



MEA/DGIH

EVALUATION DES DEPÔTS SEDIMENTAIRES ET VALORISATION DU BARRAGE DE KAMBOINSE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE
DE MASTER

SPECIALITE : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

Présenté et soutenu publiquement le [26 Janvier 2021] par

Adama TAPSOBA (2005 0011)

Sous la direction de **Hamma YACOUBA**

Professeur titulaire CAMES

Sous l'encadrement de **Dial NIANG**

Maitre-Assistant CAMES

Laboratoire Eaux Hydro-systèmes et Agriculture (LEHSA)

et du Maitre de stage : **Martin de Porrès TANGA**

Ingénieur du Génie rural

Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGIH)

Jury d'évaluation du Mémoire :

Président du Jury : **Pr. Abdou LAWANE GANA**

Membres et Correcteurs : **Moussa DIAGNE FAYE**
Moussa Bruno KAFANDO

Promotion [2020/2021]

DEDICACE

*A mes parents : **ZONGO Gomnoaga Bibata** et Feu Père **TANGA Mahamadi TAPSOBA** ; mes frères et Sœurs, la famille TAPSOBA à Kamboinsé/Ouagadougou*

*A ma famille tutrice : **CONSEIBO/CONOMBO Elise** et Feu Papa **Gabriel Noaga CONSEIBO**, la famille **CONSEIBO** à St Joseph/Ouagadougou*

Ce document représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité et de mon parcours professionnel. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace.

REMERCIEMENTS

Ce travail qui représente le rapport de mémoire d'étude de Master 2, s'est effectué au sein de la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques (DGJH), sise à Ouaga 2000. Il a été possible grâce à un accompagnement et une bonne collaboration de toute l'équipe de la Direction de la Maintenance des Ouvrages Hydrauliques (DMOH), malgré les occupations pressantes des uns et des autres. Ainsi, nous voudrions leur témoigner toute notre reconnaissance et nos remerciements.

Nous adressons nos vifs remerciements à :

- Pr HAMMA YACOUBA, Enseignant chercheur au 2iE ;
- Dr. Dial NIANG, qui a très volontiers accepté d'être mon encadreur de mémoire. Sa grande connaissance dans le domaine et son humilité ont joué un rôle important dans la réalisation de cette étude ;
- Monsieur HABDOULAYE KOUDAKIDIGA, Directeur Général des Infrastructures Hydrauliques, qui a bien voulu nous accepter, en qualité de stagiaire au sein de sa structure ;
- Monsieur TANGA Martin de Porrès, notre encadreur pour nous avoir permis d'aborder le thème « Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé » ;
- Monsieur Aley SAOUTO qui nous a fait bénéficier de son savoir-faire et de sa disponibilité tout au long de notre stage ;
- Monsieur Aimé TAPSOBA, hydrologue à la DGRE, Dr. KIENDEGA Mathieu pour leur soutien matériel et leur disponibilité dans la réalisation de la bathymétrie.
- Monsieur Issa Madougou, Enseignant de topographie à 2iE ;
- Aux pêcheurs, aides topographes, aux maraichers pour leur soutien durant les prélèvements d'eau, les essais d'infiltrations et la topographie ;
- Tout le personnel de la DGIH pour l'accueil, la collaboration et le soutien que j'ai bénéficié ;
- Les enseignants du 2iE, à tous mes promotionnaires et collaborateurs qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude et la rédaction de ce présent mémoire.

RESUME

Cette présente étude a été effectuée dans la région du Centre au Burkina Faso au niveau du bassin versant de Kamboinsé. Ce barrage tout comme les autres connaissent d'énormes difficultés liées à l'importance de la dégradation continue des sols avec comme conséquences un envasement et un ensablement de la retenue entraînant une diminution très importante de la capacité de stockage de la retenue. L'une des conséquences est la difficulté que rencontrent les populations exploitant cette retenue n'arrivent plus à conduire correctement leurs activités agricoles. En vue d'une meilleure connaissance fonctionnement de cet ouvrage hydraulique, notre thématique a été initiée. La démarche méthodologique utilisée pour mener cette étude a consisté à procéder à des études topographiques à travers plusieurs bathymétries, hydrologiques pour estimer les dépôts sédimentaires et proposer des solutions de réhabilitation.

Les résultats révèlent qu'entre 2008 et 2020, la capacité de la retenue a diminué de l'ordre de 272 927 m³ soit une réduction annuelle de 22 744 m³. Cette valeur moyenne est légèrement supérieure aux valeurs obtenues par les formules empiriques de GOTTSCHALK (239 257 m³), GRESILLON (266 328 m³) et de KARAMBIRI (165 899 m³). Le barrage a ainsi perdu 44,2% de sa capacité initiale de 1983. Cette réduction entraîne annuellement des inondations des habitations et du site K1 de 2iE.

Cet envasement est dû principalement aux activités anthropiques comme en témoigne la démarche proposée par la méthode RUSLE.

Face à ce constat, nous avons formulé un certain nombre de propositions en vue de réduire ce comblement de la retenue. Les principales mesures s'orientent essentiellement sur la mise en place d'une ceinture d'arbres et de gabions légèrement à la côte au-dessus du plan d'eau normal afin de limiter l'envasement. Il faudra aussi réorganiser les maraichers en les positionnant hors de la bande de servitude du cours d'eau et d'installer des ouvrages d'épandage de crues. Le coût total de ses propositions est estimé à **1 718 475 000** de FCFA.

1 - Dépôts sédimentaires

2 - Erosion

3 - Kamboinsé

4 - Barrage

5 - Valorisation

ABSTRACT

This study was carried out in the Centre region of Burkina Faso in the Kamboinsé catchment area. This dam as well as the others are experiencing enormous difficulties due to the extent of the continuous soil degradation with the consequences of silting and silting up of the reservoir leading to a very important decrease in the storage capacity of the reservoir. One of the consequences is the difficulty for the populations exploiting this reservoir to carry out their agricultural activities properly. In order to better understand the functioning of this hydraulic work, our theme was initiated. The methodological approach used to conduct this study consisted in carrying out topographical studies across several bathymetries and hydrological studies to estimate the sedimentary deposits and propose rehabilitation solutions.

The results reveal that between 2008 and 2020, the capacity of the reservoir decreased by 272,927m³, i.e. an annual reduction of 22,744 m³. This average value is slightly higher than the values obtained by the empirical formulas of GOTTSCALK (239,257m³), GRESILLON (266,328 m³) and KARAMBIRI (165,899 m³). The dam has thus lost 44.2% of its initial capacity of 1983. This reduction leads to annual flooding of dwellings and the K1 site of 2iE.

This silting is mainly due to anthropic activities as shown by the approach proposed by the RUSLE method.

Faced with this observation, we have formulated a certain number of proposals in order to reduce this filling of the reservoir. The main measures are mainly oriented towards the installation of a belt of trees and gabions slightly to the coast above the normal water level in order to limit silting. It will also be necessary to reorganise the market gardeners by positioning them outside the watercourse easement band and to install flood spreading structures. The total cost of these proposals is estimated at FCFA **1,718,475,000** (3 436 950 \$).

1 - Sedimentary deposits

2 - Erosion

3 - Kamboinsé

4 - Dam

5 - Valorization

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
AEP	: Approvisionnement en Eau Potable
C.I.E.H	: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
DGIH	: Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
E.I.E.R	: Ecole Inter-Etats d'Ingénieur de l'Equipement Rural
IGB	: Institut Géographique du Burkina
INO	: Inventaire National des Ouvrages hydrauliques
ISO	: International Standard Organisation
MEA	: Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
ONBAH	: Office National des Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles
ONEA	: Office National de l'Eau et de l'Assainissement
ORSTOM	: Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PNAH	: Programme National des Aménagement Hydraulique
PMH	: Pompe à Motricité Humaine
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES PHOTOS.....	x
INTRODUCTION.....	1
I. OBJECTIFS DU TRAVAIL	2
1.1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION.....	2
1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE.....	3
1.3. LES RESULTATS ATTENDUS	3
1.4. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
II. MATERIEL ET METHODOLOGIE	6
2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	6
2.1.1. Situation géographique de la zone d'étude	6
2.1.2. Hydrologie et Hydrogéologie	8
2.1.3. Géologie et sols	9
2.1.4. Relief	10
2.1.5. Climat et Pluviométrie.....	11
2.1.6. Végétation et occupation des terres	12
2.1.7 La faune et la flore.....	12
2.1.8 Organisation sociale et Démographie	13
2.1.9 Régime foncier	14
2.1.10 Agriculture.....	14
2.1.11 Elevage	15
2.1.12 Commerce et Artisanat	15
2.2. LE BARRAGE DE KAMBOINSE	15
2.2.1. La digue	15

2.2.2. Déversoir et ouvrages annexes	16
2.2.3. La cuvette/plan d'eau.....	16
2.2.4. Les ouvrages annexes	17
2.2.5. L'usage de l'eau	18
2.3. MATERIELS.....	19
2.4. METHODOLOGIE	21
2.4.1. Revue documentaire	21
2.4.2. Sorties terrain.....	21
2.4.3. Travaux de bureau	22
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
3.1. ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE ET ETUDE HYDROLOGIQUE	29
3.2. RESULTATS DES ETUDES HYDROLOGIQUES.....	30
3.3. EVALUATION DU RISQUE D'EROSION DES SOLS PAR LA METHODE RUSLE	33
3.4. ESTIMATION DE LA CAPACITE ACTUELLE DE LA RETENUE	39
3.5. EVALUATION DES DEPOTS SEDIMENTAIRE	40
IV. PROPOSITION D'UN PLAN DE VALORISATION DE LA RETENUE.....	47
4.1. EVALUATION DES BESOINS EN EAU	47
4.2. PROPOSITION DE VALORISATION DE LA RETENUE	50
4.3. COUT DES INVESTISSEMENTS	50
CONCLUSION.....	51
BIBLIOGRAPHIE	52
ANNEXES.....	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les différentes méthodes de mesure de volume de sédiments.....	5
Tableau 2: Répartition de la population des villages du bassin	13
Tableau 3: Méthodes/Formules « Loi de GAUSS, Loi de GUMBEL, Bassin type ».....	22
Tableau 4: Méthodes/Formules « ORSTOM ; CIEH ; GRADEX »	23
Tableau 5: les cinq (5) facteurs d'érosion de RUSLE	24
Tableau 6: Formule de détermination du volume de la retenue	25
Tableau 7: Formule de détermination volume et hauteur des sédiments	25
Tableau 8: Formules empiriques GOTTSCHALK, GRESILLON, KARAMBIRI	26
Tableau 9: Résultats de l'analyse pluviométrique en saison sèche et humide 1980-2017	29
Tableau 10: Extrait de l'analyse pluviométrique en saison sèche et humide 1921-1992	29
Tableau 11: Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant	30
Tableau 12: Paramètres de détermination des crues décennales et centennales (m ³ /s).....	31
Tableau 13: Les apports liquides selon Rodier	32
Tableau 14: Hauteur-Surface-Volume en 2020	39
Tableau 15: Tableau comparé des volumes et surfaces 2008-2020	41
Tableau 16: Illustration des variations de superficies	42
Tableau 17: Résultats de calcul des apports solides à partir des formules empiriques.....	42
Tableau 18: Extrait de l'étude sur la sédimentation des retenues d'eau.....	43
Tableau 19: Récapitulatif des résultats de la granulométrie	45
Tableau 20: Synthèse des besoins	47
Tableau 21: Pertes d'eau par infiltration et évaporation.....	47
Tableau 22: Valeurs de Ksat	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte administrative de la commune de OUAGADOUGOU.....	6
Figure 2: Bassin versant du Massili	7
Figure 3: Carte de localisation du bassin versant de Kamboinsé.....	7
Figure 4: Carte Réseau Hydrographique du bassin versant de Kamboinsé	8
Figure 5: Coupe hydrogéologique schématique des aquifères de socle de Ouagadougou.....	9
Figure 6: Carte des sols du bassin versant de Kamboinsé.....	10
Figure 7: Diagramme Ombro-thermique.....	11
Figure 8: Carte de prélèvements de l'eau brute	21
Figure 9: Carte de prélèvements de sédiments	22
Figure 10: Courbe hypsométrique du bassin versant	31
Figure 11:hydrogramme des crues	32
Figure 12: Carte représentative du facteur C	33
Figure 13: Carte représentative du facteur R	34
Figure 14: Carte représentative du facteur K	35
Figure 15: Carte représentative du facteur LS	36
Figure 16: Carte représentative du facteur P.....	37
Figure 17: Pertes en sols en t/ha/an du bassin de Kamboinsé.....	38
Figure 18: Courbe Hauteur-surface-Volume 2020.....	39
Figure 19: Courbes Hauteur-surface-Volume 2008.....	40
Figure 20: Courbes Hauteur-surface-Volume 1983	40
Figure 21: Représentation de la courbe de niveau du PEN en 2008 et en 2020	42
Figure 22: Comparaison de volume de dépôts sédimentaires	43
Figure 23: Valeur moyenne du dépôt annuel de sédiments (en cm)	44
Figure 24: Evolution de la turbidité de l'eau	46
Figure 25: Courbe d'exploitation de la retenue	48
Figure 26: Devis estimatif.....	50

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Vue partie aval de la digue ; A.TAPSOBA, R.SANOU ; mai 2008	16
Photo 2: Vue de la partie aval du déversoir ; A.TAPSOBA, Nov. 2020	16
Photo 3: Ouvrage de prise du barrage de Kamboinsé, janv. 2021 ; A.TAPSOBA	17
Photo 4: Sonde installée sur le bateau zodiaque	19
Photo 5: Récepteur E800 en mode RTK	19
Photo 6: Tarière	19
Photo 7: Infiltromètre à double anneau	20
Photo 8: Laboratoire 2iE	22

INTRODUCTION

Le Burkina est un pays sahélien. Il a une superficie de 274 200 km² avec une population estimée à 20 000 000 habitants (source INSD, projection 2020). Sa population est majoritairement rurale et vit essentiellement de l'agriculture. Le pays connaît aussi une faible pluviométrie comprise entre 500 à 1200 mm. A cause de son relief relativement faible, l'essentiel de la pluie ruisselle vers les pays voisins comme le Ghana, la Côte d'Ivoire et le Niger.

Fort de ce constat, le pays a mis en place depuis les années 1970, de vastes programmes de valorisation des ressources en eau à travers la réalisation de petits barrages associés à de périmètres irrigués pour surtout les cultures de contre-saisons. Ainsi, on assiste à une forte pression sur ces périmètres irrigués que sur les autres terres arables. Cette forte pression contribue à la déforestation des versants et engendre des dépôts de sédiments dans les zones de dépressions et sur les lits des cours d'eau.

Plusieurs études ont déjà été menées ou réalisées pour comprendre et évaluer le phénomène de l'envasement des retenues. C'est dire que ce phénomène de dépôts des sédiments dans les retenues revêt un caractère important.

Ces retenues connaissent alors une réduction de leur volume initial. Ce qui les empêche de jouer dorénavant leur rôle de régulation de débits de crues entraînant des inondations avec ses corollaires de dégâts ; ruptures des ouvrages, destruction des habitations, des morts...

C'est dans cette optique que nous avons décidé de mettre en exergue ce phénomène d'envasement au niveau du barrage de Kamboinsé à travers le thème « évaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du barrage de Kamboinsé »

L'objectif de cette étude est d'évaluer les dépôts sédimentaires du barrage de Kamboinsé, de déterminer les causes, et de proposer des solutions en vue de sa valorisation.

I. OBJECTIFS DU TRAVAIL

1.1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION

De nombreux pays dans le monde, tout comme le Burkina sont touchés par le problème de l'envasement des barrages. La situation s'aggrave encore dans les zones arides et sahéliennes où le manque d'eau est très préoccupant. En effet, les retenues d'eau au Burkina dont la profondeur est inférieure à deux (02) mètres tarissent dès le mois de mars, d'une part à cause de l'évaporation qui affecte près de 40% des plans d'eau (Programme national des aménagements hydrauliques (PNAH), 2016) et d'autre part du fait de l'envasement qui réduit d'année en année leur capacité de stockage. A titre illustratif, l'étude sur l'envasement des barrages de Goinré, de Nagréongo, du barrage N°2 de la capitale Ouagadougou, de Salbisgo et de Thiou a révélé que ces ouvrages ont perdu 3 à 6,5% de leur capacité de stockage initiale depuis leur mise en eau (KARAMBIRI, 1998). Une autre étude de cas réalisée par MIETTON citée par DURAND *et al*, (1999), fait état d'un ensablement moyen d'un mètre (1m) en 23 ans sur la partie centrale de la cuvette du barrage de Boulbi.

Après ces études, la connaissance du phénomène d'envasement est restée très peu documentée alors que le phénomène mérite d'être bien connu en ce sens qu'il affecte négativement la disponibilité de l'eau et les rendements des cultures de contre-saison. Pour parer à ces conséquences, des réflexions sont en cours au sein de la Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques sur un projet de lutte contre l'envasement des retenues d'eau au Burkina Faso. Ces réflexions s'inscrivent dans la gestion intégrée des ressources en eau. D'ailleurs, le gouvernement burkinabé a mis en place un programme de gestion intégrée des ressources en eau qui a pour objectif de contribuer durablement à la satisfaction des besoins en eau douce des usagers et des écosystèmes aquatiques jusqu'à l'horizon 2030.

C'est dans cette dynamique que nous envisageons déjà la réalisation d'une étude pour l'évaluation des dépôts sédimentaires du barrage de Kamboinsé et de sa valorisation.

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif général de l'étude est d'évaluer les dépôts de sédiments dans la cuvette du barrage en vue de sa réhabilitation.

De façon spécifique, il s'agira de :

- faire un état des lieux sur la cuvette du barrage (capacité actuelle, dégradations spécifiques, connaissance de la nature et des couches de sol) ;
- comparer le volume des dépôts solides par bathymétries avec celui proposé par les formules empiriques (GRESILLON, GOTTCALK, CIEH, KARAMBIRI) ;
- évaluer les besoins actuels en eau pour l'irrigation, les prélèvements et la consommation humaine et animale ;
- proposer un plan de réhabilitation de la retenue (augmentation de la capacité, délimitation des berges, délimitations des surfaces exploitables, aquaculture...).

1.3. LES RESULTATS ATTENDUS

Les résultats suivants sont attendus :

- un état des lieux sur la cuvette du barrage est réalisé (capacité actuelle, dégradations spécifiques, connaissance de la nature et des couches de sol sont connues) ;
- le volume des dépôts solides calculé est comparé avec ceux déterminés par les formules empiriques (GRESILLON, GOTTCALK, CIEH, KARAMBIRI) ;
- les besoins actuels en eau pour l'irrigation, prélèvements, abreuvement des animaux sont évalués ;
- un plan de valorisation de la retenue (augmentation de la capacité, délimitation des berges, délimitations des surfaces exploitables, aquaculture...) est proposé.

1.4. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

La dégradation du sol dans un bassin versant se définit comme étant l'épuisement de la capacité de production de la couche arable. Cette baisse de productivité résulte des modifications des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol ainsi que d'une perte de sol, de la matière organique et de minéraux (Kara Benyekhlefi et Nemdili Ali, 2004). Les causes fondamentales de la dégradation du sol dans un bassin versant sont classées par ordre d'importance comme suit : (i) l'érosion qui est le facteur principal de la dégradation du sol ; (ii) le déboisement aléatoire ; (iii) les activités agricoles et pastorales...

L'érosion du sol est une forme de dégradation au même titre que le compactage, la réduction des taux en matière organique, la détérioration de la structure du sol, le drainage souterrain insuffisant et l'acidification du sol. Toutes ces formes de dégradation accélèrent l'érosion du sol. L'érosion peut être un processus lent et insoupçonné, ou encore prendre des proportions

alarmantes, entraînant une perte énorme de sol arable. Le lessivage de la terre arable peut résulter en une réduction du potentiel de production, en une réduction de la qualité de l'eau de surface et en l'encrassement des réseaux de drainage. Des études sur des cas en Algérie montrent que l'érosion a été accentuée par l'aridité du climat d'une part et d'autre part par la destruction du couvert végétal (Kara Benyekhlef1 et Nemdili Ali, 2004).

Les facteurs d'érosion peuvent être classés en deux catégories principales, facteurs naturels et d'autres facteurs à caractère humain.

Au niveau naturel : De multiples facteurs entrent en jeu dans le mécanisme d'érosion des sols. De ce fait, le phénomène d'érosion est très évolutif dans l'espace et dans le temps. Il est difficile de localiser de manière précise et définitive les zones à risques, et de prévoir de façon certaine les périodes dans l'année où ce phénomène va se produire. Le risque d'érosion des sols est tout d'abord dépendant d'un certain nombre de facteurs naturels et donc difficilement maîtrisable. La morphologie du terrain influence inévitablement la vitesse de ruissellement des eaux. Plus cette vitesse sera élevée, plus l'arrachement des particules de terre sera important.

La pluie est le facteur principal de l'érosion, qui dépendra alors de la durée et de l'intensité des précipitations. Les sols limoneux ou affinés de manière excessive sont plus propices au phénomène d'érosion, ces sols sont en effet plus favorables au phénomène de battance. En effet, sous l'impact des gouttes de pluie, les mottes de terre de ces sols éclatent et se désagrègent en fines particules, c'est l'effet Splash. Ces particules de terre très fines ont alors tendance à se compacter à la surface du sol pour former une croûte, c'est la croûte de battance qui réduit l'infiltration de l'eau et favorise le ruissellement.

Au niveau humain : Le développement de la mécanisation et l'évolution de l'économie agricole ont amené les agriculteurs à agrandir les zones de culture. L'augmentation des parcelles s'est accompagnée d'une disparition de nombreux éléments structurants du paysage qui jouent un rôle primordial dans le ruissèlement de l'eau. Le travail du sol dans le sens de la pente accentue fortement le phénomène de ruissellement en traçant des lignes d'écoulement préférentielles pour l'eau. Enfin, l'occupation des sols par l'urbanisation a une grande influence sur l'érosion. L'imperméabilisation des sols et la diminution des surfaces tampon augmentent fortement les risques d'érosion.

La destination du produit de la dégradation du sol est le dépôt des sédiments dans les retenues et cours d'eau et barrages.

