



**ETUDE DE MISE EN PLACE DE SEUILS D'EPANDAGE A ZAM EN
AMONT DU BARRAGE DE MOGTEDO DANS LA PROVINCE DU
GANZOURGOU.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER D'INGENIERIE
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES**

Présenté et soutenu publiquement le 07 novembre 2016 par :

Jean Emmanuel KABORE

Travaux dirigés par :

Dr. Dial NIANG,

Enseignant-chercheur (Département Génie Civil et Hydraulique / Fondation 2iE)

M. Francis GUYON,

Assistant Technique (PADI/DGADI)

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr Amadou KEITA**

Membres et correcteurs : **Dr Tazen FOWE**
M. Moussa LO

Promotion 2015/2016

DEDICACES/ REMERCIEMENTS

Je dédie ce travail à mes parents, mes frères et sœurs, à la grande famille KABORE à Tuiré.

A ma femme qui a toujours été à mes côtés.

A mon fils Barkwendé Sean Rayann et à ma fille Wendguuda Audrey Mariam.

A ma belle-famille BOUDA.

A mes amis plus particulièrement mes amis du « Au Royaume ».

J'adresse mes remerciements les plus sincères, à monsieur **Francis GUYON**, assistant technique APEFE du PADI au Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques du Burkina Faso pour sa confiance, ses conseils, ses remarques et sa disponibilité.

Je tiens à remercier particulièrement au Dr. **Dial NIANG**, qui a très volontiers accepté d'être mon directeur de mémoire. Sa grande connaissance dans le domaine a joué un rôle important dans la conception de ce projet.

Je voudrais également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques critiques.

A tous mes enseignants du 2iE, à tous mes promotionnaires et collaborateurs, je les dis énormément merci.

RESUME

Cette présente étude a été menée dans la région du Plateau central au Burkina Faso en amont du barrage de Mogtédó situé dans le bassin versant de Bomboré. Cet ouvrage connaît depuis des années d'énormes difficultés liées à l'importance de la dégradation continue des sols avec comme conséquences un envasement de la retenue. Face à une telle situation, la capacité de stockage diminue d'année en année et les populations exploitant cette retenue n'arrivent plus à conduire correctement leurs activités agricoles. Face à une telle situation, plusieurs approches ont été initiées en vue de corriger ce déséquilibre. C'est dans ce contexte que cette recherche a été initiée et à travers des études hydrologiques, hydrauliques et de Génie Civil pour proposer un schéma d'aménagement qui repose sur la construction de trois seuils d'épandage. Ces seuils permettront d'épandre les crues, de retenir les sédiments mais aussi de faciliter le franchissement des cours d'eau.

Les seuils 1, 2 et 3 retenus seront construits sur le cours d'eau en matériau local (moellons) et recevront les eaux des bassins versants de superficies respectives de l'ordre de 6.02, 13.90 et 89.42 km². Quant aux longueurs des seuils, elles sont respectivement de l'ordre de 46, 10 et 290 m. Les seuils 1 et 3 qui représentent des déversements libres ont respectivement des débits de 20 et 102 m³/s tandis que le seuil 2 qui représente un ressaut a pour débit 30 m³/s.

Ces trois ouvrages réalisés par l'approche de haute intensité de main d'œuvre, en maçonnerie et en gabion de moellons ont un coût global estimatif d'environ 79 millions francs CFA avec le seuil 3 qui coûte à lui seul 61,5 millions de francs CFA car il est très long et au niveau de cette section le cours d'eau se subdivise en deux bras.

Pour garantir la pérennité de ces ouvrages, le Comité Local de l'Eau de la Bomboré assurera l'entretien à travers un groupement local. Les attributions du comité seront complétées par un encadrement des services techniques étatiques de la localité.

Mots Clés :

-
- 1 - Seuil d'épandage**
 - 2 - Aménagement de bas-fonds**
 - 3 - Mogtédó**
 - 4 - Erosion**
 - 5 - Envasement**

ABSTRACT

This present memory was conducted in the Central Plateau region of Burkina Faso, upstream above the Dam of Mogtédó located in the Bombore watershed. This infrastructure has known, since more years, enormous difficulties related to the soil continuous degradation, which has consequences the siltation of the reservoir. Faced with such a situation, the storage capacity decreases from year to year and people exploiting this restraint can no longer properly conduct their farming activities. In this situation, several approaches have been initiated to address this imbalance. It is in this context that this research was initiated and through hydrological, Hydraulic and Civil Engineering has proposed a development plan based on the construction of three weirs. These weirs will spread floods, retain sediment but also to facilitate the crossing of rivers.

The weirs 1, 2 and 3 selected are built on the river in local material (stones) and receive water from the watershed have areas respectively of the order of 6.02, 13.9 and 89.42 km². The respective lengths of weirs are 46, 10 and 290 m. The weirs 1 and 3 which represent free waterfall respectively have flow rates of 20 and 102 m³/s while the weirs 2, which shows stilling basin has to flow 30 m³/s.

These three infrastructures built by the high intensity approach of manpower in masonry and stones gabion have a total estimated cost of around 79 million CFA with the weirs 3 which alone cost 61.5 million because it is very long and in this section of the river is divided into two arms.

The CLE will maintain through local group to ensure the sustainability of these infrastructures. These allocations CLE will be complemented by a coordination of technical services of the state

Keywords :

-
- 1 - Water-spreading Weirs**
 - 2 – Development of valley**
 - 3 - Mogtédó**
 - 4 – Erosion**
 - 5 - Siltation**

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
APEFE	Association pour la Promotion de l'Education et de la Formation à l'Etranger
AUF	Agence Universitaire de la Francophonie
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
Certu	Centre d'Etudes sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
CIEH	Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CLE	Comité Local de l'Eau
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
DGADI	Direction Générale des Aménagements et du Développement de l'Irrigation
FAO	Food and Agriculture Organization of United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
GPS	Global Positioning System (Système mondial de positionnement)
HIMO	Haute d'Intensité de Mains d'Œuvre
INO	Inventaire National des Ouvrages (hydraulique)
IRH	Infrastructures et Réseaux Hydrauliques
MNT	Modèle Numérique de Terrain
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PADI	Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation
PHE	Plus Hautes Eaux
PNSR	Programme Nationale du Secteur Rural
SIG	Système d'Information Géographique
WBI	Wallonie-Bruxelles International

LISTE DES SYMBOLES

Symbole	Définition	Unité
A	Coefficient d'abattement ;	-
C	Coefficient dépendant de la nature du terrain, on a $C = 2.5$ pour les sols argilo-limoneux	-
Dd	Densité de drainage	km^{-1} .
F_r	Facteur de sécurité au renversement	-
g	Accélérateur de la pesanteur ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) ;	m/s^2
h	Hauteur de la lame d'eau déversante	m
H	Hauteur en amont du déversoir	m
I	Pente du chenal ou du terrain	m/m
Ig	Indice global de pente	m/km
K	Coefficient de Manning – Strickler	-
K_{r10}	Coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale	%
L	Longueur déversante	m
m	Coefficient de débit du seuil	-
P₁₀	Hauteur de pluie journalière décennale	mm
P_{m10}	Hauteur de pluie journalière décennale moyenne sur le bassin	mm
Q	Débit	m^3/s
q	Débit par unité de longueur	m^3/s
Q₁₀	Débit de crue décennal	m^3/s
Q_{r10}	Débit de crue ruisselé décennal	m^3/s
R	Rayon hydraulique en m par la formule	m
S	La superficie du bassin versant	km^2
Sm	Section mouillée	m^2
T_{b10}	Le temps de base correspondant à la crue décennale	mn
U	Forces de sous-pressions	KN/ml
W	Forces verticales	KN/ml
y₂	Tirant d'eau conjugué	m
y_c	Profondeur critique	m
y_n	Profondeur normale d'eau	m
α_{10}	Coefficient de pointe correspondant à la crue décennale	-
L_v	Longueur de cheminements verticaux	m
L_h	Longueur de cheminements horizontaux	m
F_g	Facteur de sécurité au glissement	-
ΣP	Somme des forces horizontales de poussée	KN/ml
ϕ	Angle de frottement interne des terres	°
ΣM_s	Somme des moments stabilisant	KN.m
ΣM_r	Somme des moments renversant	KN.m
ΣF_v	Somme des forces verticales	KN/ml

LISTE DES EQUATIONS

Équation 1 : Débit de pointe décennale (ORSTOM)	12
Équation 2 : Débit de pointe décennal (CIEH)	12
Équation 3: Ecoulement sur seuil dénoyé	13
Équation 4: Formule de Manning-Strickler	14
Équation 5: Profondeur critique	14
Équation 6 : Débit par unité de longueur déversante	15
Équation 7: Formule pour le calcul de la profondeur du bassin de dissipation	15
Équation 8 : Hauteur maximum affouillable.....	16
Équation 9: Règle de LANE	17
Équation 10 : Facteur de sécurité au glissement	17
Équation 11 : Facteur de sécurité au renversement.....	17

TABLE DES MATIERES

DEDICACES/ REMERCIEMENTS	i
RESUME	ii
ABSTRACT	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	iv
LISTE DES SYMBOLES	v
LISTE DES EQUATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
I. INTRODUCTION	1
1.1. Contexte	1
1.2. Problématique et justification	1
1.3. Objectifs de l'étude	2
1.4. Synthèse bibliographique	3
II. MATERIEL ET METHODOLOGIE	4
2.1. Présentation générale de la zone d'étude	4
2.1.1. Localisation	4
2.1.2. Climat, végétation	4
2.1.3. Pédologie	5
2.1.4. Géomorphologie et Hydrologie	5
2.1.5. Caractérisation des sites d'étude	7
2.1.6. Milieu humain	8
2.2. Matériel	8
2.2.1. Matériel de topographie et de géolocalisation	8
2.2.2. Matériel informatique	9
2.3. Méthodologie	9
2.3.1. Revue documentaire	9
2.3.2. Identification des emplacements des seuils	9
2.3.2.1. Sorties terrain	9
2.3.3. Conception et dimensionnement des seuils	11
2.3.3.1. Détermination de la crue de projet	11
2.3.3.2. Dimensionnement des seuils	13
2.3.4. Vérification de la stabilité des seuils	16
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	18
4.1. Diagnostic socio-économique	18

4.2. Conception des seuils	20
4.2.1. Emplacements des seuils	20
4.2.2. Prospection géotechnique	22
4.2.3. Etudes hydrologique et hydraulique	23
4.2.4. Dimension des seuils	27
4.2.5. Stabilité des seuils	31
4.2.6. Coût des travaux	34
4.3. Etude d'impact sur l'environnement	35
4.4. Système de suivi de gestion et entretien des seuils	38
IV. CONCLUSION	39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40
ANNEXES	41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Récapitulatif des travaux de topographie.....	10
Tableau 2:Dimensions principales en cm, en fonction de la hauteur (classification selon Heinz Bender)	13
Tableau 3 : Classification de type de bassin de dissipation selon Heinz BENDER (2009)	16
Tableau 4 : Caractéristiques des sections des cours d'eau aux emplacements des seuils	20
Tableau 5 : Caractéristiques des bassins versants	25
Tableau 6: Paramètres pour le calcul de Q_{10} (ORSTOM)	25
Tableau 7: Paramètres pour le calcul de Q_{10} (CIEH).....	26
Tableau 8 Coefficient de l'équation 2 (tableau 11 du bulletin 54 de la FAO)	26
Tableau 9 : Débits de crue décennal	26
Tableau 10: Longueur déversante des seuils.....	27
Tableau 11 : Débit évacué par le seuil 2 à la cote 190 cm	27
Tableau 12 : Débit évacué par le seuil 2 à la cote 195 cm	28
Tableau 13 : Dimensions des déversoirs des trois seuils	28
Tableau 14 : Valeurs des profondeurs critiques des chenaux	28
Tableau 15: Dimensions (cm) du bassin de dissipation du seuil 1(lit mineur).....	29
Tableau 16: Dimensions des bassins de dissipation au niveau des ailes (lit majeur)	30
Tableau 17 : Dimensions du bassin de dissipation en aval du seuil 3	30
Tableau 18:Hauteurs affouillables des seuils.....	30
Tableau 19: Vérification de la stabilité du seuil 1	31
Tableau 20: Vérification de la stabilité seuil 2	32
Tableau 21: Vérification de la stabilité du seuil 3	33
Tableau 22: Vérification de la règle de LANE	34
Tableau 23: Devis estimatif pour la construction du seuil 1	34
Tableau 24: Devis estimatif pour la construction du seuil 2.....	34
Tableau 25: Devis estimatif pour la construction du seuil 3.....	35
Tableau 26 : Impact environnemental de la mise en place des seuils.....	35
Tableau 27: Impacts positifs par milieu.....	37

