition entre périmètres irrigués partageant la même ressource en eau: cas de Mogtédo et Talembika. Mémoire Master Ingénierie de l'eau et de l'environnement

Mazour, M. et Roose, E. 2002. Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans les bassins versants du nord-ouest de l'Algérie. Bulletin du Réseau Érosion, no 21, p. 320-330.

Lamachere, J. M., Serpentié, G. 1991. Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivé en mil en zone soudano-sahélienne

Karambiri, H., & Ribolzi, O., 2003, April. Réponse hydrologique et érosion hydrique d'un petit bassin versant sahelien (Burkina Faso). Hydrology of Méditerranéen and Semiarid Region (278).

Gressillon, J.M, Duech, C. 1996. Estimation des débits de crues sur les petits bassins versants en zone sahéliennes et tropicales. Analyse de données pour le dimensionnement.

SCHUMM S.A., 1977, The Fluvial System, John Wiley & Sons, Chichester, New-York, 337p.

Roose, E., 1996. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et de l'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. Réseau Erosion, 1996, (16), pages 87-97

Charrier, P., Honecker, U., Kinsinger, C. 2000. L'outil allemand LAWA VOR-ORT 1998 d'évaluation de la qualité physique des "petits et moyens cours d'eau" - Présentation, application et étude comparative avec l'outil Rhin-Meuse de la source de la Sarre Blanche à la frontière allemande.

Agence de l'Eau Rhin-Meuse

Revue Ganzourghou 1990-2010, 20 ans de réalisation et projets)

Guyon, F., Vander Borght, P., Cogels, X., Rosillon, F. 2001. Etude des impacts hydrobiologiques et écologiques liés aux travaux sur la Semois. FUL / MET Labo. Recherches Hydrauliques (octobre 2001).

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE, 1996, Outil d'évaluation de la qualité du milieu physique – synthèse, 22 p. + 9 annexes.

Guyon, F., J. Moy, X. Cogels et P. Vanderborght, 2005. Evaluation globale de la qualité hydromorphologique des masses d'eau définies en Région wallonne. Adaptation de la méthodologie Qualphy et mise au point d'un système d'évaluation de la qualité physique des masses d'eau de surface en Région wallonne. Rapport final au Ministère de la Région wallonne, Direction des Eaux de Surface, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège, pages.

Guyon, F., Vander Borght, P., Cogels, X. 2006. Développement et application d'une méthodologie d'évaluation globale de la qualité hydromorphologique des masses d'eau de surface définies en Région wallonne. Aquapôle, ULg Campus d'Arlon / DGRNE, Observatoire des Eaux de Surface

Shields, F. D., S. S. Knight, and C. M. Cooper. 1995. Incised Stream Physical Habitat Restoration with Stone Weirs. Regulated Rivers-Research & Management 10 (2-4):181-198.

ANNEXES

Annexe 1:Données Pluviométriques de Mogtedo.....	22
Annexe 2:Fiche de terrain pour la collecte des données.....	22
Annexe 3:Fiche des résultats du diagnostic sur l'affluent sans barrage.....	23
Annexe 4:Diagnostic de l'occupation riveraine et de la granulométrie du lit mineur sur le bras sans barrage.....	25
Annexe 5:Fiche des résultats du diagnostic de l'affluent avec le barrage de Mogtedo.....	25
Annexe 6:Occupationn en plaine alluviale et granulométrie du lit mineur.....	26
Annexe 7:Approche comparative des largeurs des deux affluents.....	27
Annexe 8:Approche comparative des profondeurs des deux affluents.....	27
Annexe 9:Isohyètes des pluies journalières de fréquences décennales.....	28
Annexe 10:Graphique de détermination du Coefficient d'abattement.....	28
Annexe 11:Estimation du coefficient de ruissellement décennal.....	28
Annexe 12:Détermination du temps de base.....	29
Annexe 13:Determination du coefficient de ruissellement centennal.....	29
Annexe 14:Calcul du débit décennal selon le CIEH-Equations et coefficients à utiliser selon les découpages climatiques.....	22
Annexe 15:Equation de Kr10 selon la méthode du CIEH.....	22
Annexe 16:Classification des sols en fonction de la pente selon ORSTOM.....	22
Annexe 17:Image du cours d'eau au tronçon 12.....	24
Annexe 18:Photographie du cours d'eau au site 34.....	24
Annexe 19:Photographie du cours d'eau site 43.....	25
Annexe 20:Photographie du cours d'eau au site 18.....	25

