



ÉTUDE TECHNIQUE ET SOCIO-ECONOMIQUE DU REHAUSSEMENT DU DEVERSOIR DE LA RETENUE DE KIERMA

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES.

Présenté et soutenu publiquement le 26 Octobre 2015 par
Ibrahim Kalil DOUMBIA

Travaux dirigés par :

Dr. Eric HALLOT

Chercheur au Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie fluviale de l'Université de
Liège

M. Francis GUYON

Assistant technique APEFE, basé à la DGADI au Ministère de l'Agriculture et de la sécurité
alimentaire du Burkina Faso

Dr Dial NIANG

Enseignant Chercheur au 2iE, Département Génie Civil et Hydraulique

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr. Harouna KARAMBIRI**

Membres et correcteurs : **M. Roland YONABA**
M. Arnaud QUENUM

Promotion [2014/2015]

DEDICACE

A feu mon père

A ma mère

A tous ceux qui ont contribué à mon éducation

Je ne vous serai jamais assez reconnaissant

Daignez retrouver ici le couronnement de vos efforts

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui nous ont aidés à achever ce travail. Notre profonde gratitude s'adresse particulièrement à :

Monsieur Francis GUYON, Assistant Technique APEFE au sein de DGADI qui nous a encadrés étroitement en donnant tout son temps malgré ses multiples occupations.

Docteur Eric HALLOT, Maître de Conférence au Département de Géographie, et Chercheur au Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie fluviale de l'Université de Liège en Belgique, pour sa disponibilité sur les orientations d'études.

Docteurs Dial NIANG, Angelbert BIAOU et Monsieur Roland YONABA, pour leurs précieuses aides et leurs remarques pertinentes dans l'élaboration de ce document.

Monsieur Sirgrinouor SOME pour son accueil chaleureux lors des travaux de terrain et pour sa participation aux différentes activités du terrain.

La DGADI et tout son personnel et ses partenaires pour leur appui financier et technique, qui ont grandement participé à la réalisation de cette étude. Nous leur adressons notre reconnaissance.

Tous les producteurs de Kierma d'avoir collaboré à notre travail.

RESUME

La retenue de Kierma construite en 1998 dans la province du Bazéga est utilisée pour développer les cultures maraichères en saison sèche et aussi pour permettre d'assurer la demande en légumes des villes de Kombissiri et de Ouagadougou.

Soumise aux phénomènes de changement climatique et de sédimentation qui ont déjà diminué près de 15 % de sa capacité de stockage initiale qui était de 760 000 m³, cette retenue arrive, tant bien que mal, à assurer pour la localité les besoins en eau d'irrigation et d'élevage qui ne cessent de croître.

Pour mener cette étude, des mesures de terrain essentiellement de la bathymétrie ont été faites 2 fois pour obtenir les profils en travers de la retenue de Kierma. D'autres levés topographiques ont permis de dresser le profil en long de la retenue. Ces différentes opérations visaient à déterminer la capacité maximale de stockage que pouvait avoir la retenue. Cette démarche s'inscrit dans un vaste programme de réhabilitation de cette retenue qui connaît d'énormes difficultés. C'est dans ce contexte que notre étude a été initiée en vue de proposer une hauteur de rehaussement du déversoir pour augmenter le volume d'eau à stocker.

Nous avons aussi procédé à des enquêtes de terrain pour l'identification des différentes cultures effectuées sur la retenue, afin d'évaluer financièrement les éventuelles pertes de terres que notre rehaussement pourrait occasionner.

Les résultats montrent qu'un rehaussement de 50 cm occasionnerait un gain de volume de 465 846 m³ d'eau. Cette capacité de la retenue pourra couvrir les besoins en eau des cultures pour les surfaces emblavées actuellement jusqu'en 2065.

Aussi, La mise en place de ce rehaussement ne nécessite aucune modification supplémentaire des dimensions des ouvrages annexes déjà existant sur le barrage.

Mots clés

1. Rehaussement
2. Barrage
3. Irrigation
4. Burkina Faso
5. Déversoir

ABSTRACT

The dam Kierma built in 1998 in the province of Bazéga is used to develop the vegetable crops in the dry season and also to help ensure the demand for vegetables cities Kombissiri and Ouagadougou.

Subject to the phenomena of climate change and sedimentation have already declined nearly 15% of its original storage capacity was 760 000 m³, this restraint comes, somehow, to ensure for the community water needs of irrigation and livestock that continue to grow.

To conduct the study, field measurements essentially bathymetry were done 2 times to get the cross sections of the retaining Kierma. Other topographical surveys have allowed to profile by long restraint. These operations were designed to determine the maximum storage capacity that could be restraint. This fits into a large rehabilitation program of this restraint that knows enormous difficulties. It is in this context that our study was initiated to provide a weir height enhancement to increase the volume of water to be stored.

We also conducted field surveys for the identification of different cultures performed on the restraint order to financially evaluate the possible loss of land that could cause our enhancement.

The results show that enhancement of 50 cm would cause a volume gain 465 846 m³ of water. The capacity of the reservoir will cover the water needs of crops for areas sown now until 2065.

Also, the implementation of this enhancement requires no additional modification of the dimensions of existing ancillary works on the dam.

Keywords

1. Enhancement
2. Dam
3. Irrigation
4. Burkina Faso
5. Weir

LISTE DES ABREVIATIONS

APEFE	: Association de la Promotion de l'Enseignement et de la Formation à l'Etranger
BUNASOLS	: Bureau National des Sols
DGADI	: Direction Générale des Aménagements et du Développement de l'Irrigation
DPA	: Direction Provinciale de l'Agriculture
GPS	: Global Positioning System
LEN	: Limite des Eaux Normales
LHE	: Limite des Hautes Eaux
MAH	: Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique
MEE	: Ministère de l'Environnement et de l'Eau
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
CIEH	: Comité Inter-Etats d'Etudes Hydraulique
EIER	: Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural
FAO	: Food and agriculture organization
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
ORSTOM	: Office des Recherches Scientifiques et Techniques d'Outre-Mer, actuel institut des recherches pour le développement (IRD)
PADI	: Projet d'Appui au Développement de l'Irrigation
SIG	: Système d'Information Géographique
TIN	: Triangulated Irregular Network
WBI	: Wallonie-Bruxelles International

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	3
LISTE DES FIGURES	3
I. INTRODUCTION.....	4
1. Contexte.....	4
2. Problématique.....	5
3. Objectif global.....	5
4. Objectifs spécifiques	5
II. CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE	6
1. Zone d'étude.....	6
1.1. Localisation	6
1.2. Climat	6
1.3. Sol.....	7
1.4. Géomorphologie et relief.....	7
1.5. Végétation	7
1.6. Utilisation de la retenue.....	7
III. REVUE DE LITTERATURE	8
1. Synthèse des travaux antérieurs.....	8
2. Généralité sur le rehaussement.....	1
2.1. Les hausses fusibles.....	1
2.2. Les blocs fusibles	2
IV. MATERIELS ET METHODES	3
1. Évaluation des impacts du projet de rehaussement du barrage	3
1.1. La visite de terrain	4
1.2. Les enquêtes socio-économiques	5
2. Étude du rehaussement du barrage	7
2.1. Les travaux de terrain	7
2.2. Traitements des données collectées.....	8
V. RESULTATS ET DISCUSSION.....	16

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de
Kierma »

VI.	DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES.....	19
1.	Présentation des ouvrages existant	19
2.	Détermination du débit du projet.....	20
2.1.	La méthode ORSTOM révisée 1993	20
2.2.	La méthode CIEH.....	23
2.3.	Choix de la crue décennale Q10.....	24
2.4.	Calcul de la crue du projet.....	24
2.5.	Détermination de l'hydrogramme de crue.....	25
3.	Dimensionnement de l'évacuateur de crue.....	26
3.1.	Prise en compte de l'effet de laminage.....	26
4.	Dimensionnement du bassin de dissipation.....	29
VII.	CONCLUSION ET RECOMMANDATION.....	31
VIII.	BIBLIOGRAPHIE	33
IX.	ANNEXES	35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : travaux déjà réalisés sur la zone d'étude	1
Tableau 2: Rendements et prix de vente des différentes cultures.....	6
Tableau 3: Surface et Volume aux différentes altitudes de la retenue de Kierma.....	10
Tableau 4: cotes d'altitudes des infrastructures	12
Tableau 5 : Simulation du rehaussement de la retenue de Kierma.....	13
Tableau 6: Valeur monétaire des impacts des différents niveaux de rehaussement	15
Tableau 7 : Résumé des résultats des différentes études menées sur la retenue de Kierma.....	16
Tableau 8: tableau récapitulatif des valeurs des lectures sur les abaques.....	24
Tableau 9: Résumé des calculs de détermination de la longueur déversant.....	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Présentation de la zone d'étude.....	6
Figure 2: Image hausse fusible _source Hydroplus.....	2
Figure 3: blocs réalisés sur la retenue de Wedbilla Burkina Faso.....	2
Figure 4 : Impacts positifs du projet de rehaussement.	3
Figure 5 : Composantes de l'environnement d'accueil menacées par le projet	4
Figure 6 : Aperçus des rencontres entreprises	5
Figure 7 : Répartition des surfaces des cultures exploitées en bordure de la retenue de Kierma en saison de pluie	6
Figure 8: Présentation du matériel utilisé.....	7
Figure 9: Résumé du principe de fonctionnement du DGPS.....	8
Figure 10: Points topographiques levés.....	9
Figure 11: Modèle numérique de terrain de la retenue de Kierma	10
Figure 12 : Courbe Hauteur-Volume de la retenue de Kierma.....	11
Figure 13 : Courbe Hauteur-Surface de la retenue de Kierma	11
Figure 14: Emprise des différents niveaux de rehaussement sur la retenue	14
Figure 15: Courbes comparatives des impacts du rehaussement du déversoir.....	15
Figure 16: les courbes de décroissance de volume d'eau disponible dans la retenue et la courbe de croissance de la demande	17
Figure 17: présentation des ouvrages du barrage	19
Figure 18: Modèle numérique de terrain du bassin versant de Kierma.....	21
Figure 19: Courbe Hypsométrique du bassin versant de Kierma	21
Figure 20: Hydrogramme pointu	25
Figure 21: description de l'effet de laminage	26
Figure 22: Présentation du bassin de dissipation présent sur la retenue actuellement	29

I. INTRODUCTION

1. Contexte

Au Burkina Faso, la rareté de la ressource en eau constitue une contrainte majeure pour l'agriculture en ce sens que les pluies n'arrivent plus à satisfaire totalement les besoins en eau des cultures tout au long du cycle cultural. Plusieurs stratégies ont été développées par les autorités en vue de limiter cette dépendance³ des cultures aux aléas climatiques et l'une des solutions préconisée est la construction des petits barrages, dont les retenues sont facilement utilisables (DURAND,1996).

La plupart construits dans les années 80, ils auraient déjà perdus la moitié de leurs capacités de stockage initiale (Schmengler , 2010).

En effet, la retenue de Kierma, construite en 1998, aurait déjà perdu près de 15% de sa capacité initiale de stockage. (RAZANAMAHANDRY , 2013).

Les principales causes sont dues aux effets des changements climatiques avec l'apparition de plus en plus fréquente de saisons de pluies irrégulières, et de sécheresses prolongées. Les différentes retenues comme celle de Kierma voient leur volume de stockage diminuer au fur des années. Dans cette retenue les besoins des exploitants agricoles représentent des pertes d'eau de l'ordre de 39 % de la capacité totale de la retenue. (RAZANAMAHANDRY, 2013).

A tout cela s'ajoute la sédimentation avec un taux de dépôt estimé à 1.6 cm/an (PADI, 2012), contribuant ainsi à la diminution de la capacité de la retenue.

Tous ces phénomènes associés à l'augmentation des besoins en eau, amènent à rechercher des solutions pour accroître le volume utile de la retenue existante.

Ainsi, dans le cadre du plan d'aménagement de Kierma, l'une des mesures envisagées concerne le rehaussement du déversoir de la retenue afin de stocker un volume d'eau, plus important, disponible pour les producteurs.

C'est dans ce contexte que notre recherche dont la thématique est : «Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma » a été initiée.

Cette recherche entre dans le cadre du Programme de la DGAADI intitulé «Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation 2014–2016» impliquant l'Association pour la Promotion de l'Éducation et de la Formation à l'Étranger (APEFE). Ce programme est composé de 4 volets dont l'un vise à mettre à la disposition de la DGAADI, de l'Agence de l'Eau du Nakanbé (AEN) et des DRASA du Centre, du Centre Sud et du Plateau Central des outils opérationnels de protection des retenues d'eau d'irrigation. Ce volet s'appuie sur une approche de type recherche / développement impliquant deux partenaires wallons : la Direction des Cours d'eau non Navigables (DCENN) du Service Public de Wallonie et le Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie Fluviale de l'Université de Liège (ULg).

2. Problématique

D'une capacité initiale de 760 000 m³, la retenue de Kierma connaît une baisse importante de son volume de stockage au moment où la demande ne cesse de croître, notamment celle de l'irrigation qui est l'un des secteurs les plus consommateurs d'eau (FAO, 2005).

Face à une telle situation, il urge de trouver des solutions durables pour la retenue de Kierma pour éviter sa disparition ultérieure. L'une des options retenues s'oriente vers un rehaussement du déversoir en vue d'augmenter le volume de stockage pour rattraper les quantités d'eau perdues par le comblement de la retenue à cause de l'ensablement et l'envasement issus des phénomènes d'érosion très importants dans la région.

Une telle approche amène à se poser plusieurs questions dont les plus importantes sont : A quelle hauteur devons-nous rehausser le déversoir ? Quels seront les impacts de ce projet sur le milieu ?

Pour mieux comprendre la problématique évoquée, les grandes lignes suivantes vont être explicitées : Le cadre conceptuel de l'étude, une revue bibliographique, les matériels et méthodes de travail, les résultats suivis des discussions, le dimensionnement des ouvrages, la conclusion et enfin quelques recommandations.

3. Objectif global

L'objectif global de cette étude est de proposer une hauteur de rehaussement optimale du déversoir de la retenue de Kierma, tenant compte de ces impacts négatifs et positifs de ce projet d'aménagement.

4. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques à atteindre, qui découlent de cet objectif général, sont :

- Estimer les impacts positifs et négatifs du projet de rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma, tant sur le plan d'un gain de volume disponible pour les productions hydro-agricoles que sur les conséquences de ce rehaussement sur l'exploitabilité des parcelles existantes en berge de la retenue.
- Proposer des mesures de remédiation / compensation pour minimiser les impacts négatifs identifiés pour l'aménagement

II. CADRE CONCEPTUEL DE L'ETUDE

1. Zone d'étude

1.1. Localisation

La retenue d'eau du village de Kierma est située à l'Est de la province du Bazèga à 60 km de Ouagadougou sur l'axe routier national N°5 et à 15 km du chef-lieu de la province (Kombissiri). Ses coordonnées géographiques sont : 01°14'39.5" de longitude Ouest et 12°01'07.6" de latitude Nord et une altitude de 289m. (MEE, 2006 in (BERE, 2012)).

Cette retenue d'eau appartient au sous bassin du Nakanbé, la figure 1 présente sa surface en eau.



Figure 1: Présentation de la zone d'étude
(Source image : Google Earth 2015)

1.2. Climat

La province du Bazèga est située dans une zone de climat nord-soudanien (Fontes et Ginko, 1995 in (BERE, 2012)). Il est caractérisé par deux saisons :

- la période de l'Harmattan , saison sèche allant de novembre à mai.
- et la période de la Mousson, saison humide de juin à octobre

La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 950 mm

1.3. Sol

Le type de sol dominant identifié au niveau du site sont les sols ferrugineux tropicaux lessivés à tâche et à concrétion avec quelques inclusions de sols peu évolués d'apports alluviaux hydromorphes et de sols tropicaux lessivés (à tâche et à concrétions et modaux) (cf Annexe 1). On note également la présence de sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes, sols hydromorhes peu humifère à pseudo-gley d'ensemble. (BUNASOLS, 1997 in (BERE, 2012)).

1.4. Géomorphologie et relief

Le bassin versant de Kierma est partagé entre deux ensembles géomorphologiques : un glacis en bas de pente avec des roches constituées de migmatite et de granite et un ensemble fluvio-alluvial (valons des cours d'eau secondaire) (BERE, 2012).

1.5. Végétation

La végétation est essentiellement composée d'une savane parc dominée par des espèces arborées à arbustives : Combretum sp., Guiera senegalensis ; Vitellaria paradoxa, Parkia biglobosa, Tamarindus indica, Lannea acida, Lannea microcarpa, Sclerocarya birrea, Pilliostigma sp, Acacia sp, Mitragyna inermis, Anogeissus leiocarpus, Khaya senegalensis et Balanites egyptiaca. Le tapis herbacé est composé de Loudetia sp, Cymbopogon sp, Andropogon gayanus (BUNASOLS, 1997 in (BERE, 2012)).

1.6. Utilisation de la retenue

Actuellement utilisée par plus d'une centaine d'exploitants (PADI, 2012) , la retenue de Kierma sert essentiellement pour développer la culture maraîchère en saison sèche surtout afin d'assurer la demande en légume (oignon, choux, aubergine, oseille, poivron,...) des villes de Kombissiri et de Ouagadougou. Cette retenue est aussi destinée à fournir de l'eau pour le bétail.

III. REVUE DE LITTÉRATURE

1. Synthèse des travaux antérieurs

De nombreux travaux ont été réalisés sur la retenue de Kierma.

En effet, dans le cadre du Programme de la DGAADI intitulé «Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation 2014–2016», plusieurs études ont été menées.

Elles ont aboutis à la détermination des valeurs des paramètres hydrologique, à la quantification de plusieurs paramètres utiles à l'étude de la retenue, et bien d'autres résultats.

Ces études ont été menées soit par les agents en charge du programme soit par des stagiaires ou consultants désignés pour résoudre certaines problématiques liées au projet.

Le tableau 1 présente quelques-uns des travaux déjà réalisés sur notre zone d'étude. Ces travaux ont fait l'objet de notre part, d'une analyse approfondie afin d'avoir une meilleur approche dans la résolution de la problématique qui nous a été confiée.

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

Tableau 1 : travaux déjà réalisés sur la zone d'étude

AUTEUR	ANNEE	TYPE DE TRAVAUX	TITRE DE L'ETUDE	OBJECTIFS DE L'ETUDE
BERE Bempanga Théodore	2012	Mémoire de fin d'étude Master	Calibration d'un échantillonneur de ruissellement et de sédiments à partir d'un micro bassin agricole situé au niveau des berges de la retenue d'eau de Kierma	Calibrer et tester le dispositif d'échantillonnage de ruissellement et des sédiments
Florent ASQUINAZI	2012	Mémoire de fin d'étude Master	Etude exploratoire des risques d'érosion hydrique dans le bassin versant de Kierma au Burkina Faso	Cartographie de l'érosion hydrique diffuse du bassin versant quantification de la perte en sol moyenne est calculée.
Christine Lovasoa RAZANAMAHANDRY	2013	Mémoire de fin d'étude Master	Elaboration d'un outil d'évaluation et de planification des ressources en eau des retenues hydro-agricoles : application du modèle WEAP a la retenue de Kierma	Proposés et analysés par l'outil WEAP différents scénarii d'évolution des ressources en eau
MOREAUX Sébastien	2014	Mémoire de fin d'étude Master	Protéger les sols pour maintenir les capacités d'irrigation au Burkina Faso : applications aux bassins versants de Kierma et Wedbila	Etablir un système de suivi des apports sédimentaires dans les retenues d'eau d'irrigation d'établir des outils d'aide à la décision pour la protection des berges et des terres des bassins versants

2. Généralité sur le rehaussement

Le terme rehaussement désigne l'action d'augmenter la hauteur.

L'augmentation de la hauteur du déversoir d'un barrage est l'une des solutions pour accroître le volume utile de celui-ci face à des besoins en eau de plus en plus importantes.