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de la localisation de la zone d'étude.....	4
Figure 2: Carte de l'occupation des sols	5
Figure 3: Carte du réseau hydrographique et de la géologie.....	6
Figure 4:Emplacement des sites.....	7
Figure 5:Niveau LEICA SPRINTER 150M	8
Figures 6 : Vues en plan de l'emplacement des seuils : seuil 1 (a), seuil (b) et seuil 3 (c).	11
Figure 7 : Dimensionnement des bassins de dissipation à radier revêtu.....	15
Figure 8 : Seuils construit par la population : site 1 (a) et site 2 (b).....	19
Figure 10 : Puits et abreuvoir construit par la population pour l'abreuvement des animaux au site 3 ...	19
Figure 10 : Profils en travers des cours d'eau : seuil 1 (a), seuil 2 (b) et seuil 3 (c).	21
Figure 11: Zone d'emprunt pour le sable	22
Figure 12 : Coupes lithologiques réalisées à Zam (source : PADI 2015).....	23
Figure 13 : Bassin versants des seuils à partir de : Arc GIS (a) et Global Mapper (b).....	24
Figure 14: Descente des charges seuil 1	31
Figure 15: Descente des charges seuil 2	32
Figure 16:Descente des charges seuil 3	33

I. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Depuis les années 1950, le Burkina Faso, à l'instar des autres pays sahéliens d'Afrique occidentale, connaît d'énormes modifications de ses ressources naturelles. Les aléas climatiques représentent une des causes principales de cette situation. Ils ont créé un déséquilibre dans la préservation de l'intégrité environnementale et la gestion durable des ressources naturelles. En effet, comme Roose l'a cité en 2009, les sécheresses de plus en plus longues et fréquentes ne font que creuser l'écart entre la biomasse produite et les besoins de consommation. Face à cette situation, l'agriculture qui contribue à hauteur de 34% au PIB (PNSR 2011-2015) du Burkina, est irrémédiablement affectée à cause de sa dépendance avec la pluviométrie car l'essentiel de la production est fourni par les cultures pluviales.

Pour marquer sa contribution à la restauration de cet équilibre, la DGADI, avec l'appui de l'APEFE, a mis en œuvre depuis 2011 le Programme d'Appui au Développement à l'Irrigation (PADI). Un des axes du programme qui est le résultat BF103 vise principalement le développement d'outils d'aide à la décision pour la limitation de la sédimentation des retenues d'eau à travers l'aménagement des terres et des berges des cours d'eau à l'échelle des bassins versants alimentant les retenues. Ces outils seront mis à profit à travers l'élaboration de plans d'aménagement pour trois (3) sites pilotes dont celui de Mogtédou. Ces plans d'aménagement intégreront plusieurs types de mesures dont les aménagements de seuils dans les bas-fonds. Ces ouvrages serviront de pièges aux sédiments tout en permettant la mise en valeur des terres en amont des ouvrages aux bénéfices des populations locales.

C'est dans ce cadre que la présente étude a été initiée en vue de proposer la mise en place de seuils d'épandage pour ralentir et diminuer la force des eaux de ruissellement. La thématique retenue pour cette étude est : « Mise en place de seuils d'épandage à Zam en amont du barrage de Mogtédou dans la province du Ganzourgou ».

1.2. Problématique et justification

La dégradation de la végétation (disparition d'arbres), la dégradation des sols (dénudation, encroûtement, décapage), l'augmentation du ruissellement, le ravinement des versants et l'aridification du climat constituent lors des dernières décennies les principales contraintes pédoclimatiques des pays soudano-sahélien et sahélien (Bérard, 1977).

Notre zone d'étude qui appartient au climat soudano-sahélien, rencontre les mêmes difficultés. En effet, près de 70 000 m³ de terres sont transportées chaque année à travers les rivières pour se déposer au barrage de Mogtédou selon les études du PADI, entraînant ainsi une diminution annuelle d'au moins 70 000 m³ d'eau de la capacité de stockage de la retenue dudit barrage avec un volume initial de 6 500 000 m³ (Padonou, 2009).

Ces phénomènes érosifs ont provoqué la destruction des berges des cours d'eau et des villages demeurent enclavés à cause de l'absence d'ouvrages de franchissements. L'une des principales conséquences est l'augmentation du taux de ruissellement entraînant l'appauvrissement des sols et un volume d'eau stocké très faible qui n'arrive pas à boucler les cycles culturels au niveau des différents aménagements hydroagricoles de la région (*constat du PADI*).

Face à une telle situation, l'une des solutions retenues consiste à la mise en place d'ouvrages appropriés.

Parmi ces ouvrages, nous pouvons citer trois grands types (Soulga, 2015) :

❖ Les **ouvrages d'épandage et de régulation** : il s'agit d'ouvrages qui épandent et régulent les crues en stockant temporairement une lame d'eau. Ces ouvrages regroupent les digues filtrantes, les digues déversantes et les seuils rizicoles.

❖ Les **ouvrages de dérivation** : ils dérivent une partie de l'écoulement de base d'un cours d'eau pour alimenter les parcelles. Ces ouvrages sont utilisés pour la pratique de l'irrigation et/ou soutenir la nappe.

❖ Les **ouvrages de stockage** : ils stockent pour une durée plus ou moins longue les écoulements. Ils regroupent principalement les barrages et les bousils.

Au regard des problèmes de la zone, le choix des ouvrages à mettre en place doivent répondre d'un certain nombre de critères que sont la capacité de bloquer les sédiments véhiculer à travers le cours d'eau, la capacité d'épandre les crues et la capacité de franchissement des cours d'eau en toute saison.

La combinaison de ces trois critères nous amène au choix d'ouvrages mixtes jouant à la fois de seuils d'épandage et de radiers pour le franchissement des chemins d'eau. C'est dans ce contexte que cette recherche a été initiée.

1.3. Objectifs de l'étude

L'**objectif général** est de contribuer à l'élaboration d'un schéma d'aménagement du bassin versant de Bomboré pour la protection du barrage de Mogtédó.

Plus spécifiquement, il s'agira

- d'identifier les emplacements des nouveaux seuils (recherche d'emplacements adéquats) sur 2 affluents du barrage de Mogtédó ;
- de concevoir et de dimensionner trois (3) seuils mixtes en vue de limiter l'envasement de la retenue.

1.4. Synthèse bibliographique

La zone d'étude se trouve dans la commune rurale de Zam située dans la province du Ganzourgou au niveau du Plateau central au Burkina Faso. Cette localité est traversée par deux cours d'eau dont le plus important est la Bomboré où a été construit le barrage de Mogtédou.

Ce barrage joue un rôle de premier ordre dans cette zone car étant l'une des seules retenues disponibles. Malheureusement, depuis une quinzaine d'années, il est confronté à d'énormes problèmes (diminution du volume de stockage à cause de l'ensablement, énorme pression des populations et du bétail en perpétuelle augmentation, diminution des pluies avec les changements climatiques). En effet, les études de Padonou et de Sarr (2002) ont montré une diminution très importante de la surface de 500 ha à 352.4 ha et un dépôt solide de l'ordre de 1 316 000 m³ sur 15 années. Ces résultats corroborent ceux réalisés par le PADI sur les quatre dernières années. Ainsi le barrage a perdu près de 53% de sa capacité de stockage depuis sa construction.

Pour ralentir ou freiner, plusieurs études comme celles de Wopereis et al. 2008 ont proposé des schémas d'aménagement de bassin versant à travers la mise en place d'ouvrages hydrauliques en vue de la protection de barrage. Parmi ces ouvrages les seuils d'épandage semblent être les plus adaptés, en ce sens qu'ils permettent de réhabiliter les bas-fonds dégradés et peuvent jouer un rôle capital pour la lutte antiérosive. Ce choix de la mise en place d'un tel ouvrage est guidé par les études de Mietton (1986) qui ont montré l'importance d'un tel ouvrage dans les bassins versants du Burkina Faso.

Ce type d'ouvrage a l'avantage de bloquer les sédiments, de restaurer les terres dégradées et de faciliter le franchissement des cours d'eau.

Ils se composent d'un déversoir positionné dans le lit véritable de la rivière et d'ailes et de contreforts latéraux (Nill, 2012). Grâce à leur construction, les sols sont régulièrement inondés et alimentés en sédiments avec comme effets bénéfiques l'augmentation des surfaces agricoles exploitables et des rendements. A titre d'exemple le rendement du riz est passé de 800 kg/ha à 2000 kg/ha au Burkina Faso grâce à la construction de seuils d'épandage (Nill, 2012). Ces ouvrages ont également permis le comblement des ravines des vallées, le rehaussement du niveau des rivières et la recharge des nappes.

II. MATERIEL ET METHODOLOGIE

2.1. Présentation générale de la zone d'étude

2.1.1. Localisation

La zone d'étude est située dans la commune rurale de Zam de la province du Ganzourgou dans la région du Plateau Central. Le site d'étude localisé en amont du barrage de Mogtédou se trouve à 80 km de Ouagadougou sur la route nationale 4 reliant la capitale du Burkina Faso à la capitale du Niger. Ce dit barrage dont la capacité de stockage initiale est estimée à 7 100 000 m³ (selon une étude du PADI) est situé à cheval entre les localités de Mogtédou et de Zam (figure 1).