&	Jan	Feb	Mar	Avr	Mai	Jul	Jul2	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
1970	0,0	0,0	0,0	3,5	45,7	79,0	202,8	209,0	155,9	0,8	0,0	0,0
1971	0,0	4,8	0,8	24,4	56,8	85,1	163,9	159,5	116,8	1,6	0,0	4
1972	0,0	0,0	0,0	37,7	36,7	165,2	155,2	187,5	65,2	78,9	0,0	0,0
1973	0,0	17,9	0,0	22,2	19,3	127,5	129,7	246,4	125,4	10,6	0,0	0,0
1974	0,0	0,0	1,0	2,2	81,5	81,0	182,4	300,4	148,7	56,4	0,0	0,0
1975	0,0	0,0	0,7	0,0	38,8	87,5	233,5	188,1	108,7	4,6	0,0	0,0
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	110,1	87,4	108,9	203,9	184,9	141,3	0,0	0,0
1977	0,0	0,0	31,4	18,1	61,2	42,4	206,7	222,9	110,9	58,5	0,0	0,0
1978	0,0	0,0	6,1	41,1	45,5	103,9	206,7	159,7	119,4	20,5	0,0	0,0
1979	0,0	0,0	11,0	11,6	143,2	120,6	135,7	284,3	171,0	34,2	5,4	0,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	13,6	65,0	208,5	258,4	64,9	51,8	0,0	* *
1981	0,0	0,0	0,0	11,0	45,3	122,9	159,7	126,5	106,3	0,0	0,0	0,0
1982	0,0	0,0	10,4	61,0	**	**	**	**	**	* *	**	**
1992	**	**	**	17,6	96,2	88,7	274,8	247,0	71,8	**	**	**
1993	**	**	**	7,2	0,0	160,4	229,2	178,6	111,7	52,8	**	**
1994	0,0	0,0	31,4	20,8	40,9	126,9	212,4	477,2	275,2	88,7	**	**
1995	0,0	0,0	0,0	9,2	82,7	63,9	177,5	295,2	97,0	* *	**	* *
1996	0,0	0,0	0,0	40,1	73,9	45,1	221,5	266,9	167,1	3,3	0,0	0,0
1997	0,0	0,0	22,5	47,6	58,9	17,8	142,0	154,9	114,9	27,3	0,0	0,0
1998	0,0	0,0	0,0	36,2	81,1	185,6	187,2	* *	* *	**	**	**
1999	0,0	0,0	0,0	4,3	25,7	147,4	204,7	253,1	213,5	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	4,1	85,6	128,7	104,3	178,2	35,1	41,6	0,0	0,0
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	67,3	49,3	212,0	177,9	133,3	4,0	0,0	0,0
2002	**	**	**	* *	* *	78,9	151,6	149,3	* *	**	* *	**

Annexe 1:Données Pluviométriques de Mogtedo

Date :		Operateur : KAFANDO Ouesséni		
Code station :	Waypoint amont :	Waypoint aval :		
Longueur de la station : 20*largeur :				
Largeur Moyenne au plein bord : Niveau : ruban :				
TOPOGRAPHIE				
	Profil 1	Profil 2	Profil 3	
Code waypoint				
Code profil				
Ref. points pente du lit majeur				
GRANULOMETRIE				
Types granulo	A S L P G	Commentaires		
dominant				
secondaire				
accessoire				
OCCUPATION PLAINE ALLUVIALE				
	RIVE DROITE	RIVE GAUCHE	AUTRES	REMARQUES
SOLS NUS				
CULTURES				
HERBES, ARBUSTES				
ARBRES				

Code wp	Profondeur w	Largeur d	Pente	Distance réelle(Dr)	Ligne droite(Dd)	sinuosité2 (Dr/Dd)
SB1	1,358	3,391	0,100	163,000	153,000	1,065
SB2	0,987	5,666	0,520	144,000	123,000	1,171
SB3	1,336	9,115	0,330	160,000	147,000	1,088
SB4	0,742	3,374	0,170	134,000	124,000	1,081
SB5	2,069	4,959	0,353	233,000	212,000	1,099
SB6	1,065	6,106	0,212	289,000	225,000	1,284
SB7	1,393	6,076	0,424	178,000	141,000	1,262
SB8	1,265	4,846	0,170	298,000	266,000	1,120
SB9	1,403	3,325	0,507	183,000	142,000	1,289
SB10	1,669	6,329	0,156	156,000	117,000	1,333
SB11	1,112	6,452	0,229	121,000	77,000	1,571
SB12	1,647	10,945	0,438	140,000	130,000	1,077
SB13	1,168	6,606	0,527	243,000	221,000	1,100
SB14	1,565	9,103	0,151	201,000	152,000	1,322
SB15	0,421	3,149	0,189	185,000	167,000	1,108
SB43	1,072	3,718	0,150	306,000	52,000	5,885
SB16	1,184	5,116	0,115	283,000	133,000	2,128
SB17	1,155	3,611	0,079	472,000	228,000	2,070
SB18	1,374	5,046	0,018	313,000	118,000	2,653
SB19	1,756	6,812	0,060	285,000	149,000	1,913
SB20	1,907	9,948	0,825	258,000	205,000	1,259
SB21	0,580	6,396	0,117	290,000	128,000	2,266
SB22	1,455	7,163	0,068	293,000	163,000	1,798
SB23	1,379	6,769	0,036	236,000	134,000	1,761
SB46	1,334	9,013	0,304	117,000	93,000	1,258