Selon (Royet, 1992) , la quasi-totalité des barrages équipés d'un déversoir à seuil libre accuse une importante perte de retenue comprise entre le niveau normal des eaux (cote du seuil libre) et le niveau des plus hautes eaux exceptionnelles, ce dernier servant au dimensionnement du barrage.

Cette tranche est généralement de 1 à 3 mètres et représente un volume d'eau qui atteint 20 à 50 % de la capacité de la retenue.

Afin de valoriser une partie de cette tranche d'eau, plusieurs techniques existent. Nous nous limiterons à la description de seulement deux techniques, ce sont :

- Les hausses fusibles
- Les blocs fusibles

2.1. Les hausses fusibles

Inventé par Hydroplus, une filiale de VINCI, un des premiers groupes mondiaux de concessions et de construction, ce système fait l'objet d'un brevet exclusif appartenant à cette société.

Ce sont des modules indépendants, juxtaposés sur le seuil du déversoir d'un barrage.

Le dimensionnement et la géométrie des hausses fusibles, spécifiques à chaque projet, leur permettent de rester stables et de résister à certaines charges exceptionnelles (vagues, corps flottants, poussées de glace, séismes, etc.).

Les éléments de rehausse sont de dimensions standards, ce qui facilite les opérations d'installation et de remplacement après de fortes crues et permet de traiter la plupart des situations courantes. Ainsi la hauteur des éléments varie de 0.5 à 2.5 m et leur longueur de 1 à 5 m pour un poids unitaire variant de quelques centaines de kilogrammes à une dizaine de tonnes. (Royet, 1992)

En condition normale, les hausses fusibles se comportent comme un rideau étanche permettant le stockage de l'eau jusqu'à leur crête.

Pour toutes les crues inférieures à la crue de déclenchement, dont la valeur est fixée par le client (généralement crues de période de retour supérieure à 100 ans), les hausses agissent comme un seuil libre déversant. (LACROIX, 2008).

La figure 2 présente une rehausse fusible en cours d'installation



Figure 2: Image hausse fusible _source Hydroplus

2.2. Les blocs fusibles

Les blocs fusibles sont des éléments massifs en béton simplement posés les uns à côté des autres sur le seuil d'un déversoir, auto stables jusqu'à ce que le niveau d'eau à l'amont atteigne un certain niveau pour lequel ils basculent. (Lempérière, 2013)

Les éléments (blocs) posés sur un même seuil ont la même hauteur mais peuvent avoir des épaisseurs et donc des poids différents, de sorte qu'ils basculent pour des hauteurs d'eau différentes.

Ces blocs sont particulièrement intéressants pour l'amélioration des seuils libres et semblent très bien adaptés aux nombreux petits barrages du Burkina Faso.

La figure 3 présente cette technique réalisée au Burkina Faso sur la retenue de Wedbilla que nous avons eu l'occasion de visiter.



Figure 3: blocs réalisés sur la retenue de Wedbilla Burkina Faso

IV. MATERIELS ET METHODES

1. Évaluation des impacts du projet de rehaussement du barrage

L'impact est l'effet immédiat, à moyen ou à long terme que l'aménagement, qu'il soit bénéfique ou néfaste, provoque sur son environnement d'accueil, sa périphérie immédiate ou éloignée.

Les travaux des grands barrages nécessitent une étude d'impact environnemental approfondie car ce genre de travaux peut faire de nombreux déguerpis et d'autres désagréments sur l'environnement. Ce qui n'est pas le cas des petits barrages en terre.

Les travaux des petits barrages en terre occasionnent généralement des impacts écologiques 100 % positif. Une étude d'impact serait aussi coûteuse qu'inutile (VORON, 2009)

La figure 4 résume les impacts positifs sur les populations de notre projet de rehaussement.

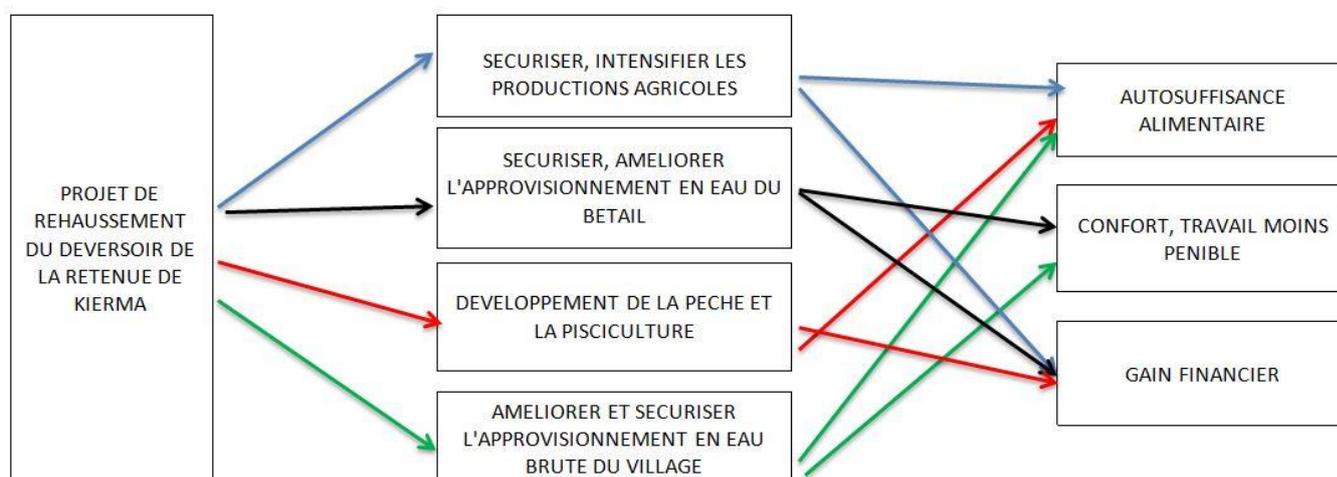


Figure 4 : Impacts positifs du projet de rehaussement.

Dans la résolution des objectifs de notre étude, nous sommes amenés à identifier les éventuels impacts négatifs prévus ou imprévus que notre rehaussement pourrait occasionner.

Le résultat attendu du projet serait bénéfique s'il vérifie l'inéquation suivante (DURAND, 1996):

$$[\text{bénéfices attendus}] > [\text{coûts financiers du projet}] + [\text{risques pour l'environnement}]$$

La démarche suivie dans l'identification des effets est détaillée comme suit :

- D'abord, une visite de terrain nous a permis d'être renseigné sur l'état initial du milieu.
- Ensuite, une enquête auprès des populations afin de connaître les différentes spéculations de cultures plantées sur les berges, cela nous a permis de quantifier les effets des éventuels pertes en terre que notre rehaussement occasionnera.

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

1.1. La visite de terrain

C'est une phase importante au cours de laquelle nous avons pu observer et évaluer tous les risques possibles envisageables de notre rehaussement.

Nos investigations nous ont permis de conclure que l'effet immédiat, à moyen ou à long terme que notre aménagement provoquera sur son environnement d'accueil pourra impacter trois (3) composantes, à savoir :

- Les parcelles cultivées situées sur les berges de la retenue
- Les habitations situées sur les différentes rives
- Une route constituant la limite amont de notre retenue

La figure 5 présente ces différentes composantes de l'environnement d'accueil de notre projet de rehaussement.

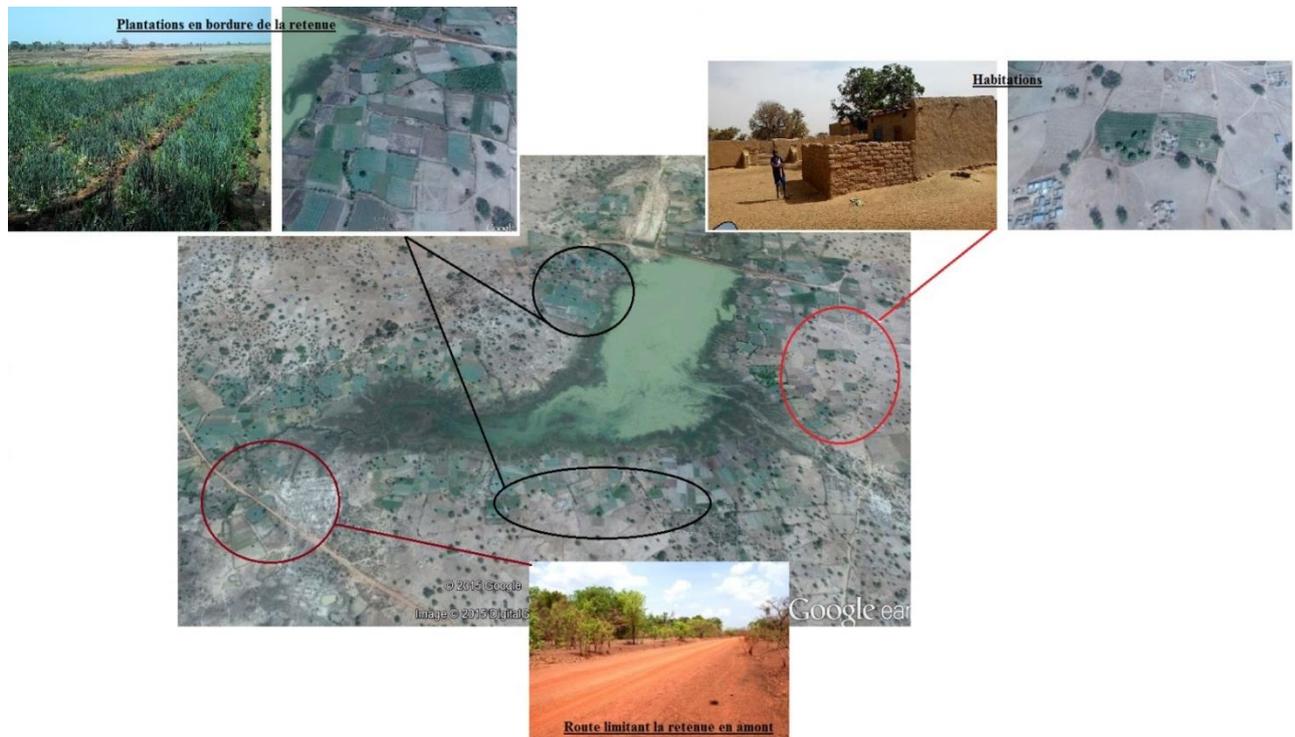


Figure 5 : Composantes de l'environnement d'accueil menacées par le projet

La prise en compte de ses différentes infrastructures et plantations, nous permettra de déterminer une hauteur optimale de notre rehaussement.

1.2. Les enquêtes socio-économiques

Des enquêtes auprès des populations ont été entrepris en vue dans un premier temps de connaître leurs points de vue sur le projet d'aménagement et afin d'identifier les différentes spéculations de cultures plantées autour de la retenue.

Ces enquêtes ont été réalisées au cours de plusieurs missions, la première mission d'investigation constituait pour nous une prise de contacts avec les exploitants agricoles.

Nous nous sommes intéressés principalement aux exploitants en bordure de la retenue car ils seront les plus affectés par le projet.

La figure 6 présente quelques rencontres entrepris pendant cette mission, nous étions accompagnés d'un agent du ministère affecté au PADI qui nous servait de guide et souvent d'interprète.



Figure 6 : Aperçus des rencontres entreprises

D'autres missions ont été réalisées avec des questionnaires et elles ont concerné au total un échantillon d'une quarantaine (40) d'exploitants en bordure de la retenue.

Le but visé par ces investigations est de pouvoir quantifier les pertes financières que notre rehaussement engendrera.

Nous nous sommes intéressés qu'aux cultures réalisées en période de crue. Le questionnaire adressé aux exploitants est présenté en annexe 2 de ce rapport.

Il ressort de notre enquête que les principales cultures exploitées lors des périodes de crue en bordure de notre retenue sont : le riz, le maïs, le sorgho blanc, le gombo, le concombre et la courgette.

La figure 7 présente les proportions en termes de superficie d'occupation des berges de chaque culture. La surface prise en compte dans ce calcul de pourcentage a été calculée en prenant un écartement de vingt (20) mètres depuis les limites des hautes eaux.

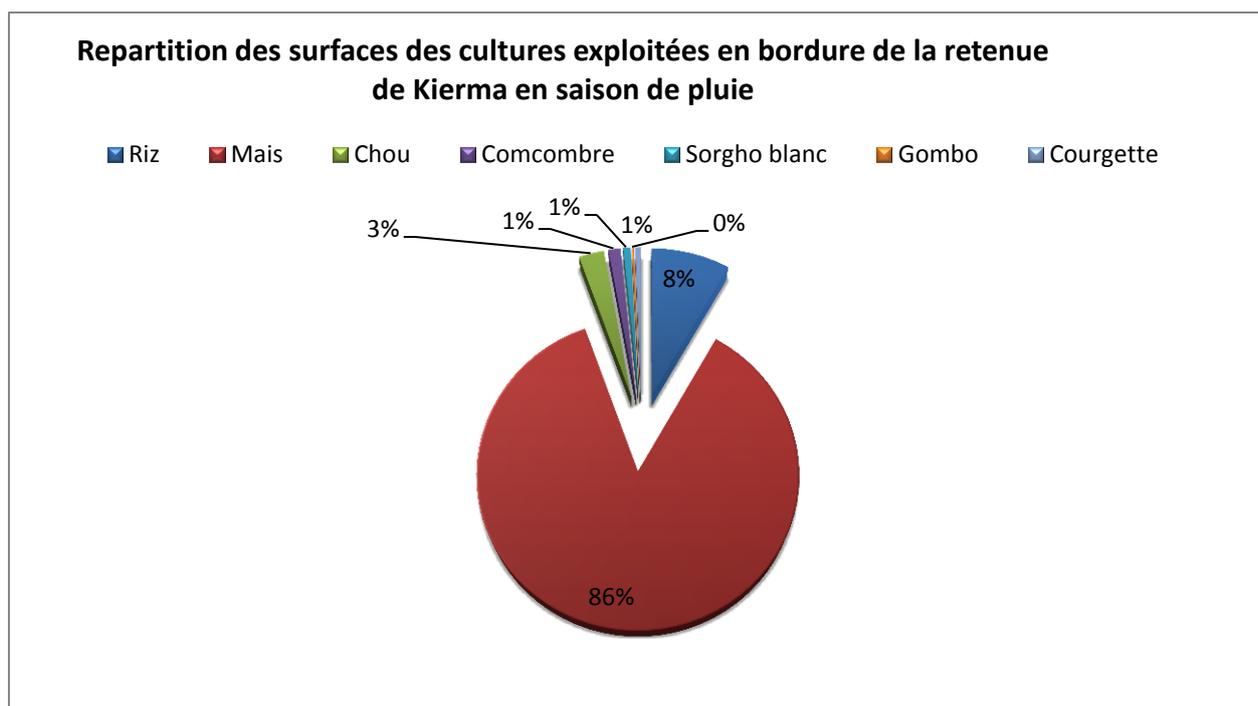


Figure 7 : Répartition des surfaces des cultures exploitées en bordure de la retenue de Kierma en saison de pluie

On remarque aisément que la culture la plus produite est le maïs, suivie du riz, tandis que la culture la moins produite est le gombo avec un pourcentage faisant environ 0.23 % de la surface total calculé.

Le tableau 2 résume les résultats de notre enquête auprès des exploitants sur les rendements des différentes cultures ainsi que leurs prix de vente.

Tableau 2: Rendements et prix de vente des différentes cultures

CULTURE	RENDEMENT MOYEN A L'HECTARE SELON L'ENQUETE	PRIX DE VENTE EN GROS
RIZ	1667 Kg	120 à 167 francs le Kg
MAÏS	945 Kg	140 à 167 francs le Kg
CHOU	11696 pommes	75 à 108 francs la pomme
CONCOMBRE	8182 Kg	30 à 100 francs le Kg
GOMBO	25000 Kg	35 francs le Kg
SORGHO BLANC	25000 Kg	35 francs le Kg
COURGETTE	857 fruits	117 francs le fruit

2. Étude du rehaussement du barrage

Dans cette partie, nous traiterons l'objectif même de notre étude.

Nous nous efforcerons de tenir compte des différents impacts afin de caler une hauteur de rehaussement qui minimise au mieux les effets indésirables de notre aménagement.

L'étude s'est déroulée en deux(2) grandes phases :

- La phase de terrain
- et la phase de traitement des données collectées.

2.1. Les travaux de terrain

Les travaux de terrain ont été consacrés spécialement à des études topographiques.

Le matériel utilisé est un GPS Différentiel

2.1.1. Description du matériel et principe de fonctionnement :

Les services GPS différentiels ont été développés pour répondre aux limites propres du GPS ou celles imposées (dégradation S-A).

Il permet de contourner cette erreur volontaire d'algorithme (erreur SA), qui entachait le signal GPS (Global Positioning System), ce qui provoquait un décalage d'une centaine de mètres sur la position. (CETMEF, 2008) .

La figure 8 présente sommairement le matériel utilisé.



Figure 8: Présentation du matériel utilisé

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

Le principe du DGPS est basé sur le fait qu'en des points voisins, les effets des erreurs de mesure, comme d'ailleurs les effets des erreurs ajoutées volontairement, sont très semblables. Il suffit donc d'observer en un point connu les fluctuations des mesures, et de les transmettre à un récepteur observant les mêmes satellites, pour permettre à celui-ci de corriger une grande partie des erreurs de mesure, qu'elles soient liées au satellite (horloge), aux conditions de propagation (effets troposphériques...) ou à des fluctuations volontaires du signal émis (figure 9)

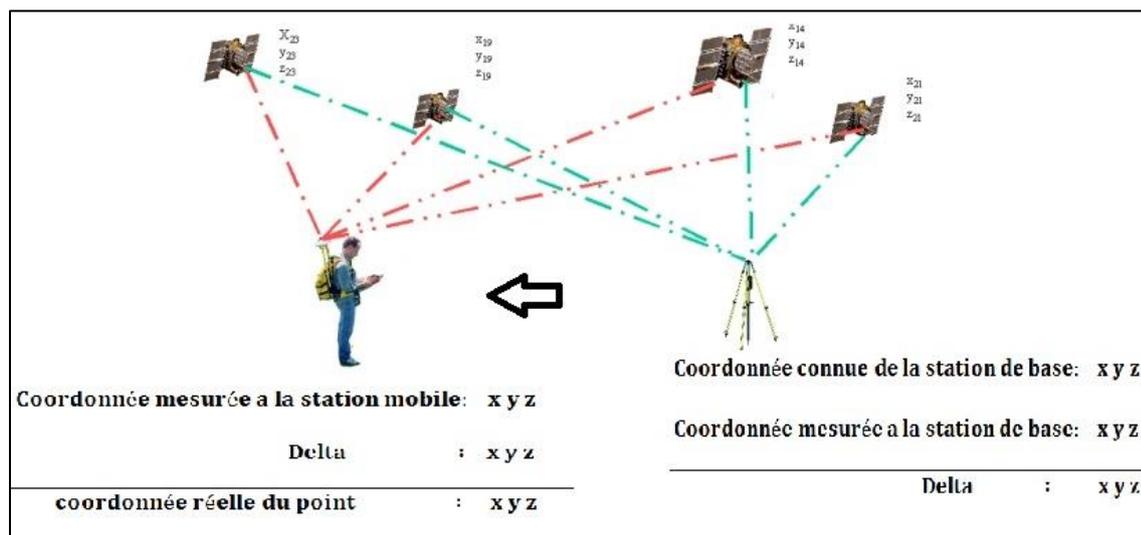


Figure 9: Résumé du principe de fonctionnement du DGPS

Source <http://www.3grt.fr> modifiée par auteur

2.1.2. Données collectées :

Ainsi, 5415 points topographiques ont pu être collectés, grâce à ce matériel, dans la retenue et sur les rives gauche et droite de celle-ci.

La collecte des données a été réalisée en deux phases, lors de deux missions que nous avons menées. Nous avons pris le soin de réaliser ces missions dans le mois d'avril, afin de pouvoir circuler librement dans la retenue totalement asséchée en cette période.

2.2. Traitements des données collectées

Le logiciel ArcGIS développé par ESRI (Environmental Systems Research Institute), nous a permis de traiter nos données topographiques.