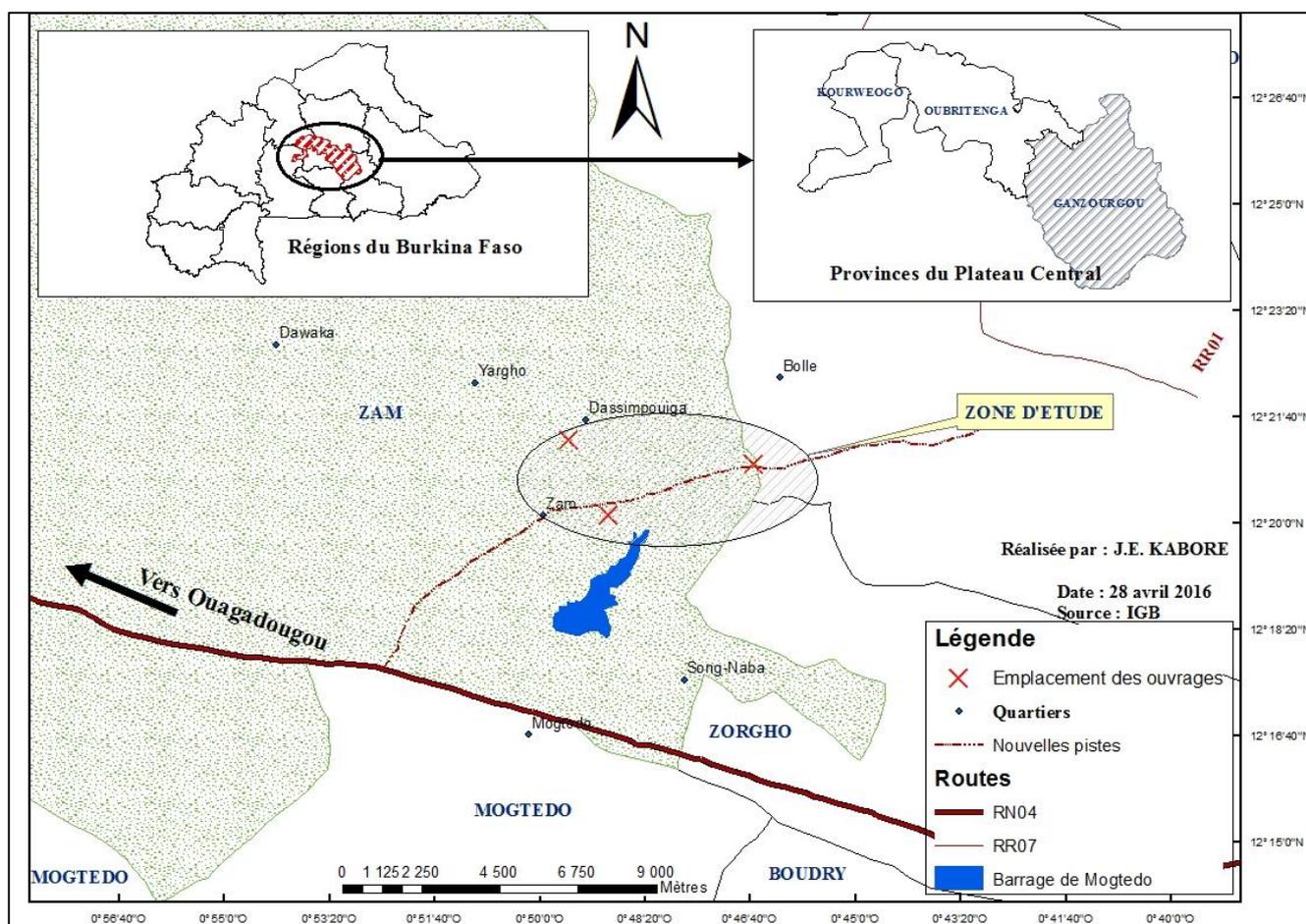


Figure 1: Carte de la localisation de la zone d'étude

2.1.2. Climat, végétation

Le département de Zam appartient à la zone soudano-sahélienne avec un climat tropical sec. La pluviométrie moyenne interannuelle est de l'ordre de 750 mm (de 1970 à 2002) avec une saison sèche de novembre à avril.

La végétation est essentiellement constituée par des formations mixtes des vallées associées aux cultures et une savane arborée à arbustive. Les épineux sont nombreux sur les sols dégradés et cuirassés. Le long des cours d'eau la densité des arbres peut atteindre 30 par ha (Bérard, 1977).

2.1.3. Pédologie

Le relief qui est issu du plateau central est marqué par des pentes douces avec la présence de quelques collines, de roche granitiques et de cuirasses ferrugineuses (figure 2).

Sur substratum schisteux apparaissent l'argile d'altération ou la roche nu. Dans les cours d'eau principaux, il est constaté un remblai d'éléments détritiques et grossière avec à la base un niveau de cailloutis de quartz plus ou moins émoussés et roulés auxquels font suite des niveaux gravillonnaires et sableux. La série se termine par des éléments fins argilo-sableux ou sablo-limoneux. Ce remblaiement est une épaisseur inférieure à 10 m dans les cours d'eau principaux et de 3 m dans les secondaires (Bérard, 1977).

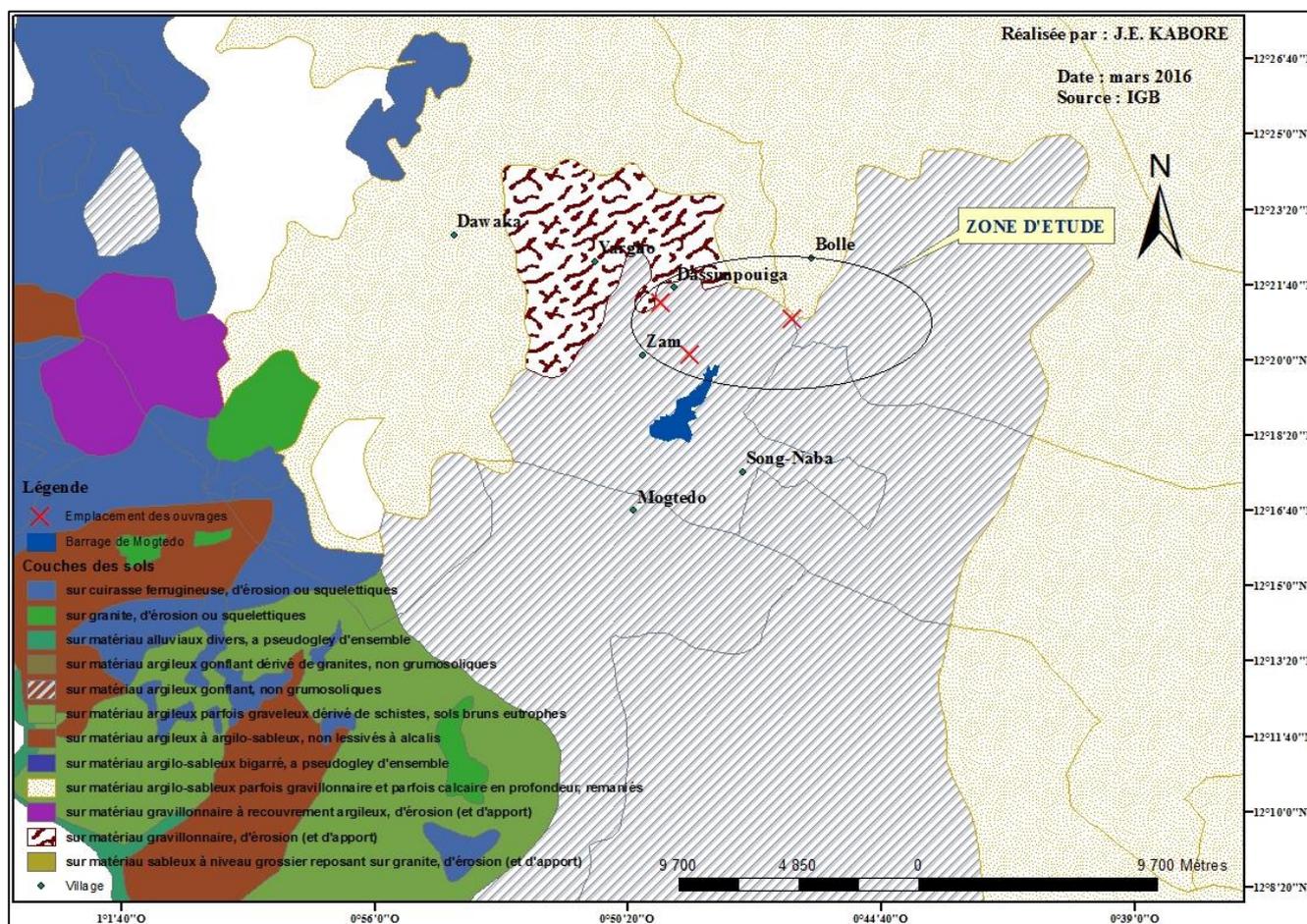


Figure 2: Carte de l'occupation des sols

2.1.4. Géomorphologie et Hydrologie

Sur le plan géomorphologique, il y a des buttes cuirassées tabulaires qui, sous l'effet de l'érosion, se démantèlent en blocs et gravillons ferrugineux. Les granites apparaissent sous forme de chaos de boules ou de petites collines, localement on a des dômes qui surplombent la surface moyenne actuelle de moins de 10 m. Les surfaces à substratum granitique et de gneissique sont faiblement moutonnées et sableux (Bérard, 1977).

Le réseau hydrographique est composé de deux cours d'eau temporaires du bassin versant de la Bomboré sur lequel est construit le barrage Mogtédou. La Bomboré qui a donné son nom au bassin versant, constitue le principal affluent et coule du Nord au Sud dans la partie centrale, son lit majeur atteint 400 m. Le deuxième affluent est en rive droite de la Bomboré dans la partie Est (Bérard, 1977). Ils s'écoulent principalement sur un substratum rocheux et le lit mineur est localement occupé par des dépôts sableux récents de 3 à 4 m dans le matériau tendre argilo-limoneux de la terrasse jaune (figure 3). Plus on se rapproche de la confluence avec la volta et plus le lit mineur de la Bomboré se rétrécit par suite de l'action de l'érosion régressive.

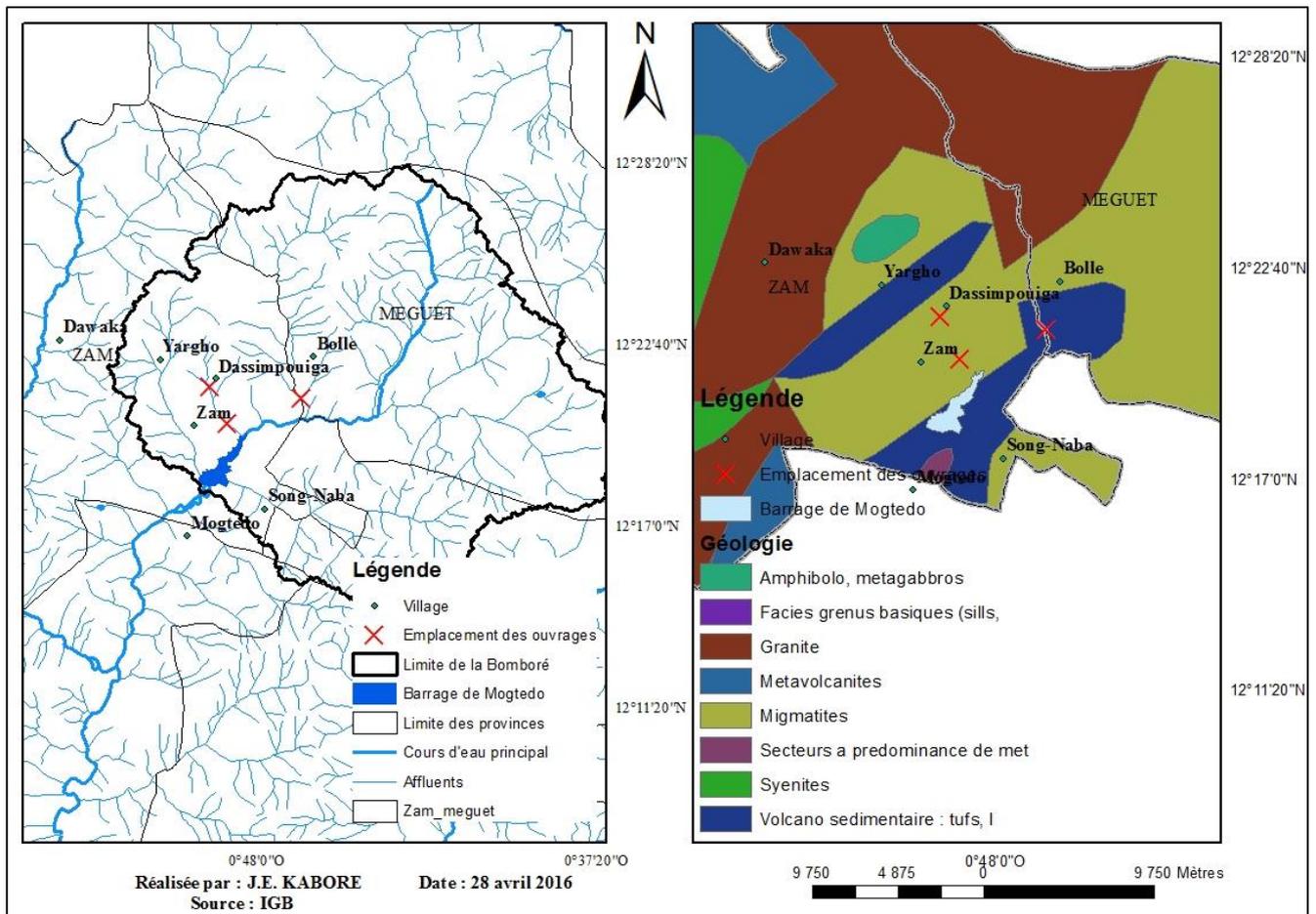


Figure 3: Carte du réseau hydrographique et de la géologie

2.1.5. Caractérisation des sites d'étude

La zone d'étude est constituée de trois (3) sites (figure 4) dont les caractéristiques sont les suivantes :