Annexe 3:Fiche des résultats du diagnostic sur l'affluent sans barrage

sols nus	cultures	Herbes et arbustes	Arbres	Plantation	Dominant	secondaire	accessoire
0	0,1	0	0,9	0	S	L	A
0	0	0,8	0,2	0	L	A	S
0	0	0,4	0,6	0	L	A	S
0,4	0	0,6		0	A	L	S
0,3	0	0,5	0,2	0	A	L	P
0,4	0	0,4	0,2	0	A	L	P
0	0,9	0	0,1	0	A	S	L
0	0	0,9	0,1	0	A	L	S
0	0,9	0,1		0	L	A	S
0	0,6	0	0,4	0	A	L	S
0	0,9	0,1		0	A	L	S
0	0,8	0,1	0,1	0	A	L	S
0	0,95	0	0,05	0	S	A	L
0	0,7	0,2	0,1	0	A	L	S
0,9		0	0,1	0	L	A	S
0	0,8	0	0,2	0	A	L	S
0	0,8	0	0,2	0	S-G	L	A
0	0,8	0	0,2	0	L	A	S
0	0,6	0	0	0,4	A	L	S
0	0,95	0	0,05	0	G	L	S
0	0,8	0	0,2	0	A	L	G
0,15	0,65	0,2	0	0	L	A	G
0,1		0,6	0,3	0	A	L	G
0	0,6	0	0,4	0	A	S	G
0	0,7	0	0	0,3	A	L	G

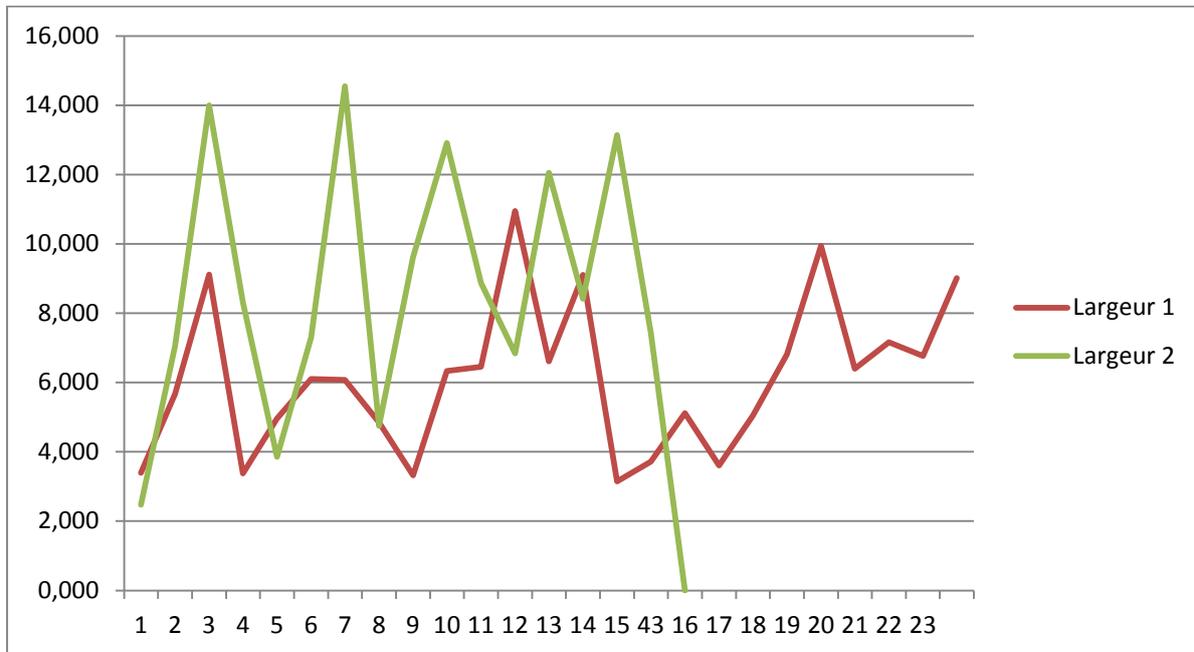
Annexe 4: Diagnostic de l'occupation riveraine et de la granulométrie du lit mineur sur le bras sans barrage

Code Wp	Profondeur	Largeur	Pente moy.	Distance réelle(Dr)	Ligne droite(Dd)	sinuosité2 (Dr/Dd)
AB25	0,426	2,473	0,309	154	142	1,085
AB26	0,958	7,051	0,146	218	192	1,135
AB27	1,856	13,999	0,016	327	294	1,112
AB28	1,823	8,312	0,540	170	140	1,214
AB29	1,642	3,855	0,116	138	99	1,394
AB33	1,940	7,297	0,013	147	107	1,374
AB30	1,584	14,55	0,039	209	170	1,229
AB31	1,123	4,747	0,084	152	100	1,520
AB34	1,717	9,626	0,051	189	171	1,105
AB32	2,349	12,907	0,000	713	396	1,801
AB38	1,485	8,876	0,012	307	211	1,455
AB39	1,549	6,843	0,139	235	182	1,291
AB40	2,653	12,05	0,166	327	221	1,480
AB44	1,673	8,412	0,566	211	150	1,407
AB41	0,373	13,144	0,107	194	160	1,213
AB42	1,546	7,435	0,421	278	115	2,417
AB45	1,745	13.309	0,177	146	136	1,074