Les différentes étapes du traitement des données topo sont résumées comme suit :

Chargement des données topographiques collectées

Nous avons pu ainsi visualiser les 5415 points topographiques levés lors de nos différentes missions sur le terrain.

La figure 10 présente ces différents points.

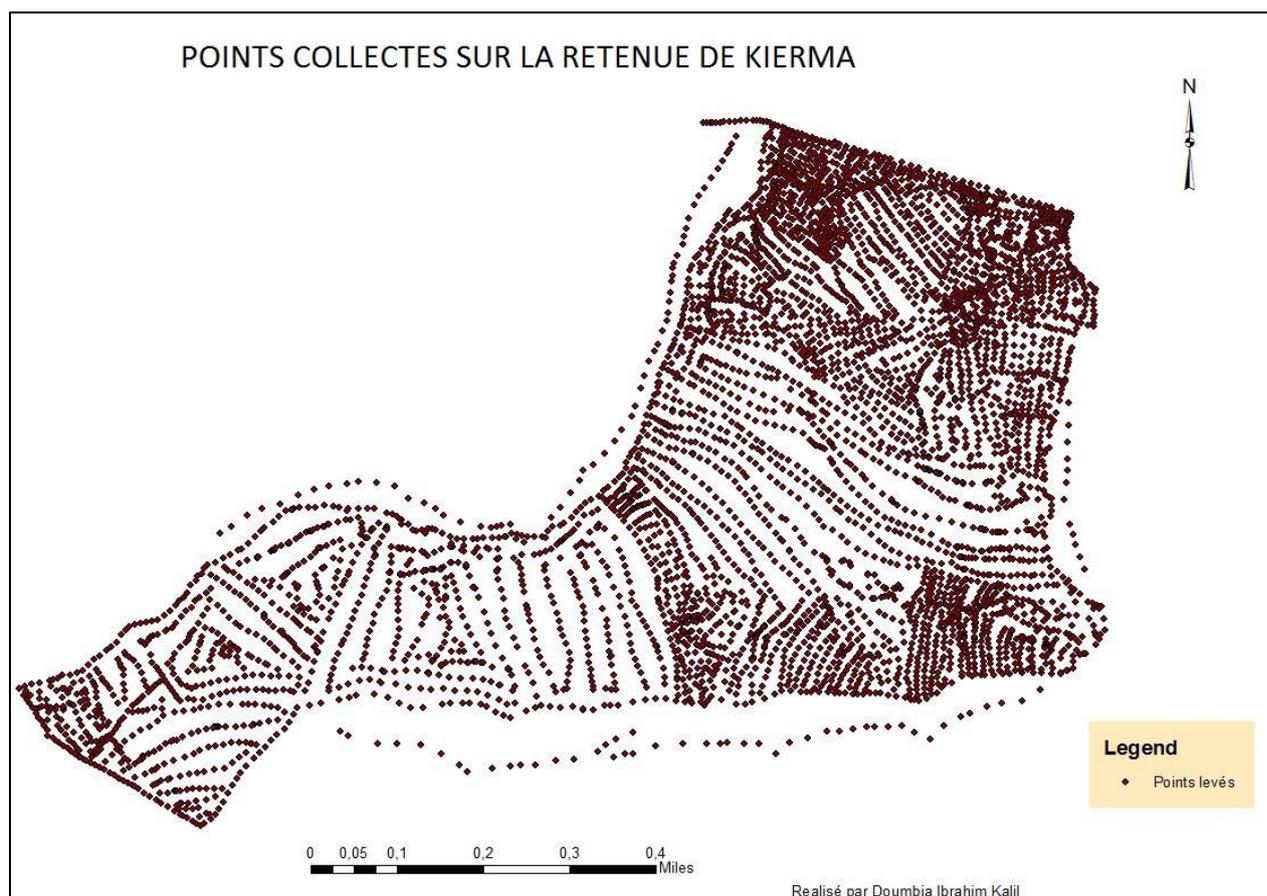


Figure 10: Points topographiques levés

✚ Réalisation du modèle numérique de terrain et génération des courbes hauteur-volume et hauteur-surface

Un modèle numérique de terrain appelé singulièrement MNT, est une carte indiquant la forme brute du terrain, sans construction ni végétation. C'est une représentation numérique de la morphologie de surface et correspond donc à une schématisation du modèle de la zone étudiée.

Seul le MNT peut fournir certaines informations telles que la direction des écoulements, le calcul du volume d'eau écoulé sur une surface précise et bien d'autres données utiles.

Le MNT de notre zone d'étude a été réalisé par une interpolation spatiale des altitudes de nos 5415 points topographiques collectés lors de nos différentes missions de terrain.

La méthode utilisée est la méthode d'interpolation triangulaire (TIN), un outil d'Arcgis.

La figure 11 présente ce MNT.

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

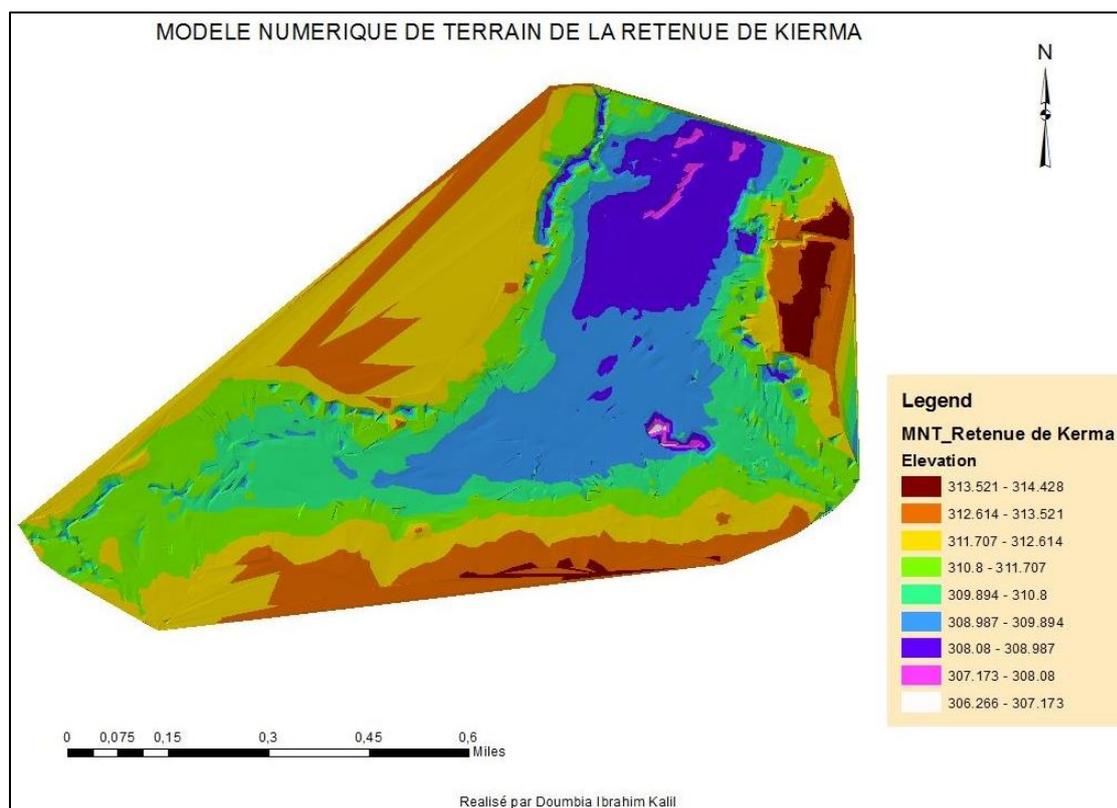


Figure 11: Modèle numérique de terrain de la retenue de Kierma

A partir de ce modèle numérique de terrain, en utilisant la fonction «surface-volume» dans l'onglet «functional surface» de l'extension «3D analyst», nous avons pu générer automatiquement les différentes surfaces et volumes à certaines cotes que nous avons choisies. Le tableau 3 résume ces hauteurs et surfaces :

Tableau 3: Surface et Volume aux différentes altitudes de la retenue de Kierma

	ALTITUDE	SURFACE EN m ²	VOLUME EN m ³
COTE DE DEVERSEMENT ACTUELLE	311,279	799854,071	1150037,38
	311,029	748760,467	953584,121
	310,779	665488,256	775991,046
	310,529	571211,043	621724,425
	310,279	498072,548	488843,628
	310,029	438233,97	372493,168
	309,779	379513,689	270268,921
	309,529	304494,09	184751,159
	309,279	228142,904	118722,696
	309,029	161693,727	70488,9692
	308,779	106103,485	36910,9728
	308,699	88492,598	29172,069

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

A partir de ce tableau, nous avons pu tracer les courbes hauteur-volume et hauteur-surface de notre retenue d'eau (Figures 12 et 13).

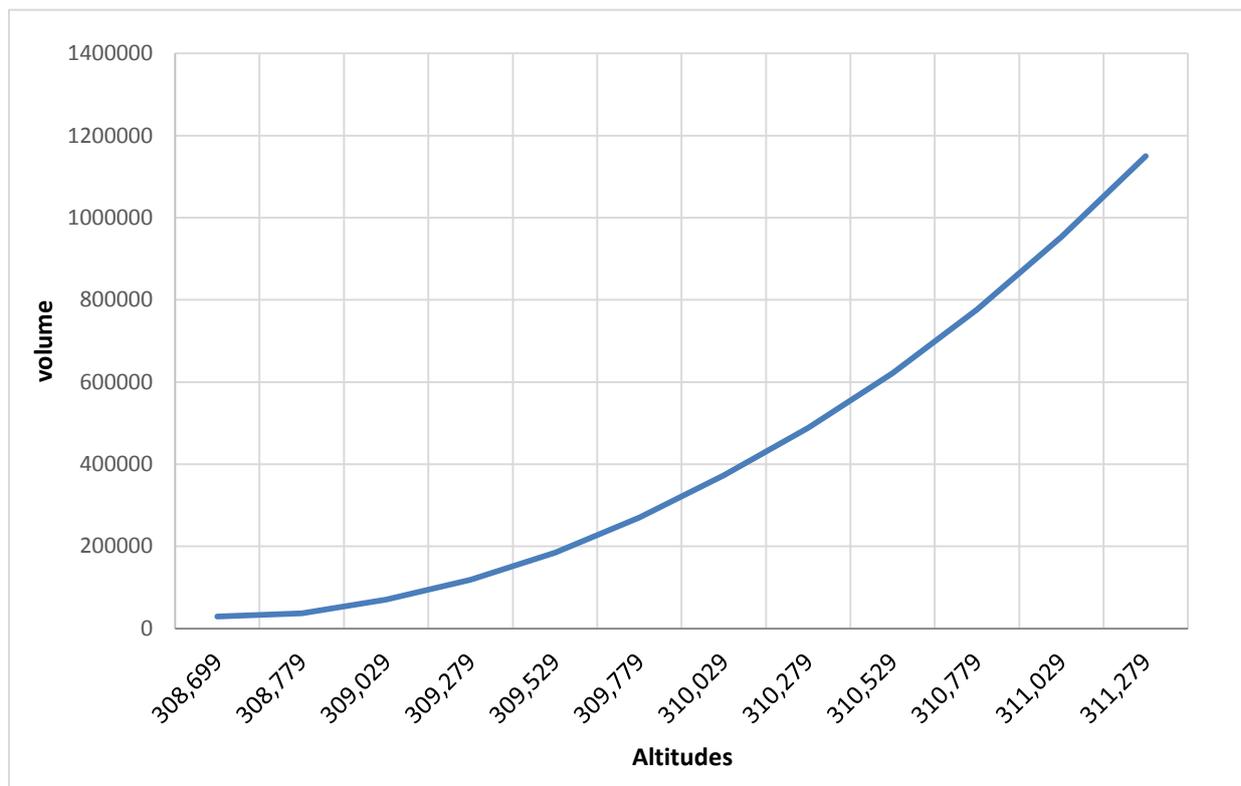


Figure 12 : Courbe Hauteur-Volume de la retenue de Kierma

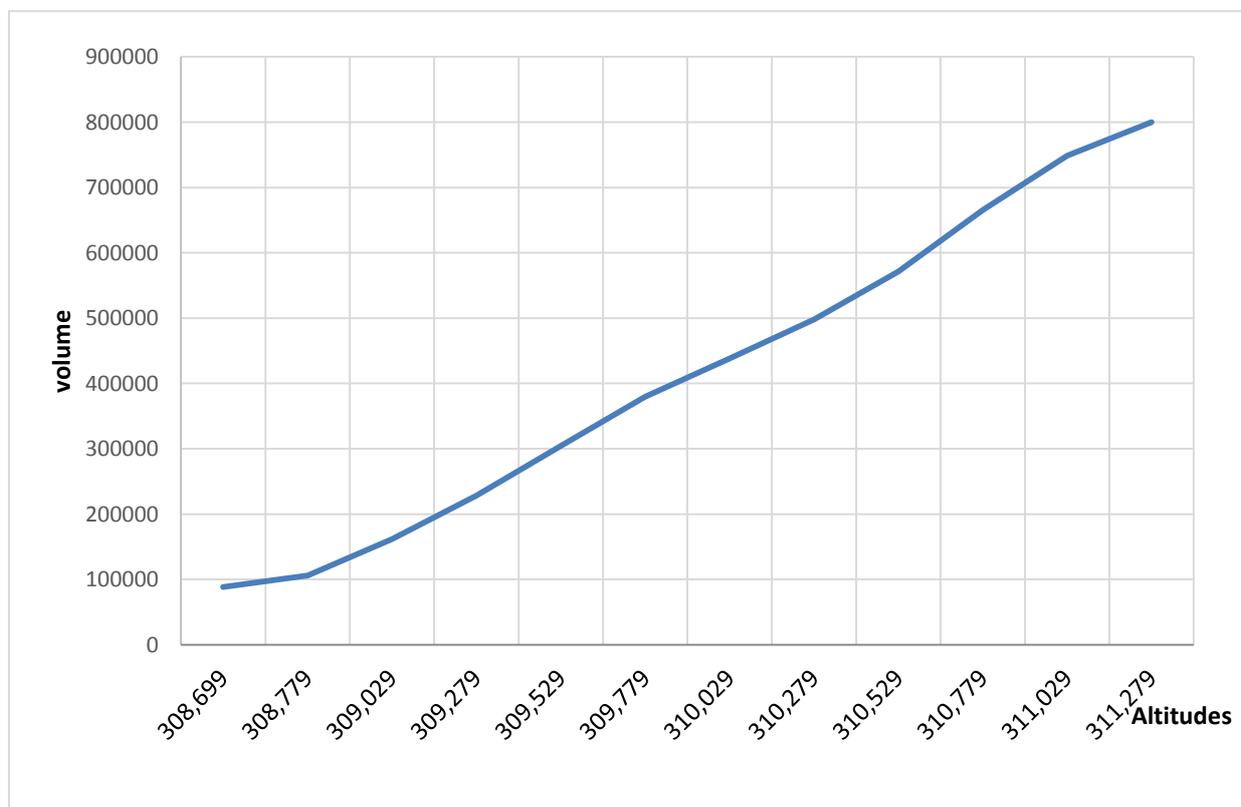


Figure 13 : Courbe Hauteur-Surface de la retenue de Kierma

Simulation de la hauteur de rehaussement

Notre rehaussement, une fois réalisé, risque d'impacter trois (3) composantes de son environnement d'accueil, à savoir :

- Les parcelles cultivées situées sur les berges de la retenue
- Les habitations situées sur les différentes rives
- Une route constituant la limite amont de notre retenue

La prise en compte de ces composantes, dans le calage optimal d'une nouvelle cote de déversement rehaussée, est très importante.

En effet les cotes des infrastructures (route et habitations) seront considérées comme les limites à ne pas dépasser lors de notre simulation.

Le tableau 4 résume leurs altitudes :

Tableau 4: cotes d'altitudes des infrastructures

Désignation	Cotes (m)
habitation la plus proche de la rive	313,556
route constituant la limite amont	311,97

La cote moyenne de déversement actuelle est à 311.279 m.

Nous ferons la simulation entre la cote actuelle de déversement et la cote de la route constituant la limite amont de la retenue. Nous avons choisi quatre (4) hauteurs de rehaussement : 45 cm, 50 cm, 55 cm et 60 cm. Le choix de ces valeurs est dus au fait que nous nous sommes fixé les choix de conception suivants :

- faire un rehaussement minimum de 45 cm depuis l'ancienne cote de déversement
- laisser une marge minimale de sécurité de 10 cm entre la cote de la route amont et la nouvelle cote du déversoir une fois rehaussé.

Le tableau 5 fait le résumé de cette simulation effectuée

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

Tableau 5 : Simulation du rehaussement de la retenue de Kierma

	COTE	HAUTEUR DE REHAUSSEMENT	SURFACE	VOLUME	GAIN EN SURFACE		GAIN EN VOLUME
	m	cm	m ²	m ³	m ²	ha	m ³
COTE ACTUELLE DE DEVERSEMENT	311,279	0	836 836	1 164 835	0	0	0
	311,729	45	995 007	1 580 964	158 171	16	416 129
	311,779	50	1 009 429	1 630 710	172 593	17	465 876
	311,829	55	1 024 869	1 682 030	188 033	19	517 196
	311,879	60	1 038 931	1 731 785	202 095	20	566 951
LIMITE ROUTE AMONT	311,979	70					

✚ Prise en compte des impacts sur les parcelles cultivées

Le calage optimal d'une hauteur de rehaussement nécessite la prise en compte des effets de notre projet sur les parcelles cultivées situées sur les rives immédiates de notre retenue.

La figure 14 présente l'emprise de nos différents niveaux de rehaussement sur notre retenue.



Figure 14: Emprise des différents niveaux de rehaussement sur la retenue

La limitation des pertes en sol est un critère déterminant dans le choix d'une hauteur adéquate de rehaussement.

En effet, à partir des résultats des différentes enquêtes réalisées auprès des populations, connaissant les différents taux d'occupation des terres, ainsi que les rendements et les prix de vente de chaque culture plantée ; nous avons pu faire une estimation monétaire globale des pertes éventuelles en sol .Ainsi

$$1 \text{ Ha de sol perdu} \rightarrow 212\,018 \text{ Francs CFA}$$

La perte d'un hectare de terre sur les berges occasionne une perte d'environ deux cent mille francs pour les exploitants agricoles.

Aussi, d'après les enquêtes menées par (RAZANAMAHANDRY, 2013) sur la retenue de Kierma, 51 ha de la surface de la berge de la retenue sont exploités avec un débit prélevé par les producteurs pour l'année 2012, pendant la saison sèche, s'élevant à 15 m³/s qui correspond à 356715 m³ d'eau. Nous considérons ces valeurs comme constantes, ce qui nous a permis d'estimer la valeur monétaire du gain de volume que notre rehaussement occasionnera .Ainsi :

$$1 \text{ m}^3 \text{ d'eau gagné} \rightarrow 30.31 \text{ Francs CFA}$$

Le tableau 6 résume les différents calculs

Tableau 6: Valeur monétaire des impacts des différents niveaux de rehaussement

HAUTEUR DE REHAUSSEMENT	IMPACTS DES PERTES EN TERRE SUR LES BERGES		IMPACTS DU GAIN EN VOLUME	
	Ha	Francs CFA	m ³	Francs CFA
45	16	3 353 513	416 129	12 612 870
50	17	3 659 289	465 876	14 120 688
55	19	3 986 628	517 196	15 676 206
60	20	4 284 787	566 951	17 184 280

Nous avons pu réaliser grâce à ce tableau, une étude comparative des impacts de notre projet aux différentes hauteurs de rehaussement (Figure 15).