Le processus de la sédimentation dans les barrages reste complexe et variable d'un cas à un autre. Nous pouvons cependant retenir que lorsque les sédiments arrivent à l'entrée du réservoir, la vitesse d'écoulement diminue, les matériaux se déposent dans l'ordre : cailloux-sables

grossiers – sable fins. Ils forment ainsi un delta. Les matériaux fins (sables très fin, limons, argiles) sont dispersés dans la masse d'eau et maintenus en suspension par la turbulence naturelle. Ces matériaux peuvent flocculer et se décanter, formant une vase de fond. Dans le cas contraire, ils sont transportés jusqu'au déversoir et évacués lors des crues. Les dépôts solides ont tendance à se consolider sous l'eau. Ils peuvent être l'objet d'érosion à leur tour, provoquée par les courants de fond dus au vent ou aux grandes crues (KARAMBIRI, juillet 2000).

Le phénomène de l'envasement réduit progressivement le volume de stockage des barrages qui entraîne la pénurie d'eau pour l'approvisionnement en eau potable, le dépôt de sédiments dans les conduites d'eau, la réduction la production d'énergie hydroélectrique et de celle des cultures irriguée (amont ou aval des retenues) et provoque la surélévation du plan d'eau et des inondations lors des crues.

Au niveau de la digue du barrage, la vase déposée peut présenter un risque considérable sur la stabilité de l'ouvrage et ces équipements hydrauliques, les études de dimensionnement doivent donc bien estimer le volume mort.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer le volume des sédiments (KARAMBIRI, 1998 ; YADBILA,2000). Le tableau suivant synthétise ces méthodes :

Tableau 1: Les différentes méthodes de mesure de volume de sédiments

Les méthodes qualitatives	La néphélométrie
	Le marquage des sédiments
Les méthodes quantitatives	Les pièges à sable
	La fosse à sédiments
	Les prélèvements en rivières par des bouteilles spéciales
	La datation des sédiments
	La télédétection
	Les levés topographiques/bathymétrie
	La méthode de sondage
Les formules empiriques	FOURIER
	COLLET
	MEYER Peter
	WISCHMEIER et SMITH
	GOTTSCHALK
	GRESILLON (EIER-CIEH)
KARAMBIRI	

Il faut noter aussi que l'enlèvement de la vase déposée au fond des retenues au cours de plusieurs années nécessite des techniques spécifiques et coûteuses.

Dans notre présente étude, nous utiliserons une méthode quantitative (les levés topographiques/bathymétriques) et trois (3) formules empiriques [GOTTSCHALK, GRESILLON (EIER-CIEH) et celui de KARAMBIRI].

II. MATERIEL ET METHODOLOGIE

2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1.1. Situation géographique de la zone d'étude

✓ Kamboinsé

Kamboinsé est compris entre la latitude $12^{\circ} 29'$ – $12^{\circ} 24'$ nord et les longitudes $1^{\circ} 32'$ – $1^{\circ} 45'$ Ouest, dans la province du Kadiogo. Il est situé à 12 km au nord de Ouagadougou sur l'axe Ouagadougou-Kongoussi, route nationale N°22. Il est dans l'arrondissement 9 de la commune de Ouagadougou.

Kamboinsé abrite plusieurs organismes et institutions de recherche et écoles, en l'occurrence l'Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), ex EIER-ETSHER, l'Institut National d'Etudes et de Recherches Agronomiques (INERA), le Centre de Formation des Formateurs des Jeunes Agriculteurs (CFJA), le Prytanée Militaires du Kadiogo (PMK), l'Ecole des Cadres des Forces Armées Populaires (ECFAP), le Lycée de l'Alliance Chrétienne (LAC).

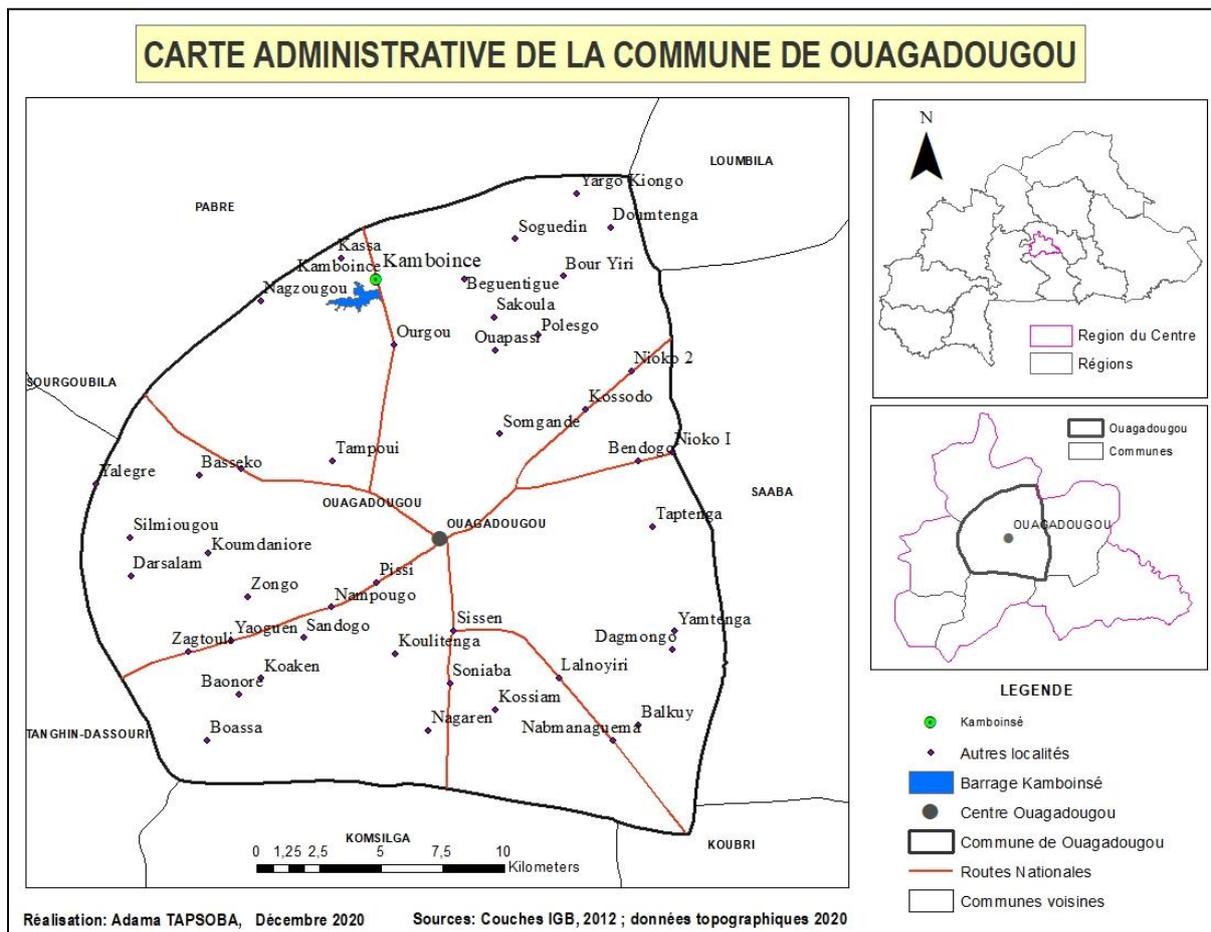


Figure 1: Carte administrative de la commune de OUAGADOUGOU

✓ Bassin versant

Le bassin versant de Kamboinsé (figure 3) a déjà fait l'objet de plusieurs études notamment dans « Crues et apports : manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche » en 1996 (Bulletin FAO d'Irrigation et de Drainage ; 54 ; ORSTOM, CIEH) et dans le cadre de l'étude d'avant-projet détaillé pour la réalisation du barrage N° 2 de Kamboinsé au sein de l'INERA par l'Office National des Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles (ONBAH) en juin 1993 (OUEDRAOGO A.. KI Fulgence ; G. TAPSOBA).

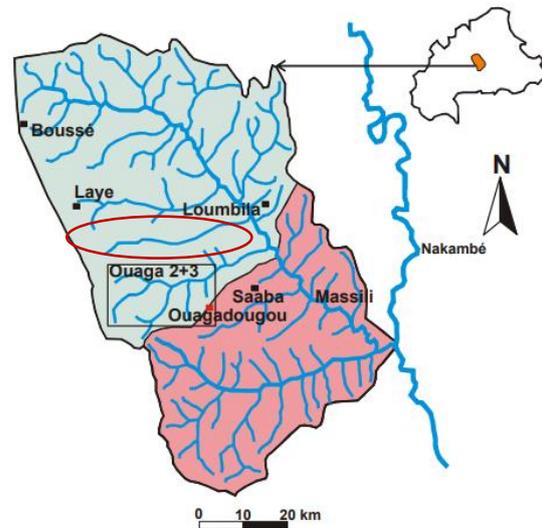


Figure 2: Bassin versant du Massili

Le bassin versant de Kamboinsé est un sous bassin du Massili, lui-même affluent du Nakambé sur sa rive droite. Le bassin versant du barrage N°1 de Kamboinsé a une géométrie particulière. Il a une forme rectangulaire de largeur 5,6 km et de longueur 22,3 km suivant les photographies aériennes. Le bassin est à cheval entre trois communes, Ouagadougou, Pabré dans la région du Centre et Sourgoubila dans le Plateau Central.

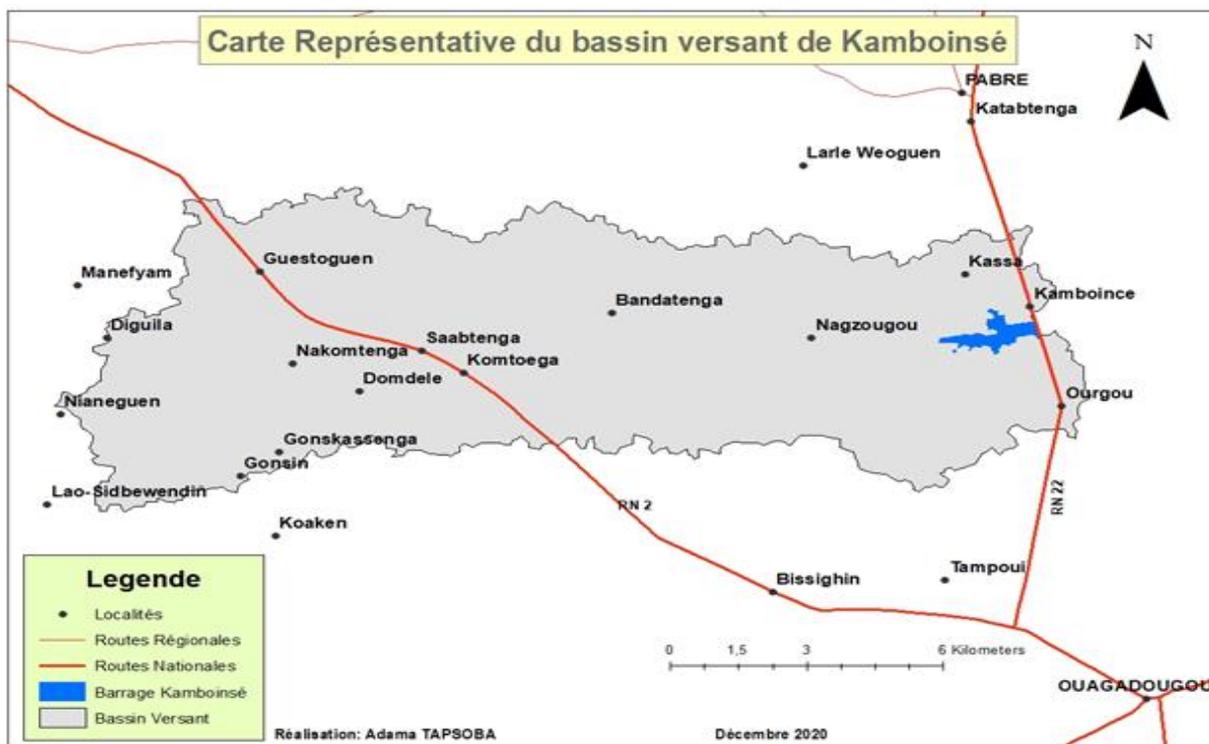


Figure 3: Carte de localisation du bassin versant de Kamboinsé

2.1.2. Hydrologie et Hydrogéologie

2.1.2.1. Hydrologie

Le réseau hydrographique est marqué par des affluents secondaires qui se rattachent au Massili par des vallées peu encaissées, caractérisées en saison pluvieuse par des chenaux d'écoulement concentrés. Le régime hydrographique de type sahélien se résume en chapelet de mares et de fonds humides qui ne tardent pas à s'assécher dès la fin de la saison pluvieuse.

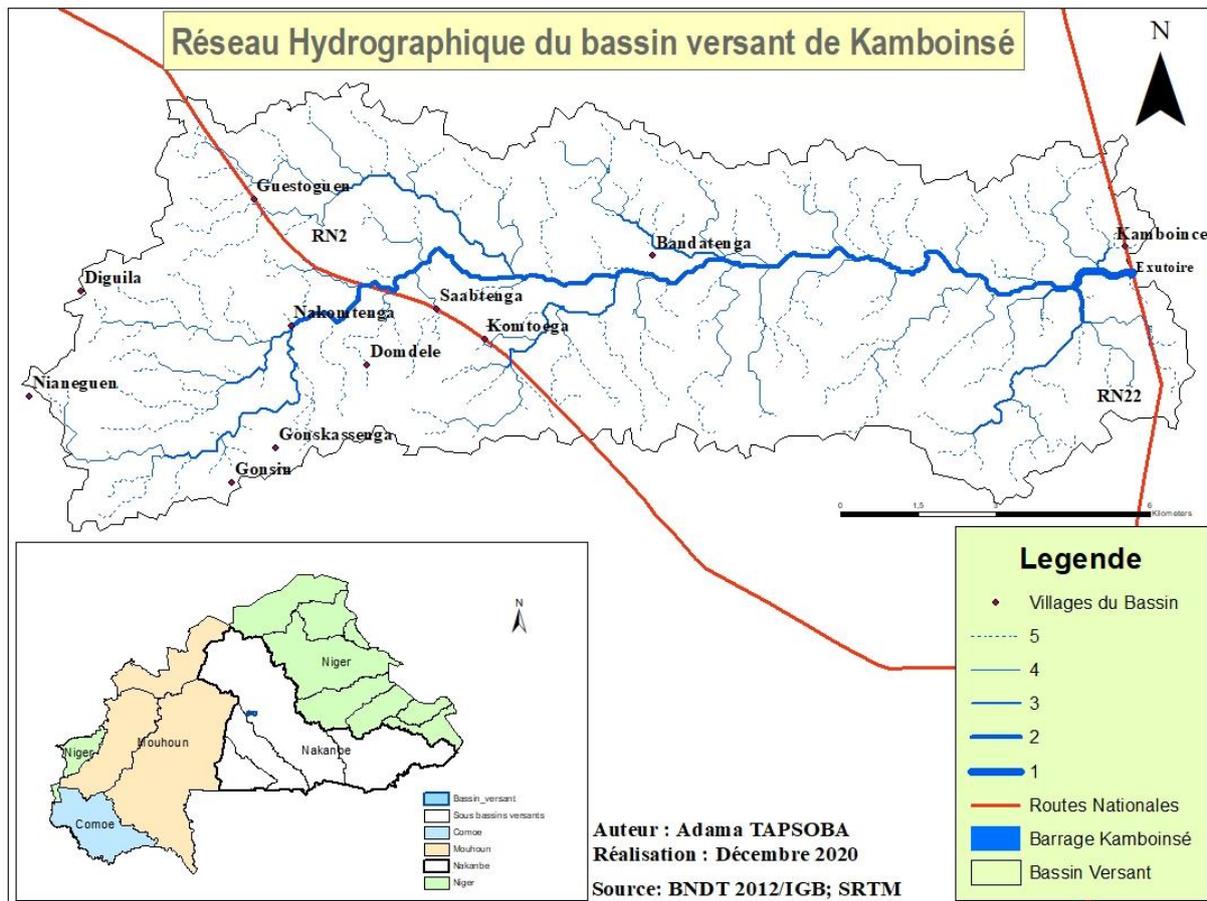


Figure 4: Carte Réseau Hydrographique du bassin versant de Kamboinsé

Le seul cours d'eau d'importance avérée reste celui sur lequel est construit le barrage de Kamboinsé. Il s'écoule d'Ouest en Est et longe le site K1 de 2iE par le sud. Tout au long de son parcours, il donne naissance à de petits affluents dont les abords sont colonisés à des fins d'exploitation maraîchère particulièrement en saison sèche. Mais, la non disponibilité permanente des eaux de surface, l'évapotranspiration combinée à l'envasement du lit du cours d'eau rendent les activités agricoles de saison sèche aléatoires.

2.1.2.2. Hydrogéologie

Le bassin est situé sur le môle dit de Ouagadougou essentiellement constitué de formations

cristallines et cristallophylliennes du Paléoprotérozoïque. Ces formations de granitoïdes sont recoupées par des intrusions de dolérites, de pegmatites et d'aprites d'âge mésoprotérozoïque (CASTAING et al., 2003b) et affectées par de grandes fractures orientées N-S, NE-SW et NW-SE. Elles comportent une épaisse couverture d'altération, qui dépasse par endroits 40 mètres.

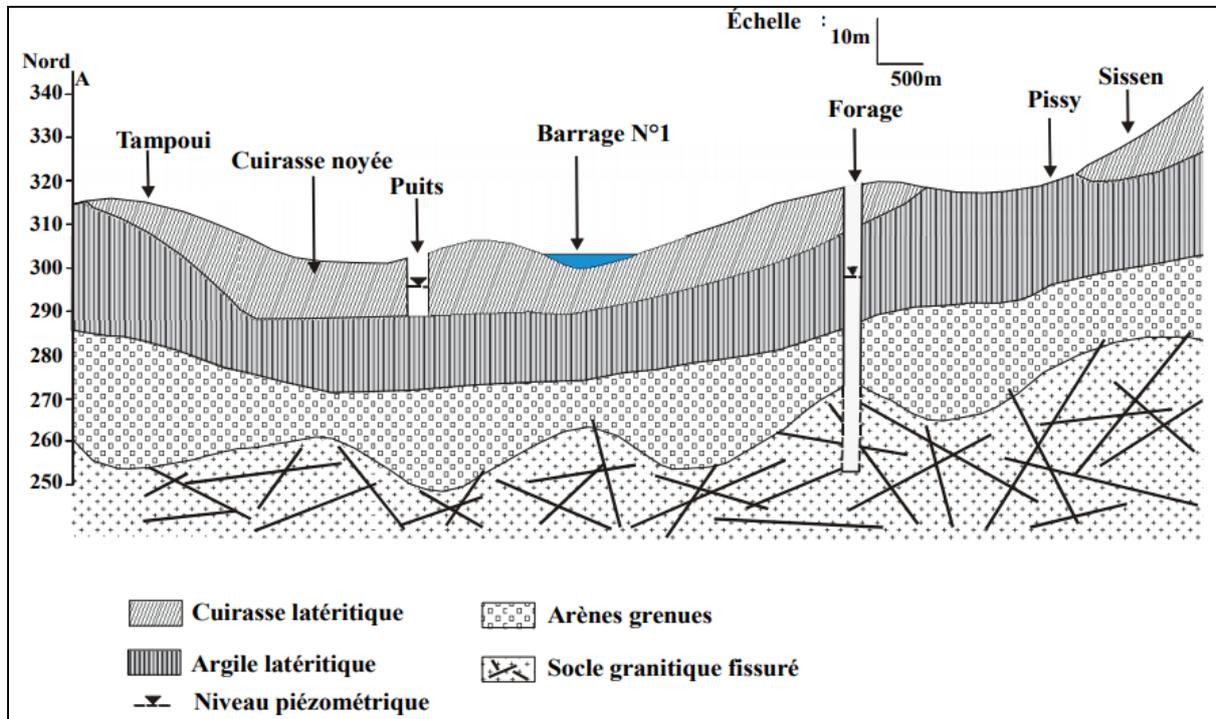


Figure 5: Coupe hydrogéologique schématique des aquifères de socle de Ouagadougou

2.1.3. Géologie et sols

Le bassin versant de Kamboinsé compte essentiellement deux classes de sols (figure 6). Ce sont les sols hydromorphes constitués de matériau argilo-sableux bigarré et de sols peu évolués, de matériau gravillonnaire. Les sols hydromorphes qui couvrent la majeure partie du bassin versant, sont des sols pauvres avec des valeurs agronomiques quasi-nulles. Leur aspect dénudé fait qu'ils sont très vulnérables à l'érosion tant hydrique qu'éolienne.

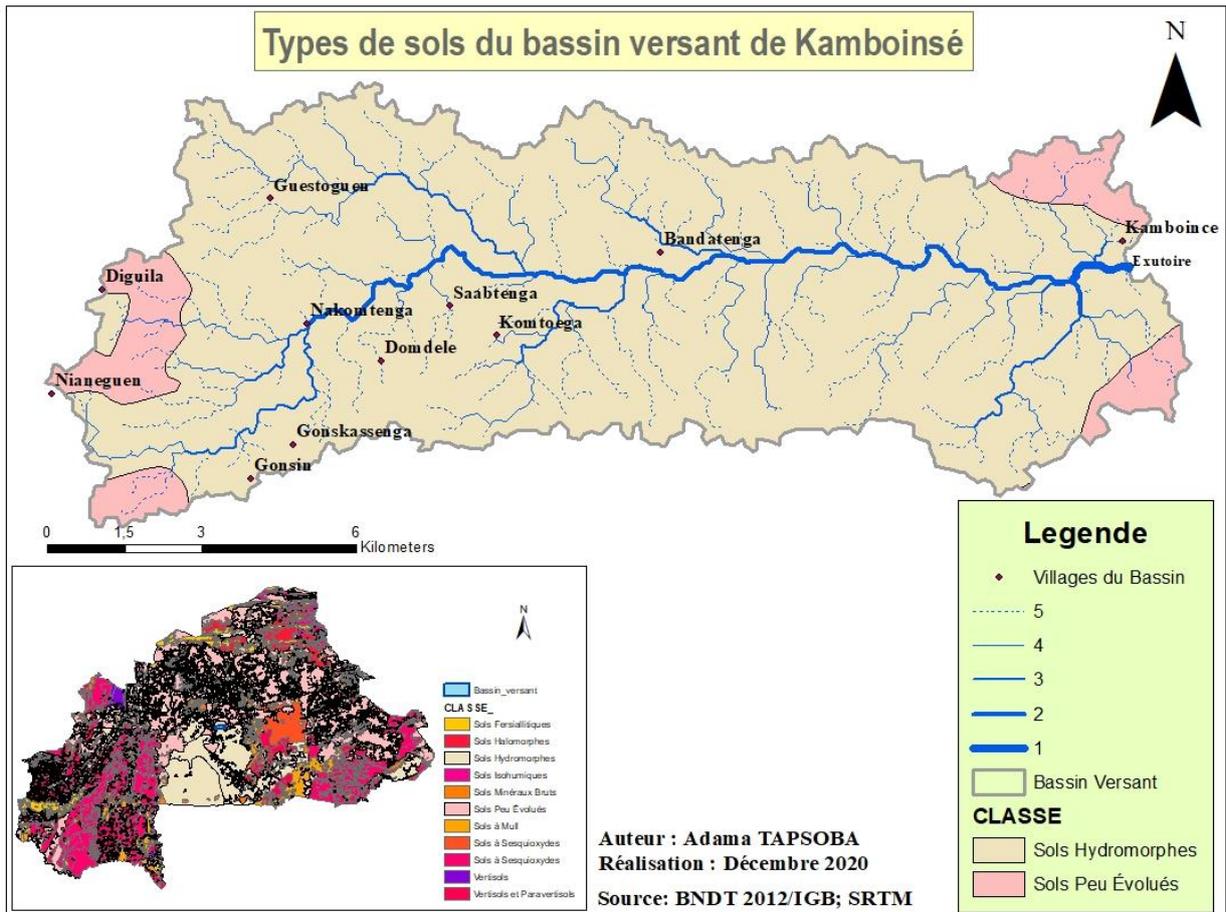


Figure 6: Carte des sols du bassin versant de Kamboinsé

2.1.4. Relief

Le relief est caractéristique du relief de la majeure partie de la région du centre du pays. Celui-ci est principalement marqué par une platitude (Image 1) dont la monotonie est contestée par endroits par des aspérités physiques



Image 1: Profil du dénivelé extrait sur Google Earth

de moindre amplitude.