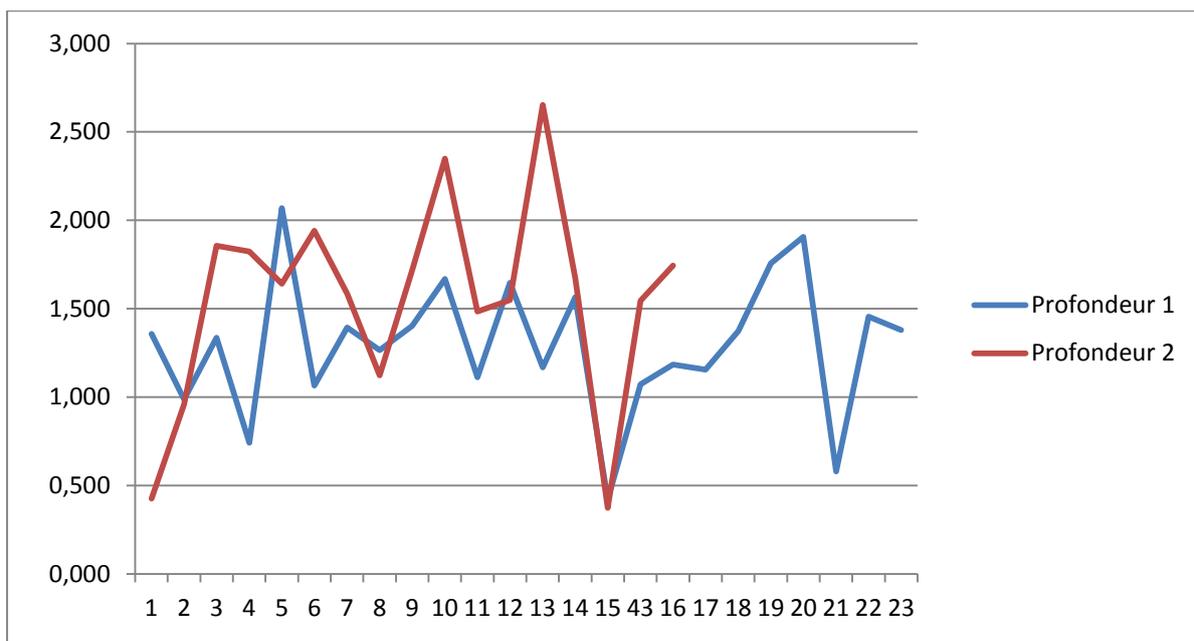
Annexe 5:Fiche des résultats du diagnostic de l'affluent avec le barrage de Mogtedo

sol nu s	cultu res	Herbe s et arbus tes	Arbr es	Plantati on	Domin ant	seconda ire	access oire
0	0,8	0,2	0	0	S	G	A
0	0,75	0	0	0,25	S	G	A
0	0,9	0,1	0	0	A	G	S
0, 5	0	0,25	0,25	0	S	G	A
0, 2	0,6	0	0,2	0	S	G	A
0	0	0,3	0,7	0	A	L	S
0	0,4	0,2	0,2	0	S	A	L
0	0,8	0,1	0,1	0	A	L	S
0	0,8	0,2	0	0	L	S-G	A
0	0	0	0	0	A	S	L
0	0,8	0	0	0,2	A	L	S
0, 15	0,7	0	0,15	0	G-S	A	L
0	0,8	0	0	0,2	L	A	S
0	0	0,6	0,4	0	A	S	L
0	0,4	0,3	0,3	0	A	L	S
0	0	0,7	0,3	0	L	A	S
0	0	0,4	0,3	0	A	L-P	G

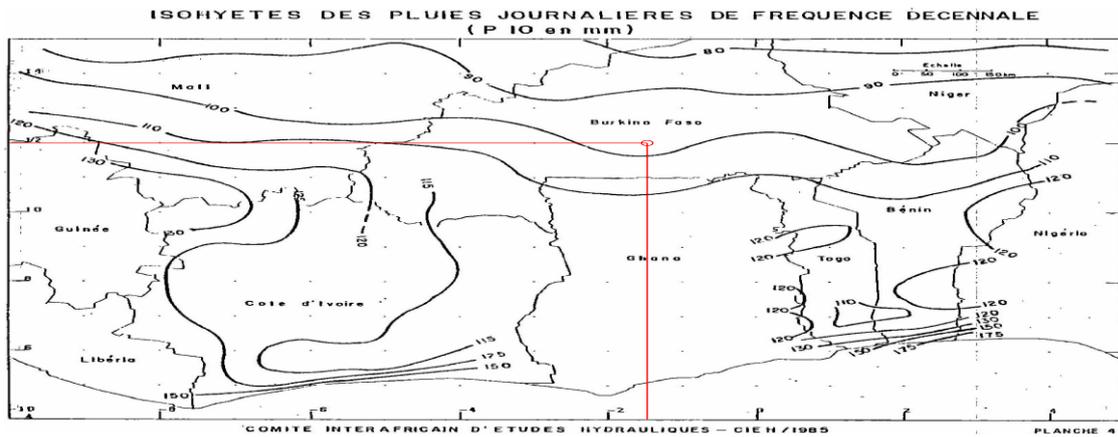
Annexe 6:Occupation en plaine alluviale et granulométrie du lit mineur