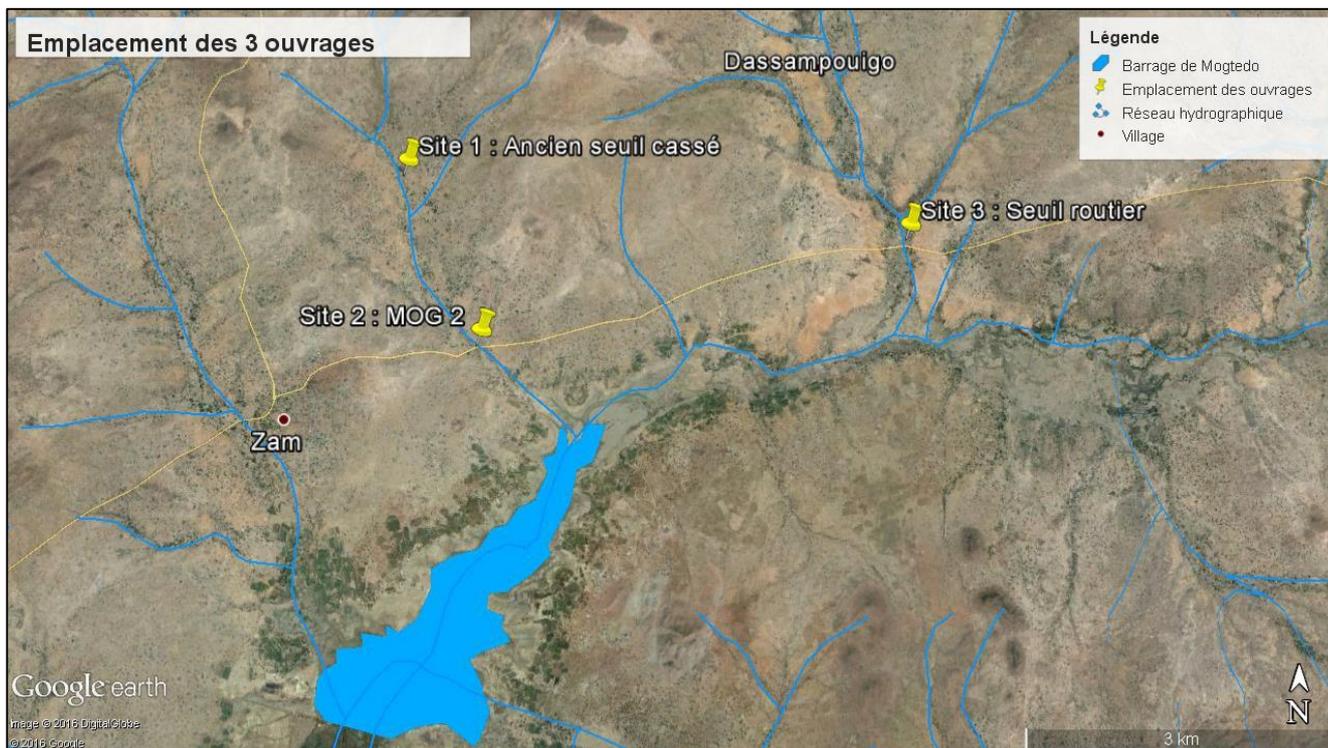


Figure 4: Emplacement des sites

- ❖ **SITE 1** : il s'agit d'un **ancien seuil cassé**. Avant la rupture, la population riveraine l'utilisait pour la production maraichère et actuellement il est exploité pour la confection de briques en banco. Le cours d'eau à ce niveau présente des ravinements importants. Durant la saison pluviale, la rive droite du cours d'eau est exploitée pour les cultures céréalières. Cette zone est relativement imperméable (RI) car constituée de lithosols sur cuirasses ferrugineuses et de matériaux gravillonnaires.
- ❖ **SITE 2** : Ce site est localisé en aval et au sud du site 1. C'est sur ce site que le PADI a installé une station hydrométrique (**MOG 2**) pour les mesures de débits d'eau et de sédiments. Les deux (2) rives sont exploitées en saison des pluies pour la production de riz. Le sol du bassin est composé d'argile gonflant et de matériau gravillonnaire donc il est de type **relativement imperméable (RI)**.
- ❖ **SITE 3** : Ce site se situe à l'est des deux (2) premiers sites. Il représente un seuil routier qui est actuellement dégradé. Le cours d'eau à cette section se subdivise en deux (2) bras avec un lit mineur pouvant atteindre 400 m de longueur. Sur ce site, le bassin est de type **imperméable (I)** car le sol est constitué à plus de 85 % d'argile selon l'occupation des sols.

2.1.6. Milieu humain

La population de la commune rurale de Zam était estimée en 2006 à 40 167 habitants résidents, ce qui donne une population projetée en 2016 à 45 033 habitants avec un taux d'accroissement de 1.15 % (INSD, 2008). A l'instar de la province, la population de Zam est composée majoritairement de l'ethnie mossi et minoritairement de peulhs.

L'économie de la localité est essentiellement agropastorale. Le taux d'accès en eau potable est de 77.6% en 2015 selon l'INO 2015.

2.2. Matériel

2.2.1. Matériel de topographie et de géolocalisation

La collecte des données topographiques a été effectuée à l'aide d'un niveau électronique. Le modèle utilisé est le SPRINTER 150M de la firme LEICA (*figure 5*). Le dispositif est composé de l'appareil SPRINTER, d'un trépied et d'une mire possédant une face à lecture optique et une autre face à lecture numérique. La lecture numérique sur la face à code barre a été utilisé pour effectuer les levés. Elle a permis d'obtenir des portées supérieures à 100 mètres.

Ce dispositif a permis de mesurer les dénivelés et les distances par rapport à un point de référence.

Les paramètres géographiques du point de référence ont été mesurés à l'aide d'un GPS de la firme GARMIN. Le modèle utilisé est eTrex VISTA HCx avec une précision de 3 mètres.



Figure 5: Niveau LEICA SPRINTER 150M

2.2.2. Matériel informatique

Pour des besoins de traitement des données géo-spatiale le logiciel Arc GIS 10.2 a été utilisé.

Les courbes hypsométriques des bassins versants sont réalisées à partir d'une triangulation avec le logiciel Global Mapper 15.

La délimitation des bassins versants a été faite à l'aide des deux logiciels précédemment cités et le traitement des données a été réalisé à partir d'un modèle numérique de terrain acheté par le PADI de chez SPOT Image. Il s'agit du modèle Ref3D avec une résolution de 30 m x 30 m et d'une précision altimétrique de 10 m (SPOT 2006).

Les plans des ouvrages ont été dessinés à l'aide d'AutoCAD CIVIL 3D 2016 en utilisant les données issues des levées topographiques.

Pour la reconnaissance des sites, et la préparation des sorties terrains, le logiciel Google Earth a été utilisé.

2.3. Méthodologie

La méthode adoptée a consisté à effectuer une revue documentaire suivie de sorties terrain et des travaux de bureau.

2.3.1. Revue documentaire

La revue documentaire a été effectuée pour collecter des informations sur la localité et sur les sites d'implantations des ouvrages.

2.3.2. Identification des emplacements des seuils

2.3.2.1. Sorties terrain

A la suite de la revue documentaire, des sorties de terrain ont eu lieu pour visiter les sites d'implantations des ouvrages. Les sorties avaient pour objectif de mener un diagnostic socio-économique et d'effectuer un levé topographique.

❖ Diagnostic socio-économique

Le diagnostic socio-économique a été mené pour permettre la collecte d'informations plus précises sur le milieu humain de la localité et aussi de découvrir les besoins réels de la population bénéficiaire. Il orientera le choix des ouvrages de leurs emplacements, de leur mode d'exécution et de leur entretien. Il permettra de s'assurer que l'approche HIMO sera acceptée par la population bénéficiaire.

Pour se faire une enquête a été menée et a concerné un échantillon représentatif de la population bénéficiaire. Un questionnaire a été administré aux exploitants pris au hasard au environ du cours d'eau.

❖ Levé topographique et délimitation de la zone d'étude

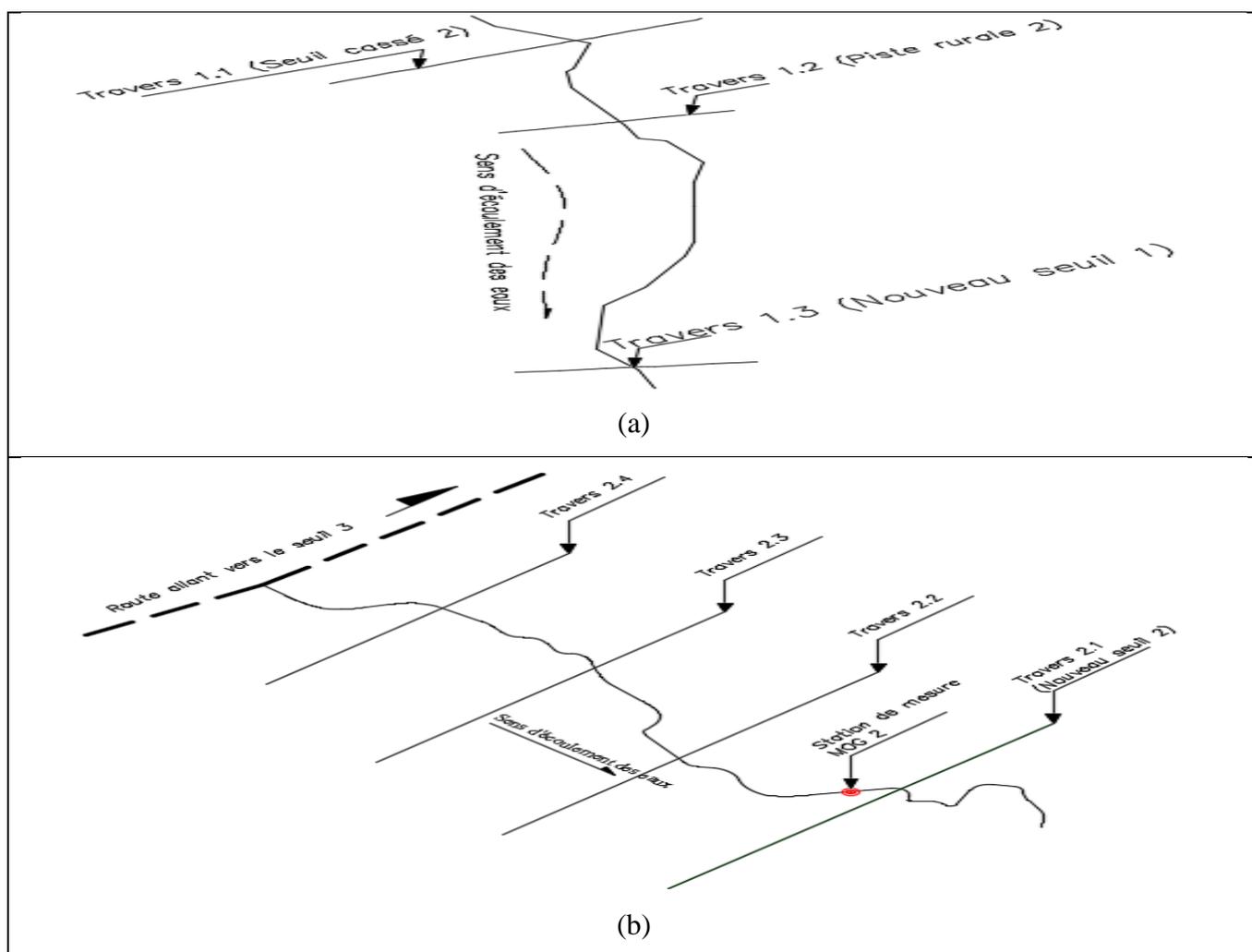
Le levé topographique a consisté à faire un nivellement du cours d'eau au niveau de tous les trois sites d'implantation des ouvrages. Les levés ont permis de dessiner des profils en long et des profils en travers.