Les pentes dans le bassin versant sont faibles, de l'ordre de 3‰ correspondant sur le plan topographique à des bassins de plaine.

2.1.5. Climat et Pluviométrie

Le bassin versant de Kamboinsé est soumis à un climat de type soudano-sahélien (A. GADIERE, 2012) caractérisé par l'alternance de deux saisons très contrastées réglées par le déplacement du Front Inter Tropical (FIT). Le climat est caractérisé par une saison des pluies correspondant à la période de recharge des nappes qui s'étend de juin à

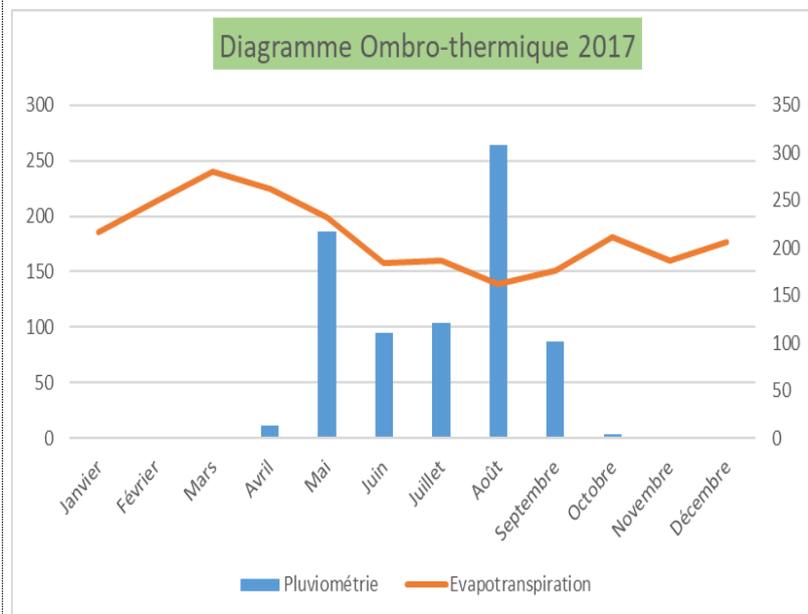


Figure 7: Diagramme Ombro-thermique

septembre et une saison sèche très longue, d'octobre à mai. Selon les données de la Direction de la Météorologie Nationale de 1980 à 2017 collectées à la station synoptique de Ouagadougou Aéroport, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 600 mm à 900 mm.

Mais, il faut dire que la saison des pluies ne s'installe véritablement qu'à partir de mi-juin et s'arrête en mi-septembre. Seul le mois d'Août est le mois le plus pluvieux (figure 7). Cette situation est imputable à la variabilité climatique amorcée depuis quelques années.

La température maximale moyenne enregistrée durant la période chaude (Mars à Mai) est de 42°C et la température minimale moyenne notée pendant la période froide (Décembre à Février) atteint 13°C.

✓ Le vent

Les vents sont de deux types. L'harmattan, vent sec et frais venant du Sahara et qui détermine la période sèche et froide. Il souffle de novembre à mars. Ce vent est responsable du transport des particules fines et de l'assèchement de l'atmosphère et la mousson, vent du sud-ouest africain issu de l'Anticyclone de Sainte Hélène est un vent chaud et humide qui détermine la saison des pluies. Ce vent souffle de mai à septembre. Les vitesses des vents varient de 8,64km/h à 13,32 km/h. L'évapotranspiration reste tout de même faible durant cette période.

✓ L'évaporation

La demande atmosphérique en eau est variable selon les périodes de l'année. Selon les données de la Direction de la Météorologie Nationale de 1980 à 2017, elle varie de 135,4 à 224,9 mm ETO et de 124,9 à 347,4mm à partir du Ebac.

2.1.6. Végétation et occupation des terres

La formation végétale la plus répandue demeure la savane arbustive. Le tapis herbacé est en général présent mais discontinu du fait de l'apparition de zones totalement dénudées. Cette situation trouve son explication dans des pratiques néfastes pour l'environnement comme la coupe abusive du bois vert, les défrichements anarchiques et les surpâturages, mais aussi par la perturbation amorcée des cycles pluviométriques depuis quelques décennies. Le long du principal cours d'eau, s'est développée une formation ripicole.

La couverture spatiale de la végétation a nettement régressé avec l'urbanisation au niveau du bassin versant. En effet, l'habitat occupait 4% de l'espace en 2002. Cette superficie est passée progressivement à 24% en 2012 et à 45% en 2020 (image Google Earth).

2.1.7 La faune et la flore

Les actions néfastes sur l'environnement affectent aussi la faune et son écosystème. Ce faisant, du fait de la dégradation du couvert végétal et du dérèglement climatique aidés en cela par le braconnage, la faune s'est considérablement appauvrie dans l'espace du bassin. Les quelques espèces fauniques que l'on rencontre encore sont principalement le lièvre, le francolin, les reptiles, les crocodiles, le boa, les tortues, les hérissons et la faune aviaire.

2.1.8 Organisation sociale et Démographie

Le bassin versant de Kamboinsé couvre huit (8) villages. La population totale vivant dans ce bassin est de 21 320 habitants. Sa répartition est la suivante par village selon le RGPH de 2006.

Tableau 2: Répartition de la population des villages du bassin

Villages	(Hommes + Femmes)	Hommes	Femmes	0 à 14 ans	15 à 65 ans	65 et +
Bendatoega	1 547	759	788	746	738	63
Diguila	846	362	484	421	379	46
Gonsin	2 798	1 279	1 519	1 379	1 243	176
Kamboince	7 683	3 830	3 853	3 144	4 248	291
Nakemtenga	658	315	343	323	297	38
Sabtenga	3 056	1 407	1 649	1 502	1 393	161
Sakoula	1 532	779	753	710	750	72
Yagma	3 200	1 620	1 580	1 383	1 681	136
Total	21 320	10 351	10 969	9 608	10 729	983

Source : INSD, RGPH 2006

Les femmes représentaient 51,4% de cette population contre 48,6% pour les hommes. La tranche d'âge de 0 à 14 ans comptait 9 608 personnes contre 10 729 personnes âgées de 15 à 65 ans correspondant à la population active. La population constituée des personnes du troisième âge se chiffrait à 983 habitants. Sur la base du taux d'accroissement annuel moyen national 3,21% en 2006, les projections démographiques donnent un effectif de 33 180 habitants en 2020. Ce qui ne reflète pas la réalité actuelle sur le terrain au vu de l'occupation de 44% de la superficie du bassin. Plusieurs facteurs expliquent cette réalité. Il y a eu :

- la viabilisation d'une partie de la zone par l'Etat,
- l'opération « Bayiri1 » en 2002 qui a vu le retour des milliers de familles burkinabé de la Côte d'Ivoire,
- les populations relogées suite à l'inondation de la ville de Ouagadougou en septembre 2009,
- les déplacés internes suite à l'avènement du terrorisme en 2016 et
- la migration classique des populations.

1 Bayiri fut une opération de retour volontaire des Burkinabés vivant en Côte d'Ivoire réalisée suite à l'avènement de la crise politique ivoirienne débutée le 19 septembre 2002.

La population à majorité est constituée de mossis qui forment l'ethnie autochtone. Outre les mossis, on y rencontre des peuls, des Samos, des Gourounsi, des Gourmantchés, des Bissa, etc.

Mieux, la présence d'écoles militaires, l'INERA et de l'institut 2iE à Kamboinsé fait qu'il y a aussi des communautés étrangères venant de presque tout le continent africain. Les religions pratiquées sont le christianisme, l'islam et l'animisme.

Selon les chiffres de l'inventaire National des Ouvrages Hydrauliques (INO) réalisés en 2019 par le Ministère en charge de l'eau, on dénombre 195 forages à motricité humaine dont les débits varient de 0,7 à 14m³/h, 8 puits permanant et 20 puits temporaires. Le taux d'accès à l'eau potable de la population est de 100 % au niveau du bassin.

2.1.9 Régime foncier

Le système foncier est officiellement régi aujourd'hui par la loi n° 014/96/ADP portant Réorganisation Agraire et Foncière (RAF) adoptée en 1996 et relue en 2007 puis en 2011.

Dans les faits, l'application du droit foncier traditionnel reste le plus dominant. Dans le droit coutumier traditionnel, la terre constitue un bien collectif et un don de Dieu qu'on ne peut vendre ou refuser de donner à quelqu'un qui veut l'exploiter pour se nourrir. Le domaine foncier coutumier est du ressort du chef de terre qui peut attribuer ou retirer la terre à une personne dans le respect des coutumes. Il doit être informé de toute transaction sur les terres dont il a la responsabilité. Dans les localités appartenant au bassin, les terres appartiennent à la chefferie coutumière ou aux familles et/ou lignages autochtones. L'accès à la terre se fait généralement selon les principaux modes suivants : l'héritage, l'emprunt, l'achat et le don.

Toutefois, ce dernier mode est de plus en rare eu égard à la pression foncière et à la valeur monétaire qu'a pris cette ressource ces dernières décennies (A. GADIERE, 2012)

2.1.10 Agriculture

L'agriculture occupe le plus grand nombre d'habitants du village. Avec l'élevage, elle mobilise près de 90% de la population active. Cependant, elle reste caractérisée par la forme extensive. Les pratiques sont toujours traditionnelles avec une utilisation prédominante de la daba. Les cultures de saison sèche comme la petite irrigation et le maraîchage mobilisent de plus en plus d'actifs. Ces activités ont surtout lieu le long du principal cours d'eau de même qu'aux abords du barrage de Kamboinsé.

2.1.11 Elevage

L'élevage constitue la deuxième activité des habitants du village. Il est important de noter que la majorité des éleveurs dans les villages sont avant tout des agriculteurs. Le cheptel se compose de bovins, de porcins et de petits ruminants. Les nombres sont estimés à 12 700 pour les bovins, 18 500 pour les caprins, 3 300 pour les porcins (projections 2009 de la DGPSE). Il constitue une forme d'épargne pour les producteurs qui en font recours lors des famines ou pour résoudre certains problèmes familiaux liés à la santé, à la scolarité, etc.

2.1.12 Commerce et Artisanat

Les activités commerciales s'organisent autour des marchés des villages qui du reste, revêt un caractère traditionnel. Les marchandises rencontrées sont essentiellement des produits agropastoraux (céréales, bétail, poisson, légumes et fruits importés ou produits sur place, la viande, les œufs, le lait, etc.)

La proximité des villages avec Ouagadougou, le grand centre urbain explique, en partie la présence remarquable sur les marchés de produits manufacturés et de première nécessité.

L'artisanat y est également présent dans les secteurs d'activités. Il va de l'artisanat de services à celui utilitaire en passant par l'artisanat de transformation agro-alimentaire. Les produits de l'artisanat utilitaire proviennent de la forge, de la poterie, de la cordonnerie, du tissage, etc.

2.2. LE BARRAGE DE KAMBOINSE

2.2.1. La digue

Le barrage de Kamboinsé a été construit vers les années 1904 puis réfectionné successivement en 1950, 1956 à la main. L'avant dernière réfection date des années 1964, le barrage avait été transformé sous la forme d'une digue routière avec radier submersible ensuite avec un pont déversoir.



En 2008, avec le bitumage de la voie, la digue a été rehaussée et élargie. Sa longueur est d'environ 530 m. Les pentes amont et aval sont respectivement de l'ordre de 1/2 et de 2/3. Sa largeur en crête est de 12 m. La côte en crête de la digue/chaussée est de 293,34m.

2.2.2. Déversoir et ouvrages annexes

En radier submersible pendant la réfection de 1964, il a été par la suite transformé en un pont déversoir de 39m de long de position latérale, avec un coursier de 16m de long. La hauteur maximale de déversement est de 1m. Le seuil du déversoir est à la côte 291,89m.

Après le coursier il y a les gabions à l'aval comme dissipateur d'énergie. Ces gabions ont été déplacés de quelques mètres de son lit par la force d'écoulement de l'eau et un surcreusement juste après le coursier est nettement visible (photo ci-contre). Le chenal est également dégradé.



Photo 2: Vue de la partie aval du déversoir ; A.TAPSOBA, Nov. 2020

2.2.3. La cuvette/plan d'eau

La cuvette se présente sous la forme d'un Y (Image 2), c'est à dire une partie principale avec deux bras qui ne tardent à sécher en saison sèche. Le volume de la cuvette estimée en 1983 était de 617 000 m³, avec une superficie du plan d'eau normale (PEN) de 580 000 m² et une profondeur maximale de 2,58m.

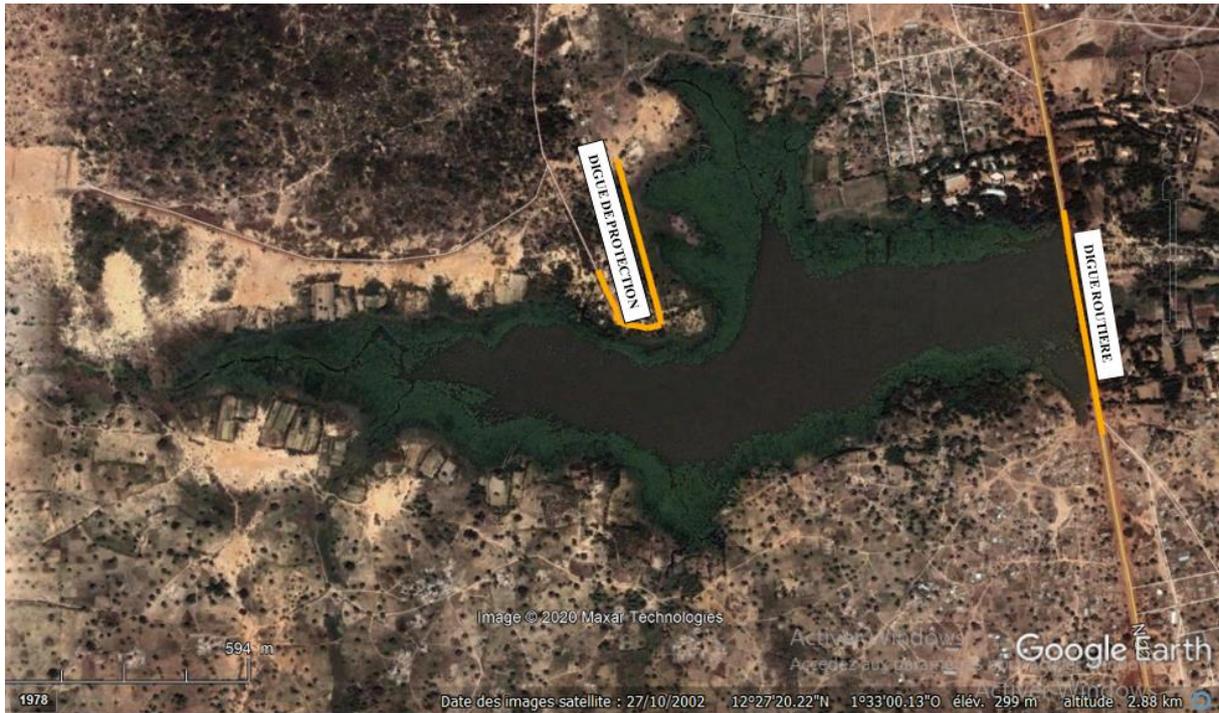


Image 2: Vue de dessus de la cuvette; Google Earth, 27/10/2002

2.2.4. Les ouvrages annexes

La digue de protection : Elle a été sommairement faite. Elle se situe entre les deux bras du barrage et sa fonction première était de protéger les maisons des militaires qui étaient entre ces deux bras et dont l'effet du temps a fini par avoir raison de lui. A certains endroits, il ne reste presque plus rien. Les parties encore acceptables sont devenues des monticules de terres qui certes jouent partiellement leur rôle mais qui finiront par céder à leur tour aussi. Cette digue est illustrée sur l'image ci-dessus.

La prise d'eau : elle joue aussi le rôle de vidange de la retenue, et de contrôle de l'élévation du plan d'eau pendant le remplissage.

Elle est dans un état complètement délabré et en partie bouchée par les sédiments. L'image ci-contre illustre l'état actuel de la prise.

Photo 3: Ouvrage de prise du barrage de Kamboinsé, janv. 2021 ; A.TAPSOBA



2.2.5. L'usage de l'eau

La maraîcher culture (superficie en amont et en aval) : la superficie actuelle exploitée tout au long de la retenue en amont est d'environ 68,41 ha. L'exploitation de ces périmètres commence à partir d'Août jusqu'en Avril. Les périmètres exploités ont évolué progressivement d'année en année. L'évaluation de ces superficies faites sur Google Earth donne par exemple 28,63ha en 2002, 52,44ha en 2012 et 68,41ha en 2020. Cela se justifie par la pression démographique dans le village. En aval de la retenue, il existe aussi des périmètres expérimentaux de l'INERA. Les variétés ou les spéculations cultivés sont le maïs, la tomate, la salade, l'oignon, l'aubergine, le gombo, le poivron, le piment, l'oseille, le bolombola/l'épinard, le bulvaka, le chou et le concombre.

La pêche : Elle est pratiquée de façon traditionnelle. L'activité regroupe au moins une vingtaine de pêcheurs. Les principales techniques utilisées sont la pose de la nasse, les jets de filets, la pêche à la canne. Les variétés de poissons sont les tilapias, les silures, Brycinus, Synodontis etc. L'eau du barrage est également prélevée par des camions citernes pour les travaux de génie civil ; fabrication de briques, arrosage des voies publiques. Mais cette quantité reste insignifiante par rapport à celle utilisée pour l'irrigation.

2.3. MATERIELS

- ✓ Fiches de collectes de données sur les pratiques culturelles ;
- ✓ Un Sondeur de bathymétrie mono-faisceau et un bateau zodiaque pour Bathymétrie

BALI est un système de bathymétrie pour la mesure précise (centimétrique) de la hauteur d'eau, en version acoustique mono-fréquence (1 seule mesure en fréquence 200kHz) ou bi-fréquence (2 mesures en 30 et 200kHz). L'ensemble sondeur et GPS autonome "BALI" fonctionne en mode autonome ou avec un logiciel de bathymétrie, pour opérateur novice et expérimenté. Suivant les modèles, la gamme de profondeur en mesure s'étend de 0.2m à 200 m de profondeur, pour les opérations en eaux intérieures ou littorales.



Photo 4: Sonde installée sur le bateau zodiaque

Le positionnement géographique est de précision submétrique à centimétrique en temps réel (RTX/RTK)

- ✓ Un appareil e-Survey GNS E800 en mode RTK pour la topographie complémentaire

Le récepteur intelligent intégré E800 (en RTK) est la dernière génération de produits de topographie qui peut suivre toutes les constellations de satellites et les signaux actuels, y compris le GPS/ GLONASS/ BEIDOU/ GALILEO/ QZSS, etc.

Doté de piles au lithium de très grande capacité et d'un corps hautement intégré, il offre une excellente dissipation de la chaleur et une capacité anti-interférences, une grande précision, une plus grande stabilité, une forte compatibilité et une applicabilité environnementale.



Photo 5: Récepteur E800 en mode RTK

- ✓ Une tarière pour les prélèvements des sédiments (Géotechnique) ;



Photo 6: Tarière

✓ Une pirogue et un kit chimique pour la mesure de la qualité de l'eau	
✓ Double anneau pour les essais d'infiltration.	 <p data-bbox="1024 586 1362 609">Photo 7: Infiltromètre à double anneau</p>

Le matériel informatique :

- ✓ HyfranPlus pour l'analyse fréquentielles des pluies ;
- ✓ Arc Gis 10.4.1, Google Earth et Globale Mapper pour délimiter le bassin versant, éditer les différentes cartes, préparer les sorties terrains ;
- ✓ AutoCAD Civil 3D 2018 et Surfer pour les différents dessins et le tracé des profils ;
- ✓ SPAW Hydrology pour la détermination des paramètres pédologiques ;
- ✓ Minitab pour la détermination du Ksat ;
- ✓ Le pack office 2016 pour les calculs et la rédaction du rapport.

2.4. METHODOLOGIE

Dans cette partie, il s'agit de présenter l'approche méthodologique adoptée pour conduire l'étude. La méthode adoptée a consisté à effectuer une revue documentaire suivie de sorties terrain et des travaux aux laboratoire et de bureau.

2.4.1. Revue documentaire

La revue documentaire a été effectuée afin de collecter des informations/études sur le bassin, le barrage et sur toute étude sur la dégradation des sols, l'érosion, l'envasement des retenues d'eau et la sédimentation.

2.4.2. Sorties terrain

Les sorties avaient pour objectif de mener une enquête socio-économique sur les périmètres en amont et aval, d'effectuer la bathymétrie et les levés topographiques, d'effectuer les prélèvements d'eau et de sédiments, de réaliser les essais d'infiltrations.

✓ Enquête socio-économique

L'enquête socio-économique a été menée en vue de collecter les informations plus précises sur le milieu humain, les pratiques culturelles, les spéculations sur les périmètres irrigués en amont et en aval du barrage et aussi d'avoir une idée sur les besoins réels des populations, les différentes dégradations spécifiques au niveau du bassin, de la cuvette, la digue et le déversoir. Cette activité a été faite avant et pendant les travaux terrains.