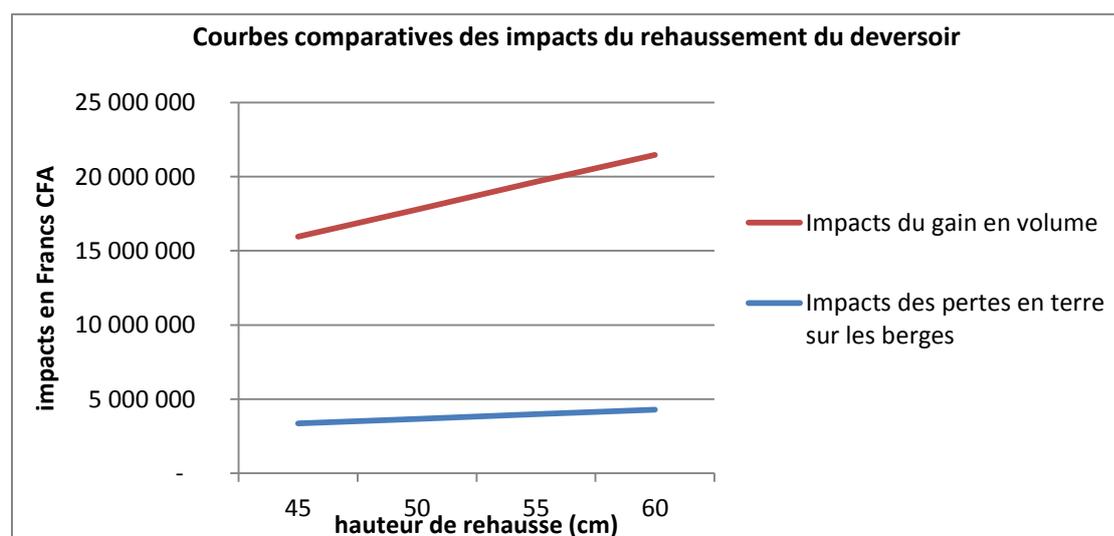


Figure 15: Courbes comparatives des impacts du rehaussement du déversoir

Les courbes comparatives des impacts du rehaussement du déversoir, nous permet d’observer que le projet est bien plus avantageux que néfastes pour les exploitants cultivant sur les berges de la retenue. Cependant, ce résultat aussi pertinent soit-il, reste insuffisant pour estimer une hauteur de rehaussement adéquate.

Le calage de notre nouvelle cote de déversement se fera après discussions des impacts observés à chaque hauteur de rehaussement, en considérant d’autres paramètres.

V. RESULTATS ET DISCUSSION

Les études menées précédemment s'avèrent insuffisantes pour choisir une hauteur adéquate de rehaussement.

Une étude comparative plus poussée, prenant en compte l'évolution de la demande en eau ainsi que le phénomène de sédimentation de la retenue, serait donc nécessaire afin de réaliser un calage optimal de la hauteur de rehaussement.

En effet plusieurs études ont déjà été menées sur notre zone d'étude, aboutissant à la quantification de plusieurs paramètres utiles pour la résolution de notre problématique.

Le tableau 7 résume certains résultats de ces différentes études menées principalement par la (DADI, 2011) , (PADI, 2012) et (RAZANAMAHANDRY, 2013)

Tableau 7 : Résumé des résultats des différentes études menées sur la retenue de kierma

Taux annuel de sédimentation	8590 m³	
Valeur moyenne du dépôt annuel	1,6 cm /an	
Perte annuelle de capacité de stockage	0.91 %	
Augmentation du volume d'eau demandé par l'irrigation	5% à 8% par an	
Taux t'extension des terres irriguées	5% par an	
taux d'accroissement moyen des bétails	bovins	4,7 %
	ovins	2,3 %
	caprins	3,3 %
	asiniens	6 %
volume d'eau moyen consommé par animaux	bœufs	17 l/j
	ânes /chèvres	7 l/j

A partir de ces différents paramètres nous avons pu tracer le graphe 16, représentant à la fois les courbes de décroissance de volume d'eau disponible dans la retenue aux différentes hauteurs de rehaussement du déversoir et la courbe de croissance des différentes demandes.

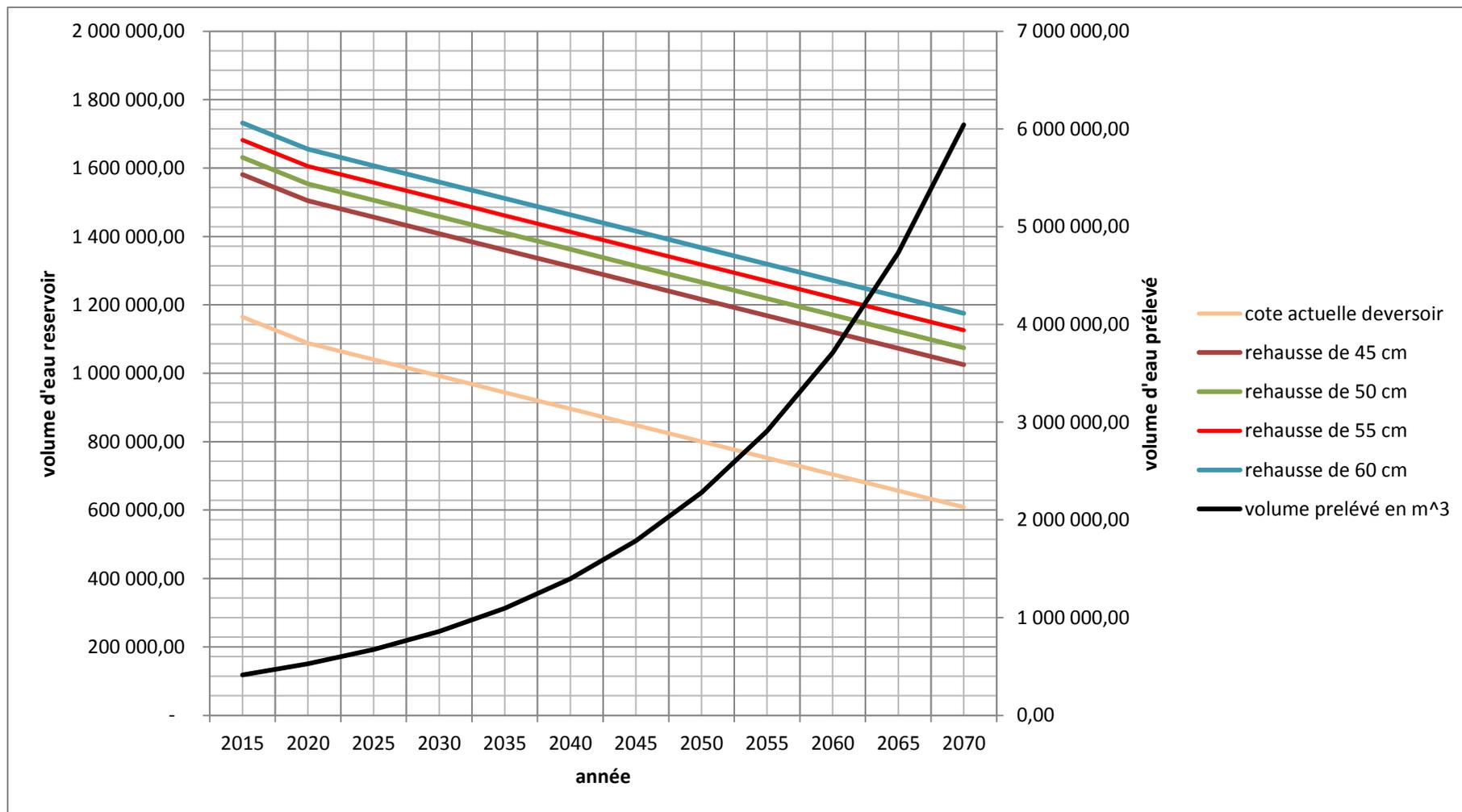


Figure 16: les courbes de décroissance de volume d'eau disponible dans la retenue et la courbe de croissance de la demande

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

L'analyse du graphe présentant l'offre et la demande, nous permet de voir qu'à partir de l'an 2053, l'offre et la demande sont égaux en considérant la hauteur actuelle du déversoir.

Un rehaussement de 45, 50,55 ou 60 cm, nous permettra de prolonger la durée de vie respectivement de, 8, 9,12 et 16 ans.

Après analyse de tous ces aspects, nous nous sommes fixées de choisir une hauteur de rehaussement respectant les conditions suivantes :

- ✚ Permet d'assurer la sécurité de la route, située à une hauteur à 70 cm au-dessus de la cote actuelle du déversoir, en laissant une marge d'au moins 20 cm entre la nouvelle cote de déversement et la cote de la route.
- ✚ Permet d'assurer au moins dix (10) années de plus sur la durée de couverture de la demande.

Au vue de tous ces critères, un rehaussement de **cinquante (50) cm** parait la mieux adapté pour résoudre notre problématique.

Cette rehausse nous offre les avantage suivant :

PERIODE DE COUVERTURE DES BESOINS EN EAU	JUSQU'A L'AN 2065
GAIN EN VOLUME	465 876 m³

De plus, la saison sèche s'étend sur sept (7) mois, de novembre à mai, et nous constatons que dès le mois d'avril notre retenue est totalement asséchée. Le nouveau rehaussement permettra dès sa mise en place, de maintenir une certaine quantité d'eau disponible dans la retenue jusqu'à la venue des premières pluies dans le mois de juin.

VI. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

1. Présentation des ouvrages existant

Le barrage de Kierma est constitué

- D'un déversoir latéral de 30 m de longueur
- D'un ouvrage de dissipation
- D'une digue de 300 m de longueur

La dénivelée entre la surface du déversoir et le dessus de la digue est de 1.5m

La dénivelée entre la surface du déversoir et le fond du bassin de dissipation est de 2 m

La figure 20 présente les infrastructures déjà en place.

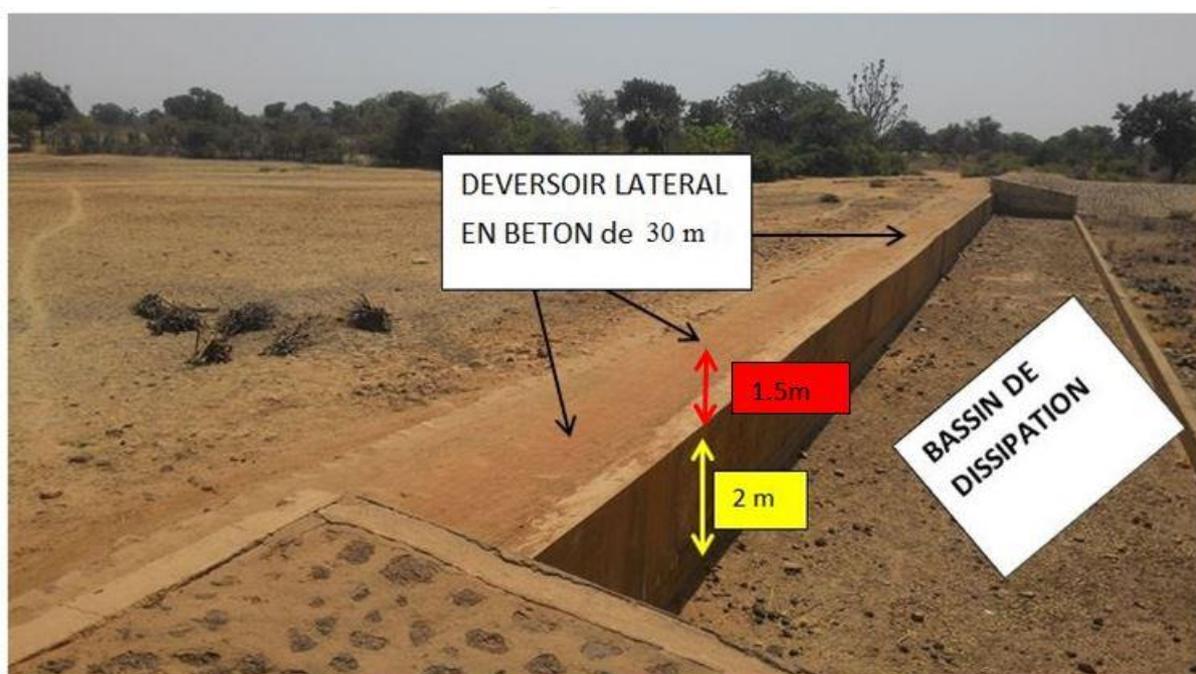


Figure 17: présentation des ouvrages du barrage

Le déversoir actuel est au même niveau que le terrain naturel du fait de la sédimentation, donc la hauteur de notre déversoir correspond à la hauteur de notre rehaussement.

Le rehaussement aura un profil rectangulaire avec une crête vive, elle aura une hauteur de 50 cm, comme l'a indiqué nos calculs précédents.

2. Détermination du débit du projet

La détermination de la crue du projet est très importante pour le dimensionnement de l'évacuateur de crue du barrage.

Deux méthodes ont été utilisées pour la détermination de la crue du projet, ce sont

- La méthode ORSTOM révisée 1993
- La Méthode CIEH

2.1. La méthode ORSTOM révisée 1993

Nous avons procédé comme suit :

- ✚ Détermination des caractéristiques physiques du bassin

La plupart de ces paramètres ont déjà été déterminés dans des études antérieures réalisées sur notre zone d'étude, donc ils ne feront pas objet de calcul.

- **Superficie S** = 99.28 km²
- **Périmètre P** = 48.5 km
- **Longueur du rectangle équivalent** = 12.69 km
- **Infiltrabilité**

Notre bassin est relativement perméable, donc appartient à la classe R1P3

- **Indice de compacité Kc** = 1.36
- **Indice globale de pente** :

Pour déterminer l'indice global des pentes, on établit d'abord la courbe hypsométrique du bassin versant.

I_g est donné par : $I_g = \frac{\Delta H(m)}{L(m)}$. Avec ΔH la différence d'altitude entre les pourcentages de surface 5 % et 95 %.

Tracé de la courbe Hypsométrique

A partir du modèle numérique de terrain de notre bassin versant représenté sur l'image ci-dessous, nous avons pu utiliser le logiciel de SIG Arcgis pour le traitement.

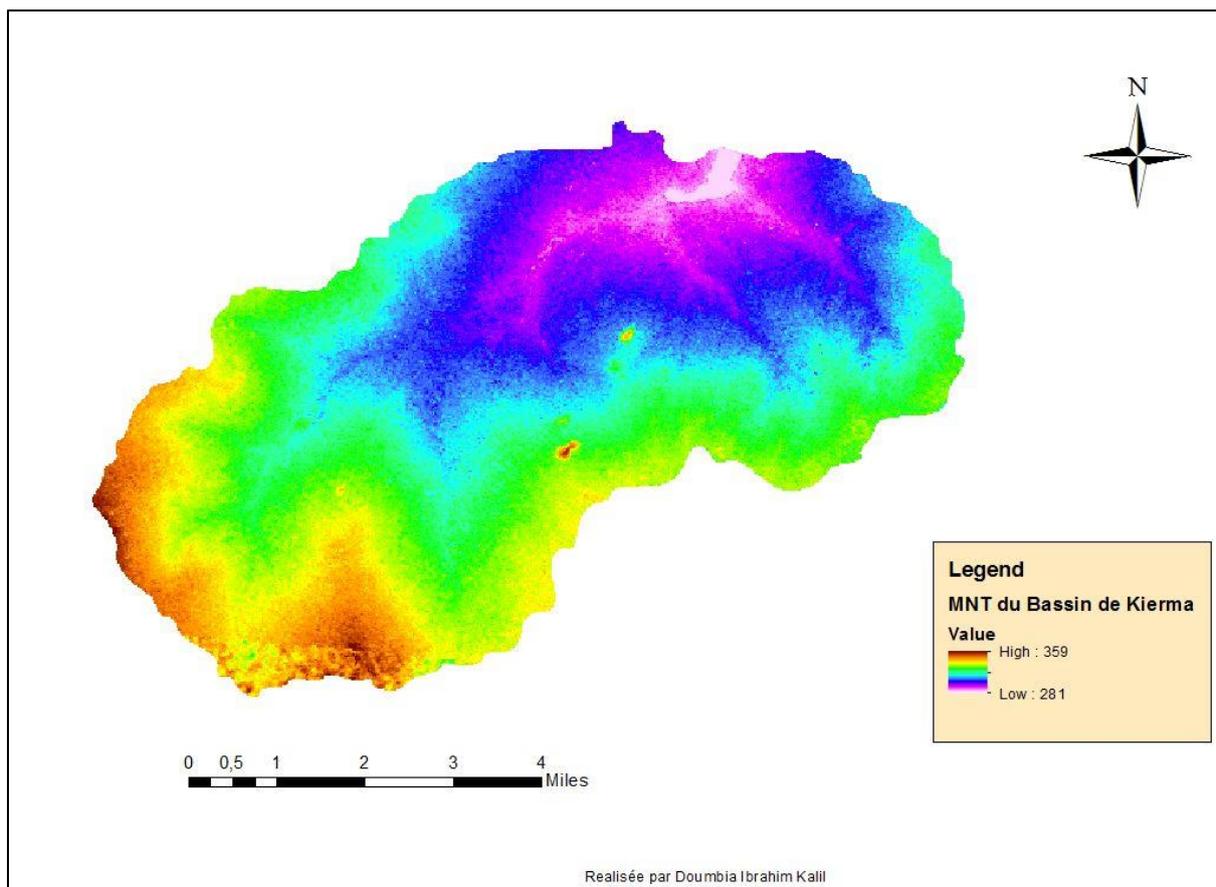


Figure 18: Modèle numérique de terrain du bassin versant de Kierma

A partir de l'outil «Hypsometry Tools : Generic Tools» du logiciel ARCGIS, nous avons pu générer automatiquement les surfaces partielles correspondantes aux différentes hauteurs d'altitude. Le tableau résumant les détails des calculs est présenté en annexe 4.

Le graphe 17 représente la courbe hypsométrique de la retenue de Kierma.

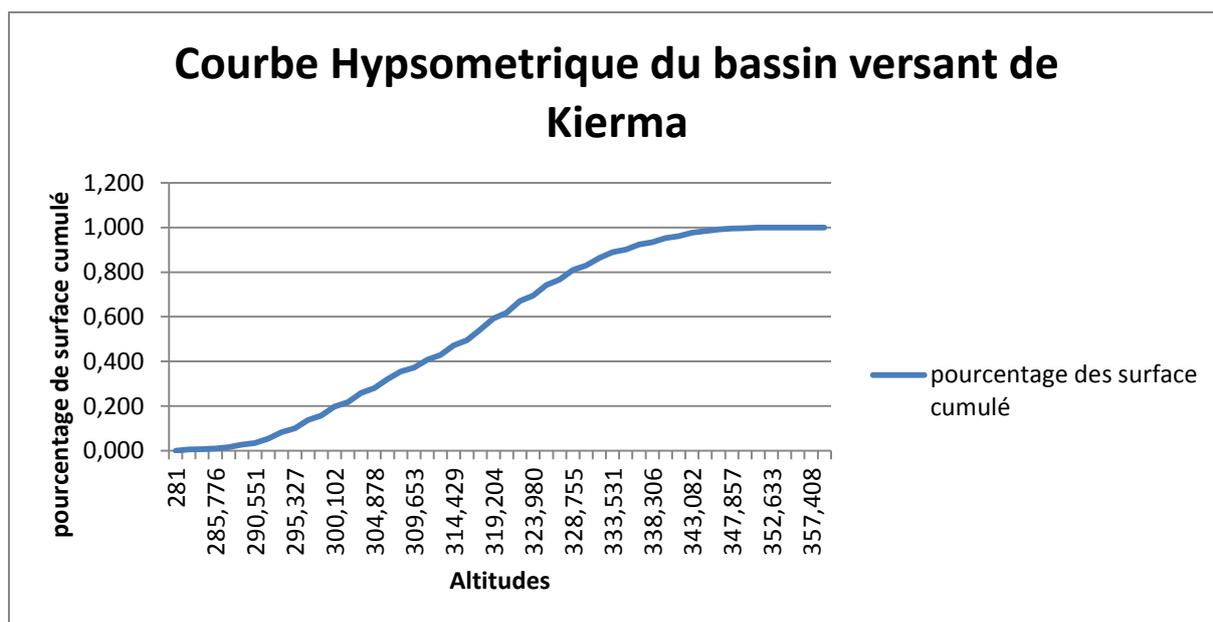


Figure 19: Courbe Hypsométrique du bassin versant de Kierma

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

$$I_g = \frac{\Delta H(m)}{L(m)} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{\text{Longueur du rectangle equivalent}}$$

$$H_{5\%} - H_{95\%} = 292.14 - 339.89 = 47.75 \text{ m}$$

Longueur du rectangle équivalent : L	$L = \left(\frac{P - \sqrt{(P^2 - 16 \times S)}}{4} \right)$	P : Périmètre du bassin versant S : surface du bassin versant
--------------------------------------	---	--

$$\text{Longueur du rectangle equivalent} = 12.69 \text{ km}$$

$$I_g = 3.76 \text{ m/Km}$$

✚ Calcul de la pluie décennale ponctuelle

Sa valeur est cartographique et est représentée sur une carte (voir annexe 5).