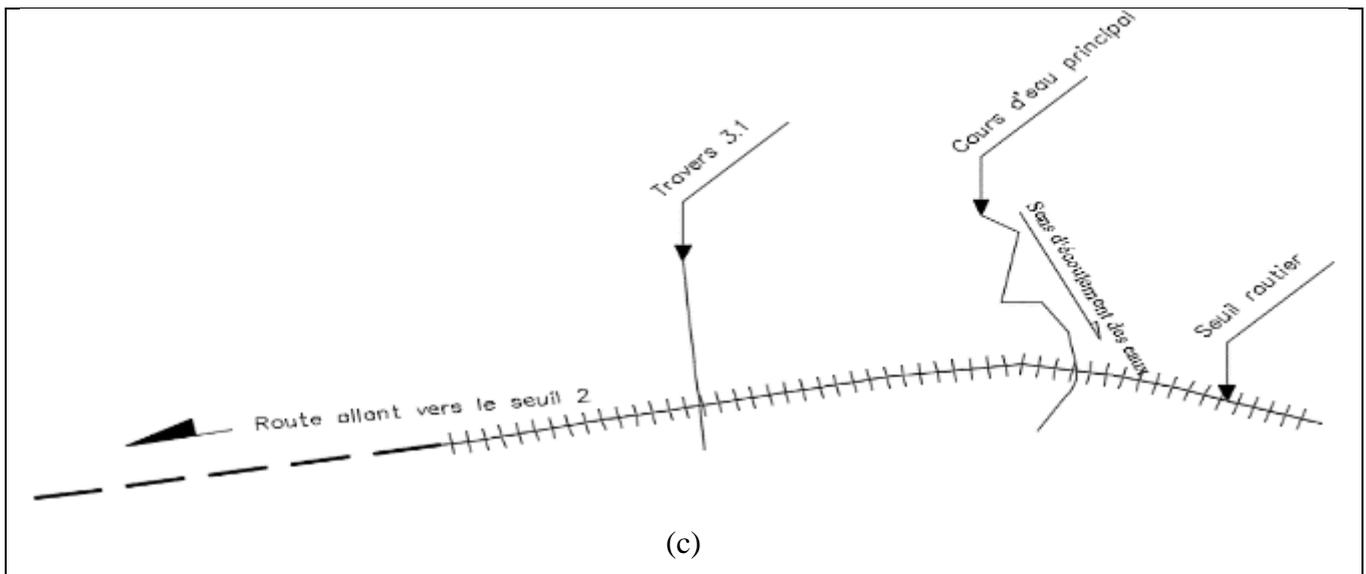
Tableau 1: Récapitulatif des travaux de topographie

Site 1	- 1 Profil en long du cours d'eau - 3 profils en travers sur 3 emplacements possibles de l'ouvrage
Site 2	- 1 Profil en long du cours d'eau - 1 maillage du site (possibilité de tracer le nombre de profils en travers souhaités)
Site 3	- 1 Profil en long du seuil routier - 2 profils en travers

Le levé permet de faire un choix judicieux sur l'emplacement des ouvrages à réaliser.

Les figures 6 présentent des vues en plan des cours d'eau et la position des profils en travers à réaliser.





Figures 6 : Vues en plan de l'emplacement des seuils : seuil 1 (a), seuil (b) et seuil 3 (c).

❖ **Prospection géotechnique**

La prospection géotechnique consistera à faire une étude des propriétés géo-mécaniques des sols et de l'interaction entre le terrain et les seuils à réaliser à Zam. Elle permettra de déterminer la portance du sol à recevoir les ouvrages, ce qui guidera le choix de la profondeur d'ancrage des ouvrages. Cette prospection permettra aussi d'identifier les zones potentielles d'emprunt de matériaux pour la construction.

Pour ce faire, nous avons exploité les coupes lithologiques déjà réalisées par le PADI lors de la réalisation des micro-piézomètres.

La réalisation des micro-piézomètres a consisté dans une première étape à implanter le micro-piézomètre. Ensuite il a été procédé à la foration à l'aide de la tarière mécanique et le prélèvement d'échantillons de sol tous les 0.5 mètres. Les échantillons de sol prélevés ont été analysés par l'équipe du PADI BF101 afin d'établir les coupes lithologiques.

2.3.3. Conception et dimensionnement des seuils

2.3.3.1. Détermination de la crue de projet

Deux méthodes ont été utilisées pour le calcul de la crue décennale de projet à savoir la méthode de ORSTOM et de CIEH.

L'analyse fréquentielle des pluies annuelles est effectuée avec la loi de GAUSS. Les données sont fournies par la station météorologique de la ville de Mogtéo sur la période de 1970 à 2002.

❖ Méthode ORSTOM

Avec cette méthode, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par l'équation 1 :

Équation 1 : Débit de pointe décennale (ORSTOM)

$$Q_{r10} = A \cdot P_{10} \cdot K_{r10} \cdot \alpha_{10} \cdot S / T_{b10} \quad (1)$$

Le débit de pointe décennal est obtenu par la relation 2 :

$$Q_{10} = 1,03 \cdot Q_{r10} \quad (1')$$

Avec, A le coefficient d'Abattement ;
 P₁₀ la hauteur de pluie journalière décennale en mm ;
 K_{r10} le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale en % ;
 α₁₀ le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale ;
 S la superficie du bassin versant en km² ;
 T_{b10} le temps de base correspondant à la crue décennale en mn ;
 Q_{r10} le débit de crue ruisselé décennal en m³/s ;
 Q₁₀ le débit de crue décennal en m³/s.

❖ Méthode CIEH

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe Q₁₀ (m³/s) est basée sur un schéma de régression multiple (*équation 2*) :

Équation 2 : Débit de pointe décennal (CIEH)

$$Q_{10} = a \cdot S^s \cdot P_{m10}^p \cdot I_g^i \cdot K_{r10}^k \cdot D_d^d \dots \quad (2)$$

Avec, a, s, p, i, k, d, ..., sont des coefficients à déterminer dans le tableau 11 du bulletin FAO 54 ;
 S la superficie du bassin versant en km² ;
 P_{m10} la hauteur de pluie journalière décennale moyenne sur le bassin en mm ;
 I_g l'indice global de pente en m/km ;
 K_{r10} le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale en % ;
 D_d la densité de drainage en km⁻¹.

2.3.3.2. Dimensionnement des seuils

Le dimensionnement des seuils (évacuateurs de crues) consistera à déterminer la longueur du seuil déversant, à calculer la profondeur, la longueur et la largeur du bassin de dissipation et les ouvrages annexes.

❖ Dimensionnement du déversoir

Le calcul de la longueur du seuil déversant a utilisé la formule de l'équation de l'écoulement sur un seuil dénoyé :

Équation 3: Ecoulement sur seuil dénoyé

$$Q = m \times L \times \sqrt{2 \times g} \times h^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

Avec, Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
m	coefficient de débit du seuil ;
L	longueur déversante en m ;
g	accélérateur de la pesanteur en m/s ² (g = 9.81 m/s ²) ;
h	hauteur de la lame d'eau déversante en m (0.4 < h < 0.7 pour les déversoirs en moellons).

Pour le seuil 2, il sera retenu un type avec plusieurs parties déversantes non continues. Pour ce faire le dimensionnement suivra la démarche mathématique adoptée par Bender (2009) Le nombre de seuils à mettre en place et les épaisseurs des différentes parties sont choisies selon la classification de Bender (2009) en fonction de la hauteur du seuil (tableau 2).

Tableau 2: Dimensions principales en cm, en fonction de la hauteur (classification selon Heinz Bender)

hauteur H	dimensions (cm)							
	seuils		écran	contre seuil	c-s de prot.	muret long.	bassins de dissipation Sbd1/Sbd2	bassin de prot Spr
	base	tête						
seuil simple								
50 à 65	80	40	40	40/50	40	40	300-400	200
70 à 75	90	40	45	50	40	40-50	400-450	250
80	100	40	50	50	40	50	450-500	
seuil double								
100-130 sans bd	80	40	40	50	-	40	300-400/300-400	-
100-130 avec bd	80	40	40	50	40		300-400/300-400	200-250
140 à 150	90	40	45	50	40	50	400-450/400-450	250-300
160	100	40	50	50	40	50	450-500/450-500	300

❖ Dimensionnement du chenal (radier)

Les chenaux seront dimensionnés pour les seuils 1 et 3. Il s'agira de déterminer la profondeur minimale du chenal qui fait directement suite au déversoir. Cette profondeur sera déterminée partir de la formule de Manning–Strickler pour un canal rectangulaire :

Équation 4: Formule de Manning-Strickler

$$Q = K \times S_m \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad (4)$$

Avec ; Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
K	coefficient de Manning – Strickler (K=60 pour un canal en maçonnerie vielle) ;
S _m	section mouillée obtenue par le formule en m ² : $S = L \times y_n$;
R	rayon hydraulique en m par la formule : $R = \frac{S}{L+y_n}$;
I	Pente du chenal en m/m (ici on prendra 0.002 m/m),
y _n	profondeur normale du chenal (profondeur minimale) en m.

La profondeur normale du chenal est obtenue a à partir une résolution de l'équation 4.

La profondeur critique été calculée à partir de l'équation 5 pour vérifier la nature de l'écoulement dans le chenal

Équation 5: Profondeur critique

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \times \left(\frac{Q}{L}\right)^2} \quad (5)$$

Avec ; Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
L	longueur déversante au-dessus du déversoir en m ;
g	accélérateur de la pesanteur en m ² /s ;
R	rayon hydraulique en m par la formule : $R = \frac{S}{L+y_n}$;
I	Pente du chenal en m/m (ici on prendra 2‰ m/m),
y _c	profondeur critique en m.

❖ Dimensionnement du bassin de dissipation

Le dimensionnement du bassin de dissipation sera réalisé en vue de réduire le risque d'érosion dû à la chute d'eau en aval du déversoir.

- Seuils 1 et 3

Les parements aval du radier seront réalisés en gabions pour permettre la mise en œuvre facilement par les villageois. Le dimensionnement sera fait sur la base de l'abaque de la figure 7 qui fournit la longueur et la profondeur du bassin par rapport au lit mineur.