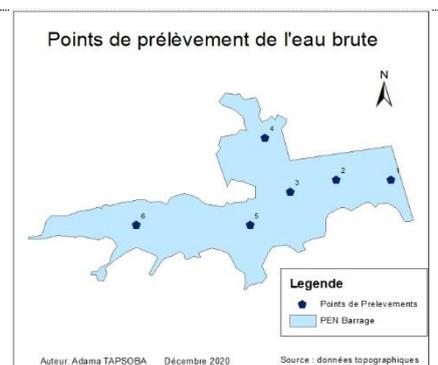
✓ Levé bathymétrique et topographique

Le barrage étant en eau durant la période d'étude, nous avons opté pour la réalisation d'une étude bathymétrique sur la partie inondée. La bathymétrie a été complétée par un levé topographique sur les parties hors eau. Ceci permettront d'estimer la capacité de stockage de la retenue, la surface de la cuvette aux côtes caractéristiques (côtes de déversement et de plus hautes eaux). Les courbes de niveau d'équidistance et les courbes Hauteur-Volume et Hauteur-Surface de la retenue. Les levés serviront également à dessiner des profils en long et des profils en travers et les superficies des périmètres en amont.

✓ Mesure de la turbidité de l'eau

Six (6) points de prélèvement de l'eau du barrage ont été définis (figure 8 ci-contre).

A l'aide d'une pirogue, l'eau est prélevée une fois par semaine et a été analysée au laboratoire afin de suivre l'évolution de la turbidité depuis la dernière pluie.



✓ **Prélèvement de sédiments pour la granulométrie et la sédimentométrie**

La retenue étant encore en eau à la période de stage, des prélèvements d'échantillons de sol/sédiments répartis spatialement et géo référencés dans la cuvette (figure 9) selon un maillage ont été effectués à l'aide d'une tanière. En tout sept (7) points de prélèvements de sédiments selon les possibilités de prélèvement et en ciblant les zones les plus concernées par la sédimentation (parties centrales de la cuvette) ont été faits.

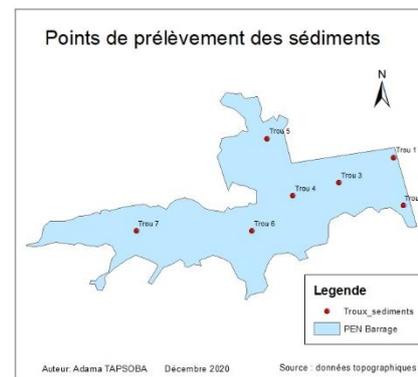


Figure 9: Carte de prélèvements de sédiments

Ces prélèvements ont nécessité souvent l'usage d'une pirogue pour l'accès aux sites. Ces échantillons ont fait l'objet d'une analyse granulométrique et sédimentométrique au laboratoire de 2iE (photo 7).



Photo 8: Laboratoire 2iE

✓ **Essai d'infiltration in-situ**

Cinq (5) essais d'infiltrations ont été réalisés sur les périmètres en amont à l'aide du double anneau. En aval, une étude de « caractérisation des sols des stations de recherches agricoles de l'INERA » menée par Dr. **Lamine ZERBO** en octobre 1995 nous ont permis d'avoir une idée sur la nature des sols.

2.4.3. Travaux de bureau

✓ **Etude de la pluviométrie et études hydrologiques**

L'étude de la pluviométrie a été faite avec des données de pluies annuelles et journalières de la station météorologique de Ouagadougou Aéroport. Ces données couvrent la période 1980 à 2017. L'analyse a permis de d'identifier le régime hydrologique associé à la zone d'étude sur la base des régimes définis par Rodier.

Tableau 3: Méthodes/Formules « Loi de GAUSS, Loi de GUMBEL, Bassin type »

Loi	Fonction de répartition	Paramètres de la loi
GAUSS	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{1}{2}u^2} du;$ $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$	u: variable réduite \bar{x} et σ : respectivement la moyenne et l'écart type de la serie
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}}$	x_0 : Paramètre de position a : paramètre d'échelle

Source : Crues et Apports, 1996

Nous avons déterminé les caractéristiques morphologiques du bassin, les crues par les méthodes ORSTOM et de CIEH ainsi que les apports liquides.

Tableau 4: Méthodes/Formules « ORSTOM ; CIEH ; GRADEX »

Désignation	Méthodes	Formules
Crue décennale	ORSTOM	$A = 1 - \left[\frac{161 - 0,042 \times \overline{P_{an}}}{1000} \times \text{Log}S \right]$ $Q_{r10} = \left(A * kr_{10} * P_{10} * \alpha_{10} * \frac{S}{Tb_{10}} \right)$ $Q_{10} = m * Q_{r10}$
	CIEH	$Q_{10} = a * S^S * \overline{P_{an}}^P * I_g^i * Kr_{10}^k * Dd^d$
Crue centennale	GRADEX	$Q_{100} = C * Q_{10}$ $C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_{b10}}{24} \right)^{0,12}}{K_{r10}}$

$\overline{P_{an}}$ est la pluies moyenne annuelle sur le bassin versant ; S la superficie du bassin versant ; P₁₀, la pluie journalière décennale ; Kr₁₀ coefficient de ruissellement décennal ; α₁₀, le Coefficient de pointe de crue décennale ; Tb₁₀, le temps de base en heures ; P₁₀₀, la pluie centennale, Q₁₀ la crue décennale et Q₁₀₀ la crue centennale.

Source : Crues et Apports, 1996

✓ **Evaluation des effets de l'érosion (méthode RUSLE)**

Dans cette partie, nous avons essayé d'évaluer le risque d'érosion des sols par la méthode RUSLE à partir des images satellitaires (LANDSAT et SENTINEL).

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) a été établie d'après les travaux de **WISCHMEIER** et **SMITH** (1965). Il s'agit d'un modèle empirique dans lequel l'érosion exprimée en t/ha/an, est le produit de cinq (5) facteurs : érosivité de la pluie (R), inclinaison et longueur de pente (LS), érodibilité du sol (K), couverture végétale (C), et mesures de prévention (P). L'équation s'écrit comme suit : **A = R * K * LS * C * P**

Ce modèle s'applique normalement à des profils topographiques et permet de connaître l'érosion à l'échelle de la parcelle agricole. Il est cependant possible de l'extrapoler pour cartographier l'érosion sur des espaces plus vastes tels que des régions agricoles entières (Bonn,

1998 cite Spanner et al., 1982). La méthode consiste à appliquer chaque facteur de RUSLE à des données spatiales géoréférencées. La multiplication de toutes les couches d'information obtenues donne une carte du risque érosif renseignée pour chaque cellule d'une valeur d'érosion exprimée en t/ha/an. Le tableau 2 donne les paramètres de calculs de ces facteurs.

Tableau 5: les cinq (5) facteurs d'érosion de RUSLE

Désignation	Méthodes/formules
✓ C : facteur du couvert végétal	$C = \exp [-(\alpha NDVI/(\beta - NDVI))]$ α et β sont des paramètres sans unités qui déterminent la forme de la courbe reliant le NDVI au facteur C $\alpha = 2$ et $\beta = 1$
✓ R : facteur d'agressivité climatique	$0,5 * P$, P = pluviométrie annuelle en mm
✓ K : facteur d'érodabilité des sols	$K = 1/100 * [2,1 * M^{1,14} * 10^{-4} (12 - A) + 3,25 (B - 2) + 2,5 (C - 3)]$ M = (% sable fin + % limon) * (100 - % argile) A = pourcentage de matière organique B = code de la perméabilité C = code de la structure
✓ LS : facteur topographique	$[(\text{long pente} * (\text{résolution}/22,1))^m * (0,065 + 0,045 * \text{pente} (\%) + 0,0065 * \text{pente} (\%)^2)]$ prend en compte la longueur et l'inclinaison des pentes qui affectent la production et le transport de sédiments
✓ C : facteur du couvert végétal	$C = \exp [-(\alpha NDVI/(\beta - NDVI))]$ α et β sont des paramètres sans unités qui déterminent la forme de la courbe reliant le NDVI au facteur C $\alpha = 2$ et $\beta = 1$
✓ P : facteur des pratiques anti-érosives	Le labour selon les courbes de niveau, cultures en bandes alternées ou en terrasses, le billonnage etc sont des pratiques efficaces de conservation des sols

Nous avons également utilisé des images satellitaires de plusieurs années successives pour montrer la dégradation de l'environnement autour de la retenue (végétation, sol...), d'identifier les principales venues d'eau pendant la saison pluvieuse, les zones inondables en cas de crues.

✓ **Estimation de la capacité actuelle de la retenue (barrage)**

Les études bathymétriques et topographiques menées en 2020 ont été utilisées pour estimer la

capacité actuelle de la retenue à partir des courbes hauteur-surface et hauteur-volume.

Tableau 6: Formule de détermination du volume de la retenue

Désignation	Méthode /formule	Paramètres
Courbe Hauteur –Volume	$V_{n, n+1} = \frac{S_n + S_{n+1}}{2} * h$	V_{i+1} : Volume en [m ³] S_i : Surface à la courbe i [m ²] S_{i+1} : Surface à la courbe i + 1 [m ²] <i>h</i> : Dénivelée entre deux courbes i et i + 1 [m]

✓ **Evaluation des dépôts sédimentaires**

Nous avons déterminé la quantité de dépôts annuels de sédiments dans la retenue sur la base d'une étude bathymétrique faite en 2020, de données de levées topographiques de la cuvette faites en 2008 et de la courbe hauteur-surface et hauteur volume de 1983.

Des profils en long et des profils en travers des dépôts de sédiments ont été également mis en exergue.

Tableau 7: Formule de détermination volume et hauteur des sédiments

Désignation	Méthode /formule
Volume de sédiments	$V_{n, n+1} = \frac{S_n + S_{n+1}}{2} * h$ <p align="center">Volume 2020 – Volume 2008</p>
Hauteur sédiments	$H_{2020} - H_{2008}$

Les valeurs moyennes annuelles ont été comparées aux valeurs calculées à partir des formules empiriques (tableau 3 ci-dessous) déjà utilisées dans la détermination de la quantité de dépôts solides dans les barrages et d'autres études récentes menées sur l'envasement des retenues au Burkina (barrage de KIERMA, WEDBILA ET MOGTEDO).

Tableau 8: Formules empiriques GOTTSCHALK, GRESILLON, KARAMBIRI

Auteurs	Formules
L.C.GOTTSCHALK	$D = 260 * S^{-0.1}$
J.M.GRESILLON	$D = 700 * \left(\frac{P_{an}}{500}\right)^{-2,2} * S^{-0.1}$
H.KARAMBIRI	$D = 137 * \left(\frac{P}{700}\right)^{-2.02} * S^{-0.05} * (0.25 + 1.13 * (h + r))^{1.15}$
<p>D : la dégradation spécifique annuelle, [m3/km2 /an] S : la superficie du bassin versant, en km² h compris entre 0,4 et 0,7 pour bassin versant comportant de petites villes, des villages moyens ou situés à proximité de ceux-ci. r : h compris entre 0,1 et 0,4 pour relief moyennement accentué, accusé P : la pluviométrie</p>	

✓ **Proposition d'un plan de valorisation de la retenue**

Les différentes activités menées autour de la retenue sont la culture maraîchère et la pêche. La superficie et les besoins en eau de ces différentes cultures ont été estimés.

L'évaluation des besoins agricoles s'est faite en considérant un système d'irrigation gravitaire avec une efficacité de 60% (H. KARAMBIRI et I. GUEYE, « Cours de barrages, Licence 2 et 3 ». 2006)

Formules	Paramètres
<ul style="list-style-type: none"> • $BB = BN/E$ 	- BB [mm] : Besoins Brute ;
<ul style="list-style-type: none"> • $BN = ETM - P_e$ 	- BN [mm] : Besoins Net ;
<ul style="list-style-type: none"> • $ETM = Kc * ET0$ 	- ETM [mm] : Evapotranspiration Maximale ;
<ul style="list-style-type: none"> • $Kc_{mois} = \frac{K_{ci} * N_i + K_{cj} * N_j}{N}$ 	- Pe [mm] : Pluie efficace ;
	- P [mm] : hauteur de pluie ;
	- Kc : coefficient cultural ;
	- ET0 [mm] : Evapotranspiration de référence ;

Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

<ul style="list-style-type: none"> • $Pe = \begin{cases} 0,8 * P & \text{si } P \geq 20 \text{ mm/mois} \\ Pe - P & \text{si } P < 20 \text{ mm/mois} \end{cases}$ 	- E : efficacité du réseau d'irrigation gravitaire (60%).
---	---

En rappel, une douzaine de cultures ont été recensées sur les périmètres en amont du barrage.

La semence des laitues, la tomate, le concombre ... commencent en Août et dès novembre, débute les semis de l'oignon dans la plupart des périmètres (Kc extrait du Manuel FAO 2008). Pour l'abreuvement du bétail, on compte plus de 880 bœufs repartis entre 15 éleveurs. Le calcul des besoins en eau de ces bétails s'est fait sur la base de 40.4 l/jour par tête pour les gros bétails (*Nadège-Désirée YAMEOGO, 2002*).

Les besoins en eau pour l'abreuvement des animaux (bovins et caprins) ont été estimés à travers la formule suivante :

$B_{\text{espèce}} = Pop_{\text{espèce}} * cons. \text{ spécifique}_{\text{espèce}}$	<ul style="list-style-type: none"> - $B_{\text{espèce}}$ [m³] : Besoins pastoraux ; - $Pop_{\text{espèce}}$ [nbre] : nombre de bovins et caprins ; - Consommation spécifique [l/jour] : litre/jour/espèce.
--	--

Pour la détermination de la superficie, nous avons utilisé les données topographiques et les images de Google Earth. Les superficies emblavées sont estimées à 40ha sur les 68,41 ha.

$Sup_{\text{amont}} = Sup_{\text{parcelle}} * Nbre_{\text{parcelles}}$	<ul style="list-style-type: none"> - Sup_{amont} = Superficie amont [m²]; - Sup_{parcelle} = Superficie d'une parcelle [m²]; - $Nbre_{\text{parcelles}}$ = nombre de parcelles
--	--

Les prélèvements d'eau pour les travaux de Génie Civil ont été également estimés. Ils correspondent à 5% aux besoins d'eau agricole.

Nous avons aussi tenu compte des pertes par infiltration et par évaporation au niveau de la retenue.

Pour les pertes par infiltration, les valeurs usuelles de l'ordre de 1 à 3 mm/j en moyenne utilisées au Burkina Faso ont été considérées (H. KARAMBIRI et I. GUEYE, « Cours de barrages, Licence 2 et 3 ». 2006). Le choix définitif a tenu compte du fait que notre retenue est ancienne et qu'un important dépôt d'argile est constaté dans la cuvette. Nous avons retenu la valeur de

1mm/jour pour l'infiltration.

L'estimation de l'évaporation au niveau de la surface de la retenue est couramment faite avec la formule de POUYAUD (1985) qui propose une corrélation entre l'évaporation d'un bac de « classe A » et celle se produisant à la surface du plan d'eau. Les données d'évaporation utilisées sont celles de la station de Ouagadougou.

$E_{lac}(\text{mm/j}) = 1,664 * E_{bacA}^{0,602}$	<ul style="list-style-type: none">- $E_{v.ret}$ [mm/j] : Evaporation au niveau de la retenue- $E_{bac,A}$ [mm/j] : Evaporation à la surface du bac de classe A- 0,602 : Coefficient correcteur
---	--

Des esquisses de solutions ont été proposés en vue d'une part de limiter l'envasement à savoir la mise en place de seuils d'épandages des crues, la délimitation des berges et des surfaces exploitées, d'améliorer le système d'irrigation, augmenter la capacité de la retenue et la mise en valeur de l'aquaculture.

Ces propositions ont été évaluées financièrement à partir de coûts unitaires.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. ANALYSE DE LA PLUVIOMETRIE ET ETUDE HYDROLOGIQUE

Avec des séries de données pluviométriques de 1980 à 2017, le logiciel Hyfran a servi à ressortir les quantiles journaliers et annuels durant les périodes sèche et humide du bassin à partir des ajustements suivant les lois de GAUSS pour les pluies annuelles moyennes et de GUMBEL pour les pluies journalières maximales. Les caractéristiques des échantillons sont présentées dans le tableau 9 ci-dessous.

Tableau 9: Résultats de l'analyse pluviométrique en saison sèche et humide 1980-2017

Durée retour	Fréquence	Pluie annuelle	Pluie maximale journalière	Période
100	0.9900	1010	134	Années humides
50	0.9800	976	122	
20	0.9500	931	107	
10	0.9000	890	94,7	
5	0.8000	841	82,2	
2	0.5000	747	63,5	Année moyenne
5	0.2000	653	49,6	Années sèches
10	0.1000	604	43,7	
20	0.0500	563	39,3	
50	0.0200	518	34,9	
100	0.0100	487	32,2	

Une étude précédente avait été menée sur le bassin versant en 1993. Les données de la station de Ouagadougou sur une de soixante-douze (72) ans (1921-1992) ont été utilisées. Le tableau 10 ci-dessous présente les résultats de l'analyse de ces données.

Tableau 10: Extrait de l'analyse pluviométrique en saison sèche et humide 1921-1992

Durée retour	Fréquence	Pluie annuelle	Pluie maximale journalière	Période
100	0.9900	1166,615	141,015	Années humides
50	0.9800	1142,076	128,264	
20	0.9500	1068,46	111,247	
10	0.9000	1017,249	98,101	
5	0.8000	954,658	84,396	
2	0.5000	835,166	63,696	Année moyenne
5	0.2000	715,673	48,311	Années sèches
10	0.1000	653,082	41,77	
20	0.0500	601,871	36,964	
50	0.0200	528,255	32,09	
100	0.0100	503,717	29,111	

Source : Mémoire explicatif du barrage N° 2 de Kamboinsé

En comparant les résultats, on constate une diminution des quantiles journaliers et annuels de

la période de 1980 à 2017 par rapport aux données de 1921 à 1992.

3.2. RESULTATS DES ETUDES HYDROLOGIQUES

Les valeurs de la superficie et du périmètre du bassin versant de Kamboinsé sont respectivement de 124,2 km² et 55,7 Km. Le bassin versant est soumis à un régime climatique de type sahélien. Il est classé dans la catégorie des bassins moyens notamment la classe 3 selon la classification de Rodier dans le manuel de l'estimation des crues de la FAO. La forme du bassin est de type allongée (indice de compacité supérieur à 1). Les principales caractéristiques morphologiques du bassin sont contenues dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 11: Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Surface	S	km ²	124,2
Périmètre	P	Km	55,7
Altitude maximale	Zmax	m	349
Altitude minimale	Zmin	m	293
Altitude 5 %	H5%	m	297
Altitude 95%	H95%	m	343
Aspect du réseau hydrographique			Réseau dendritique
Longueur du rectangle équivalent	Leq	km	22,3
largeur	l	km	5,6
Longueur du cours d'eau principal		km	22,3
Longueur du réseau hydrographique	l	km	254,95
Indice de compacité de Gravelius	Kg	%	1,41
Pente longitudinale	Ibv	%	2,33
Indice global de pente	Ig	m/km	2,10
Pente moyenne		m/km	2,51
Pente longitudinale		m/km	2,51
Pente transversale	It	m/km	7,43
N			3
Indice Global corrigé	Igcor	m/km	3,88
Dénivelé spécifique	Ds		23,44
Densité de drainage	Dd	km/km ²	2,05
Classe du relief			R2: bassins de plaine
Typologie du relief			DS < 50, relief faible
Classe de perméabilité			RI (P3)

✓ La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique ci-dessous (figure 10) fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

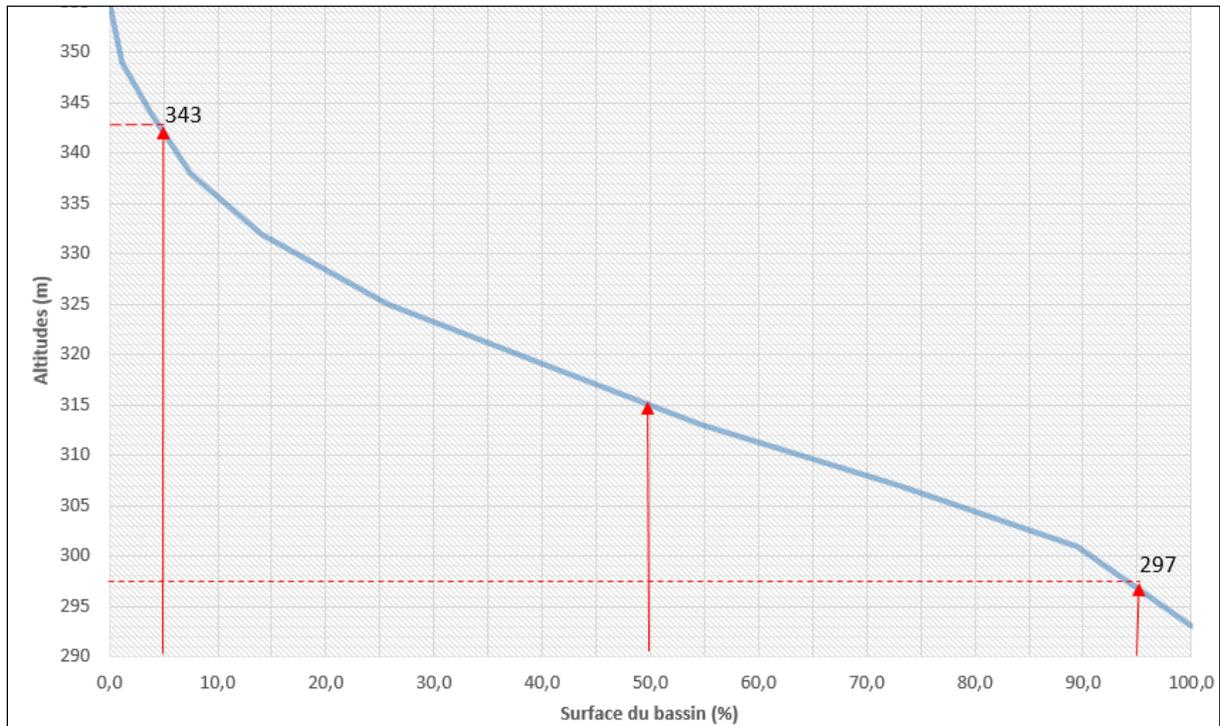


Figure 10: Courbe hypsométrique du bassin versant

✓ Détermination des crues

La détermination de projet (crue centennale) s'est basée sur la détermination de la crue décennale. Deux méthodes (ORSTROM et CIEH) ont permis d'estimer cette crue décennale et celle de GRADEX pour la crue centennale. Les résultats sont présentés dans le tableau 12 ci-après :

Tableau 12: Paramètres de détermination des crues décennales et centennales (m^3/s)

Désignation	Symboles/unités	Valeurs
Surface	S [km^2]	124,2
Pluviométrie annuelle	Pan [mm]	747
Pluviométrie journalière décennale	P10 [mm]	94,7
Pluviométrie journalière centennale	P100 [mm]	134
Indice globale de pente	Ig [m/km]	3,88
Indice de compacité	Ic	1,41
Coefficient d'abattement	A	0,73
Coefficient de ruissellement décennal	Kr10 [%]	27,55
Temps de base décennal	Tb10 [mn]	1460,21
Temps de montée décennal	Tm10 [mn]	523,36
Coefficient de majoration de débit	m	1,045
Coefficient de pointe de débit	α	2,6

Désignation	Symboles/unités	Valeurs
Crue décennale (méthode ORSTOM)	Q10 [m ³]	73,22
Crue décennale (méthode CIEH)	Q10 [m ³]	68,77
Crue décennale moyenne	Q10 [m ³]	70,99
Coefficient multiplicateur C		2,51
Débit centennal (GRADEX)	Q100 [m ³]	178,10

Le temps de base de la crue projet et du temps de montée des eaux ont permis de réaliser le tracé de l'hydrogramme de crue (figure 11).