On prend $P_{10} = 115 \text{ mm}$

✚ Calcul de la pluie moyenne du bassin

On applique le coefficient d'abattement K, dit coefficient de VUILLAUME, déterminé à partir de l'équation de VUILLAUME

$$P_{10}^* = K * P_{10} \quad \text{Avec } K = 1 - (9 - 42 * 10^{-3}P + 152)10^{-3} \log S$$

$$K = 0.69$$

$$P_{10}^* = 79.14 \text{ mm}$$

✚ Détermination du coefficient Kr10

C'est le paramètre le plus difficile à estimer. Nous utiliserons l'abaque représenté en annexe 6 pour l'estimer.

Le régime hydrologique du bassin versant étant R1P3, On obtient **Kr = 32.7 %**

✚ Temps de base et temps de montée

A l'aide d'abaque (cf annexe 7) de la superficie S du bassin versant, nous avons déterminé le temps de base Tb10 et le temps de montée Tm10.

$$Tb_{10} = 3020 \text{ mn et } Tm_{10} = 600 \text{ mn}$$

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

✚ Détermination du coefficient de pointe α

La pluviométrie annuelle de notre zone est de 950 mm

On a $800 \text{ mm} < P < 1600 \text{ mm}$, donc nous sommes en présence d'un régime tropical de transition.

Dans ces conditions, d'après la check-list $\alpha=2.5$

✚ Le volume ruisselé

$$V_{r10} = K_{r10} * S * P_{10}^*$$

$$V_{r10} = 256915,6 \text{ m}^3$$

✚ Le débit moyen ruisselé Q_{mr10}

Le débit moyen ruisselé Q_{mr10} pendant le temps T_{b10} est donné par la relation.

$$Q_{mr10} = \frac{V_{r10}}{T_{b10}} = 85.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

✚ Le débit de pointe $Q_{xr10} = \alpha_{10} * Q_{mr10}$

$$\underline{Q_{xr10} = 213 \text{ m}^3/\text{s}}$$

2.2. La méthode CIEH

✚ Paramètres utiles

- Surface S du bassin versant en $\text{Km}^2 = 99.28 \text{ km}^2$
- Ig indice globale de pente $Ig = 3.76 \text{ m/Km}$
- Kr10 coefficient de ruissellement décennal = 32.7 %
- Pluie annuelle moyenne = 950 mm
- Surface S du bassin versant = 99.28 km^2

✚ Détermination de la crue décennale

La crue est déterminée par des abaques (cf annexe 8) en fonction des groupes d'appartenances du bassin versant.

On a $P_{an} = 950 \text{ mm}$.

Pour $800 \text{ mm} < P_{an} < 1200 \text{ mm}$, le groupe d'appartenance de l'Afrique de l'ouest nous donne les symboles A0, A01, P1, P3. en plus des symboles HV, NI, MA.

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

Les différents résultats sont consignés dans le tableau 8 :

Tableau 8: tableau récapitulatif des valeurs des lectures sur les abaques

ABAQUES	A0	A01	P1	P3	HVNIMA
A (S,Ig)		150	147	140	150
B (S,Pan,Ig)	150	175			
C (S,Pan,Ig)	98	97	99	96	
D (Si,Kr10,Ig)	210	280		300	

Ces abaques ont fournis des valeurs comprise entre 96 et 300 m³/s.

Cependant, les valeurs fournis par l'abaque B semblent plus crédibles puisqu'elles sont déterminées à partir de paramètres (relativement précises) contrairement aux valeurs fournies par les abaques A et C qui ne tient compte que de deux paramètres. Par ailleurs, les valeurs de Q fournis par les abaques C et D sont plus douteuses puisqu'elles font intervenir Kr qui est en générale la plus grande source d'erreur.

Les abaques A et D en ne tenant pas compte de l'évolution des pluies annuelles, donnent des valeurs de Q₁₀ relativement élevées. Compte tenu de toutes ces considérations, nous retiendrons pour la méthode CIEH la valeur moyenne de Q₁₀ fourni par l'abaque B soit 150 m³/s

$$Q_{10} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.3. Choix de la crue décennale Q₁₀

Les conditions d'application de la méthode CIEH sont liées aux caractéristiques de l'échantillon de base, ce qui signifie que les débits obtenus par cette méthode représentent souvent des valeurs qui peuvent s'écarter des valeurs spécifiques réelles. (COULIBALY , 1996).

Notre choix se portera donc sur le débit fourni par la méthode ORSTOM

$$Q_{xr10} = 213 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.4. Calcul de la crue du projet

$$Q_{100} = c * Q_{10}$$

On passe de Q₁₀ à Q₁₀₀ par le coefficient multiplicateur C.

$$C = \frac{Q_{100}}{Q_{max10}} = 1 + [(P_{100} - P_{10})/P_{10}] \frac{\left(\frac{T_{b20}}{24}\right)^{0.12}}{K_{r10}}$$

En zone tropical sèche, $\frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} = 0.38$

Pout Tb10. = 3020 mn, Kr = 32.7 %, on trouve C= 1.02

Ce qui nous donne

$$Q_{100} = 212.68 * 1.02$$

$$Q_{100} = 217 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.5. Détermination de l'hydrogramme de crue

✚ Calcul du débit maximal total Qmax

En zone tropical sèche pour les petits bassins imperméables

$$Q_{max10} = 1.03 * Q_{xr10}$$

$$Q_{max10} = 219 \text{ m}^3/\text{s}$$

✚ Tracer de l'hydrogramme de crue

Tb10 = 3020 mn, Tm10=600 mn, Q_max10= 219.5 m³/s, α=2.5.

Le débit de discontinuité est : $Q = \frac{2 * Q_{max10}}{\alpha_{10}} * \frac{T_{b10} - \alpha_{10} * T_{m10}}{T_{b10} - 2T_{m10}}$

$$Q = 146 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'après l'étude de GRESILLON, HERTER et LAHAYE, on schématise ce hydrogramme sous la forme :

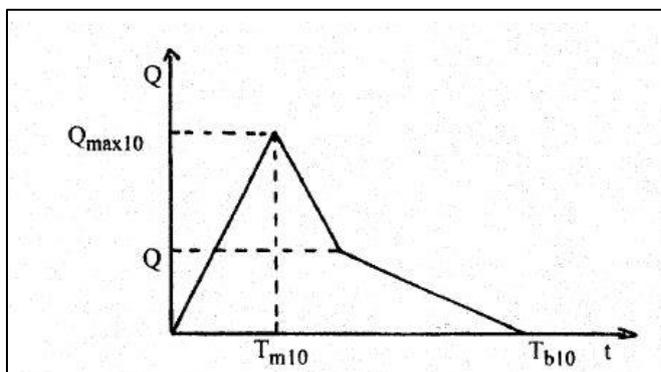


Figure 20: Hydrogramme pointu

Source (DURAND,1996)

3. Dimensionnement de l'évacuateur de crue

Dimensionner l'évacuateur de crue revient à :

- Déterminer la longueur déversant
- Calculer la profondeur, la longueur et la largeur du bassin de dissipation

Le dimensionnement doit être mené avec soin, en effet :

- Si la longueur déversant est insuffisante, l'épaisseur de la lame d'eau peut être telle que la sécurité de l'ouvrage soit compromise.
- Si le bassin de dissipation est mal proportionné, l'érosion en aval peut déstabiliser tout ou partie de la construction.

3.1. Prise en compte de l'effet de laminage

✚ Description de l'effet de laminage

Compte tenu de l'importance de la surface du plan d'eau, les crues font monter le plan de PEN au PHE, constituant ainsi un volume d'eau temporaire qui est déstocké progressivement. Il s'agit du laminage de la crue (KARAMBIRI, 2005). La figure 21 résume cet effet :

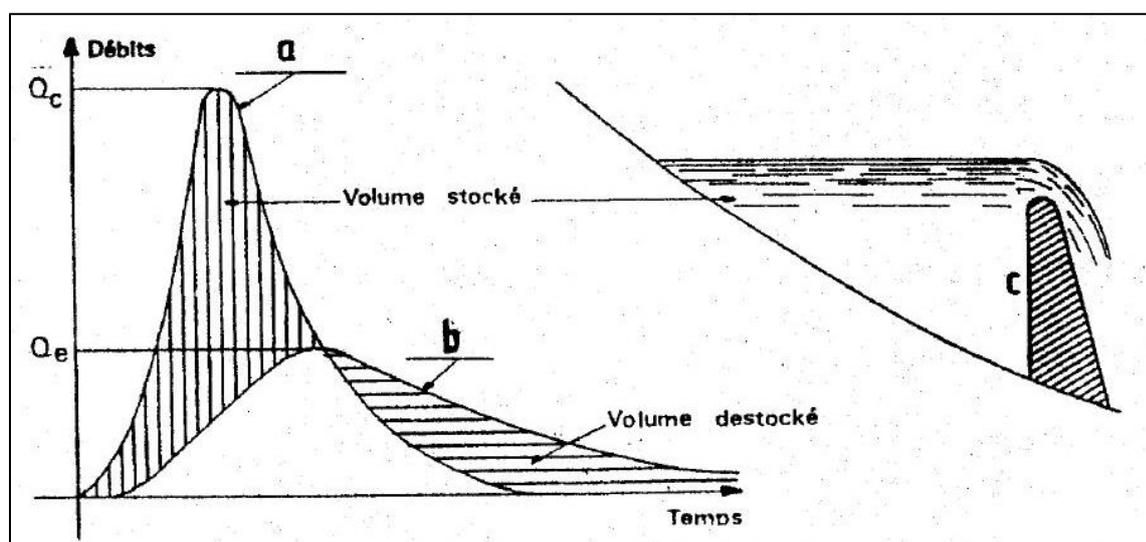


Figure 21: description de l'effet de laminage

Source (DURAND, 1996) modifié par Auteur

a= hydrogramme de crue à l'entrée de la retenue

b= hydrogramme de crue sortant de l'évacuateur

c : évacuateur vu en coupe

Tenir compte de l'effet de laminage permet de réduire la longueur du déversoir sans augmenter le risque de submersion du barrage.

L'effet de laminage est défini par une équation appelé équation de laminage (DURAND,1996) :

$$\frac{dz}{dt} = f[t, z(t)]$$

Nous allons résoudre cette équation par la méthode EIER-CIEH

✚ La méthode du coefficient x_0 ou méthode EIER-CIEH

On procède de la manière suivante :

- Calcul de la longueur L1 sans tenir compte de l'effet de laminage

$$Q_{cmax} = m * L1 * h * \sqrt{2 * g * h}$$

Donc $L1 = \frac{Q_{cmax}}{m * h * \sqrt{2 * g * h}}$ avec :

- L : longueur du déversoir en mètre
- g : 10 m/s²
- h : charge sur le seuil en mètre

Le déversoir est en béton donc la charge maximale admise par le déversoir est $0.70 \text{ m} < h_{mas} < 1.00 \text{ m}$

On prend h=0.9 m

- m : le coefficient de débit

Il dépend de la forme du seuil, mais aussi de la charge. il a été déterminée à l'aide d'un abaque (voir annexe 9), on a obtenu m= 0.36.

- $Q_{cmax} = 219 \text{ m}^3/\text{s}$

$$L1 = 159.35 \text{ m}$$

- On calcule x_0 avec la valeur de L1

On a $x_0 = \frac{m^2 * g * L1^2 * Q_{cmax} * t_m^3}{S^3}$ Avec :

- S : surface du plan d'eau (m²)

La cote actuelle du déversoir une fois rehaussée de 50 cm permettra une surface d'eau de 1 009 429 m²

- g : 10 m/s²
- m : le coefficient de débit
- Tm : temps de montée des eaux = 600 mn soit 36000 s

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

- On calcule $\text{Log}(x_0)$
- On fait la lecture de β

L'effet de laminage peut être évalué sous la forme d'un coefficient β (béta) tel que :

$$\beta = \frac{Q_{emax}}{Q_{cmax}}$$

Avec :

- Q_{cmax} étant le débit maximum de l'hydrogramme de crue
- Q_{emax} le débit maximum évacué.

On peut lire directement β en fonction de $\log_{10} x_0$, sur l'abaque présenté en annexe 10,

- On calcul donc L2 en prenant $Q = \beta * Q_{cmax}$
- On recommence le calcul avec L2

On recommence le calcul avec L2 et ainsi de suite par itérations successives, jusqu'à obtenir une valeur convergente de L.

Nous résumons dans ce tableau 9 les résultats de ces calculs, les valeurs intermédiaires sont consignées en annexe 11 :

Tableau 9: Résumé des calculs de détermination de la longueur déversant

L	X0	log10(x0)	beta	Qe
159,353642	327,003513	2,51455242	0,95	208,0975
33,4642649	14,4208549	1,15899101	0,19	41,6195
30,2771921	11,8048268	1,07205962	0,19	41,6195

Un déversoir de 30 mètres est nécessaire pour évacuer la crue centenaire. Nous conserverons la longueur actuelle du déversoir qui est de 30 mètres.

La revanche

D'après (DURAND, 1996), une revanche comprise entre 0.5 et 1 m est admissible pour les petits barrages d'équipement rural. Nous retiennent comme valeurs $R=0.6$ m

4. Dimensionnement du bassin de dissipation

L'ouvrage de dissipation existant sur notre retenue est un bassin de chute ou de plongée avec radier revêtu. Son dimensionnement se fait par construction à l'aide d'un abaque (voir annexe 14).

Les différents paramètres qui servent à son dimensionnement sont représentés sur la figure ci-dessous :

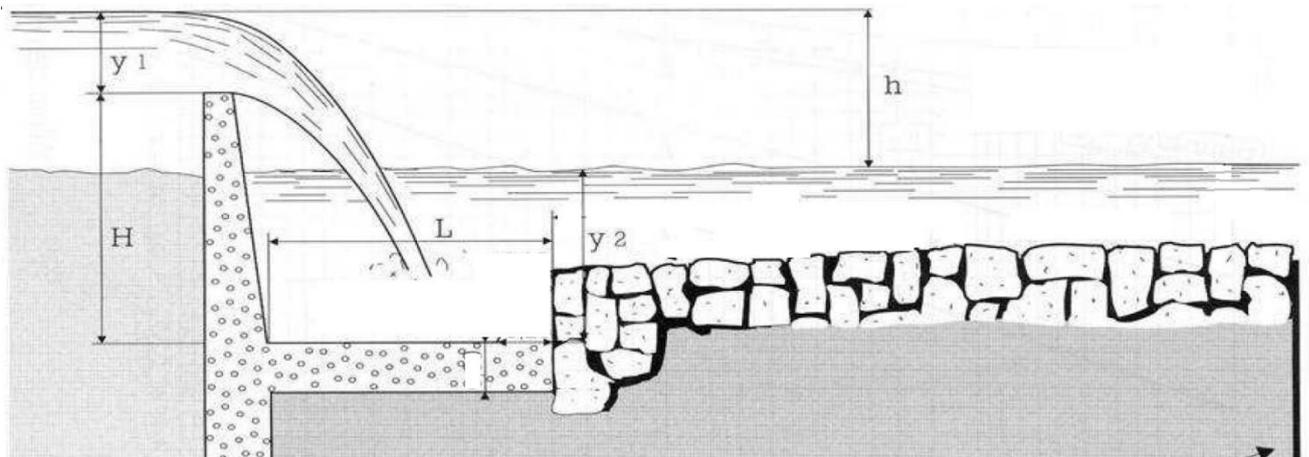


Figure 22: Présentation du bassin de dissipation présent sur la retenue actuellement

✚ Calcul de la hauteur d'eau sur la digue

Nous avons utilisé la formule ci-dessous

$$Q_{\text{laminé}} = m * L * y_1 * \sqrt{2 * g * h}$$

$$L = \frac{Q_{\text{laminé}}}{m * y_1 * \sqrt{2 * g * h}}$$

- L : longueur du déversoir en mètre = 30 m
- g : 10 m/s²
- m= 0.36
- h : charge sur le seuil
- $Q_{\text{laminé}} = 42 \text{ m}^3/\text{s}$

$$y_1^3 = \frac{Q_{\text{laminé}}^2}{2 * m^2 * L^2 * g}$$

Après application on obtient

$$y_1 = 0.896 \text{ m soit } 0.9 \text{ m}$$

✚ Calcul de la profondeur y_2

A partir des observations sur le terrain, nous avons pu mesurer la hauteur y_2 .

Cette profondeur a été fixée après observation dans le bassin de dissipation existant des marques d'eaux laissée après la période de crue

Nous fixons donc la valeur de y_2 à 1.5 m, valeur mesurée depuis le fond du bassin existant.

Alors $h = H + y_1 - y_2$ avec $H = 2,5$ m et $y_1 = 1.5$ m

Donc $h = 2$ m

✚ Calcul de la profondeur critique

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{laminé}}^2}{g}}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{42^2}{10}}$$

$$y_c = 5.6 \text{ m}$$

A partir de l'abaque (voir annexe 14). Nous obtenons $L = 1.5$ m.

Sur le terrain nous avons pu mesurer une longueur du bassin de dissipation égale à 2 mètres, le bassin de dissipation existant peut fonctionner parfaitement sans aucune modification supplémentaire, après le rehaussement du déversoir.

VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Cette présente étude sur le rehaussement de la retenue d'eau de Kierma est une contribution au développement d'outils d'aide de décision, en vue d'élaborer un plan d'aménagement pour cette retenue qui connaît d'énormes problèmes de stockage car d'année en année le volume de stockage diminue à cause des phénomènes d'envasement et d'ensablement. Cette étude avait pour but :

- l'estimation d'impacts positifs et négatifs d'un projet de rehaussement du déversoir de la retenue.
- la proposition d'une hauteur rehaussement du déversoir afin d'augmenter le volume de stockage

Nos résultats montrent qu'un rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma de 50 cm permettra un gain important de volumes, sans trop d'impacts négatifs sur le lieu. D'un coût de réalisation estimé à sept millions quatre-vingt-dix-huit mille quatre cent cinquante-cinq (7 098 455) Francs CFA, ce rehaussement occasionnera un gain de volume de 465 846 m³ et permettra la couverture des besoins en eau pour les superficies emblavées actuellement jusqu'en 2065. Cette démarche est innovatrice en ce sens qu'elle requiert moins d'argent et de contraintes par rapport à une construction totale du barrage qui allait handicaper l'activité économique de la région et des exploitants en ce sens que l'ouvrage allait prendre beaucoup de temps pour sa mise en œuvre.

Des limites ont été rencontrées au niveau de la vérification de la stabilité de notre ouvrage une fois que le rehaussement sera réalisé. En effet, aucune documentation sur les notes de calcul de conception et de stabilités de notre ouvrage n'existe dans les archives de la Direction Générale des Aménagements et du Développement de l'Irrigation.

Nous suggérons donc une étude plus approfondie sur la stabilité du barrage avant tout rehaussement.

Du point de vue économique, aucune des techniques modernes de rehaussement énumérées dans la revue bibliographique ne conviennent pour la réalisation de notre projet.

En effet, du fait de la sédimentation, le déversoir est actuellement au même niveau que le terrain naturel (voir figure 21).

Le déversoir existant étant en béton, un simple rehaussement en béton armé directement ancré sur sa surface paraît la technique la plus économique et adaptée pour la réalisation du projet.

Aussi, un rehaussement de 50 cm devrait être réalisé au niveau de la digue avec du béton cyclopéen.