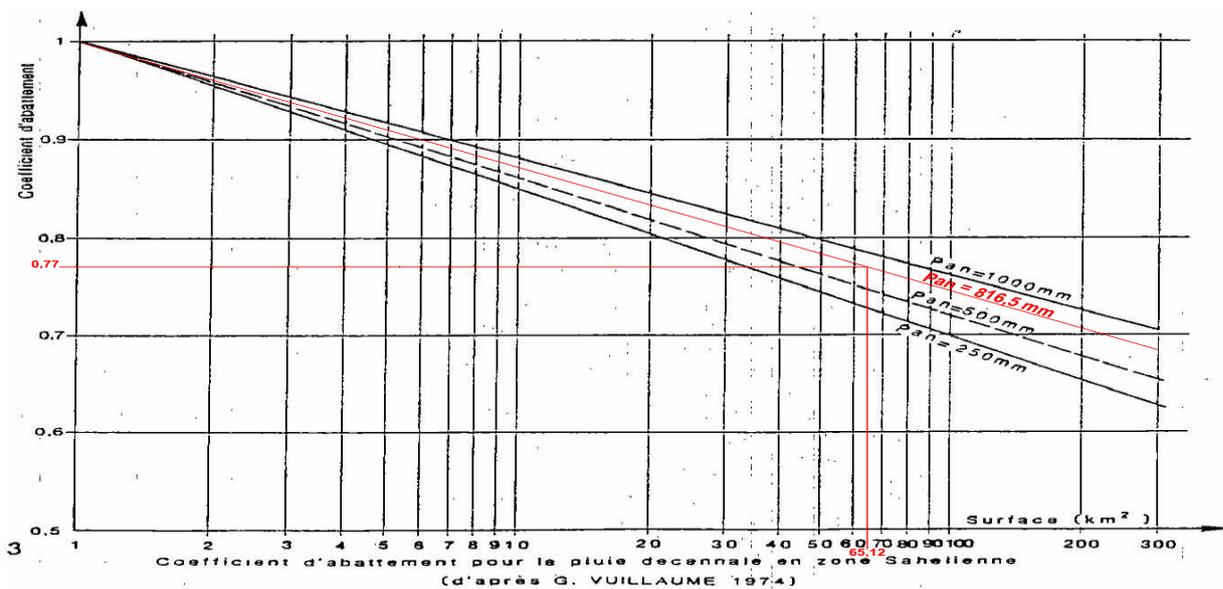
Annexe 7: Approche comparative des largeurs des deux affluents



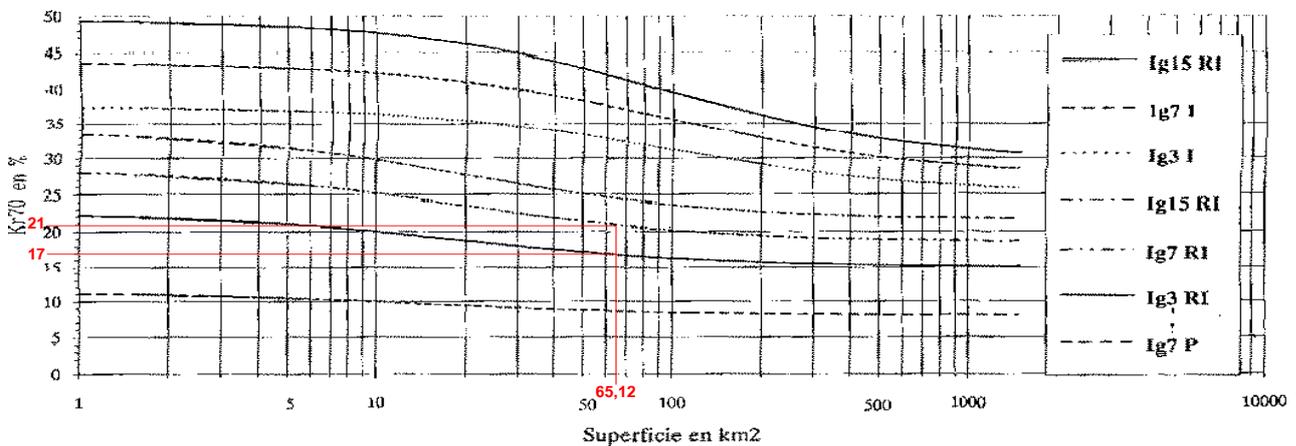
Annexe 8: Approche comparative des profondeurs des deux affluents