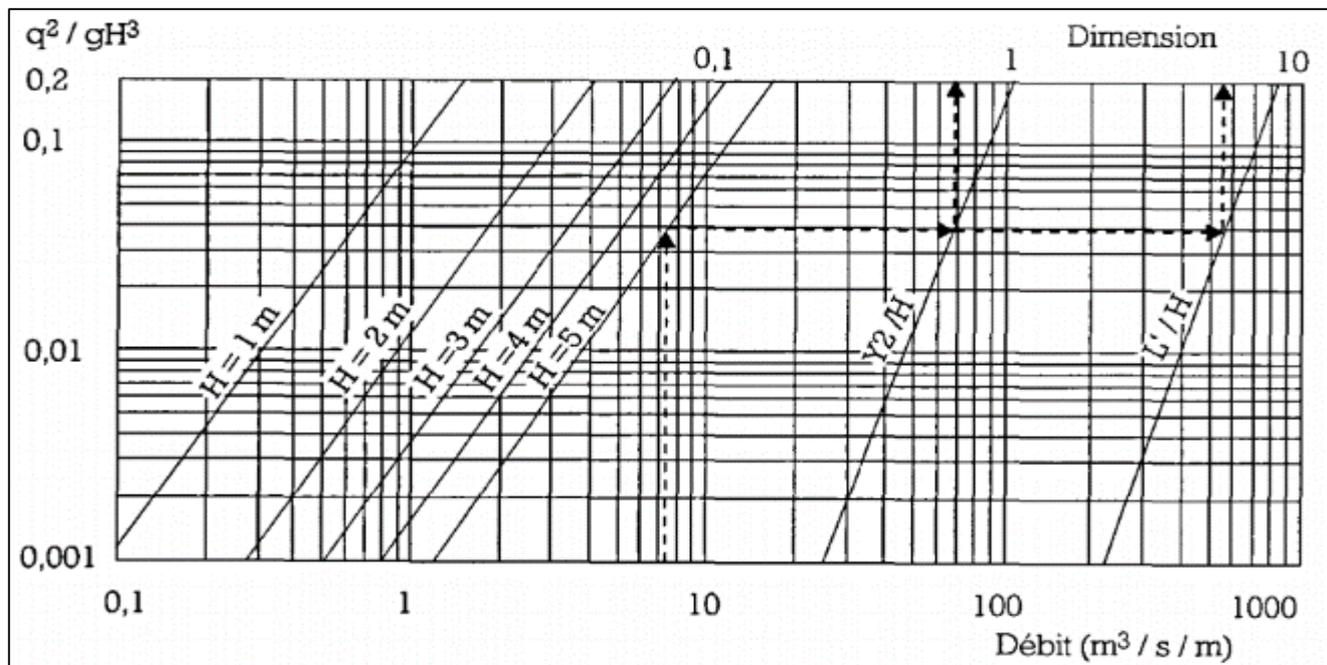


Figure 7 : Dimensionnement des bassins de dissipation à radier revêtu

Le calcul du débit par unité de longueur déversante est donnée par la formule de l'équation 6.

Équation 6 : Débit par unité de longueur déversante

$$q = \frac{Q}{L} \quad (6)$$

Avec ; Q débit sur le seuil (débit du projet) en m^3/s ;
L longueur déversante au-dessus du déversoir en m ;
q débit par unité de longueur déversante sur le seuil en $m^3/s/ml$.

La profondeur du bassin de dissipation est calculée par la formule de l'équation 7.

Équation 7: Formule pour le calcul de la profondeur du bassin de dissipation

$$D = y_2 - y_n \quad (7)$$

Avec ; D profondeur du bassin de dissipation en m ;
 y_2 tirant d'eau conjugué en m ;
 y_n profondeur normale du cours d'eau (profondeur minimale) en m

- Seuil 2

Le seuil 2 servira à l'épandage de la crue sur tout le lit majeur pour permettre la riziculture. La démarche utilisée est basée sur les études de Bender (2009).

La classification utilisée est résumée dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Classification de type de bassin de dissipation selon BENDER (2009)

lame d'eau déversant [cm]	hauteur contrefort/aile [cm]					
	20 - 25	30 - 35	40 - 50	55 - 70	75 - 90	> 90
crues except.	r	r	r	70	70	70/100
0 - 10	r	r	70	70	100	100
10 - 20	r	r/70	100	100	140	140/190
20 - 35	r/70	70/100	100	140	190	190
35 - 50	70	100	140	190	250/320	cp
50 - 70	100	140/190	250/320	cp	cp	cp
> 70	100	190/250	cp	cp	cp	cp

cp = cas particulier, à traiter selon les recommandations seuils

2.3.4. Vérification de la stabilité des seuils

Les ouvrages ainsi dimensionnés doivent résister à la poussée de l'eau et des terres, être stables vis-à-vis du renversement et du glissement sur la fondation. Ils doivent aussi résister au phénomène du renard.

Pour cela la sécurité des seuils doit être vérifiée. La stabilité par rapport au phénomène de renard sera vérifiée en utilisant la règle de LANE. Le facteur de sécurité au glissement sera calculé et il doit être supérieur à 1 pour que l'ouvrage soit stable. Pour s'assurer de la sécurité au renversement, le facteur de sécurité.

❖ **Profondeur affouillable**

La hauteur maximum affouillable est déterminée par la formule empirique de EDF donnée par l'équation 8 :

Équation 8 : Hauteur maximum affouillable

$$h_a = 0.730 \times \left(\frac{Q}{L}\right)^{\frac{2}{3}} \times d^{-\frac{1}{6}} \quad (8)$$

Avec h_a hauteur affouillable en m ;
 Q débit sur le seuil (débit du projet) en m^3/s ;
 L longueur déversante en m ; $d = 0.02$

❖ Règle de LANE

La règle de LANE est donnée par l'équation 9 :

Équation 9: Règle de LANE

$$L_v + \frac{1}{3} L_h \geq CH \quad (9)$$

Avec L_v longueur de cheminements verticaux en m ;
 L_h longueur de cheminements horizontaux en m ;
C coefficient qui dépend de la nature du terrain, on $C = 2.5$ pour les sols argilo-limoneux ;
H hauteur en amont du déversoir en m.

❖ Facteur de sécurité au glissement

Le facteur de sécurité au glissement est calculé à partir de l'équation 10 :

Équation 10 : Facteur de sécurité au glissement

$$F_g = \frac{\sum(W - U) \times \tan \varphi}{\sum P} \quad (10)$$

Avec F_g Facteur de sécurité au glissement ;
W forces verticales dues au poids du seuil en KN ;
U forces de sous-pressions en KN ;
 $\sum P$ somme des forces horizontales de poussée en KN ;
 φ angle de frottement interne des terres, $\varphi = 20^\circ$

❖ Facteur de sécurité au renversement

Le facteur de sécurité au renversement a été calculé avec l'équation 11

Équation 11 : Facteur de sécurité au renversement

$$F_r = \frac{\sum M_s}{\sum M_r} \quad (11)$$

Avec F_r facteur de sécurité au renversement
 $\sum M_s$ somme des moments stabilisant en KN.m ;
 $\sum M_r$ somme des moments renversant en KN.m ;
 $\sum F_v$ somme des forces verticales en KN ;

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Diagnostic socio-économique

Le diagnostic socio-économique s'est déroulé pendant la saison sèche au cours du mois de mars où les affluents sont secs. Seuls quelques aménagements en amont et en aval du barrage de Mogtéo présentent des activités et une grande partie de la population active se trouve dans les mines d'or traditionnelles.

Au total 23 personnes ont été interrogés et les principales informations obtenues sont les suivantes :

❖ L'activité principale est l'agriculture (**100 %** de la population), suivie de l'élevage avec **91 %** de la population.

❖ **82 %** de la population est propriétaire de leur parcelle.

❖ **91 %** de la population se rend compte des effets de l'érosion.

❖ **91 %** de la population constate des problèmes d'inondation (excès d'eau), mais **36 %** relève le manque d'eau entre les jours de pluies.

❖ La plupart de la population a déjà participé aux réalisations communautaires à savoir les constructions d'un seuil et d'un boulis dans le village (*figures 8a et 8b*). Ces réalisations ressortent de leur propre initiative. Environ **64 %** de la population est favorable à une approche d'une réalisation communautaire pour régler les problèmes environnementaux causés par le cours d'eau pendant la saison pluvieuse.

❖ La totalité de la population interrogée trouve que la réalisation de seuils d'épandage de crue constitue la solution la plus adéquate.

En somme le diagnostic socio-économique a fait ressortir que la population concernée, mène une existence directement liée au cours d'eau qui traverse leur territoire. Elle est bien consciente des problèmes d'érosion et est pleine d'initiative en matière de conservation des ressources en eau. Elle s'engage à participer activement aux travaux si une approche HIMO est adoptée pour la réalisation de seuils d'épandage.

	
<p style="text-align: center;">(a)</p> <p>Cette figure (a) est un seuil en gabion initié et construit par la population au niveau site 1 dans le but de permettre le franchissement du cours d'eau en période de crues. Cette construction a été faite de façon artisanale en ignorant les approches en ingénierie ce qui a entraîné sa destruction au cours des premières pluies de l'année. L'eau d'écoulement a créé un nouveau chemin en érodant la berge gauche élargissant ainsi la section du cours d'eau à ce niveau.</p>	<p style="text-align: center;">(b)</p> <p>Cette figure (b) représente un seuil réalisé à partir de sacs de sable. Cette réalisation a pour but la rétention d'eau pour boucler le cycle cultural durant les périodes où le barrage ne déverse pas.</p>

Figure 8 : Seuils construits par la population : site 1 (a) et site 2 (b)



Figure 9 : Puits et abreuvoir construits par la population pour l'abreuvement des animaux au site 3

Cette figure 12 montre un puits réalisé par la population pour l'abreuvement des animaux domestiques au niveau du site 3. Un abreuvoir a été aménagé de façon artisanale à partir de la terre excavée du puits.

4.2. Conception des seuils

4.2.1. Emplacements des seuils

Les emplacements des seuils ont été retenus à partir des objectifs définis par le projet, des levés topographiques et des enquêtes socio-économiques. Le choix des emplacements des seuils a été effectué conformément aux emplacements des sites comme mentionnés dans la figure 4. Les seuils 1, 2 et 3 seront respectivement implantés aux sites 1, 2 et 3.

Les caractéristiques des sections des cours d'eau aux emplacements des seuils sont reportées au tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques des sections des cours d'eau aux emplacements des seuils

Ouvrage	Largeur du lit mineur (m)	Largeur du lit majeur (m)	Profondeur du cours d'eau par rapport aux PHE (m)
Seuil 1	21	135	1.6
Seuil 2	20	240	1.8
Seuil 3	16	383	1.5

Les profils en travers présentés aux figures 10 correspondent aux emplacements des seuils.