Une gestion optimale sous la supervision des autorités ainsi qu'une utilisation réglementée de la retenue permettrait aux populations d'allonger la durée de couverture des besoins, à travers :

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

- La promotion de l'économie d'eau et une optimisation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau

En effet, des actions pourraient être entreprises dans la gestion de l'irrigation, à travers son pilotage et sa modernisation à travers la création d'un réseau d'irrigation.

Aussi, l'adaptation des cultures agricole à la rareté de l'eau permettrait de réaliser de l'économie sur la ressource.

- La mise en place d'un plan d'action qui permettrait de sécuriser l'irrigation tout en réduisant la pression sur la ressource

Afin de limiter les prélèvements en période sèche et plus généralement les pressions sur le milieu, plusieurs actions pourraient être menées afin de limiter l'installation de nouveaux exploitants, ce qui retardera la croissance des besoins en eau tout en allongeant la durée de vie de la retenue.

- Gestion structurelle et collectif des ressources

Un regroupement des exploitants en association permettrait un meilleur contrôle de gestion de la retenue.

En effet, cela faciliterait leur recensement et la réglementation de l'installation de tous nouveaux exploitants. Cela faciliterait leur regroupement pour d'éventuelles formations aux techniques modernes d'irrigation.

D'ailleurs, les projets de retenue d'eaux collectives pourraient facilement bénéficier d'aides publiques dans le cadre de certains plans de développement.

- La mise en place de moyens antiérosifs

La mise en place des dispositifs antiérosifs au niveau de la retenue est aussi une autre alternatif pour allongée la durée de couverture des besoins en eau (voir annexe 13).

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- ✚ APEFE. ; 2011. Projet d'appui à la protection des retenues d'eau d'irrigation dans le bassin du Nakanbé. Dossier d'instruction du projet.
- ✚ BERE, T. B. (2012). Calibration d'un échantillonneur de ruissellement et de sédiments à partir d'un micro bassin agricole situé au niveau des berges de la retenue d'eau de Kierma, au Centre-Sud du Burkina Faso. Bobo Dioulasso : Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'Agriculture. Centre agricole polyvalent de Matourkou.
- ✚ COMPAORE, M. (1996). Cours de barrage 2ème édition. Ouagadougou : E.I.E.R.
- ✚ COULIBALY, j. (1996). Avant-projet sommaire de retenue d'eau et aménagement : Site de Kabala. Mémoire de fin d'étude .91p
- ✚ DADI. (2011). Programme de valorisation des plans d'eau. Version provisoire. Ouagadougou : MAH/DADI.
- ✚ Degoutte, G. (1992, octobre). Augmentation de la capacité des barrages ou de la sécurité des évacuateurs de crues. Bulletin de liaison du Comité Inter Afrique caraïbe d'Etudes Hydraulique, p. 36.
- ✚ DURAND. (1996). Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique. Burkina Faso. Ecole Inter Etat d'ingénieurs de l'équipement rural.292p
- ✚ FAO, (1994). Crues et apports. Manuel FAO Numéro 54.224p
- ✚ FAO. (2005). L'irrigation en Afrique en chiffres. Enquêtes AQUASTAT-2005. Italie : Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation Mondiale.
- ✚ Grésillon, J.M, Duech, C. 1996. Estimation des débits de crues sur les petits bassins versants en zone sahéliennes et tropicales. Analyse de données pour le dimensionnement.
- ✚ GUEYE, I. (2012). Barrage. Ouagadougou : Institut International de l'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE).
- ✚ HINSCHBREGGER, F., MALOUT, J., & BURHANUDDINS, S. (2003). Apport de la bathymétrie et de la géomorphologie à la géodynamique des mers de l'Est-indonésien. Bull.Soc.Géol.Fr.n°6, 545-560.
- ✚ KARAMBIRI, a. (2005). Evacuateurs de crues. Burkina Faso. Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement. 37 pages.
- ✚ Ministère de l'environnement et de l'eau. (2001). Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion.

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

- ✚ NORD, G. (2004). Projet de construction d'un ouvrage hydraulique à vocation agricole. Grenoble : Université Joseph Fourier.
- ✚ PABIOT, F. (1999). Optimisation de la gestion d'un barrage collinaire en zone semi-aride. Montpellier : Mémoire de fin d'étude. Ecole Nationale des sciences agronomiques de Montpellier. DAA physiques des surfaces naturelles et génie hydrologique (ENSAR).
- ✚ PADI. (2012). Rapport mission de la mise en place de l'échelle limnométrique au niveau de la retenue de Kierma.
- ✚ Paul Royet, P. M. (2005). Les déversoirs fusibles le sont-ils vraiment. Revue : Ingénieries Spécial, p. 55 a 63.
- ✚ RAZANAMAHANDRY, C. (2013). élaboration d'un outil d'évaluation et de planification des ressources en eau des retenues hydro-agricoles : application du modèle weap a la retenue de Kierma. Mémoire pour obtention d'un Master en Eau Fondation 2iE Ouagadougou.
- ✚ Romba, R., 2009. Mise en valeur des terres et protection des berges dans le sous bassin de Farako Ba: quelles options techniques. *Rapport de stage de Pédologie*.
- ✚ Royet, P. (Mars 1992). Hausses fusibles sur déversoirs de barrages. Augmentation de la capacité utile des retenues ou de la sécurité des évacuateurs de crue. Buletin de liaison du CIEH ouagadougou.p.36.47
- ✚ Schmengler, A. (2010). Modeling soil erosion and reservoir sedimentation at hillslope and catchment scale in semi-arid Burkina Faso. ZEF.
- ✚ VORON, H. (2009). STRATEGIE POUR LES PETITS BARRAGES EN TERRE.

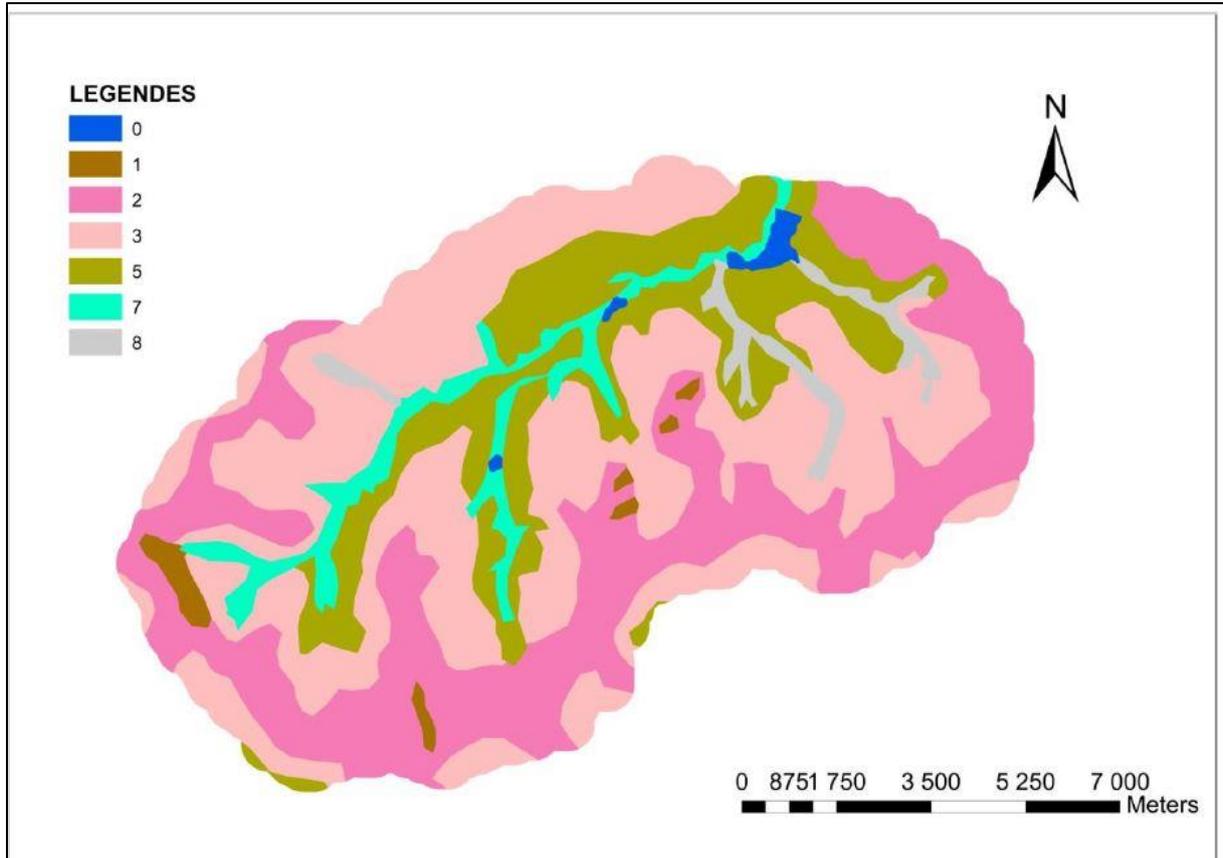
Sites internet

- ✚ CETMEF, D. (2008, Aout). Le GPS différentiel (DGPS) et temps réel (GPS RTK). Consulté le avril 6, 2015 sur <http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr>
- ✚ Hydroplus. (1991). La Hausse Fusible. Consulté le mars 8, 2015, sur <http://www.hydroplus.com>
- ✚ LACROIX, S. (2008, mai 15). Performances des hausses fusibles. Consulté le mars 2015, sur www.barrages-cfbr.eu
- ✚ Lempérière, J. (2013, juillet 15). Economie et sécurité des déversoirs du Burkina Faso. Consulté le mars 9, 2015 sur <http://fr.hydrocoop.org>

IX. ANNEXES

- Annexe 1 : Pédologie, végétation et géomorphologie du bassin versant de Kierma
- Annexe 2 : Fiche d'enquête auprès des exploitants
- Annexe 3 Note de calcul pour le traçage des graphes présentant l'offre et la demande
- Annexe 4 Tableau des calculs des courbes hypsométrique
- Annexe 5 : carte des pluies décennales ponctuelle
- Annexe 6 : abaque de détermination du coefficient de ruissèlement
- Annexe 7 Abaque de détermination du temps de base
- Annexe 8 Abaque de détermination de la crue par la méthode CIEH
- Annexe 9 : Abaque de détermination du coefficient de débit de l'évacuateur
- Annexe10 : Abaque de détermination de beta
- Annexe 11 : tableau de présentation du calcul de la longueur déversant
- Annexe 12 : Devis quantitatif et estimatif du projet
- Annexe 13 : Image d'utilisation de la retenue et des travaux de terrain
- Annexe 14 : quelques moyens antiérosifs
- Annexe 15 : Abaque de détermination des caractéristiques d'une petite chute

ANNEXE 1 : PEDOLOGIE, VEGETATION ET GEOMORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE KIERMA



«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

LEGENDE

GEOMORPHOLOGIE	UNITE CAR-TOGRAPHIQUE		SUPERFICIE		TYPES DE SOL (classification française C.P.C.S 1967)			VEGETATION	
	SYMBOLE	TRAME	ha	%	DOMINANTS	ASSOCIATIONS	INCLUSIONS		
Relief résiduel (butes et affleurements)	1		26663.92	3.90	Lithosols sur cuirasse ou sur roches.	—	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés de moins de 40cm de profondeur.	Savane arbustive à Combretumsp, Guiera sp, Detarium sp, Gardenia sp.	
Glacis	pente supérieure	2		181435.36	26.52	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés de moins de 40cm de profondeur.	—	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés d'au moins 40cm de profondeur; Sols peu évolués (d'apport colluvial modal ou d'érosion régosolique).	Savane arbustive à Acacia senegal, Sclerocarya birrea, Sterculia sp, Ptilostigma sp, Balanites sp, tapis herbacé claire à loudetia sp.
		pente moyenne	3		207931.90	30.39	Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés d'au moins 40cm de profondeur.	—	Sols ferrugineux tropicaux lessivés (indurés de moins de 40cm de profondeur, à concrétions et à tâches et concrétions). Sols peu évolués d'érosions régosolique.
	pente inférieure		4		44519.12	6.51		Sols bruns eutrophes tropicaux (hydromorphes, vertiques, peu évolués et ferruginisés).	Sols ferrugineux tropicaux lessivés (indurés d'au moins 40cm de profondeur et à tâches et à concrétions).
		5		127881.43	18.69	Sols ferrugineux tropicaux lessivés à tâches et à concrétions.	—	Sols bruns eutrophes tropicaux (hydromorphes et vertiques); Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés d'au moins 40cm de profondeur.	Champ de sorgho sous savane parc à Butyrospermum paradoxum, Parkia biglobosa, Lannea acida, Tamarindus indica, et tapisherbacé à Andropogon sp.
Ensembles fluvio-alluviaux	terrasses alluviales	6		4176.68	0.61	Sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley d'ensemble.	—	Sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphe; Sols ferrugineux tropicaux lessivés (à tâches et à concrétions et modaux).	Champ de maïs ou de sorgho sous savane parc à Butyrospermum paradoxum, Ptilostigma sp, Tamarindus indica, et parkia biglobosa.
	lit majeur d'inondation des cours d'eau principaux	7		49355.18	7.21	Sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley d'ensemble.	—	Sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes.	Rizière; Végétation ripicole à Mitragyna inermis, Butyrospermum paradoxum, Ptilostigma sp.
	vallons des cours d'eau secondaires	8		21835.93	3.19	Sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes.	—	Sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes; Sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley d'ensemble.	Savane parc à Butyrospermum paradoxum, Parkia biglobosa, Lannea acida.
	Plan d'eau		20316.82	2.97					
	Total		684116.34	100					

ANNEXE 2 : FICHE D'ENQUETE AUPRES DES EXPLOITANTS

INDENTIFICATION DES SPECULATIONS AU NIVEAU DES CULTURES PLANTEES, EN BORDURES DE LA RETENUE EN PERIODE DE CRUE				
DATE DE L'ENQUETE	28/05/2015			
NOM, PRENOM DE L'ENQUETEUR	SOMÉ Sirginou			
NOM, PRENOM et TEL DU PRODUCTEUR	Ouedraogo Issaka 9/E Ouedraogo Summida 73497312			
	CULTURES 2014			
SPECULATIONS	PERIODE (SAISON PLUVIEUSE)	SUPERFICIE	QUANTITE PRODUITE	PRIX DE VENTE
Mais	Juin - Août	1 ha	12121 épis	33F/épi
Riz	Juin - Octobre	0,1 ha	150 kg	167F/kg

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »

IDENTIFICATION DES SPECULATIONS AU NIVEAU DES CULTURES PLANTEES, EN BORDURES DE LA RETENUE EN PERIODE DE CRUE				
DATE DE L'ENQUETE	29/05/2015			
NOM, PRENOM DE L'ENQUETEUR	Kabore/sawadogo Dumou			
NOM, PRENOM et TEL DU PRODUCTEUR	Zoungrouna Bintou			
	CULTURES 2014			
SPECULATIONS	PERIODE (SAISON PLUVIEUSE)	SUPERFICIE	QUANTITE PRODUITE	PRIX DE VENTE
Riz	juin-octobre	0,10ha	100kg	140F/kg

**ANNEXE 3 NOTE DE CALCUL POUR LE TRAÇAGE DES GRAPHES
PRESENTANT L'OFFRE ET LA DEMANDE**

HAUTEUR DE REHAUSSEMENT	PERTES DE TERRE		GAINS EN VOLUME	
	HA	FRANCS CFA	M ³	FRANCS CFA
CM				
5	1,911	405 215	48 015,652	1 455 435
10	3,823	810 430	96 031,303	2 910 871
15	5,734	1 215 645	144 046,955	4 366 307
20	7,646	1 620 860	192 062,607	5 821 743
23,3	8,907	1 888 302	223 752,937	6 782 330
25	9,837	2 085 397	243 161,327	7 370 632
30	12,571	2 665 089	300 244,827	9 100 929
35	15,306	3 244 780	357 328,327	10 831 227
40	18,040	3 824 472	414 411,827	12 561 525
45	20,774	4 404 163	471 495,327	14 291 822
50	23,509	4 983 855	528 578,827	16 022 120
55	26,243	5 563 546	585 662,327	17 752 418
60	28,978	6 143 238	642 745,827	19 482 715
62,9	30,563	6 479 459	675 854,257	20 486 288
65	31,524	6 683 106	704 071,687	21 341 606

ANNEXE 4 TABLEAU DES CALCULS DES COURBES HYPOMETRIQUE

COTES	NOMBRE DE CELLULE	SURFACE PARTIELLE		SURFACE CUMULE		POURCENTAGE DES SURFACES CUMULEES
		m ²	km ²	m ²	km ²	
281	7	6585,641	0,00658564	6585,641	0,00658564	0
282,591837	630	592707,721	0,59270772	599293,362	0,59929336	0,00598188
284,183673	84	79027,696	0,0790277	678321,058	0,67832106	0,00677947
285,77551	440	413954,599	0,4139546	1092275,66	1,09227566	0,01095729
287,367347	469	441237,97	0,44123797	1533513,63	1,53351363	0,01541047
288,959184	1211	1139315,953	1,13931595	2672829,58	2,67282958	0,02690898
290,55102	803	755467,143	0,75546714	3428296,72	3,42829672	0,03453351
292,142857	2137	2010502,22	2,01050222	5438798,94	5,43879894	0,05482444
293,734694	3039	2859109,149	2,85910915	8297908,09	8,29790809	0,0836799
295,326531	1722	1620067,771	1,62006771	9917975,86	9,91797586	0,10003038
296,918367	4009	3771690,878	3,77169088	13689666,7	13,6896667	0,13809605
298,510204	2019	1899487,125	1,89948713	15589153,9	15,5891539	0,15726656
300,102041	4210	3960792,865	3,96079287	19549946,7	19,5499467	0,19724074
301,69387	2131	2004857,38	2,00485738	21554804,2	21,5548042	0,2174747

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de
Kierma »

8		6	9	1	1	
303,28571 4	4349	4091564,88 6	4,0915648 9	25646369	25,646369	0,25876868
304,87755 1	2279	2144096,66	2,1440966 6	27790465, 7	27,790465 7	0,28040791
306,46938 8	4238	3987135,43 1	3,9871354 3	31777601, 1	31,777601 1	0,32064794
308,06122 4	3620	3405717,38 1	3,4057173 8	35183318, 5	35,183318 5	0,35502003
309,65306 1	1737	1634179,85 9	1,6341798 6	36817498, 3	36,817498 3	0,37151294
311,24489 8	3849	3621161,93 3	3,6211619 3	40438660, 3	40,438660 3	0,4080594
312,83673 5	2219	2087648,30 6	2,0876483 1	42526308, 6	42,526308 6	0,42912892
314,42857 1	4569	4298542,18 6	4,2985421 9	46824850, 8	46,824850 8	0,47251182
316,02040 8	2401	2258874,98 1	2,2588749 8	49083725, 7	49,083725 7	0,49530944
317,61224 5	4946	4653226,01 2	4,6532260 1	53736951, 8	53,736951 8	0,54227198
319,20408 2	5209	4900657,96 6	4,9006579 7	58637609, 7	58,637609 7	0,59173171
320,79591 8	2804	2638019,76 1	2,6380197 6	61275629, 5	61,275629 5	0,61835584
322,38775 5	5499	5173491,67 9	5,1734916 8	66449121, 2	66,449121 2	0,67056913
323,97959 2	2555	2403759,09 1	2,4037590 9	68852880, 3	68,852880 3	0,69482899
325,57142 9	5058	4758596,27 4	4,7585962 7	73611476, 5	73,611476 5	0,74285497
327,16326 5	2448	2303092,85 9	2,3030928 6	75914569, 4	75,914569 4	0,76609886

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de
Kierma »