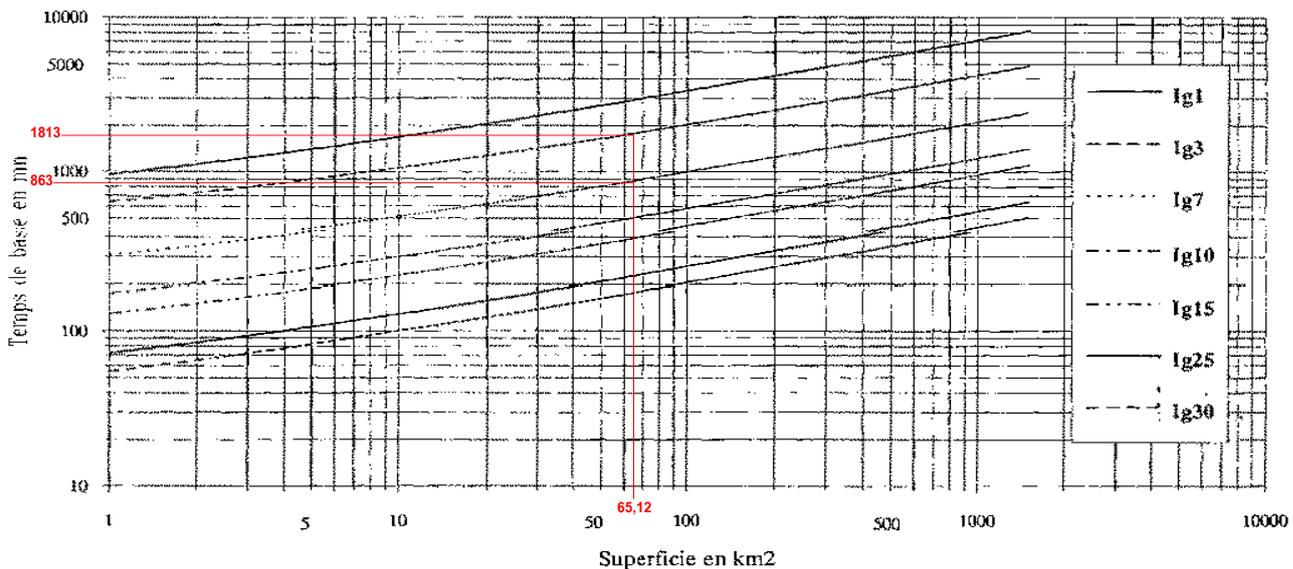
Annexe 9: Isohyètes des pluies journalières de fréquences décennales



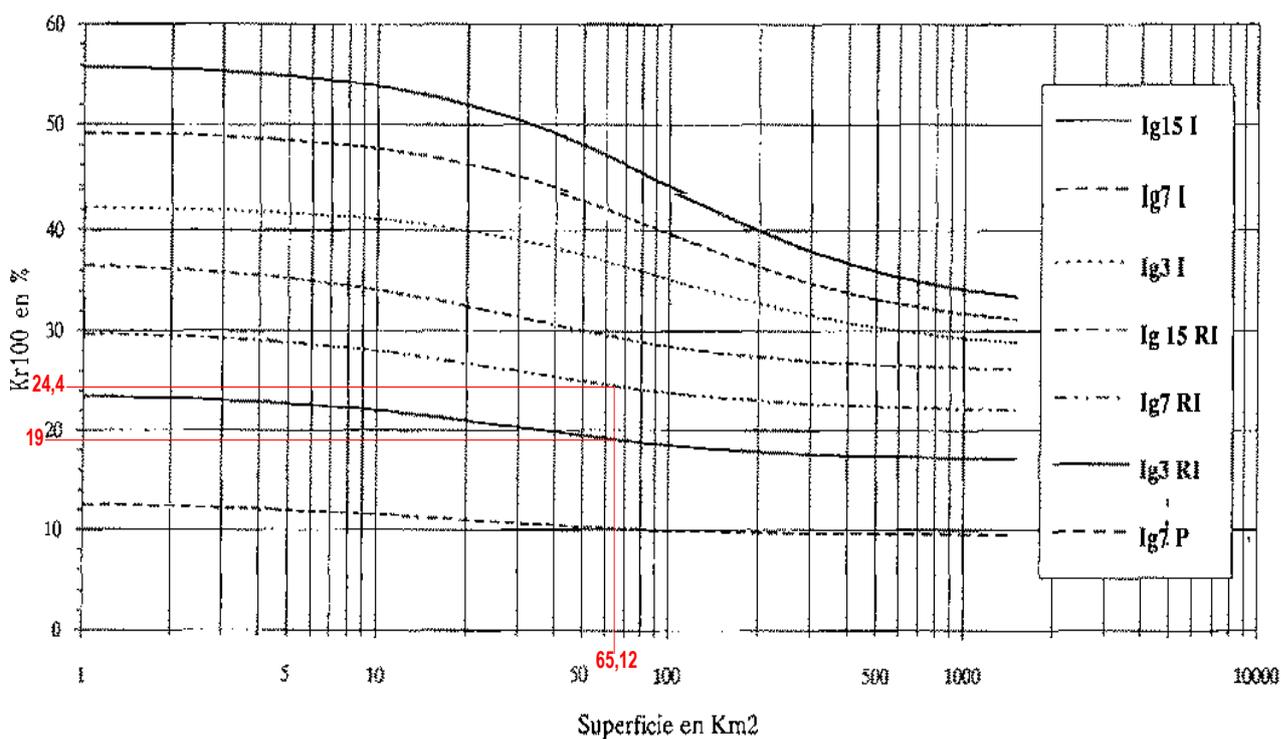
Annexe 10: Graphique de détermination du Coefficient d'abattement