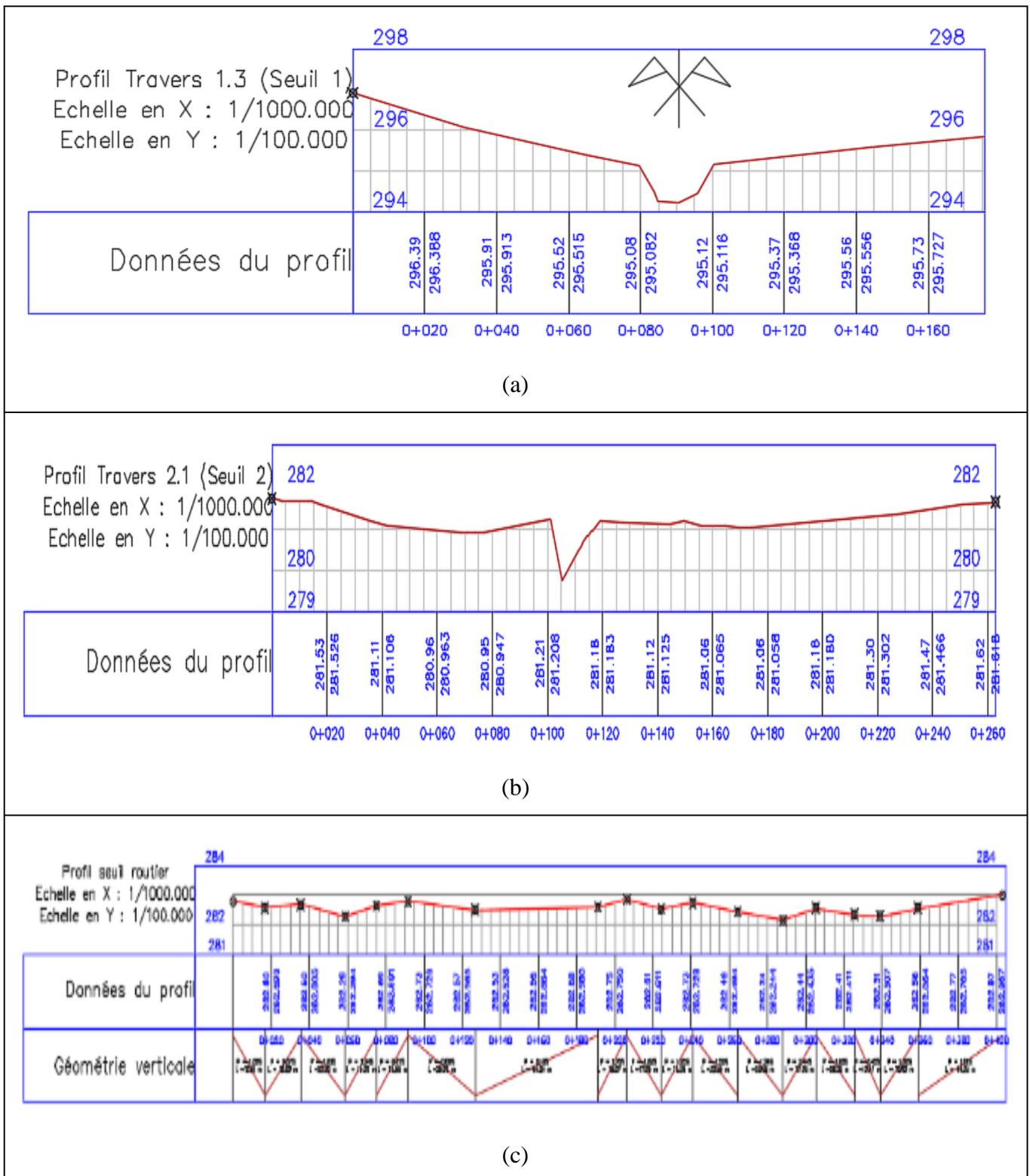


Figure 10 : Profils en travers des cours d'eau : seuil 1 (a), seuil 2 (b) et seuil 3 (c).

4.2.2. Prospection géotechnique

Il est remarqué en général que les sols sont constitués d'une couche superficielle composée principalement d'argile, puis vient une couche intermédiaire constituée le plus souvent d'un mélange de limons et d'argile et parfois avec un peu de sable. Entre 5 et 6 mètres, on retrouve une prédominance de sable et de limon contenant parfois un peu d'argile.

La zone d'étude dispose de beaucoup de moellons ce qui a favorisé le choix de matériau comme principal élément de construction des seuils. Quant au sable, il existe plusieurs points de prélèvement tout au long des cours d'eau (figure 16).



Figure 11: Zone d'emprunt pour le sable

La figure 12, montre quatre coupes lithologiques réalisées par le PADI à Zam.

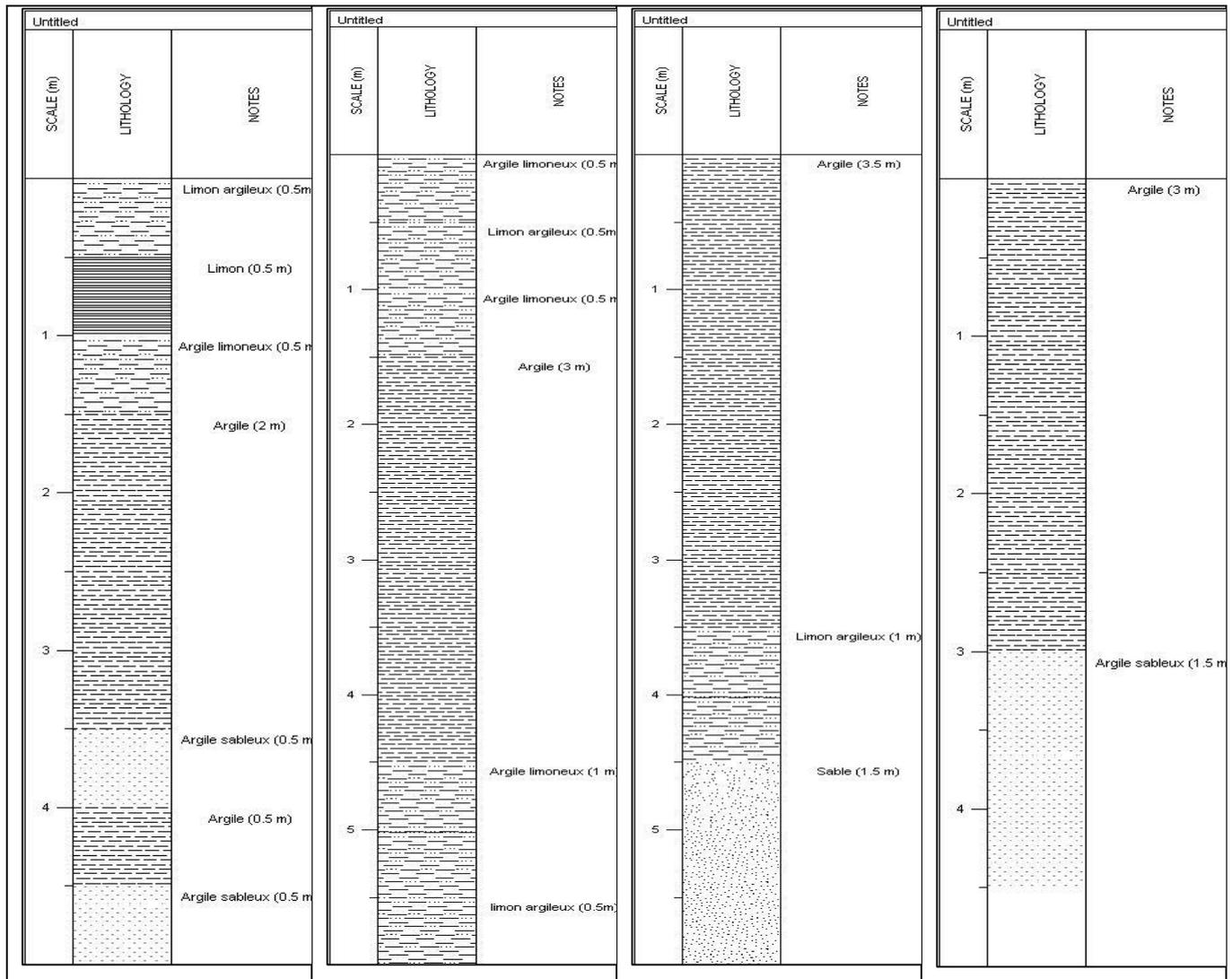


Figure 12 : Coupes lithologiques réalisées à Zam (source : PADI 2015)

4.2.3. Etudes hydrologique et hydraulique

Ces études ont été effectuées pour déterminer le fonctionnement des cours d'eau et des sous bassins versants de Bomboré afin de proposer des solutions réalistes et adaptées aux sites.

❖ Analyse fréquentielle des pluies annuelles

L'analyse a donné une pluviométrie annuelle moyenne de 748 mm à partir de la station météorologique de Mogtéo. Le bulletin 54 de la FAO donne une pluie journalière décennale de 95 mm. Les détails des calculs sont reportés en ANNEXE 1

❖ Délimitation des bassins versants

Le bassin versant du seuil 1 est un sous bassin de celui du seuil 2 et tous les deux sont voisins au bassin du seuil 3.

La délimitation des trois bassins versants pour les différents seuils est représentée aux figures 13.

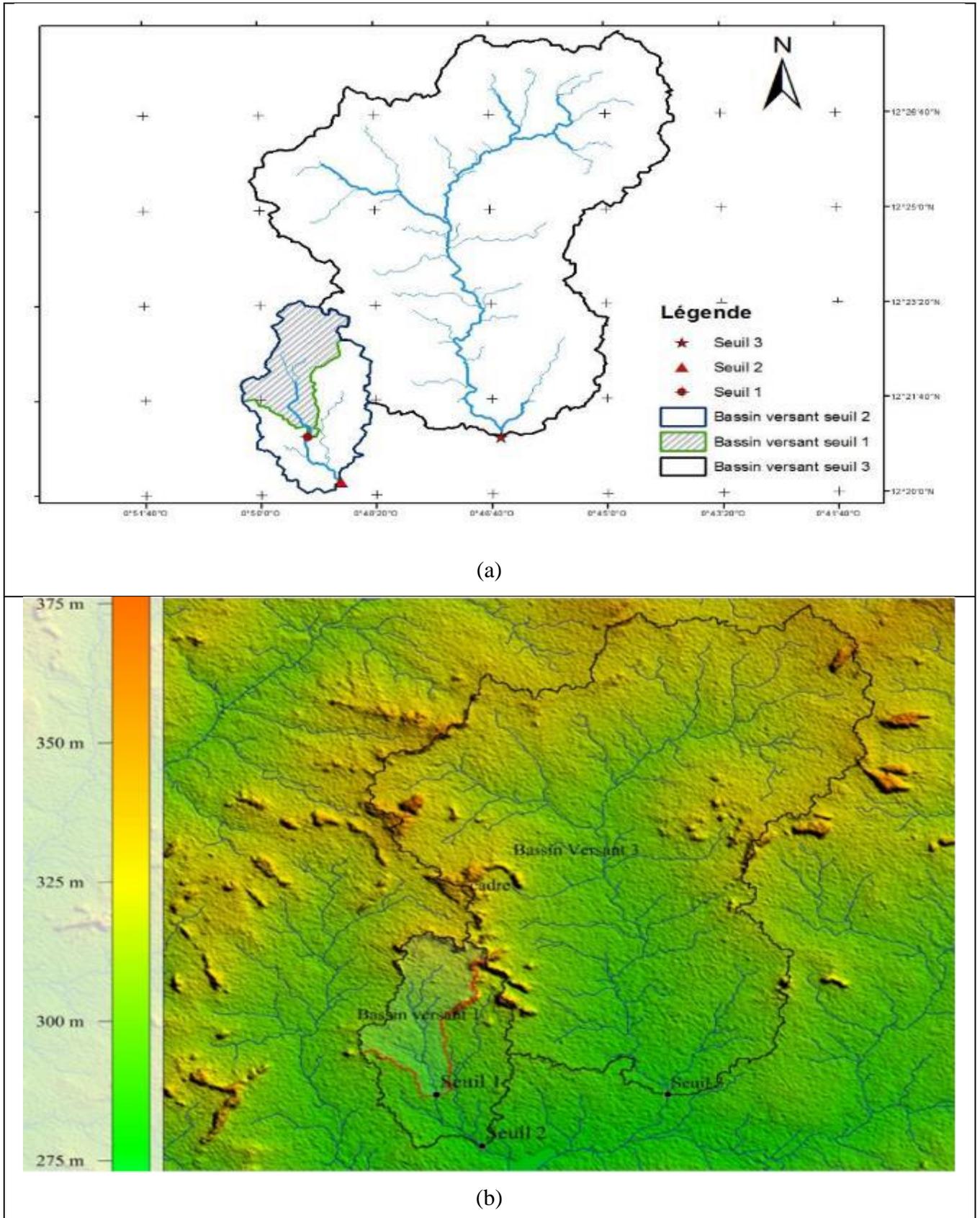


Figure 13 : Bassin versants des seuils à partir de : Arc GIS (a) et Global Mapper (b)

❖ Caractéristiques des bassins versants

Les caractéristiques des bassins versants sont reportées au tableau 5.