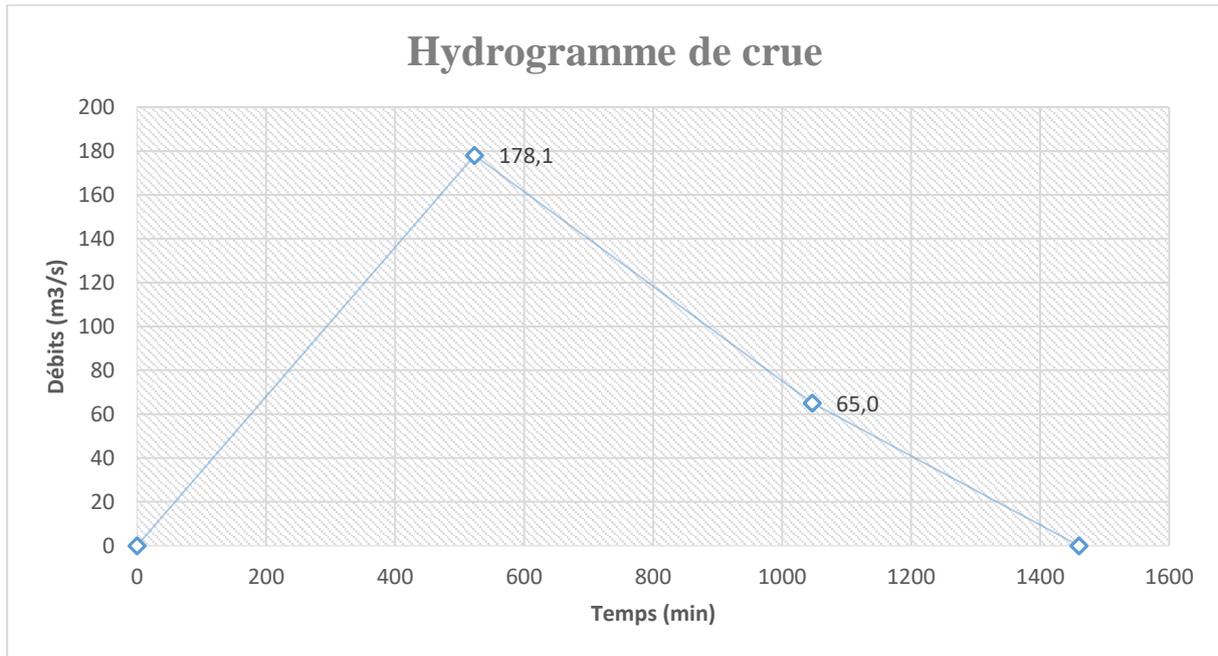


Figure 11: Hydrogramme des crues

L'hydrogramme de crues renseigne sur le débit maximum de la crue et le débit de discontinuité (65m³) qui indique le changement de pente lors de la décrue.

✓ **Les apports liquides selon Rodier (m³)**

Les apports liquides sont la quantité d'eau susceptible d'arriver à l'exutoire d'un barrage pendant une période donnée. Les apports sont évalués à partir de la méthode de Rodier et présentés ci-dessous. Le bassin type utilisé est celui de Kamboensé.

Tableau 13: Les apports liquides selon Rodier

PERIODE	VOLUME (M ³)
Année moyenne	3 618 319
Quinquennale sèche	2 214 101
Décennale sèche	1 500 336

3.3. EVALUATION DU RISQUE D'ÉROSION DES SOLS PAR LA METHODE RUSLE

✓ Facteur d'érodabilité C

Le facteur C détermine la densité du couvert végétal, l'efficacité relative à des systèmes cultureux et la gestion des sols. La figure 12 donne la répartition spatiale de l'indice du couvert végétal. Les valeurs du facteur C pour le bassin sont comprises entre 0,14 et 0,66. Les valeurs inférieures à 0,5 concernent les forêts denses, l'arboriculture. Les valeurs de facteur C supérieures à 0,5 sont des zones à faible couvert végétal donc d'une grande sensibilité à l'érosion hydrique.

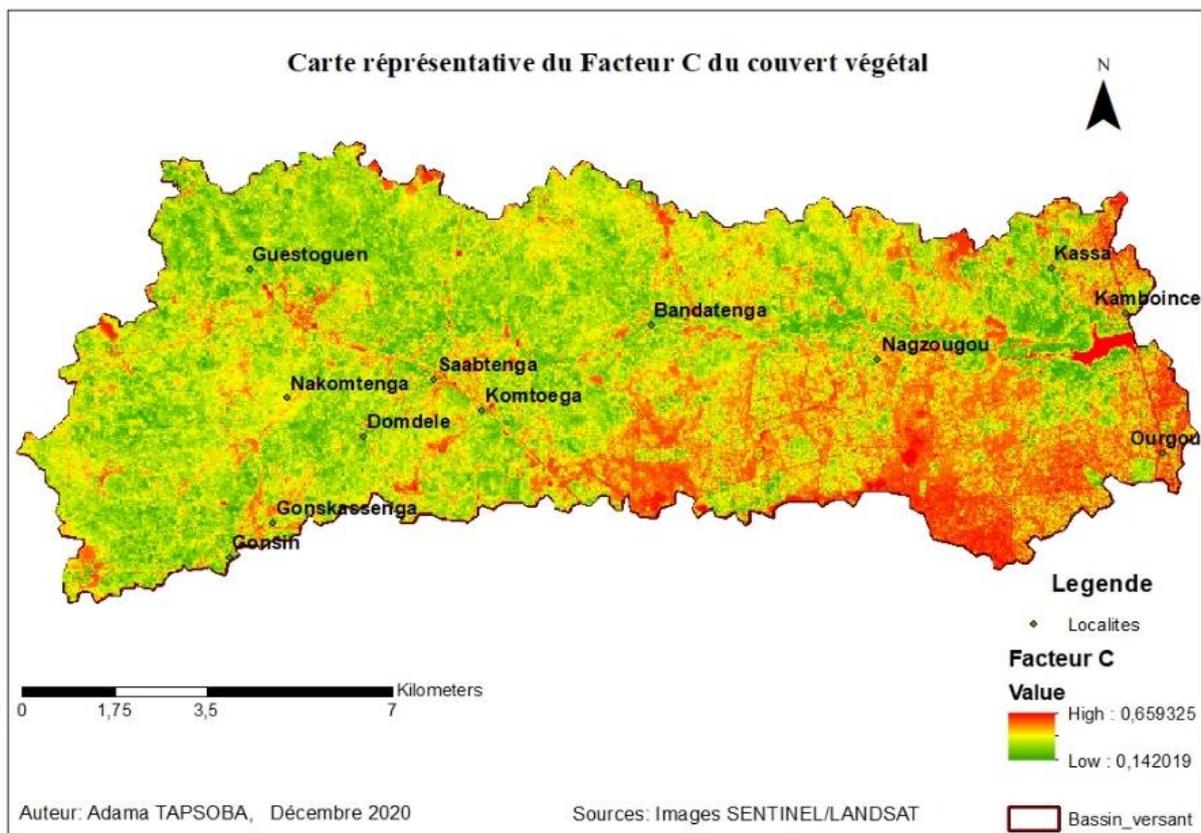


Figure 12: Carte représentative du facteur C

Ces parties sont indiquées en couleur rouge et jaune sur la carte. Elles concernent les zones occupées par l'eau, la voirie et les habitations.

De cette carte, on peut déduire que le bassin est considérablement dégradé caractéristique aux bassins urbains.

✓ Facteur d'agressivité climatique R

Le facteur R (figure 13) est un indice d'érosivité des pluies. Il caractérise le pouvoir érosif par l'intensité de la pluie. Les valeurs du facteur R sont en moyenne de 386 MJ. mm/ha.h.an.

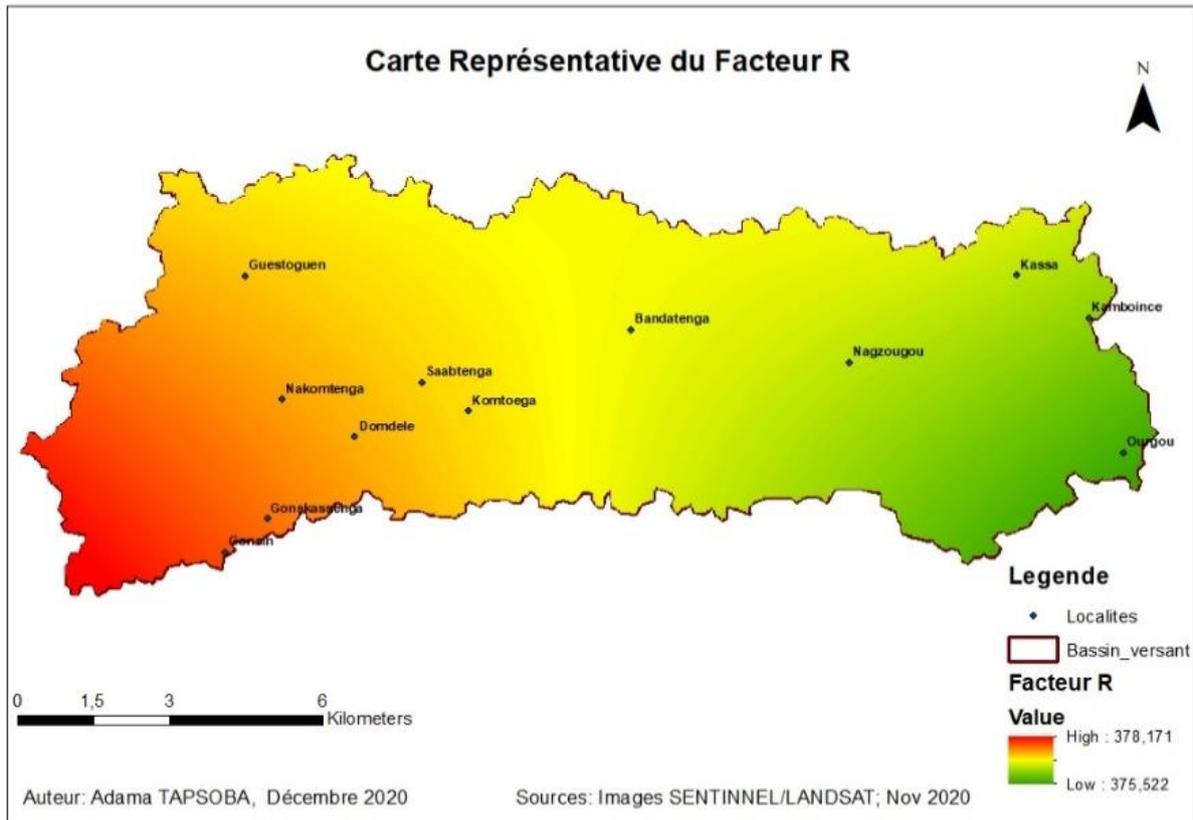


Figure 13: Carte représentative du facteur R

Les valeurs de R de plus de 50MJ.mm/ha.h.an indiquent que le bassin est soumis à une agressivité climatique élevée. Les valeurs de R sur le bassin de Kamboinsé sont comprises entre 375 à 378. On en déduit donc que le pouvoir érosif des pluies est important dans le bassin.

✓ Facteur d'érodabilité des sols K

Le facteur K a été déterminé à l'aide des données de Harmonized World Soil Database, téléchargeable à l'adresse <http://www.iiasa.ac.at/research/LUC/External-World-soil->

La figure 14 présente la carte de l'indicateur d'érodabilité des sols du bassin versant de Kamboinsé.

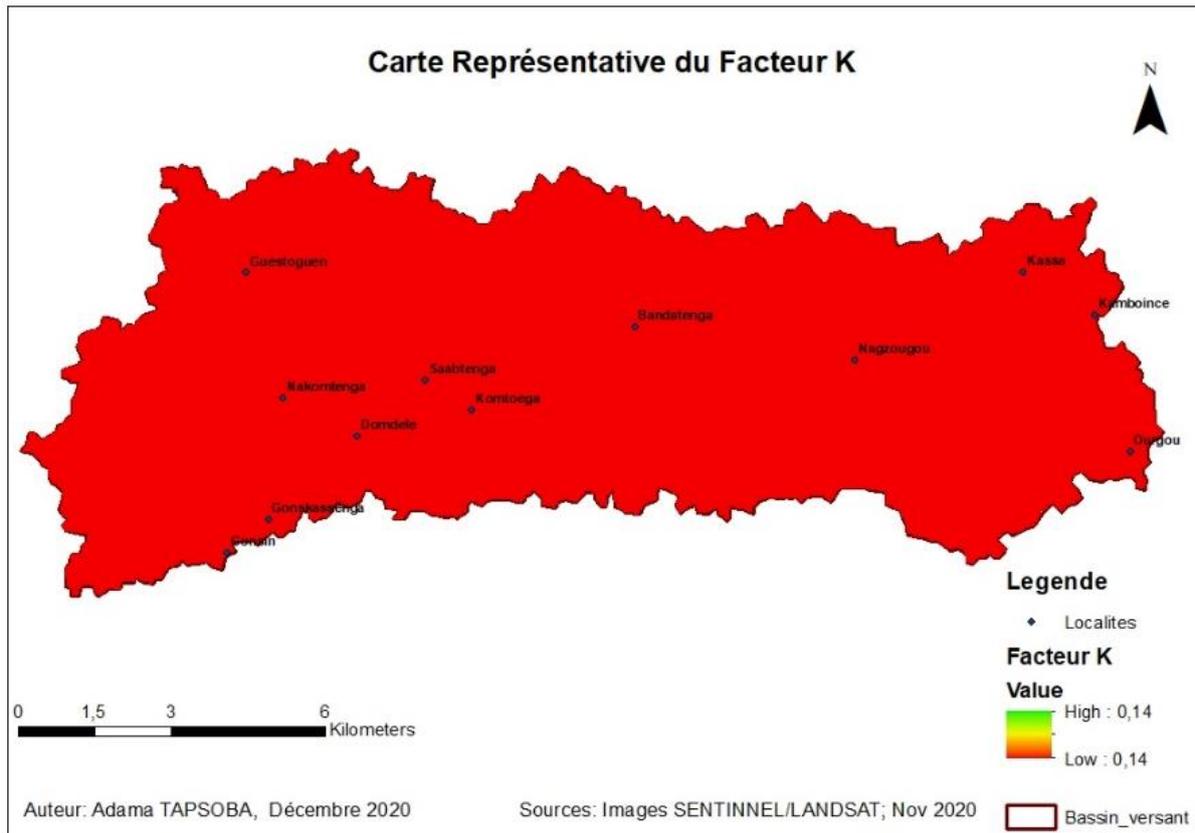


Figure 14: Carte représentative du facteur K

Le facteur K dans le bassin est uniforme et a une valeur constante de 0,14 t/ha.MJ.mm.

Les sols hydromorphes constitués de matériau argilo-sableux bigarré couvrent la majeure partie du bassin versant. Ce sont des sols sensibles à l'érosion.

✓ Facteur topographique LS

Le facteur Ls est un facteur qui aggrave l'effet du ruissellement des eaux de pluie. La longueur et le degré d'inclinaison de la pente sont déterminants dans le processus de l'érosion. La figure 16 présente le facteur topographique LS.

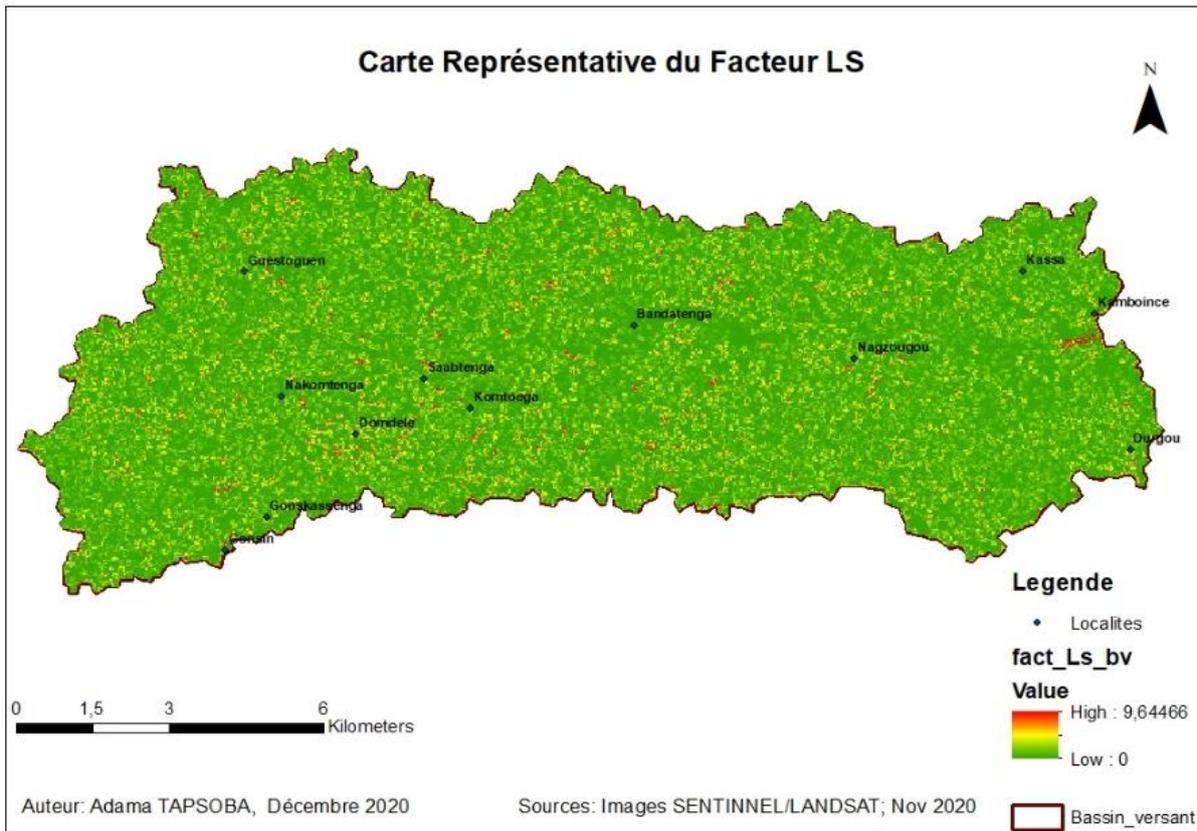


Figure 15: Carte représentative du facteur LS

Les valeurs du facteur Ls du bassin de Kamboinsé sont comprises entre 0 et 9. L'essentiel du bassin est dominé par des valeurs de Ls comprises entre 0 et 5. Ce qui correspond à des zones de faible élévation, des zones de plaines et de lit de cours d'eau peu encaissés.

✓ **P : facteur des pratiques anti-érosives**

Le facteur P (figure 16) représente la protection du sol et les pratiques antiérosives. Les valeurs du facteurs P sont comprises entre 0 et 1,3.

La valeur 1 correspond aux terrains sans pratiques antiérosives. Ce facteur varie selon la pratique agricole ou de lutte antiérosive adoptée selon la pente.

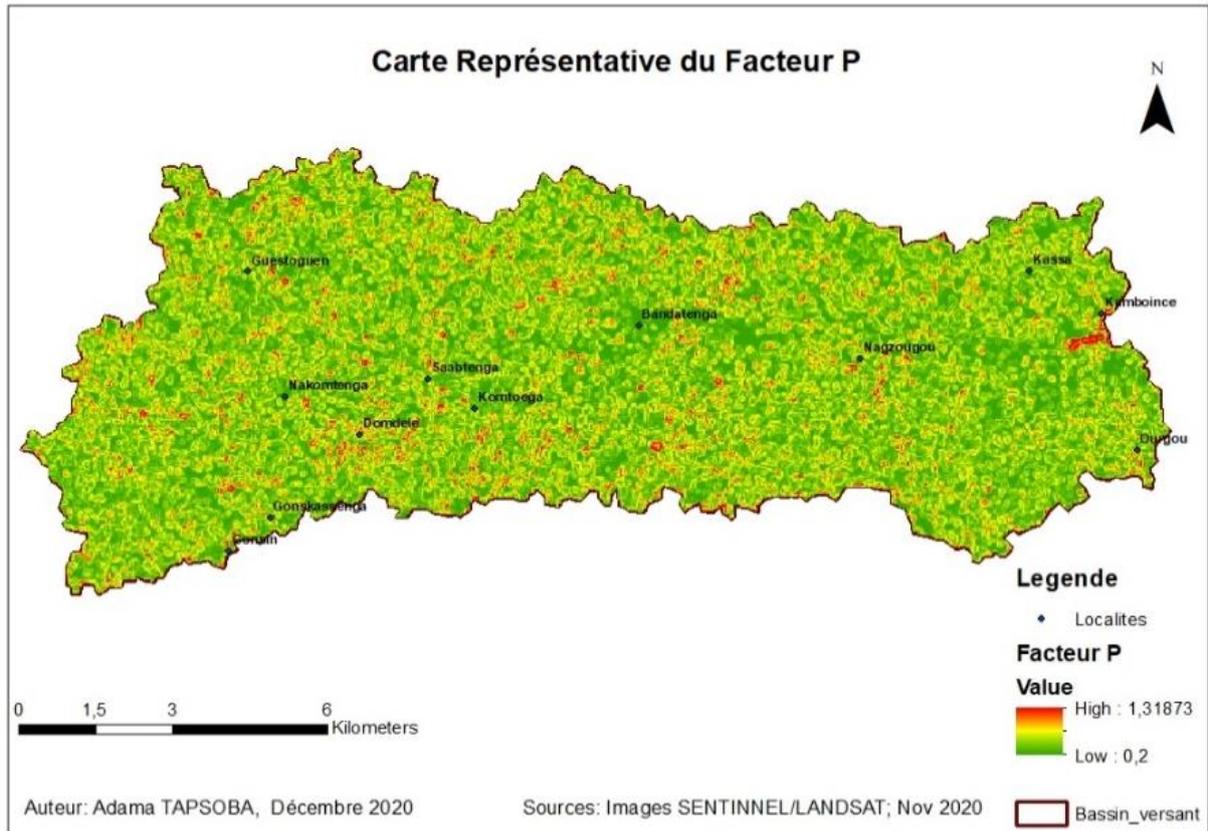


Figure 16: Carte représentative du facteur P

En guide de synthèse, nous notons que les pertes en sols résultent de la combinaison des facteurs de RUSLE. Le modèle RUSLE permet d'établir une carte synthétique des pertes en sol ou de l'érosion potentielle (t/ha/an) et de répartition spatiale de la vulnérabilité à l'érosion des différentes zones du bassin. La combinaison de ces facteurs explicatifs de l'érosion a permis de réaliser la carte des pertes en sols en tout point du bassin versant. La figure 17 présente la répartition des pertes en sols dans le bassin versant.