Annexe 11: Estimation du coefficient de ruissellement décennal



Annexe 12: Détermination du temps de base



Annexe 13: Détermination du coefficient de ruissellement centennial

N°	Description	Echantillon	Corrélation		Constante	Exposants des paramètres de l'équation					
		n	r ²	r	a	S	Ig	Pa n	PM ₁₀	Kr ₁₀	Dd
DECOUPAGE CLIMATIQUE SANS KR₁₀											
	avec S et Ig										
1	0-400 mm	71	0.76	0.87	2.83	0.62	0.49				
			0	4		4	1				
2	400-800 mm	128	0.57	0.75	2.03	0.59	0.58				
			0	5		0	8				
3	1200-1600 mm	87	0.57	0.76	1.33	0.59	0.45				
			9	1		6	7				
avec S, Ig et Dd											
4	0-400 mm	33	0.62	0.79	2.43	0.58	0.50				0.32
			9	3		3	6				0
5	400-800 mm	69	0.59	0.77	1.83	0.62	0.61				0.12
			8	3		0	8				1
6	800-1200 mm	87	0.59	0.76	2.01	0.64	0.06				0.82
			1	9		9	6				4
DECOUPAGE CLIMATIQUE AVEC KR₁₀											

	avec S et Kr₁₀									
7	0-400 mm	66	0.75	0.87	0.553	0.65				0.80
			8	0		5				2
8	400-800 mm	116	0.73	0.85	0.461	0.54				0.94
			6	8		0				1
	avec S, Ig et Kr₁₀									
9	0-400 mm	65	0.84	0.92	0.167	0.74	0.73			0.47
			7	0		5	1			5
1	400-800 mm	116	0.80	0.89	0.0833	0.69	0.95			0.53
0			6	8		6	3			4
DECOUPAGE POUR LA ZONE $\bar{P}_{an} < 1000$ mm										
	Tous les bassins									
1	S, Kr ₁₀	180	0.71	0.84	0.410	0.52				0.98
1			6	6		4				2
1	S, Ig, Kr ₁₀	176	0.79	0.89	0.095	0.64	0.40			1.03
2			5	2		3	6			8
	Longitude < 10° Ouest (seulement au Sénégal et en Mauritanie)									
1	S, Ig	21	0.56	0.75	1.78	0.55	0.80			

3			9	4		7	5		
1	S, Ig, PM ₁₀	21	0.58	0.76	55.0	0.46	0.66	-	
4			1	2		2	7	0.65	
1	S, Ig, Kr ₁₀	20	0.72	0.85	0.224	0.54	0.62		0.76
5			2	0		0	2		7
1	S, Kr ₁₀	20	0.64	0.80	0.661	0.37			0.91
6			5	3		5			0
Longitude comprise entre 10° Ouest et 10° Est									
1	S, Kr ₁₀ ,	117	0.76	0.87	30.2	0.49		-	0.94
7	PM ₁₀		4	4		2		0.97	8
1	S, Ig, Kr ₁₀	117	0.78	0.88	0.0678	0.66	0.41		1.10
8			8	8		1	2		5
Longitude supérieure à 10° Est (seulement au Tchad et au nord Cameroun)									
1	S, PM ₁₀	46	0.64	0.80	0.00372	0.60		1.77	
9			6	4		5		8	
2	S, Ig	45	0.64	0.80	2.72	0.62	0.36		
0			5	3		6	0		
2	S, Ig, PM ₁₀	45	0.67	0.82	0.00638	0.69	0.30	1.41	
1			9	4		4	5	1	

2	S, Kr ₁₀	39	0.77	0.87	0.610	0.52			0.90
2				7		3			8
2	S, Ig, Kr ₁₀	39	0.82	0.90	0.134	0.67	0.37		0.94
3			1	6		8	4		0
2	S, PM ₁₀ , Kr ₁₀	39	0.80	0.89	0.00243	0.60		1.26	0.88
4			5	7		8		3	2
DECOUPAGE PAR PAYS OU GROUPES DE PAYS									
Afrique de l'Ouest (de 10°E à 10°W)									
2	S, KR ₁₀	295	0.62	0.79	1.41	0.54			0.51
5			8	2		2			1
2	S, Kr ₁₀ , PM ₁₀	295	0.65	0.80	146	0.47		-	0.45
6			4	9		9		0.96	7
2	S, Kr ₁₀ Ig	288	0.65	0.80	0.560	0.61	0.27		0.51
7			0	6		9	9		0
Afrique centrale									
2	S, KR ₁₀	50	0.73	0.85	0.521	0.62			0.87
8			8	9		5			6
2	S, Kr ₁₀ ,	49	0.81	0.90	893	0.77	0.56		0.92

9	IG, PM ₁₀		5	3		3	7		2.05	3
3	S, Kr ₁₀ , Ig	49	0.77	0.88	0.109	0.77	0.41		1	0.88
0			8	2		1	9			7
Sénégal + Mauritane										
3	S, PM ₁₀	40	0.56	0.75	5450000	0.21			-	
1			3	0		5			2.83	
3	Kr ₁₀	35	0.84	0.91	0.288	0.40				1.11
2			3	8		5				7
3	Kr ₁₀ la	35	0.85	0.92	0.195	0.47	0.23			1.04
3			1	2		1	9			6
Côte d'Ivoire										
3	S	37	0.71	0.84	4.83	0.56				
4			3	4		2				
3	S, Ig	34	0.72	0.85	2.29	0.65	0.21			
5			9	4		1	6			
3	S, PM ₁₀	36	0.70	0.84	0.000174	0.64			2.14	
6			6	0		5			9	