328,75510 2	4583	4311713,46 8	4,3117134 7	80226282, 9	80,226282 9	0,80961469
330,34693 9	2084	1960639,50 9	1,9606395 1	82186922, 4	82,186922 4	0,82940238
331,93877 6	3554	3343624,19 1	3,3436241 9	85530546, 6	85,530546 6	0,8631478
333,53061 2	2793	2627670,89 6	2,6276709	88158217, 4	88,158217 4	0,88966748
335,12244 9	1162	1093216,46 3	1,0932164 6	89251433, 9	89,251433 9	0,90070073
336,71428 6	2442	2297448,02 3	2,2974480 2	91548881, 9	91,548881 9	0,92388765
338,30612 2	1108	1042412,94 4	1,0424129 4	92591294, 9	92,591294 9	0,93440817
339,89795 9	1952	1836453,12 9	1,8364531 3	94427748	94,427748	0,95294252
341,48979 6	881	828850,003	0,82885	95256598	95,256598	0,96130766
343,08163 3	1614	1518460,73 3	1,5184607 3	96775058, 7	96,775058 7	0,97663267
344,67346 9	681	640688,822	0,6406888 2	97415747, 6	97,415747 6	0,98309881
346,26530 6	849	798744,214	0,7987442 1	98214491, 8	98,214491 8	0,99116011
347,85714 3	496	466639,73	0,4666397 3	98681131, 5	98,681131 5	0,99586965
349,44898	152	143002,498	0,1430025	98824134	98,824134	0,9973129
351,04081 6	175	164641,034	0,1646410 3	98988775	98,988775	0,99897453
352,63265 3	32	30105,789	0,0301057 9	99018880, 8	99,018880 8	0,99927838
354,22449	53	49862,713	0,0498627	99068743,	99,068743	0,99978161

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de
Kierma »

			1	5	5	
355,81632 7	10	9408,059	0,0094080 6	99078151, 6	99,078151 6	0,99987656
357,40816 3	10	9408,059	0,0094080 6	99087559, 7	99,087559 7	0,99997151
359	3	2822,418	0,0028224 2	99090382, 1	99,090382 1	1

ANNEXE 5 : CARTE DES PLUIES DECENNALES PONCTUELLE

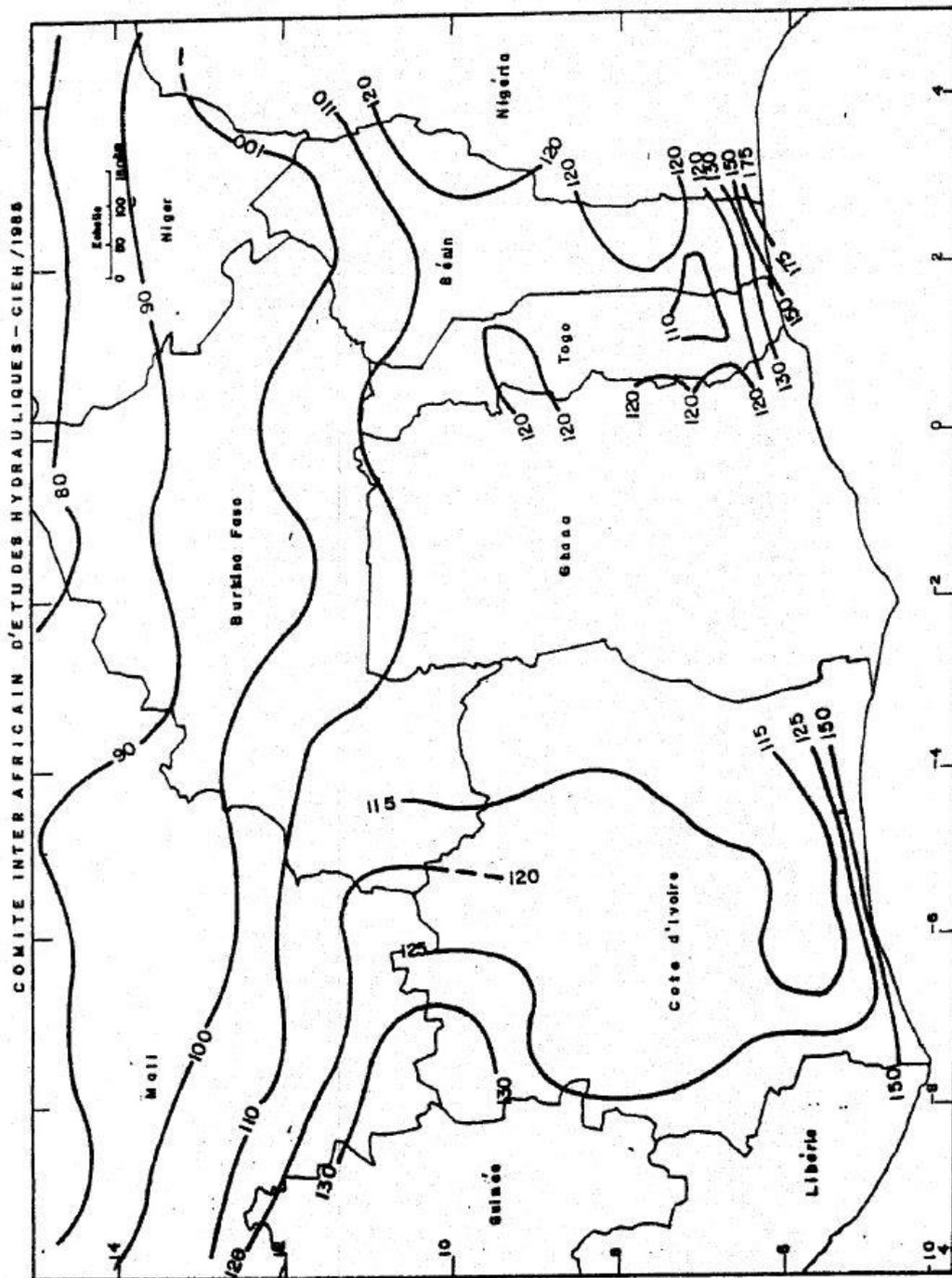
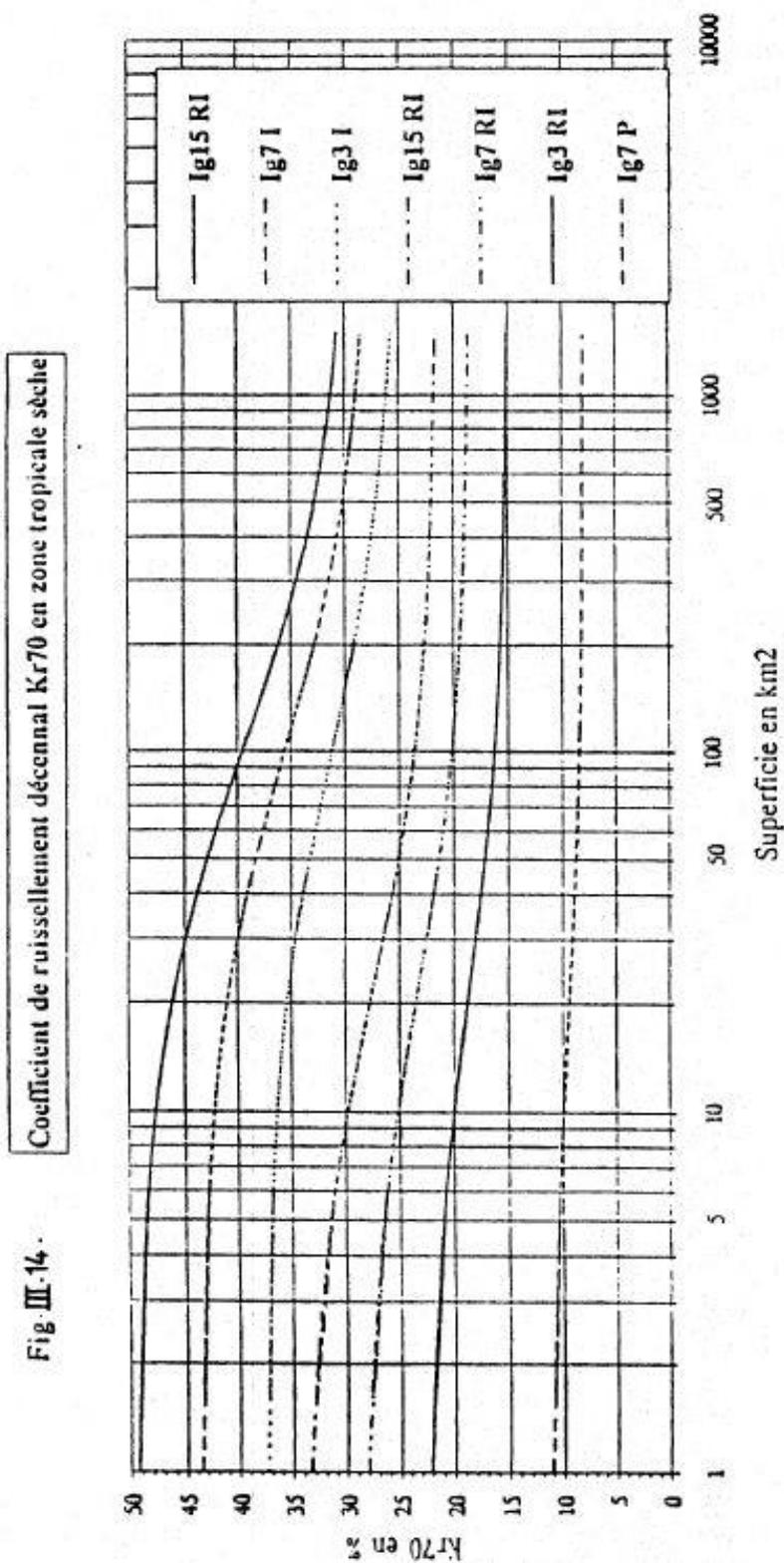
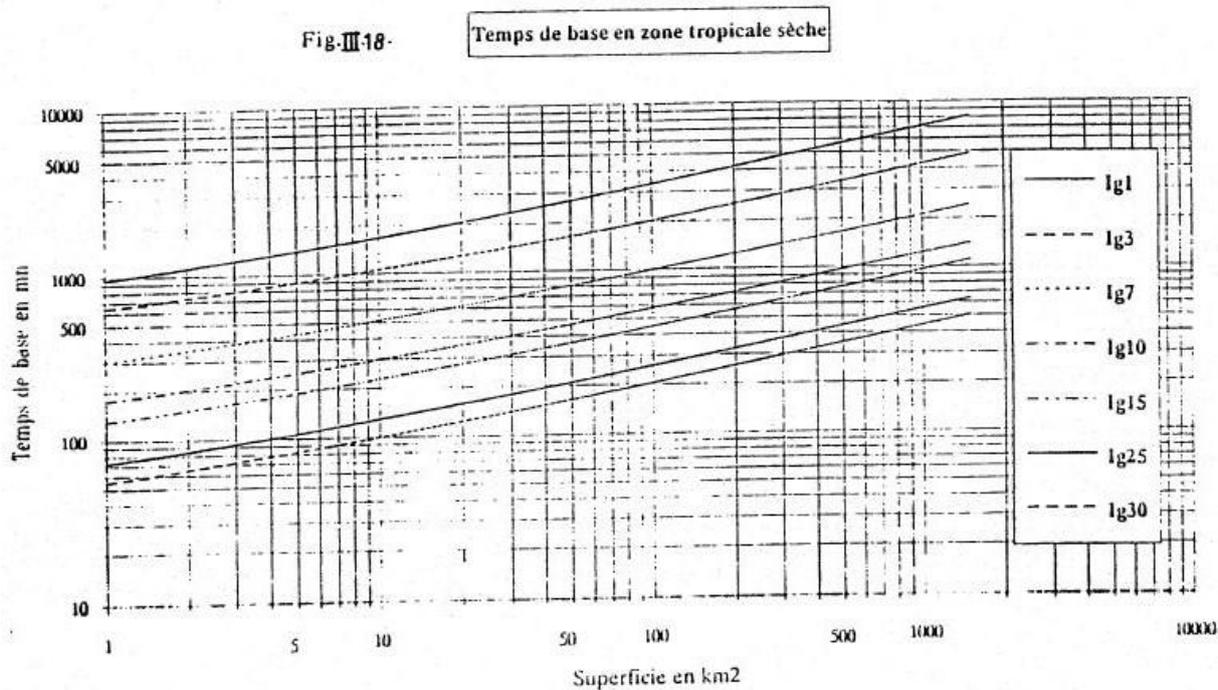


Fig. III.8. ISOHYETES DES PLUIES JOURNALIERES DE FRÉQUENCES DÉCENNALES (P10 EN MM)