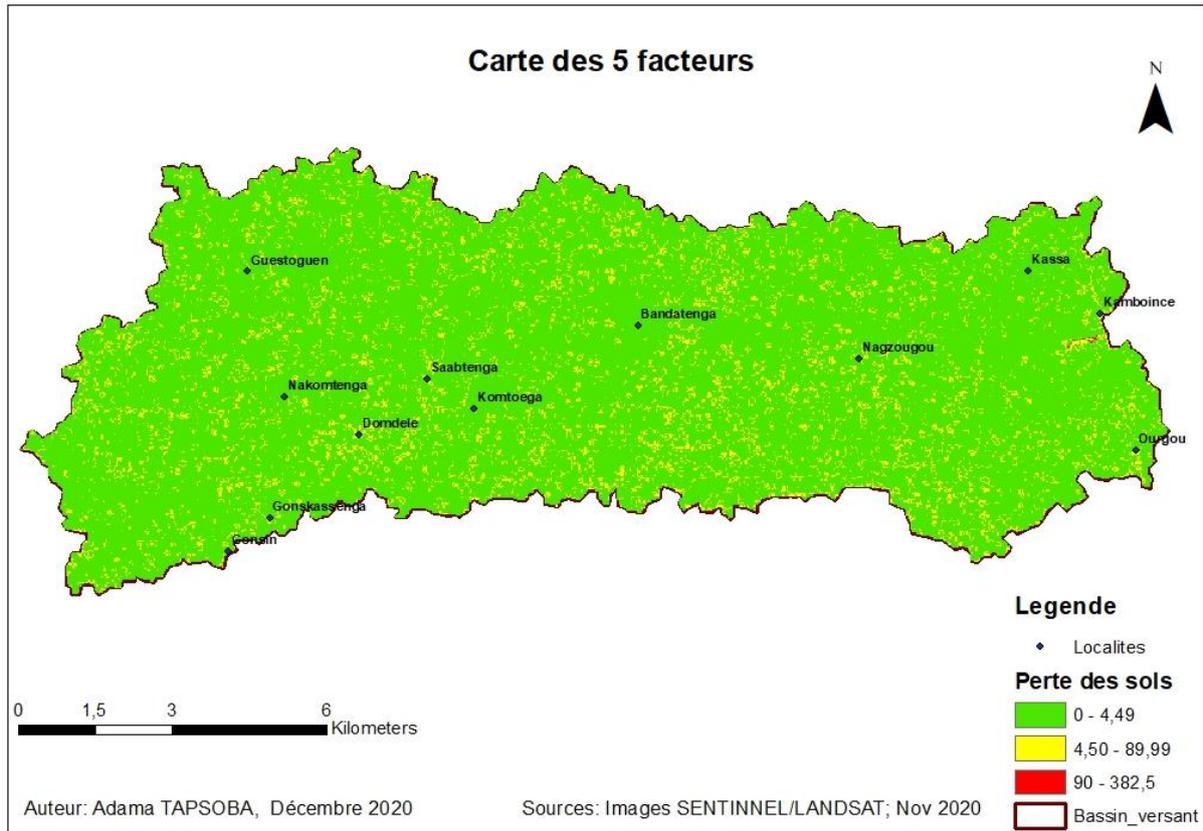


Figure 17: Pertes en sols en t/ha/an du bassin de Kamboinsé

Le bassin est caractérisé essentiellement par des pertes en sols inférieurs à 90t/ha/an. On en déduit donc que le bassin est moyennement dégradé avec surtout des aspects marqués vers l'exutoire.

Cette valeur de 90t/ha/an, bien que n'est pas trop critique recommande la mise en place d'un plan d'aménagement en vue de prévenir l'érosion et limiter le transport solide vers la cuvette du barrage

Le modèle RUSLE présente toutefois des limites qu'il convient de signaler. Initialement la méthode était utilisée sur des parcelles cultivés dans des exploitations agricoles avant d'être amélioré pour être appliqué aux bassins versant ou l'on assiste à une variation de la longueur et de l'intensité de la pente sur les versants. Il se pose alors des problèmes de précision lorsqu'on l'utilise sur une plus grande échelle et dans des conditions autres que celles dans lesquelles il a été adopté. Malgré ces incertitudes, la méthode permet aux décideurs et aux gestionnaires de planifier les interventions de lutte contre l'érosion dans les zones où le risque est élevé.

3.4. ESTIMATION DE LA CAPACITE ACTUELLE DE LA RETENUE

Les travaux de bathymétrie et de topographique faits sur le terrain nous ont permis d’avoir les résultats présentés dans le tableau 14 ci-dessous :

Tableau 14: Hauteur-Surface-Volume en 2020

Côte (m)	289,64	289,89	290,39	290,89	291,39	291,64	291,89
Surface (m ²)	24	12 975	139 287	452 359	788 743	967 032	1 323 100
Volume (m ³)	0,7	1 070	31 121	175 180	485 374	704 192	977 393

Source : bathymétrie et topographie, nov. 2020

A partir de ce tableau nous avons établi les courbes hauteur-surface et hauteur-volume présentées dans la figure 18 ci-dessous :

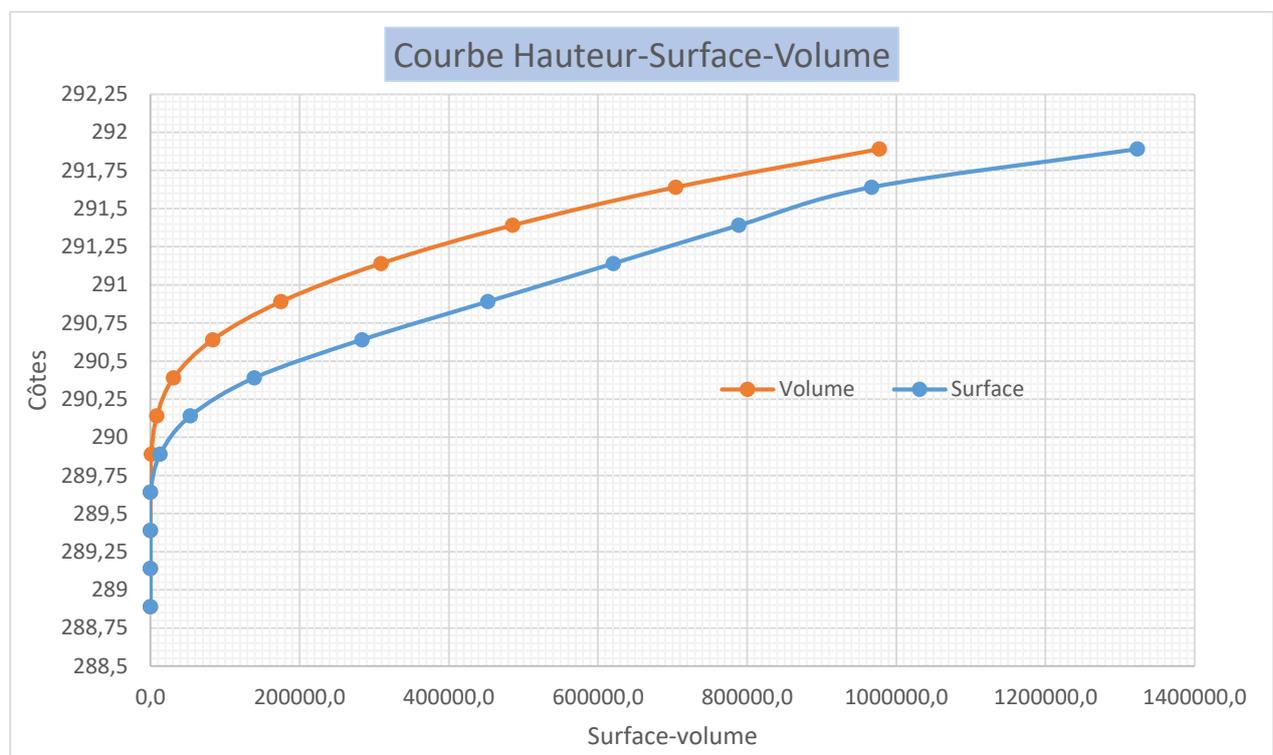


Figure 18: Courbe Hauteur-surface-Volume 2020

Le volume de la retenue à évolué entre 1983 à 2020. Sa capacité est passé de 617 974m³ en 1983 à 1 250 320 m³ suite à un rehaussement du déversoir en 2008. Les travaux topographiques/bathymétrique en 2020 ont montré que sa capacité est de 977 393 m³.

On note que la superficie sur les parties nord et ouest de la retenue a aussi augmenté du fait du prélèvement de la terre par la population pour la fabrication des briques.

Rappelons qu’à partir de 2002, il y a eu une forte pression de la population autour des villages périphériques de Kamboinsé.

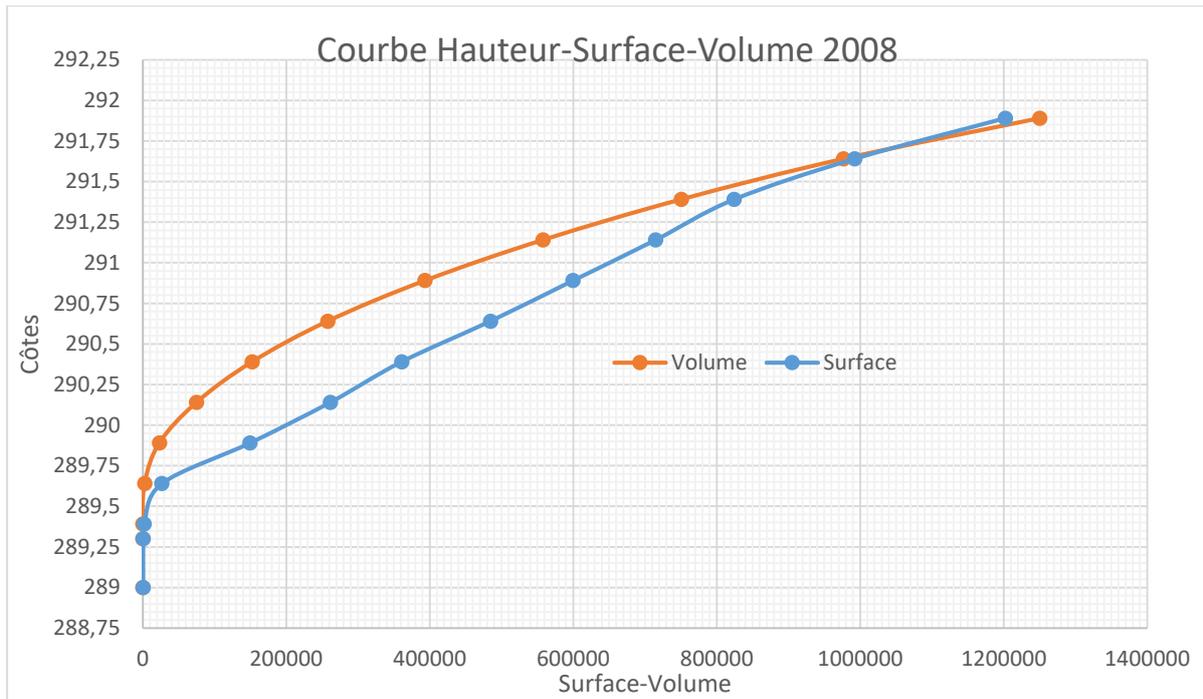


Figure 19: Courbes Hauteur-surface-Volume 2008

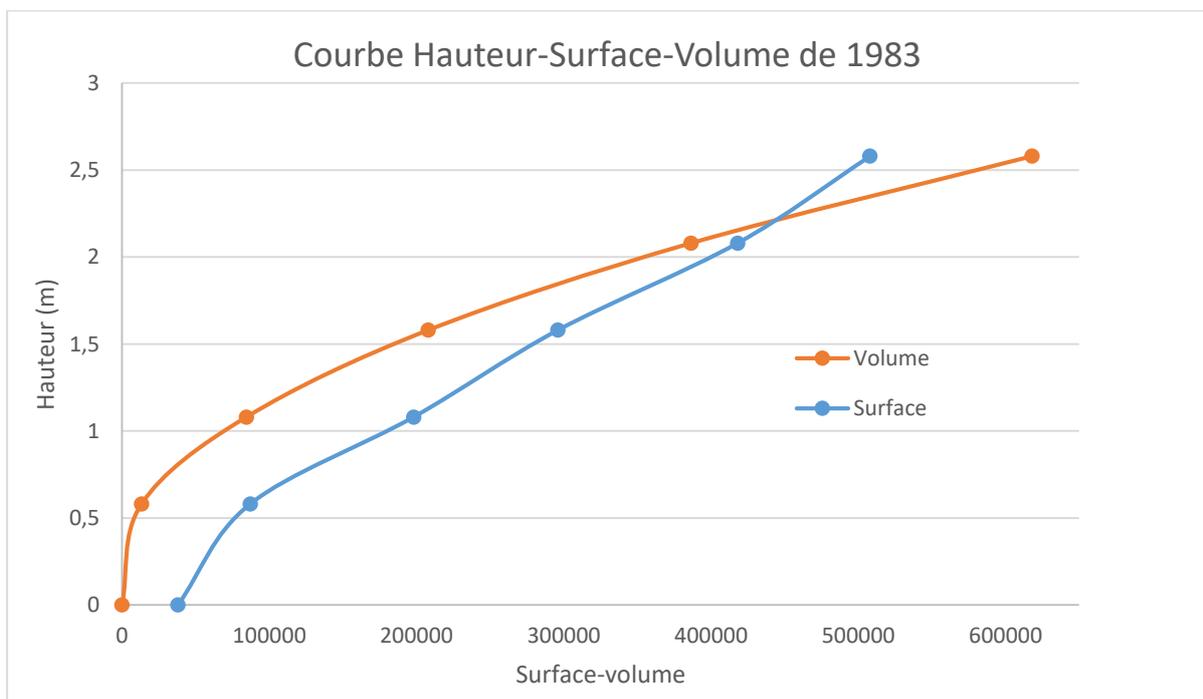


Figure 20: Courbes Hauteur-surface-Volume 1983

3.5. EVALUATION DES DEPOTS SEDIMENTAIRE

Le volume de dépôt a été déterminé par la différence des volumes de 2020 et de 2008. Le tableau 15 présente les volumes de 2008 et 2020 en fonction des côtes.

Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

Tableau 15: Tableau comparé des volumes et surfaces 2008-2020

Côte (m)	Année 2008			Année 2020			Volume (2020-2008)
	Volume (m ³)	Surface (ha)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Surface (ha)	Surface (m ²)	En m ³
291,89	1 250 320	120,23	1 202 283	977 393	132,31	1 323 100	-272 927
291,64	976 942	99,25	992 542	704 192	96,70	967 032	-272 750
291,39	750 659	82,45	824 517	485 374	78,87	788 743	-265 286
291,14	557 849	71,49	714 947	308 955	62,07	620 656	-248 894
290,89	393 510	59,99	599 887	175 180	45,24	452 359	-218 331
290,64	257 966	48,47	484 730	83 530	28,36	283 637	-174 436
290,39	152 741	36,10	361 000	31 121	13,93	139 287	-121 620
290,14	75 093	26,15	261 517	8 608	5,35	53 526	-66 485
289,89	23 327	14,97	149 741	1 070	1,30	12 975	-22 257
289,64	2 735	2,67	26 723	1	-	24	-2 734
289,39	127	0,21	2 068	-	-	-	-127
289,3	24	0,06	609	-	-	-	-24
289	24	0,06	609	-	-	-	-24

Source : bathymétrie et topographie, mai 2008 ; nov. 2020

Nous notons à partir de ce tableau que la capacité de la retenue en 2008 était de 1 250 320 m³ et pour 2020, elle est de 977 393 m³ soit une baisse de sa capacité de 21,8% représentant 272 927 m³. La moyenne annuelle de dégradation est de 22 744m³. Donc la perte annuelle de la capacité est de 2%.

Les superficies situées aux côtes inférieures à 289,89m sont complètement envasées en 2020. La hauteur des sédiments déposés est égale à 25 cm (289,64-289,39) à raison de 2,08 cm par an.

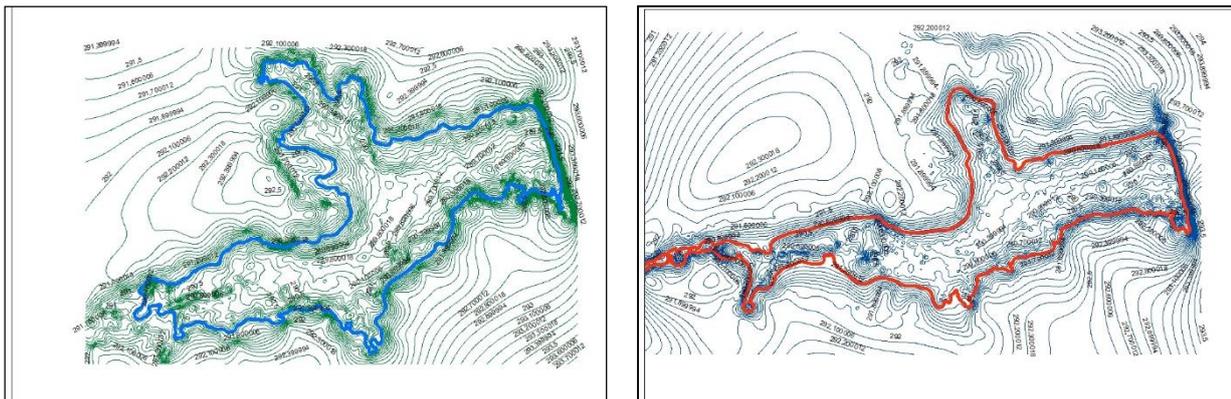
On note également une réduction des superficies aux différentes côtes sauf celles légèrement inférieures à la côte du plan d'eau (PEN). Cela se justifie par l'effet de l'érosion mais aussi à l'action de l'homme à travers les prélèvements des terres. Le tableau 16 présente les variations de superficie en fonction des côtes.

Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

Tableau 16: Illustration des variations de superficies

Côte (m)	Surface 2008 (m ²)	Surface 2020 (m ²)	Variation (%)
291,89	1 202 283	1 323 100	10,0
291,64	992 542	967 032	-2,6
291,39	824 517	788 743	-4,3
291,14	714 947	620 656	-13,2
290,89	599 887	452 359	-24,6
290,64	484 730	283 637	-41,5
290,39	361 000	139 287	-61,4
290,14	261 517	53 526	-79,5
289,89	149 741	12 975	-91,3
289,64	26 723	24	-99,9
289,39	2 068	0	-100,0
289,3	609	0	-100,0
289	609	0	-100,0

Pour traduire la réduction des surfaces, nous avons représenté la courbe de niveau du PEN en 2008 et celle de 2020 sur ArcGis et le résultat est présenté dans le tableau 12 ci-dessous :



2008 : courbe PEN en bleu

2020 : Courbe PEN en rouge

Figure 21: Représentation de la courbe de niveau du PEN en 2008 et en 2020

- ✓ Comparaison des résultats avec ceux des méthodes empiriques et d'autres études.