3	Kr ₁₀	31	0.79	0.88	0.380	0.58			0.80
7			1	9		6			5
3	Kr ₁₀ Ig	28	0.78	0.88	0.275	0.61	0.09		0.79
8			7	7		8	9		8
Burkina Faso									
3	Kr ₁₀	61	0.81	0.90	0.410	0.42			0.92
9			8	4		5			3
4	S Kr ₁₀ Ig	60	0.82	0.90	0.254	0.46	0.10		0.97
0			4	8		2	1		6.
Burkina Faso + Mali + Niger									
4	S Kr ₁₀	137	0.68	0.82	0.407	0.53			0.94
1			8	9		2			1
4	S Kr ₁₀ Ig	133	0.75	0.86	0.0912	0.64	0.39		1.01
2			5	9		3	9		9
4	S A*P ₁₀	133	0.58	0.76	35600	0.34		-	
3			9	7		2		1.80	
								8	
4	S, Kr ₁₀	133	0.75	0.87	203	0.45		-	0.81

4	PM ₁₀		7	0		9			1.30	3
4	S, Ig PM ₁₀	130	0.59	0.76	22400	0.36	0.05		1	
5			2	9		3	9		-	
									1.74	
									8	
Tchad + Nord Cameroun										
(Fan <1000 mm)										
4	S Ig	55	0.63	0.79	1.28	0.41	0.73			
6			8	9		2	9			
4	S Kr ₁₀	49	0.83	0.91	0.525	0.53				0.95
7			8	5		0				0
4	S Kr ₁₀ Ig	48	0.88	0.94	0.105	0.70	0.43			0.94
8			4	0		9	2			9

Annexe 14: Calcul du débit décennal selon le CIEH-Equations et coefficients à utiliser selon les découpages climatiques

Catégorie	Formulation	r	nombre
granite + gneiss	$Kr_{10} = 2300.Pan^{-0,67}$	0,661	72
grès	$Kr_{10} = 300.Pan^{-0,375}$	0,361	18
sables	$Kr_{10} = 2.10^7.Pan^{-2,2}$	0,602	7
argiles	$Kr_{10} = 300.Pan^{-0,3}$	0,376	12
schistes	$Kr_{10} = 370.Pan^{-0,375}$	0,370	24

Annexe 15: Equation de Kr10 selon la méthode du CIEH

types	Classes
<0.2	R1-Pentes extrêmement faibles
<0.5	R2-Pentes faibles
<0.5 - 1	R3-Pentes modérées
1-2	R4-Pentes assez fortes
2-5	R5-Pentes fortes
>5	R6-Pentes très fortes

Annexe 16: Classification des sols en fonction de la pente selon ORSTOM

Tableau XV: Coordonnées des différents tronçons d'étude

Id	X	Y	Id	X	Y
1	-0,81126128524	12,53226902920	24	-0,90932202658	12,10887770120
2	-0,81413134162	12,51864778620	25	-0,70841233947	12,43363217660
3	-0,82924339997	12,49007220230	26	-0,70789322778	12,40768989210
4	-0,82892472285	12,48531597440	27	-0,71431291673	12,38881802460
5	-0,83909225283	12,46919989870	28	-0,72115514187	12,37489392810
6	-0,84705037736	12,46134062950	29	-0,73595281120	12,35273590660
7	-0,86518485945	12,44346719420	30	-0,75060398598	12,33562599650
8	-0,88007738395	12,42958698410	31	-0,771111673685	12,33975574990
9	-0,89110780025	12,42795646630	32	-0,80808188260	12,32314268140
10	-0,89625551186	12,42271443530	33	-0,73768336282	12,34141733500
11	-0,89724791582	12,41625159020	34	-0,78682174024	12,33642078580
12	-0,91015798108	12,39786401480	35	-0,82503401622	12,30591624650
13	-0,91233372632	12,37767657680	36	-0,82919813980	12,30281000380
14	-0,91705353249	12,35843290290	37	-0,83535051544	12,29435452750
15	-0,92276876465	12,34910070520	38	-0,84692868644	12,28757850140
16	-0,93396654404	12,32567998180	39	-0,86204409741	12,28127101300
17	-0,94082579700	12,30077319230	40	-0,86508147733	12,27575166370
18	-0,94205211611	12,29850445190	41	-0,86099444043	12,23824289970
19	-0,93987371277	12,28075947280	42	-0,86721505124	12,22749944410
20	-0,93087866056	12,25900146140	43	-0,92735723054	12,34265082220
21	-0,92303350410	12,24487825470	44	-0,86212981780	12,25361701260
22	-0,90893169419	12,23258918550	45	-0,87309692243	12,20781557270
23	-0,87680141764	12,21062024330	46	-0,87642452150	12,20795163050



Annexe 17:Image du cours d'eau au tronçon 12



Annexe 18:Photographie du cours d'eau au site 34



Annexe 19: Photographie du cours d'eau site 43



Annexe 20: Photographie du cours d'eau au site 18