ANNEXE 6 : ABAQUE DE DETERMINATION DU COEFFICIENT DE RUISSELEMENT



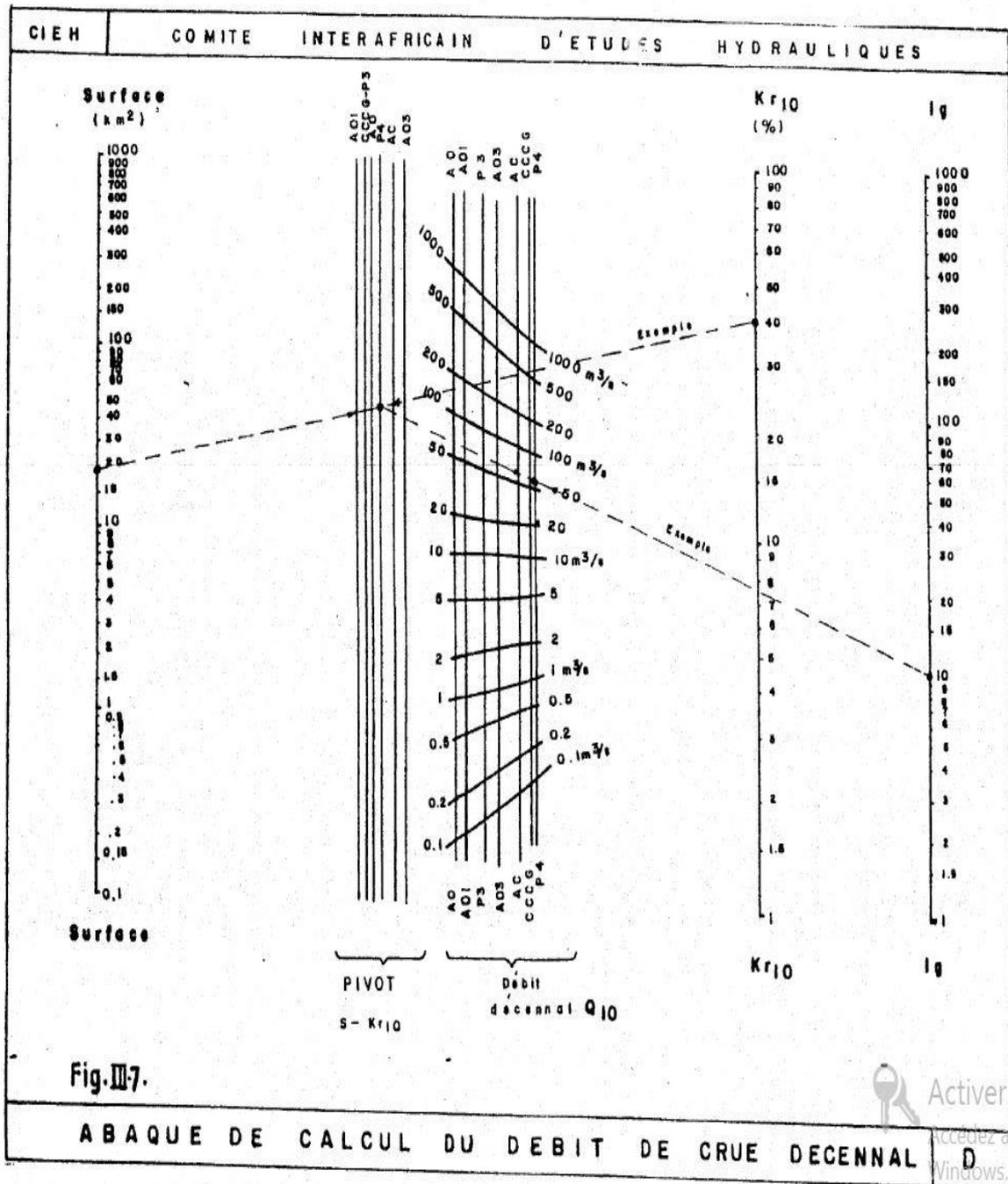
ANNEXE 7 ABAQUE DE DETERMINATION DU TEMPS DE BASE



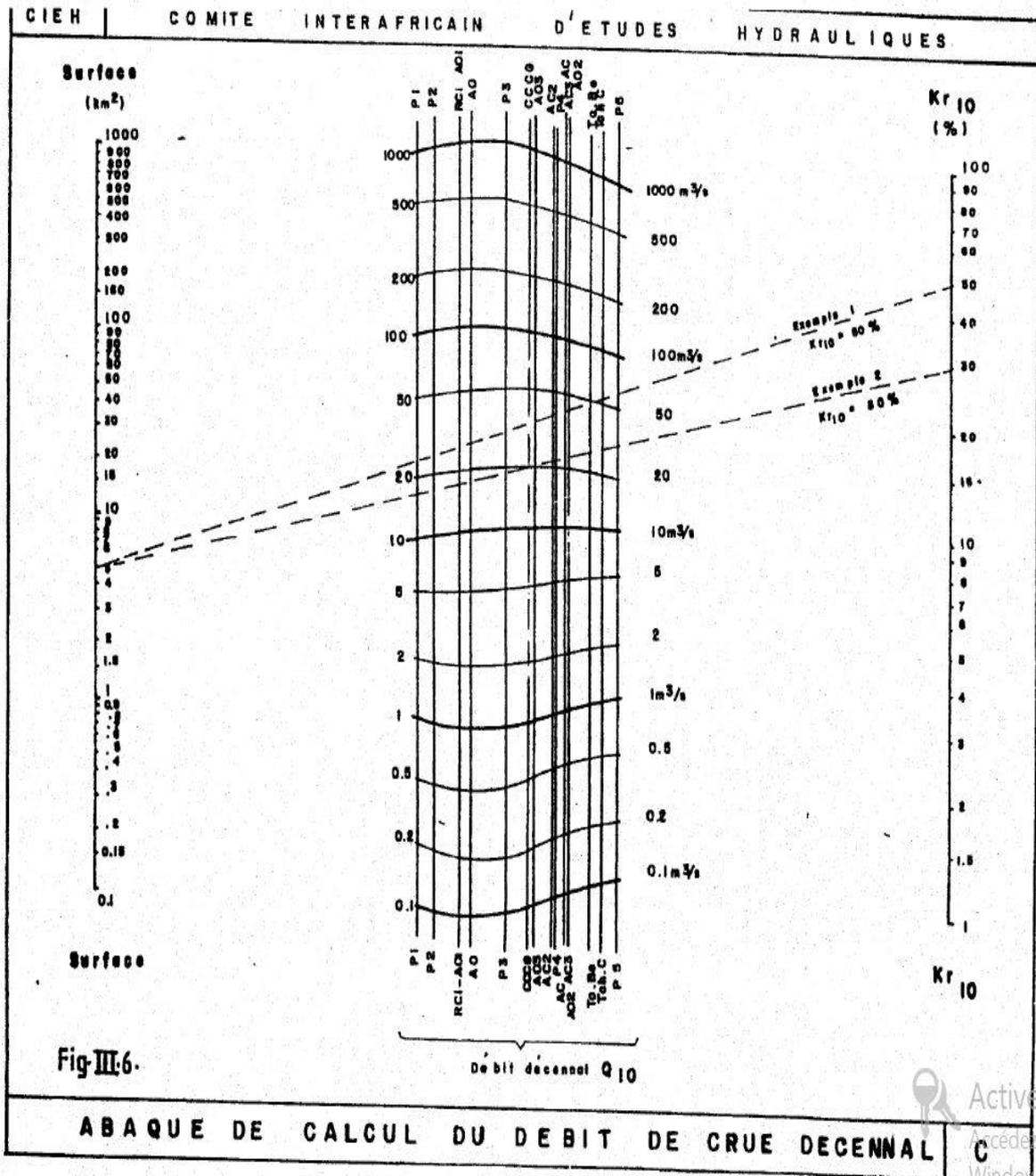
ANNEXE 8 ABAQUE DE DETERMINATION DE LA CRUE PAR LA METHODE CIEH

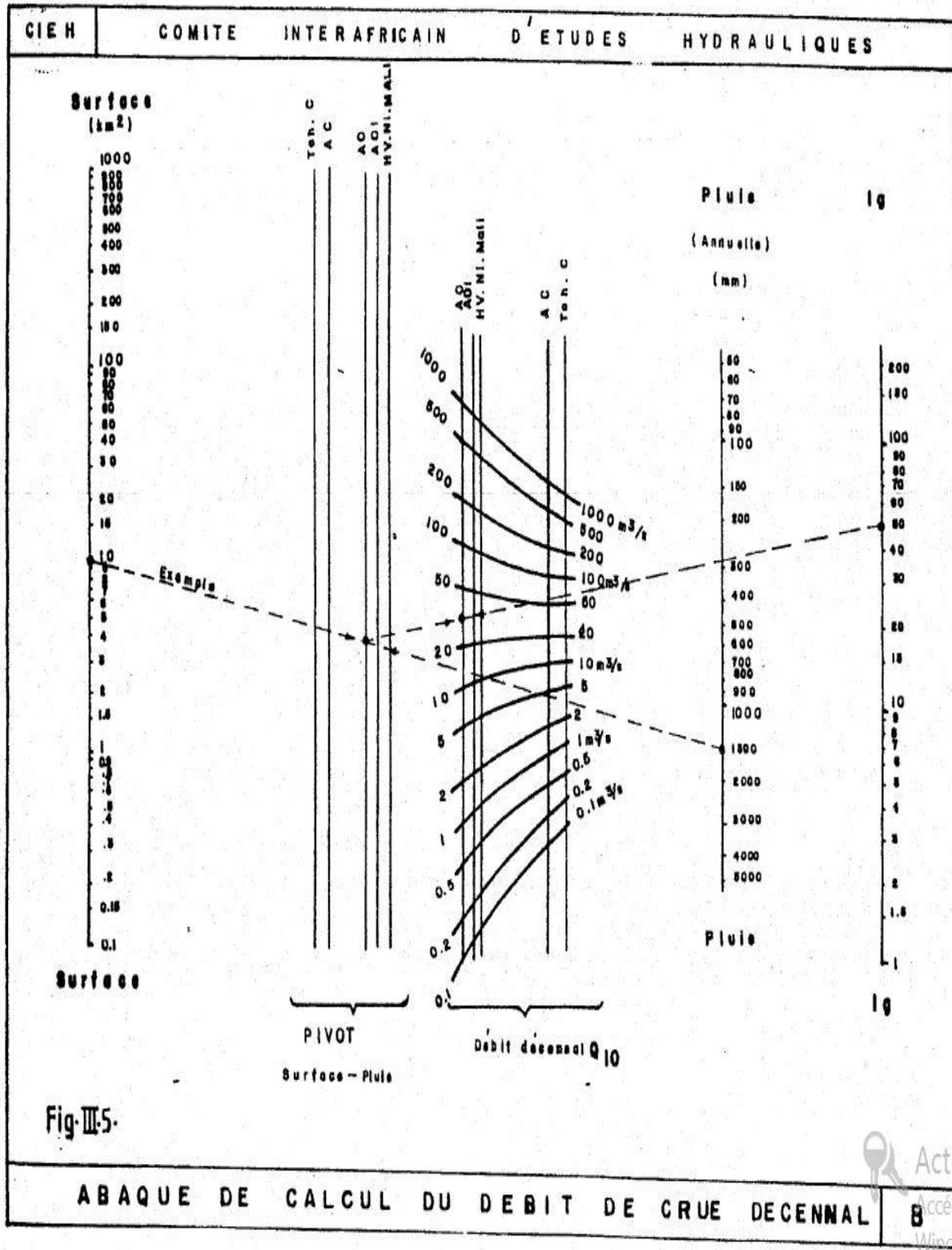
symbole	désignation	voir abaque
AO	Afrique de l'Ouest	BCD
AO1	" $P < 1\ 200$ mm	ABCD
AO2	" $1\ 200 < P < 1\ 600$ mm	C
AO3	" $P > 1\ 200$ mm	CD
AO4	" $P > 1\ 600$ mm	pas de résultats
AC	Afrique Centrale	BCD
AC1	" $P < 1\ 200$ mm	A
AC2	" $1\ 200 < P < 1\ 600$ mm	CD
AC3	" $P > 1\ 200$ mm	AC
AC4	" $P > 1\ 600$ mm	A
P1	pluviométrie annuelle > 400 mm	AC
P2	$400 < P < 800$ mm	AC
P3	$800 < P < 1\ 200$ mm	ACD
P4	$1\ 200 < P < 1\ 600$ mm	CD
P5	$P > 1\ 600$ mm	C
HV	Haute-Volta	A
Ni	Niger	A
HV.Ni.Ma	Haute-Volta + Niger + Mali	AB
Séné.Ma.Mau	Sénégal + Mali + Mauritanie	pas de résultats
To.Bé.	Togo + Bénin	C
RCI	Côte-d'Ivoire	C
CCCG	Congo, Sud-Cameroun*, Centrafrique, Gabon	CD
Tchad.C.	Tchad + Nord-Cameroun*	BC

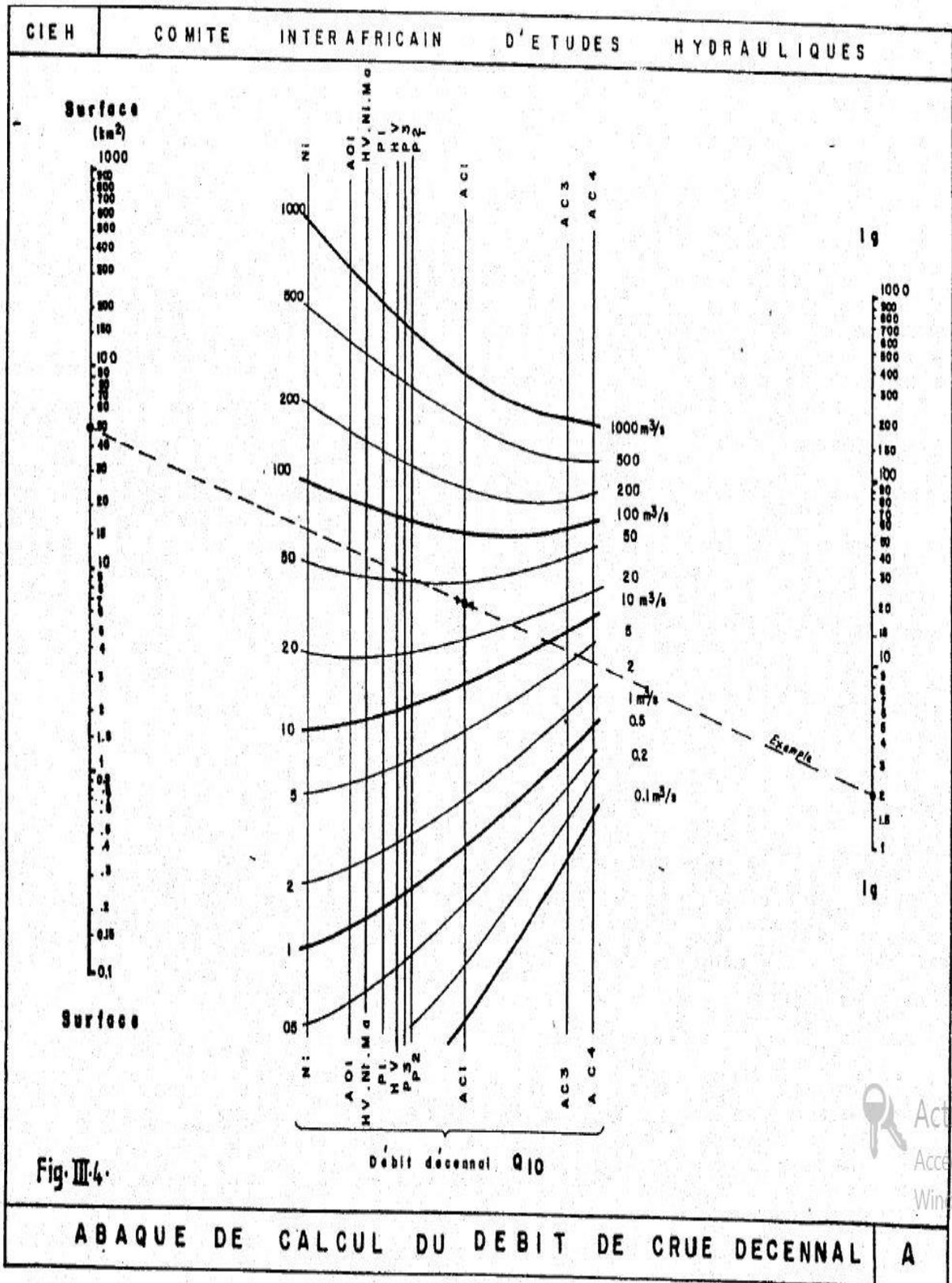
«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »



«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de Kierma »







ANNEXE 9 : ABAQUE DE DETERMINATION DU COEFFICIENT DE DEBIT DE L'EVACUATEUR

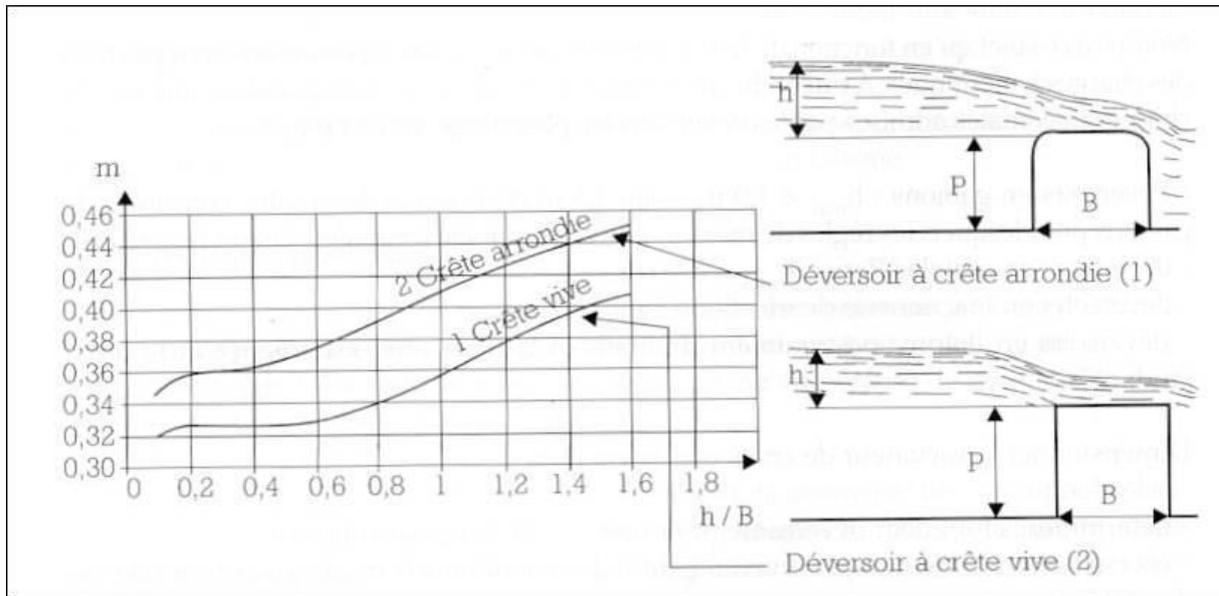
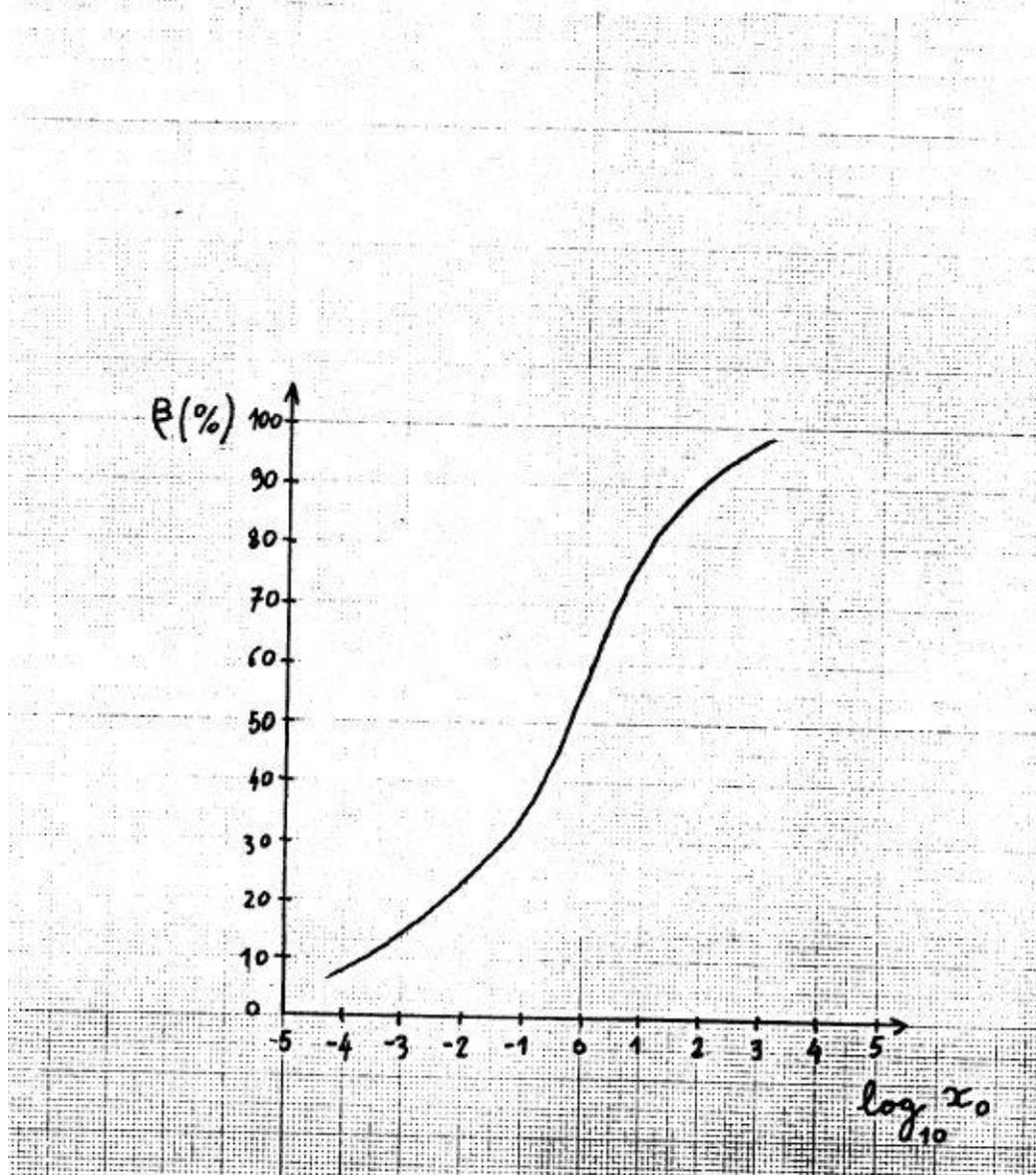


Fig. II.3. **COEFFICIENT DE LAMINAGE**



ANNEXE 11 : TABLEAU DE PRESENTATION DU CALCUL DE LA LONGUEUR DEVERSANT

L	X0	LOG10(X0)	BETA	QE
159,354	327,004	2,515	0,950	208,098
151,386	295,121	2,470	0,930	203,717
148,199	282,825	2,452	0,910	199,336
145,012	270,792	2,433	0,890	194,955
141,825	259,019	2,413	0,870	190,574
138,638	247,509	2,394	0,850	186,193
135,451	236,260	2,373	0,830	181,812
132,264	225,273	2,353	0,810	177,431
129,076	214,547	2,332	0,790	173,050
125,889	204,083	2,310	0,770	168,669
122,702	193,880	2,288	0,750	164,288
119,515	183,939	2,265	0,730	159,907
116,328	174,260	2,241	0,710	155,526
113,141	164,842	2,217	0,690	151,145
109,954	155,686	2,192	0,670	146,764
106,767	146,792	2,167	0,650	142,383
103,580	138,159	2,140	0,630	138,002
100,393	129,788	2,113	0,610	133,621
97,206	121,678	2,085	0,590	129,240
94,019	113,830	2,056	0,570	124,859
90,832	106,243	2,026	0,550	120,478
87,645	98,919	1,995	0,530	116,097
84,457	91,855	1,963	0,510	111,716

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de
Kierma »

81,270	85,054	1,930	0,490	107,335
78,083	78,514	1,895	0,470	102,954
74,896	72,235	1,859	0,450	98,573
71,709	66,218	1,821	0,430	94,192
68,522	60,463	1,781	0,410	89,811
65,335	54,969	1,740	0,390	85,430
62,148	49,737	1,697	0,370	81,049
58,961	44,767	1,651	0,350	76,668
55,774	40,058	1,603	0,330	72,287
52,587	35,611	1,552	0,310	67,906
49,400	31,425	1,497	0,290	63,525
46,213	27,501	1,439	0,270	59,144
43,025	23,839	1,377	0,250	54,763
39,838	20,438	1,310	0,230	50,382
36,651	17,298	1,238	0,210	46,001
33,464	14,421	1,159	0,190	41,620
30,277	11,805	1,072	0,190	41,620

«Étude technique et socio-économique du rehaussement du déversoir de la retenue de
Kierma »

Annexe 12 : Devis quantitatif et estimatif du projet

DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL
BETON CYCLOPEEN	M ³	75	93 000	6 975 000
BETON ARME (DOSE A 300KG/M3)	M ³	7,5	120 000	108 750
INSTALLATION DE CHANTIER		1	7 351	7 351
REPLI DE CHANTIER		1	7 354	7 354
IMPREVUS		10% TOTAL		70 984,55
TOTAL				7 098 455

ANNEXE 13 : IMAGE D'UTILISATION DE LA RETENUE ET DES TRAVAUX DE TERRAIN



Aperçu du type d'habitation présent sur les berges de la retenue



Aperçu des paysans en pleine récolte d'oignon sur l'une des berges de la retenue



Aperçu du type de pompe utilisé par les exploitants



Aperçu de la longueur des PVC utilisé, pouvant atteindre des centaines de mètres



Aperçu d'une récolte prête à être vendue sur le marché

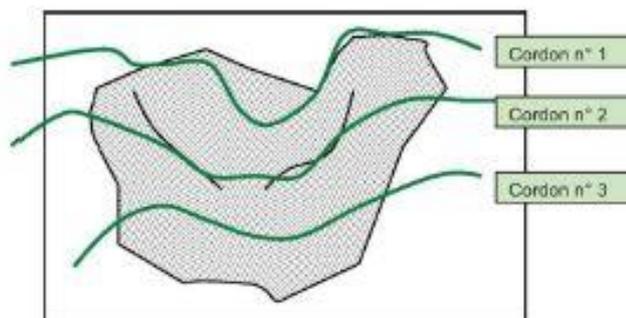


Aperçu d'une rencontre avec les exploitants

ANNEXE 14 : QUELQUES MOYENS ANTIEROSIFS

❖ Cordon de paille :

Le cordon de paille est une rangée de paille fixée par des piquets suivant les courbes de niveau. Cette mesure consiste à ralentir la force de l'eau à travers la régénération d'une couverture végétale.



Cordon de Pierre

Source : PLAE, 2008

❖ Diguette en pierres

La diguette en pierres est un dispositif filtrant construit avec des cailloux. Elle est aussi installée suivant les courbes de niveau mais l'écartement entre deux diguette est beaucoup plus large.



Diguette de pierre

Source : PLAE, 2008

❖ Haies antiérosives

Utilisation de plante à racine très développée comme le Vétiver et le Sisal. Ces haies doivent avoir une bonne reprise et une bonne fermeture.



Eclat de souche du vétiver et le développement de son système racinaire

Source : PLAE, 2008

ANNEXE 15 : Abaque de détermination des caractéristiques d'une petite chute