Pour apprécier les résultats issus de la topographie/bathymétrie, nous avons procédé aux calculs des apports solides à partir des formules empiriques. Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 17 et la figure 22 ci-dessous :

Tableau 17: Résultats de calcul des apports solides à partir des formules empiriques

Auteurs	Dégradations spécifiques (m ³ /km ² /an)	Pour 12 ans (m ³)
L.C.GOTTSCHALK	160,53	239 256,66
J.M.GRESILLON	178,69	266 328,36
KARAMBIRI	111,31	165 899,25

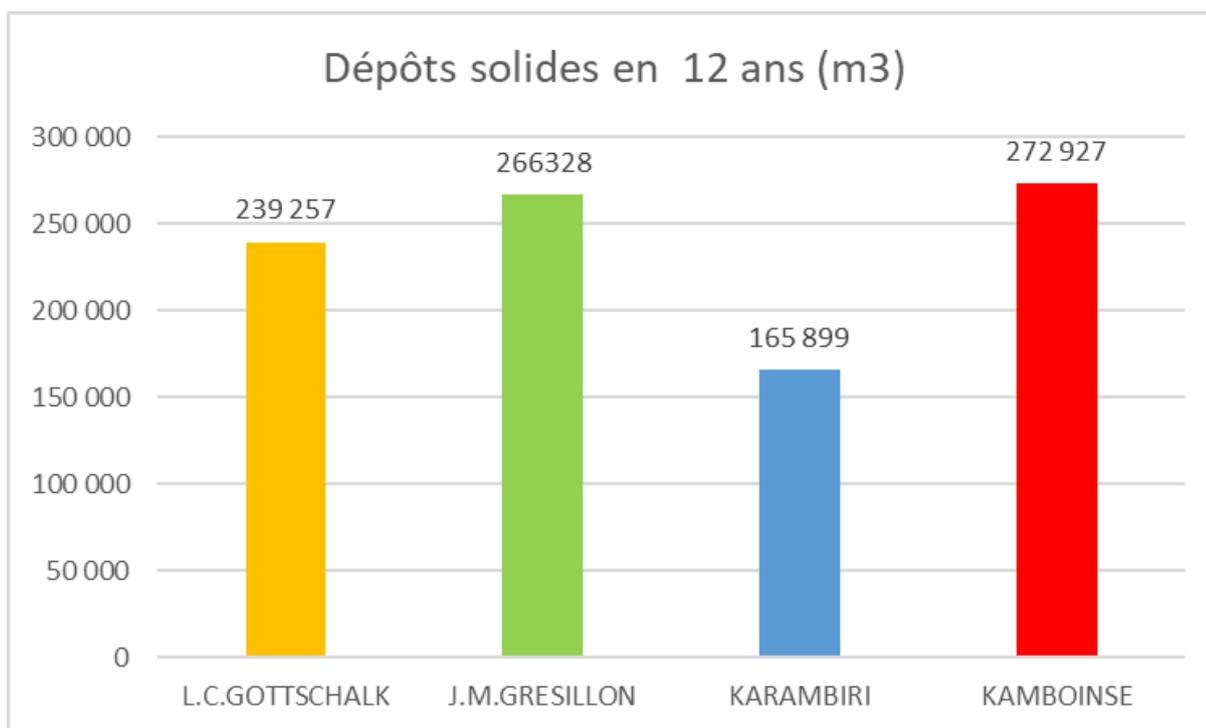


Figure 22: Comparaison de volume de dépôts sédimentaires

D'autres études menées au Burkina ces dernières années ont donné également des résultats. Ainsi dans le cadre du Programme d'appui au développement de l'irrigation, une étude sur la sédimentologie a été effectuée sur trois barrages dont Kierma, Wedbila et Mogtedo (F. GUYON, 2013) et les résultats sont consignés dans le tableau 18.

Tableau 18: Extrait de l'étude sur la sédimentation des retenues d'eau

Données	Kierma	Wedbila	Mogtedo
Age de la retenue (en 2013)	15	34	49
Capacité de stockage actualisée (m3)	916 000	2 535 000	7100 000
Superficie du bassin versant (Ha)	9 900	15 000	47800
Volume de sédiments déposés depuis la création de la retenue (m3)	128 800	236 900	3 461 000
Volume annuel de sédimentation (m3)	8 600	7 000	70 600
Valeur moyenne du dépôt annuel de sédiment (cm)	1,6	1,2	1,8
Perte annuelle moyenne de la capacité de stockage de la retenue par la sédimentation (%)	0,7	0,3	1
Taux de dégradation spécifique du bassin versant (Ton / Ha / an) ; (selon Brown (1943); Lara & Pemberton (1965); Miller (1953))	1,51	0,71	2,32

Source : Étude sur la sédimentologie des retenues d'eau (F. GUYON)

En guise de comparaison, nous notons que la plupart des valeurs issues des calculs empiriques sont

inférieures à celle que nous avons obtenue. Néanmoins la valeur annuelle de dépôts obtenue sur Kamboinsé cette valeur est inférieure à celle sur Mogtedo où la dégradation est accentuée.

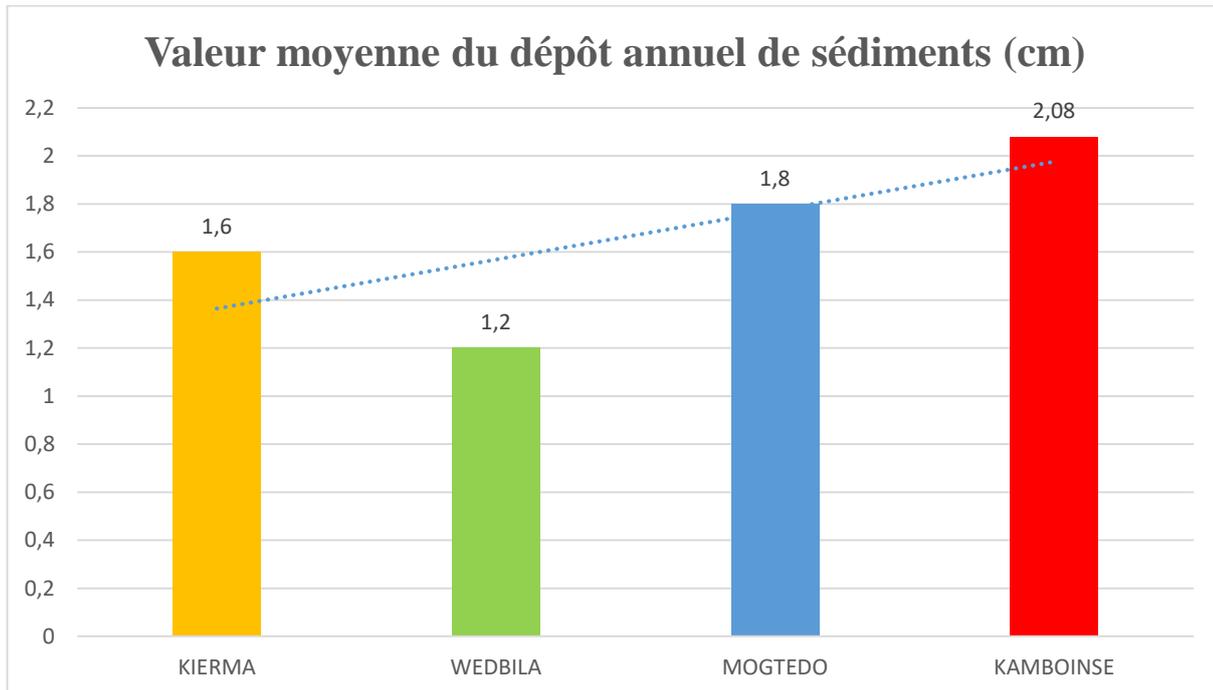


Figure 23: Valeur moyenne du dépôt annuel de sédiments (en cm)

Les hypothèses possibles pour expliquer la valeur importante de la dégradation sont liés aux exploitations en amont de la retenue d'une part ; en effet les terres sont remuées régulièrement et sous l'effet de la pluviométrie, elles sont transportées dans la retenue, et d'autre part à la réduction de la végétation sous l'effet de l'urbanisation dans le bassin.

✓ **Résultats de la granulométrie et de la sédimentométrie**

Des prélèvements de sédiments ont été fait sur sept (7) points de la tenue. Les sédiments ont fait l'objet d'analyses au laboratoire du 2iE et les résultats sont présentés dans le tableau 20 ci-dessous.

Tableau 19: Récapitulatif des résultats de la granulométrie

N°	Profondeur (m)	Echantillon	% gravier	% sable	% limon et argile	Position
Trou 1	0,2	1	1,2	18	80,8	Déversoir
	0,6	2	1,4	20,3	78,3	
	1,2	3	0,3	12,6	87,1	
Trou 2	0,2	1	0	1,4	98,6	Partie proche de la digue
	0,6	2	0	1,3	98,7	
	1	3	2,7	7	90,3	
Trou 3	0,2	1	22,6	32,6	44,8	point situé en Rive droite
	0,4	2				
Trou 4	0,2	1	0	5,7	94,3	Partie centrale de la retenue
	0,6	2	0	2,4	97,6	
	1	3	10,8	14,6	74,6	
Trou 5	0,2	1	0,3	6,5	93,2	Partie centrale de la retenue
	0,6	2	1	15,9	83,1	
	1	3	8,7	11	80,3	
Trou 6	0,2	1	0	28,1	71,9	Partie amont de la retenue
	0,6	2	1,8	30,2	68	
	1	3	0	17,5	82,5	
Trou 7	0,2	1	0	21,3	78,7	Partie amont de la retenue
	0,6	2	3,7	27,2	69,1	
	1	3	0,8	22	77,2	

Source : Analyse granulométrique, sédimentométrique au Laboratoire GC 2iE

Ces résultats montrent que le pourcentage des éléments fins comme l'argile et le limon sont plus important dans la partie centrale et proche de la digue. Ceci explique le processus de la sédimentation des retenues d'eau où on rencontre une texture argileux-sableuse en amont de la retenue. Cette texture évolue progressivement de plus en plus argileux-limoneux vers le fond et le déversoir de la retenue.

✓ **Résultats du suivi de la turbidité de l'eau**

Six (6) points de prélèvements ont été définis et les paramètres étudiés sont la turbidité, le PH et la conductivité. La figure 22 ci-dessous présente les courbes de l'évolution de la turbidité.

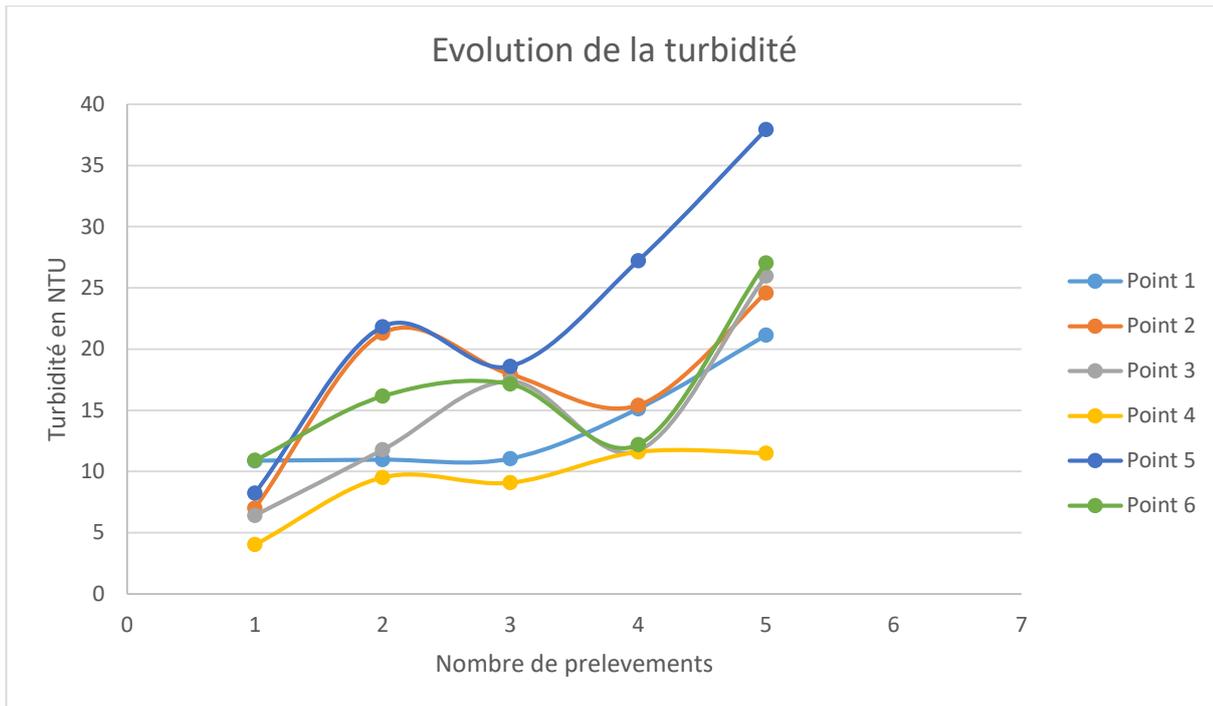


Figure 24: Evolution de la turbidité de l'eau

La turbidité de l'eau varie de 4 à 38 NTU. Cette turbidité est encore plus élevée en début de saison pluvieuse. D'une manière générale, la turbidité de l'eau dans le barrage diminue progressivement entre le début de la saison pluvieuse et la fin de la saison pluvieuse en octobre.

IV. PROPOSITION D'UN PLAN DE VALORISATION DE LA RETENUE

4.1. EVALUATION DES BESOINS EN EAU

✓ Eau agricole et pastorale

L'eau du barrage est utilisée principalement pour la maraîcher culture et pour l'abreuvement des animaux. Pour l'évaluation des besoins, nous avons fait ressortir les principes cultures pratiqués en début de saison sèche autour du barrage. Nous avons eu près de 12 variétés dont la laitue, la tomate, concombre, le gombo, ... et l'oignon bulle qui a un cycle de culture de 150 jrs. Les superficies emblavées sont estimées à 40ha sur les 68,41 ha. Près de 300 personnes exploitent les périmètres avec les familles.

Pour le calcul des besoins liés à la maraîcher culture, nous avons retenu le besoin maximum de la culture la plus contraignante du mois.

Pour l'abreuvement du bétail, on compte plus de 880 bœufs repartis entre 15 éleveurs.

Le calcul des besoins en eau de ces bétails s'est fait sur la base de 40.4 l/jour par tête pour les gros bétails (Nadège-Désirée YAMEOGO, 2002).

Il faut noter que les besoins humains ne sont pas pris en compte à cause de la présence des pompes à motricité humaine et les adductions d'eau potable. Le tableau 21 illustre le besoin mensuel en eau agricole, génie civil et pastoral.

Tableau 20: Synthèse des besoins

	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Total
Agricole (m³)	114 656	95 788	117 685	125 104	151 789	107 982	713 004
Génie civil (m³)	5 733	4 789	5 884	6 255	7 589	5 399	35 650
Pastorale (m³)	1 225	1 266	1 266	1 144	1 266	1 225	7 393
Besoin (m³)	121 614	101 844	124 836	132 503	160 645	114 606	756 048

✓ Evaluation des pertes d'eau par évaporation et par infiltration

Nous avons considéré 1mm/jour pour l'estimation de l'infiltration à cause de l'âge de la retenue.

Les pertes par évaporation ont été calculé à partir de Ebac et présentés dans le tableau 22 ci-dessous.

Tableau 21: Pertes d'eau par infiltration et évaporation

	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Total
ETP (mm)	169,44	179,60	183,33	178,72	202,55	195,61	1 109
Infiltration (mm)	30	31	31	28	31	30	181
ETP + Infiltr (mm)	199,44	210,60	214,33	206,72	233,55	225,61	1 290

Avec les besoins agricoles et les pertes, nous avons établi la courbe d'exploitation de la retenue qui se présente comme suit (figure 23) :

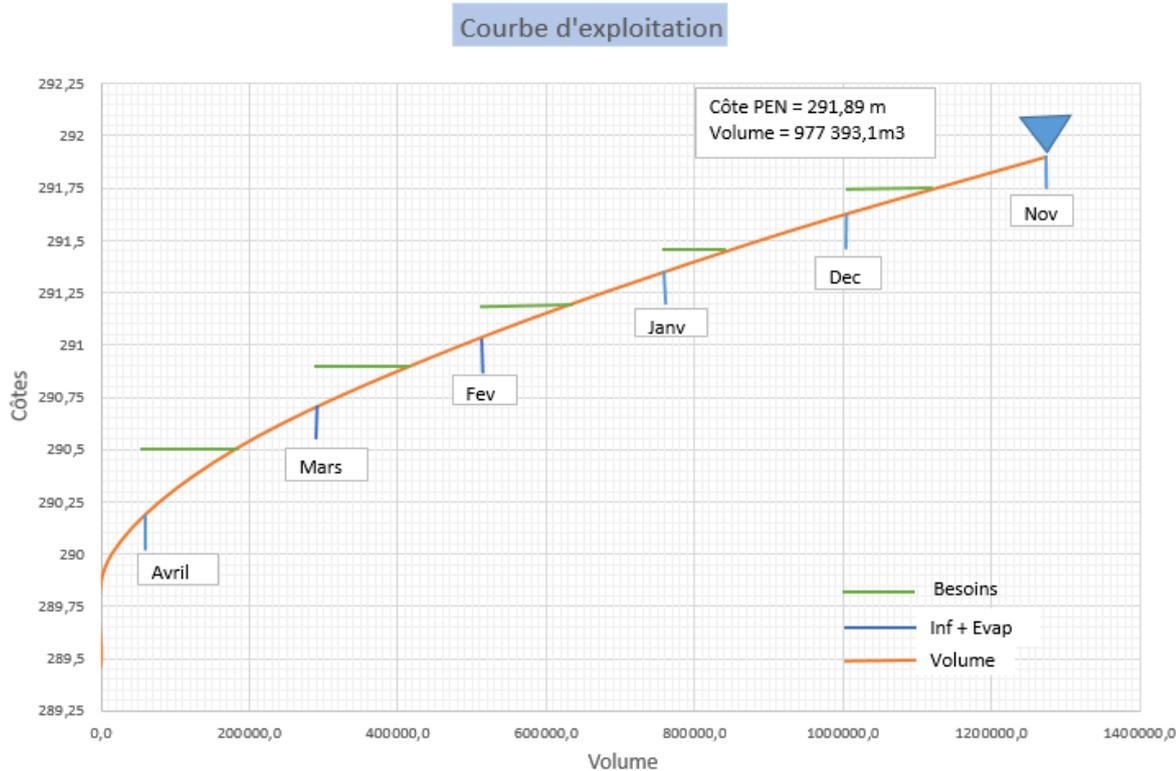


Figure 25: Courbe d'exploitation de la retenue

D'après la courbe, nous notons qu'à partir de fin mars la retenue devient pratiquement sèche. Ainsi donc le cycle de cultures des variétés comme l'oignon ne sera pas bouclé. Le déficit d'eau est estimé à 114 606 m³ pour le mois d'avril. Ce qui engendre des dommages au niveau des producteurs.

De même, l'abreuvement des animaux se fera aux bornes fontaines ou aux pompes à motricité humaines avec un incident financier au niveau des éleveurs.

C'est pourquoi, la réhabilitation de la retenue revêt un caractère important pour satisfaire tous les usages de l'eau.

✓ Détermination des natures des sols

Pour connaître les différents sols, nous avons réalisé les essais d'infiltrations in situ sur cinq (5) sites (trois en rives droite et deux en rive gauche). Avec les logiciels Minatab et SPAW, nous avons déterminé les Ksat et les caractéristiques pédologique du sol. Les résultats sont présentés dans le tableau 23 ci-dessous :

Tableau 22: Valeurs de Ksat

Sites	Texture class	Field capacity (%)	Ksat	Hydraulic conductivity
Sol 1	clay	44,6	1,18	$7,6 \cdot 10^{-6}$ mm/hr
Sol 2	Silty clay	40,80	4,23	$1,54 \cdot 10^{-4}$ mm/hr
Sol 3	Silty clay loam	38,2	5,68	$7,10 \cdot 10^{-4}$ mm/hr
Sol 4	Loamy sand	11,40	100,99	$3,8 \cdot 10^{-1}$ mm/hr
Sol 5	Clay loam	49,2	4,2	$2,66 \cdot 10^{-3}$ mm/hr

Ces résultats montrent que les Ksat sont différents bien que nous soyons dans la même zone (rayon de 2km). En moyenne, le Ksat moyen est de l'ordre 4mm/h.

4.2. PROPOSITION DE VALORISATION DE LA RETENUE

Les fonctions premières des barrages sont de lutter contre et de mettre l'eau à la disposition de tous les usages. Si toutefois, l'ouvrage ne joue plus ce rôle, il y a lieu de trouver les solutions palliatives ou définitives. Le barrage de Kamboinsé est devenu un barrage urbain, nous proposons de mettre en place (i) un périmètre très rapproché de ceinture d'arbres et de gabions légèrement à la côte au-dessus du plan d'eau normal pour limiter l'envasement, (ii) réorganiser les maraichers de sorte à ce que cette ceinture soit respectée, (iii) identifier sur les principales venues d'eaux des emplacements pour des ouvrages d'épandage de crues et éviter le ravinement récurrent qui touche les habitations, (iv), réduire les dépôts sédimentaires dans la partie centrale de la retenue à travers un curage. (v) mettre en place une digue de protection suivant le mur de 2iE afin de protéger les bâtiments des inondations récurrente.

La mise en place de ces mesures requière des coûts d'investissement. Nous proposerons des prix unitaires, si mise en œuvre il y a, il faudra procéder à des études hydrologiques, hydrauliques, de Génie Civil mais aussi une étude d'impact environnemental et social.

4.3. COUT DES INVESTISSEMENTS

Figure 26: Devis estimatif

Devis estimatif (FCFA)	
Mesures prioritaires 1 : Actions 1	
Arbre fruitiers (mangue, goyage)	23 400 000
Cymbopogon schoemanthis	100 000
Seuils dépendage de crue	45 000 000
CES (gabions)	60 300 000
Aménagement agricole	140 000 000
Digue de protection (Remblai latéritique)	30 375 000
Total 1 hors TVA	299 175 000
Mesures prioritaires 2 : Actions 2	
Curage	1 365 000 000
Transport	54 600 000
Total 2 hors TVA	1 419 600 000
Grand Total	1 718 475 000

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif général d'évaluer les dépôts sédimentaires dans le barrage de Kamboinsé et de proposer des solutions pour pérenniser la retenue. La démarche méthodologique suivie a consisté à déterminer le volume de ces dépôts depuis la mise en service du barrage.

Pour parvenir aux résultats, il a fallu procéder à des études hydrologiques, hydrauliques, topographiques et une étude sociale. Au terme de cette démarche, nous avons obtenu des résultats qui montre que la capacité de la retenue en terme de surface et de volume à doubler depuis 1983 qui était de 580 000 m² pour la superficie et de 617 000 m³.

De même entre 2008 et 2020, on observe une réduction de la capacité de la retenue de l'ordre de 272 927 m³. Cette quantité a été considérée comme le volume d'envasement de la retenue entre ces deux mêmes périodes. Ainsi le volume d'envasement moyen annuel est de **22 744** m³ par an. Si cette tendance continue, la retenue perdrait considérablement de sa capacité dans les années à venir.

Cinq (5) propositions de solutions ont été faites pour limiter ou réduire le processus et permettre aux maraichers, les pêcheurs et les éleveurs de vivre de leur métier. Le coût total de ses propositions est estimé à **1 718 475 000** de FCFA.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- B. REMINI, JM AVENARD, A.KETTAB (1992), Mesure de l'envasement dans la retenue du Barrage d'IGHIL-EMDA
- CHARLES-ANDRÉ ROY (2008), cartographie végétale du col de la vallée de sverdrup, île d'ellesmere, avec le ndvi modis et analyses des changements d'échelles
- Crues et apports (1996) : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche
- Durand. J-M, Royet. P, Meriaux. P. Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale. Cemagref. 1999.
- Elodie Robert (2011), Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée
- François LOMPO, Serge GUILLOBEZ, Georges I DE NONI (2000), Le suivi de l'érosion pluviale et hydrique au Burkina Faso. Utilisation d'un modèle cartographique
- GUYON Francis (1), Dr. HALLOT Eric (2), (2016) Estimation de la sédimentation des retenues de kierma, webbila et mogtedo
- Harouna KARAMBIRI (1998), Etude de l'envasement des barrages au Burkina: Etude de cas
- JEAN ALBERGEL, YANNICK PEPIN (2003), Erosion et transport solide dans des petits bassins versants méditerranéens
- Jean Emmanuel KABORE (2016) Etude de mise en place de seuils d'épandage a zam en amont du barrage de mogtedo dans la province du ganzourgou.
- J.-M. LAMACHERE (2006), Prédétermination des apports liquides et solides dans les lacs collinaires de la dorsale tunisienne
- Mietton. M. Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. In : Cah Orstom ser Pedofil. 1986.
- SANON O. Issa , Contribution à l'étude sur l'envasement des retenues d'eau en milieu tropical, exemple du barrage de Tamosgho dans la province du Sanmatenga
- Roose. E. Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique Occidentale. ORSTOM fonds Documentaires 2009
- YADILA Guy Constant (2000), Envasement du Lac Dem dans le Centre-Nord du Burkina Faso

ANNEXES

Annexe I : Etude hydrologique et hydraulique

Annexe II : Plan du barrage

Annexe III : Besoin en eau

Annexe IV : Granulométrie-Sédimentométrie

Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

Annexe I : Etude hydrologique et hydraulique

- Analyse fréquentielle

annees	Janv	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
1980	0	0	0	13,2	29,2	103	135	206	66,2	40,9	0	0
1981	0	0	0	30,6	88,3	80	198	212	104	1,1	0	0
1982	0	0,1	31	45	111	83,5	106	139	73,3	45,4	0	0
1983	0	0	0	0,9	45,4	111	192	205	109	11,7	0	0
1984	0	0	20,9	14,6	67	59,4	167	122	104	14,3	2	0
1985	0	0	0	5,3	87	83,3	177	155	163	3,5	0	0
1986	0	0	4,1	10,4	84,5	130	161	198	165	40,6	0,3	0
1987	0	0	13,3	0	67	164	148	222	131	39	0	0
1988	0	0	0	79,9	68,8	65,6	162	264	88,7	6,2	0	0
1989	0	0	5,5	0	35,7	55,3	234	305	112	48,4	0	1,7
1990	0	0	0	15,3	112	81,9	162	197	104	3,8	0	0
1991	0	0	0,4	65,8	235	95,1	158	249	47,9	49,4	0	0
1992	0	0	0	51,9	12,9	79,4	247	245	51	4,9	7,2	0
1993	0	0	9,4	25,7	8,4	129	226	196	97,8	58,5	0	0
1994	0	0	1,7	1	14,2	108	131	296	111	64,9	0	0
1995	0	0	0	9,6	50,3	114	118	258	136	13,1	0,4	0
1996	0	0	0	22,6	45,8	40,1	129	193	224	22,9	0	0
1997	0	0	49,2	58	51,6	66,4	111	155	48	48,1	0	0
1998	0	0	0	15	65,9	26,7	105	208	195	52,2	0	0
1999	0	0	0,7	17	53,9	74,7	241	236	169	8,9	0	0
2000	0	0	0	16,4	78,7	139	153	118	24,3	65,8	0	0
2001	0	0	0	0	70,9	26,3	184	208	115	14,7	0	0
2002	0	0	0	7	39,8	38,2	170	179	183	39,4	0	0
2003	0	2,4	21,9	23,9	69,1	164	182	170	161	53,2	0	0
2004	0	0	0	54,4	42,5	27,9	246	194	181	16,3	9,8	0
2005	0	0	0,5	29,1	50,2	82,3	251	282	123	21,9	0	0
2006	0	0	0	5,7	13,3	66,4	168	202	109	32,3	0	0
2007	0	0	0	85,7	42,7	33,2	114	299	138	0,3	0,1	0
2008	0	0	4,4	0	60,9	90	247	206	131	28	0	0
2009	0	0	0,3	13	41,7	141	168	198	330	32,3	0	0
2010	0	0	0	50,9	67,6	104	235	247	87,2	47,2	0	0
2011	0	0	0,8	25,3	33,9	121	224	181	88,1	15,7	0	0
2012	0	0	0	13,7	73,8	67,9	368	240	235	4,8	0	0,3
2013	0	0	10,1	36,4	73	38,3	182	269	165	21,9	0	0
2014	3,4	0	0	17,9	79,1	95,4	177	223	213	35,5	0	0
2015	0	0,1	8,5	0	29,4	109	258	309	158	26,8	0	0
2016	0	0	12,5	30,7	47,6	68,7	291	373	147	3,8	0	0
2017	0	0	0	13,3	217	110	121	308	102	3,7	0	0
Moy	3,4	2,6	195	905	2466	3273	7044	8465	4990	1041	19,8	2

Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

- *Statistique de la série*

Durée retour	Fréquence	Pluie annuelle	Pluie maximale journalière	Période
100	0.9900	1166,6	141,0	Années humides
50	0.9800	1142,1	128,3	
20	0.9500	1068,5	111,2	
10	0.9000	1017,2	98,1	
5	0.8000	954,7	84,4	
2	0.5000	835,2	63,7	Année moyenne
5	0.2000	715,7	48,3	Années sèches
10	0.1000	653,1	41,8	
20	0.0500	601,9	37,0	
50	0.0200	528,3	32,1	
100	0.0100	503,7	29,1	

- *Caractéristiques du bassin*

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Surface	S	km ²	124,2
Périmètre	P	Km	55,7
Côte du point le plus haut du bassin		M	349
Côte du point le plus bas du bassin		M	293
Altitude 5 %	H5%	m	296,1
Altitude 95%	H95%	m	343
Classe du bassin suivant la taille (Classification selon RODIER)			Bassin versant moyen
Forme du bassin versant			Bassin versant allongé
Aspect du réseau hydrographique			Réseau dendritique
Longueur du rectangle équivalent	L	km	22,3
largeur	l	km	5,6
Longueur du cours d'eau principal		km	22,3
Longueur du réseau hydrographique	l	km	254,95
Indice de compacité de Gravelius	Kg	%	1,41
Pente longitudinale	I _{BV}	%	2,33
Indice global de pente	I _g	m/km	2,10
Pente moyenne du réseau hydrographique		m/km	2,51
Pente longitudinale du cours d'eau principal		m/km	2,51
Pente transversale IT1	IT1	m/km	5,70
Pente transversale IT2	IT2	m/km	6,84

Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Pente transversale IT3	IT3	m/km	6,45
Pente transversale IT4	IT4	m/km	7,11
Pente transversale IT5	IT5	m/km	9,27
Pente transversale IT6	IT6	m/km	9,23
Moyenne des pentes transversales IT	IT	m/km	7,43
20 % de l'Indice Global de pente			0,42
N			3
Indice Global corrigé	Igcor	m/km	3,88
Dénivelé spécifique	Ds		23,44
Densité de drainage	Dd	km/km ²	2,05
Classe du relief	(Pente longitudinale comprise entre 2 et 5) R2: Bassin versant de pente faible correspondant à des bassins de plaine		
Typologie du relief	DS inférieur à 50, bassin versant ayant un relief faible		
Classe de perméabilité	RI (P3)		

- *Calcul de débit*

Calcul du débit décennal Q ₁₀ par la méthode d'ORSTOM				
Pluviométrie moyenne et coefficient d'abattement				
			Valeur	Unité
Pluie décennale ponctuelle (P ₁₀)	P ₁₀		94,70	mm
Coefficient d'abattement (A)	A		0,73	
Pluie décennale moyenne (P _{m10})	P _{m10}		68,99	mm
Coefficient de ruissellement Kr ₁₀				
Coefficient de ruissellement	Kr ₇₀		25,17	%
Coefficient de ruissellement	Kr ₁₀₀		28,06	%
Coefficient de ruissellement	Kr ₁₀		27,55	%
Temps de base Tb ₁₀				
Igcor =	3 m/km	Tb ₁₀	1 651,71	min
Igcor =	3,88 m/km	Tb ₁₀	1 460,21	min
Igcor =	7 m/km	Tb ₁₀	781,26	min
Lame ruisselée, volume ruisselé et débit				
Débit moyen de la crue		Q _{m10}	26,95	m ³ /s
Coefficient de pointe décennal	$\alpha_{10} = Q_{r10}/Q_{m10}$		2,6	Check list
Débit ruisselé	$Q_{r10} = Q_{m10} * \alpha_{10}$		70,06	m ³ /s
Débit de pointe décennal				
Infiltrabilité I	$Q_{10} = 1,03 * Q_{r10}$		72,17	m ³ /s
Infiltrabilité P	$Q_{10} = 1,06 * Q_{r10}$		74,27	m ³ /s
Coefficient de correction		m	1,045	

Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

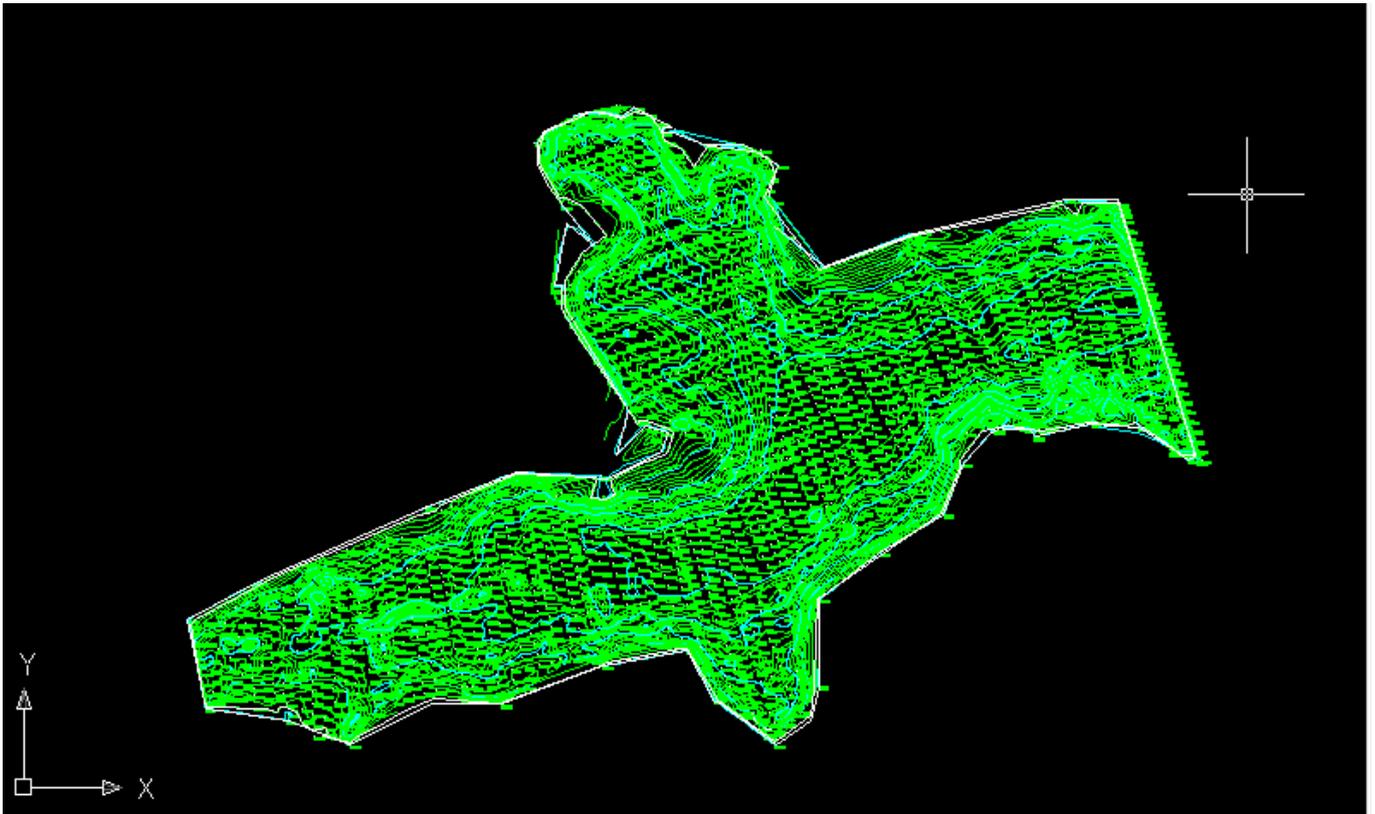
$Q_{10} = Q_{r10} + Q_{ret10}$	$Q_{10} = m * Q_{r10}$	73,22	m ³ /s			
Volume ruisselé (Vr10)	$V_{r10} = P_{m10} * K_{r10} * S$	2 360 986,70	m ³			
Volume de crue décennale	$V_{c10} = V_{r10} + Q_{ret10} * T_{b10}$	2 649 652,74	m ³			
Lame d'eau V(m ³) = 1000*Le(mm)*S(km ²)		21,33	mm			
Temps de montée						
Igcor = 3m/km						
S > 11 km ²	$T_{m10} = 100 * S^{0,35} + 75$	615,68	min			
Igcor = 7m/km						
S > 6 km ²	$T_{m10} = 32 * S^{0,35} + 23$	196,02	min			
Igcor = 3,88 m/km						
S = 124,2 km ²	$T_{m10} = 32 * S^{0,35} + 23$	523,36	min			
Coefficient C						
$C = 1 + ((P_{100} - P_{10})/P_{10}) * ((T_b/24)^{0,12}/K_{r10})$		2,51				
Débit de projet décennal Q10 (m ³ /s)		73,218	m ³ /s			
Calcul du débit décennal Q10 par la méthode CIEH						
Pluviométrie moyenne annuelle		747	mm			
Pluviométrie journalière max pour période de retour de 10 ans P10 (mm)						
P10		94,7	mm			
Coefficient de ruissellement Kr10		27,55	%			
Détermination de Q10 avec Equation 39						
E39	$Q_{10} = 0,410 * S^{(0,425)} * K_{r10}^{(0,923)}$	67,929	m ³ /s			
Détermination de Q10 avec Equation 40						
E40	$Q_{10} = 0,254 * S^{(0,462)} * I_g^{(0,101)} * K_{r10}^{(0,976)}$	68,767	m ³ /s			
Débit de projet decenal Q10 (m ³ /s)		68,767	m ³ /s			
Calcul du débit centennal Q100 par la méthode de GRADEX						
Débit de Crue décennale Q10	Prenons la moyenne des Q10 des deux (02) méthodes	70,99				
Le coefficient C						
$C = 1 + ((P_{100} - P_{10})/P_{10}) * (((T_b/24)^{(0,12)})/K_{r10})$		2,51				
Débit de crue centennal Q100		178,10				
Formule de GRESILLON, HERTER et LAHAYE						
Tb10 (mn)	Tm10 (mn)	2 Tm10 (mn)	α	Q (m³/s)	Qmax (m³/s)	Q/Qmax
1 460,21	523,36	1046,71	2,6	70,99	178,10	0,40

- *Apports liquides selon Rodier*

Calcul des apports liquides					
Période de retour (année)	Pluviométrie (mm)	Lame écoulée (mm)	Ke (%)	Superficie (Km²)	Apports liquides (m³)
Période médiane					
Année moyenne	747	29,13	3,90	124,2	3 618 319
Quinquennale sèche					
5 ans	653	17,83	2,73	124,2	2 214 101
Décennale sèche					
10 ans	604	12,08	2,00	124,2	1 500 336

Annexe II : *Plan du barrage*

- *Barrage 2008*



- *Barrage 2020*



Evaluation des dépôts sédimentaires et valorisation du Barrage de Kamboinsé

Annexe III : Besoin en eau

Mois		Août	Septembre	octobre	novembre	Décembre	janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Nombre de jours		31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	
Pluie mensuelle (mm)		222,77	131,31	27,41	0,52	0,05	0,09	0,07	5,14	23,82	64,89	93,04
Pluie efficace (mm) =SI(P>=20;P*0,8;si non; P)		153,22	80,05	6,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,29	28,93	49,43
ET0 journaliere (mm/j)		4,45	4,80	5,55	5,65	5,79	5,91	6,38	6,53	6,52	6,41	5,72
ET0 mensuelle (mm)		138,06	144,14	171,96	169,44	179,60	183,33	178,72	202,55	195,61	198,76	
Maïs	Kc Maïs	0,54	0,99	1,07								
	ETM mensuelle (mm)	74,82	142,22	184,17	-	-	-	-	-	-	0,00	
	Besoins net mensuels (mm)	78,40	- 62,17	-177,73	-	-	-	-	-	-	4,29	4,29
Tomate	Kc Tomate	0,46	0,75	1,03	1,02	0,80						
	ETM mensuelle (mm)	63,46	108,10	177,78	171,98	143,68	-	-	-	-		
	Besoins net mensuels (mm)	89,76	- 28,05	-171,34	-171,98	- 143,68	-	-	-	-	4,29	
salade	Kc salade	0,50	0,86	0,50	0,86							
	ETM mensuelle (mm)	69,47	123,76	86,53	145,49	-	-	-	-	-	0,00	
	Besoins net mensuels (mm)	83,75	- 43,71	- 80,09	-145,49	-	-	-	-	-	4,29	4,29
oignon	Kc oignon					0,63	0,96	1,05	1,12	0,85		
	ETM mensuelle (mm)	-				112,98	176,53	187,66	227,68	166,26	871,11	
	Besoins net mensuels (mm)	153,22	80,05	6,44	-	- 112,98	- 176,53	- 187,66	- 227,68	- 161,97	-866,82	
Aubergine	Kc Aubergine	0,46	0,75	1,03	1,01	0,80						
	ETM mensuelle (mm)	63,46	108,10	177,78	171,14	143,68	-	-	-	-	143,68	
	Besoins net mensuels (mm)	89,76	- 28,05	-171,34	-171,14	- 143,68	-	-	-	-	4,29	-139,39
gombo	Kc gombo	0,46	0,75	1,03	1,02	0,80						
	ETM mensuelle (mm)	63,46	108,10	177,78	171,98	143,68	-	-	-	-	143,68	
	Besoins net mensuels (mm)	89,76	- 28,05	-171,34	-171,98	- 143,68	-	-	-	-	4,29	-139,39
Poivron	Kc poivron	0,42	0,71	1,05	0,91							
	ETM mensuelle (mm)	57,67	102,58	180,55	154,25	-	-	-	-	-	0,00	
	Besoins net mensuels (mm)	95,55	- 22,53	-174,11	-154,25	-	-	-	-	-	4,29	4,29
Piment	Kc piment	0,42	0,71	1,05	0,91							
	ETM mensuelle (mm)	57,67	102,58	180,55	154,25	-	-	-	-	-	0,00	
	Besoins net mensuels (mm)	95,55	- 22,53	-174,11	-154,25	-	-	-	-	-	4,29	4,29
oseille	Kc oseille	0,73	0,73	0,73	0,73							
	ETM mensuelle (mm)	100,78	105,22	125,53	123,69	-	-	-	-	-	0,00	
	Besoins net mensuels (mm)	52,44	- 25,17	-119,08	-123,69	-	-	-	-	-	4,29	4,29
Bolombola	Kc bolombola/Epinaud	0,50	0,85	0,50	0,85							
	ETM mensuelle (mm)	69,03	122,52	85,98	144,03	-	-	-	-	-		
	Besoins net mensuels (mm)	84,19	- 42,47	- 79,54	-144,03	-	-	-	-	-	4,29	4,29
Boulvaka	Kc bulvaka	0,73	0,73	0,73								
	ETM mensuelle (mm)	100,78	105,22	125,53	-	-	-	-	-	-		
	Besoins net mensuels (mm)	52,44	- 25,17	-119,08	-	-	-	-	-	-	4,29	4,29
Choux	Kc choux	0,56	0,91	1,05	0,98							
	ETM mensuelle (mm)	76,82	131,16	180,55	165,21	-	-	-	-	-	0,00	
	Besoins net mensuels (mm)	76,40	- 51,12	-174,11	-165,21	-	-	-	-	-	4,29	4,29
Concombre	Kc concombre	0,54	0,77	0,84	0,75							
	ETM mensuelle (mm)	74,37	111,47	144,78	127,08	-	-	-	-	-	0,00	
	Besoins net mensuels (mm)	78,85	- 31,42	-138,33	-127,08	-	-	-	-	-	4,29	4,29
											Total	
Besoins net mensuels (mm)		52,44	62,17	177,73	171,98	143,68	176,53	187,66	227,68	161,97	907,5	
Efficience globale		0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	3,0	
Besoins Brut mensuels (mm)		87	104	296	287	239	294	313	379	270	1512,6	
Besoins Brut mensuels (m3/ha)		874	1036	2962	2866	2395	2942	3128	3795	2700	15125,6	
Besoins Totaux (m3)		34959	41444	118487	114656	95788	117685	125104	151789	107982	713004,0	
											Superficie (ha)	
											2,75	
											0,4	
					Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Total
					31	30	31	31	28	31	30	212
Agricole (m³)					81 780	114 656	95 788	117 685	125 104	151 789	107 982	713 004
Génie Civil					4 089	5 733	4 789	5 884	6 255	7 589	5 399	35 650
Pastorale (m³)					1 266	1 225	1 266	1 266	1 144	1 266	1 225	7 393
Totalbesoin m³					87 135	121 614	101 844	124 836	132 503	160 645	114 606	756 048
ETP (mm)					172	169	180	183	179	203	196	1 109
Infiltration (mm)					31	30	31	31	28	31	30	181
Dépôt solide (m³/an)					-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe IV : *Granulométrie-sédimentométrie*

	Profondeur (m)	Echantillon	Teneur en eau (w%)	% gravier	% sable	% limon et argile
Trou 1	0,2	1	12,15	1,2	18	80,8
	0,6	2	20,94	1,4	20,3	78,3
	1,2	3	21,57	0,3	12,6	87,1
Trou 2	0,2	1	7,5	0	1,4	98,6
	0,6	2	16,5	0	1,3	98,7
	1	3	20,2	2,7	7	90,3
Trou 3	0,2	1	17,83	22,6	32,6	44,8
	0,4	2	18,44			
Trou 4	0,2	1	10,6	0	5,7	94,3
	0,6	2	10,8	0	2,4	97,6
	1	3	15,5	10,8	14,6	74,6
Trou 5	0,2	1	16,5	0,3	6,5	93,2
	0,6	2	18,3	1	15,9	83,1
	1	3	18,1	8,7	11	80,3
Trou 6	0,2	1	5,98	0	28,1	71,9
	0,6	2	12,9	1,8	30,2	68
	1	3	14,2	0	17,5	82,5
Trou 7	0,2	1	14,48	0	21,3	78,7
	0,6	2	15,4	3,7	27,2	69,1
	1	3	14,6	0,8	22	77,2