Tableau 5 : Caractéristiques des bassins versants

Caractéristiques	Bassin versant 1	Bassin versant 2	Bassin versant 3
Périmètre P (km)	14.30	19.74	52.73
Surface S (Km ²)	6.02	13.9	89.42
Indice de forme Kg	1.64	1.49	1.57
Longueur de rectangle équivalent L (km)	6.18	8.17	22.37
Largeur de rectangle équivalent l (km)	0.97	1.70	4.00
Indice global des pente I _g (m/km)	6.64	5.39	2.10
Pente transversale moyenne IT (m/km)	8.78	8.40	7.74
Indice global des pente corrigé I _{gcor} (m/km)	7.35	6.39	3.98
Dénivelée spécifique Ds (m)	18.04	23.83	37.63
Longueur du réseau hydrographique (km)	4.65	10.71	68.85
Densité de drainage km/km ²	0.77	0.77	0.77

❖ Crue de projet

La prédétermination de la crue de projet a été effectuée à partir des méthodes d'ORSTOM et du CIEH

- Méthode ORSTOM

Le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est obtenu à partir de l'équation 1. Les différents paramètres ayant permis d'obtenir ce débit de pointe à travers la méthode de l'ORSTOM sont reportés au tableau 6.

Tableau 6: Paramètres pour le calcul de Q₁₀ (ORSTOM)

Paramètres	Symboles= valeurs - unités		
	Bassin versant 1	Bassin versant 2	Bassin versant 3
Coefficient d'abattement de Vuillaume	A = 0.90	A = 0.85	A = 0.75
Hauteur de pluie journalière décennale	P ₁₀ = 95 mm	P ₁₀ = 95 mm	P ₁₀ = 95 mm
Coefficient de ruissellement décennal	K _{r10} = 28.5 %	K _{r10} = 26.0 %	K _{r10} = 36.0 %
Coefficient de pointe décennal	α ₀ = 2.6	α ₀ = 2.6	α ₀ = 2.6
Surface du bassin versant	S = 6.02 km ²	S = 13.9 km ²	S = 89.42 km ²
Temps de base correspond à la crue	T _{b10} = 430.69 mn	T _{b10} = 652.51 mn	T _{b10} = 1710.83 mn
Débit de crue ruisselé décennal	Q _{r10} = 14.75 m ³ /s	Q _{r10} = 19.48 m ³ /s	Q _{r10} = 57.98 m ³ /s
Débit de crue décennal	Q ₁₀ = 15.20 m ³ /s	Q ₁₀ = 20.07 m ³ /s	Q ₁₀ = 59.72 m ³ /s

Les résultats des débits de crue décennal pour les trois seuils sont respectivement 15.2 m³/s, 20.07 m³/s et 59.72 m³/s (Voir ANNEXE 1 pour le détail des calculs).

- Méthode CIEH

La formule utilisée pour le calcul du débit décennal par la méthode CIEH est fournie par l'équation 2 et les paramètres nécessaires pour le calcul sont mis aux tableaux 7 et 8.

Tableau 7: Paramètres pour le calcul de Q₁₀ (CIEH)

Paramètres	Symboles= valeurs - unités		
	Bassin versant 1	Bassin versant 2	Bassin versant 3
Surface du bassin versant	S = 6.02 km ²	S = 13.9 km ²	S = 89.42 km ²
Hauteur de pluie journalière décennale moyenne	P _{m10} = 85.4 mm	P _{m10} = 80.93 mm	P _{m10} = 70.9 mm
Indice global de pente	I _{gcor} = 7.35 m/km	I _{gcor} = 6.39 m/km	I _{gcor} = 3.98 m/km
Coefficient de ruissellement décennal	K _{r10} = 28.52 %	K _{r10} = 26.08 %	K _{r10} = 36.07 %
Densité de drainage	D _d = 0.77 km ⁻¹	D _d = 0.77 km ⁻¹	D _d = 0.77 km ⁻¹

Les équations utilisées pour la régression sont celles portant les numéros 12, 26, 27, 40, 42, 44 (Bulletin FAO 54 1996).

Tableau 8 Coefficient de l'équation 2 (tableau 11 du bulletin 54 de la FAO)

N° Equation	Nombre échantillons	Valeur de r ²	Constante a	Exposants			
				s	i	p	k
12	176	0,80	0,10	0,64	0,41	0,00	1,04
26	295	0,65	146,00	0,48	0,00	-0,97	0,46
27	288	0,65	0,56	0,62	0,28	0,00	0,51
40	60	0,82	0,25	0,46	0,10	0,00	0,98
42	133	0,76	0,09	0,64	0,40	0,00	1,02
44	133	0,76	203,00	0,46	0,00	-1,30	0,81

En appliquant cette méthode on a des débits de l'ordre de 19.94 m³/s, 29.24 m³/s et de 102.06 m³/s respectivement pour les bassins versant n° 1, n° 2 et n° 3 (Voir ANNEXE 1 pour le détail des calculs).

En comparant les résultats des deux méthodes (tableau 9), on remarque que la méthode CIEH donne de valeurs supérieures et elles seront retenues pour la suite des calculs car il s'agit d'un ouvrage de sécurité qui nous impose à prendre le débit de projet le plus important pour augmenter la période de retour du dit ouvrage.

Tableau 9 : Débits de crue décennal

Méthode	Débits (m ³ /s)		
	Bassin versant 1	Bassin versant 2	Bassin versant 3
ORSTOM	15.20	20.07	59.72
CIEH	19.94	29.24	102.06
Valeurs retenues	20	30	102

4.2.4. Dimension des seuils

❖ Dimensions des déversoirs des seuils

- Seuils 1 et 3

La hauteur du déversoir par rapport au lit mineur est calée conformément au profil en travers du cours d'eau, de manière à ce qu'après le laminage, le plan d'eau normal soit dans le cours d'eau. La charge d'eau h au-dessus du déversoir a été prise de manière à ce que le plan d'eau pendant le laminage ne dépasse pas le plan des hautes eaux et en même temps n'excède pas les conditions pour le cas de déversoir en moellons ($0.4 < h < 0.7$). Les résultats sont présentés au tableau 10.

Tableau 10: Longueur déversante des seuils

Seuil	Q (m ³ /s)	m	h (m)	L (m)
Seuil 1	20	0.385	0.4	46
Seuil 3	102	0.385	0.5	170

Pour le seuil 3 il est nécessaire d'avoir une largeur déversante d'environ 170 m. En condition réelle il faudra considérer une longueur de 290 m pour traverser les 2 bras du cours d'eau, de ce fait on retiendra une lame d'eau $h = 0.35$ m.

- Seuil 2

Nous choisissons de mettre en place un seuil de hauteur $H = 140$ cm. La simulation avec plusieurs hauteurs d'eau nous a permis d'obtenir la côte correspondante au débit de projet du seuil 2.

Pour la côte de l'eau à 190 cm, les résultats obtenus sont reportés aux tableaux 11 et 12.

Tableau 11 : Débit évacué par le seuil 2 à la cote 190 cm

Paramètres	Seuil (lit mineur)	Contrefort	Aile haute	Aile basse
L (m)	10	67	75	50
H (m)	1.4	0.7	0.4	0.2
h (m)	0.5	0.0	0.1	0.3
m	0.385	0.385	0.385	0.385
g (m.s ⁻²)	9.81	9.81	9.81	9.81
Q (m ³ /s)	6.03	0.00	4.04	14.01
Q (m³/s) total	24.08			

Tableau 12 : Débit évacué par le seuil 2 à la cote 195 cm

Paramètres	Seuil (lit mineur)	Contrefort	Aile haute	Aile basse
L (m)	10	67	75	50
H (m)	1.4	0.7	0.4	0.2
h (m)	0.55	0	0.15	0.35
m	0.385	0.385	0.385	0.385
g (m.s ⁻²)	9.81	9.81	9.81	9.81
Q (m ³ /s)	6.96	0.00	7.43	17.66
Q (m³/s) total	32.04			

Les résultats montrent que si nous mettons en place un seuil de hauteur H = 140 cm à la section du cours d'eau, le débit de projet évacué aura une cote de 195 cm par rapport au lit mineur. Suivant la classification de Heinz Bender, nous retiendrons un seuil double trapézoïdal. Les différentes dimensions des déversoirs sont présentées tableau 13.

Tableau 13 : Dimensions des déversoirs des trois seuils

Caractéristiques	Seuil 1	Seuil 2				Seuil 3
		Seuil (lit mineur)	Contrefort	Aile haute	Aile basse	
L (m)	46	20	57	75	50	170
H (m)	1.2	1.4	0.7	0.4	0.2	1.2
e _{base}	0.5	0.9	0.4	0.4	0.4	0.5
e _{crete}	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5

e_{base} : épaisseur de la base du déversoir ; e_{crete} : épaisseur de la crête du déversoir

❖ Dimensions des chenaux radiers (seuils 1 et 3)

Le dimensionnement des chenaux a été fait uniquement pour les seuils 1 et 2. Ils sont utilisés sous forme de radier pour permettre à la fois pour le franchissement du cours d'eau et pour le déversement. La formule utilisée pour ce dimensionnement est celle de l'équation 4. La profondeur critique été calculée à partir de l'équation 5.

Par itération nous avons obtenu les résultats dans le tableau 14.

Tableau 14 : Valeurs des profondeurs critiques des chenaux

Paramètres	Seuil 1	Seuil 3
Q m ³ /s	20	102
K	60	60
L (m)	46	170
I	0.002	0.002
y_n (m)	0.33	0.41
y_c (m)	0.26	0.33

Les résultats donnent une profondeur minimale y_n pour les deux chenaux avec $y_n > y_c$ donnant à ce niveau un écoulement fluvial.

La largeur du radier a été dimensionnée pour obliger aux usagers de la route de rouler à vitesse réglementaire (50 km/h) au passage du seuil. La largeur permet le croisement de 2 véhicules poids lourds. La largeur retenue est de $l = 6 \text{ m}$ (Certu, 2008).

❖ Dimensions des bassins de dissipation

- Seuil 1

Détermination de la longueur L du bassin de dissipation seuil 1.

A partir du débit par unité de longueur déversante q obtenue à partir de l'équation 6 qui donne un débit de $0.43 \text{ m}^3/\text{s/ml}$ et une hauteur de chute de $H = 1.2 \text{ m}$ nous avons $\frac{q^2}{g \times H^3} = \frac{0.43^2}{9.81 \times 1.2^3} = 0.016$

A partir de q et H , nous pouvons exploiter l'abaque de la figure 9 et les résultats donnent les valeurs suivantes :

$$y_2/H = 0.53 \leftrightarrow y_2 = 0.53 \times 1.2$$

Ce qui donne une valeur de $y_2 = 0.64 \text{ m}$ et

$$L'/H = 4.5 \leftrightarrow y_2 = 4.5 \times 1.2$$

D'où $L' = 5.4 \text{ m}$

Détermination de la profondeur D par rapport au lit mineur aval.

On calcule d'abord le tirant d'eau normal du cours d'eau y_n par l'équation 4.

En résolvant l'équation donne un tirant d'eau de $y_n = 0.46 \text{ m}$.

La valeur de D est obtenue à partir de l'équation 7, ce qui donne $D = 0.18 \approx 0.20 \text{ m}$

Donc le bassin de dissipation est profond de 20 cm par rapport au lit mineur en aval du seuil 1.

- Seuil 2

En fonction de la hauteur du seuil et en utilisant classification de BENDER, nous avons au total 2 bassins de dissipation et un bassin de protection. Les dimensions des deux bassins de dissipation sont présentées aux tableaux 15 et 16.

Tableau 15: Dimensions (cm) du bassin de dissipation du seuil 1 (lit mineur)

H	Seuil		Ecran	Contre seuil	C-S de protection	Muret longitudinal	S Bd1	S Bd2	Bassin de protection
	Base	Crête							
140	90	40	45	50	40	50	400x450	400x450	250x300

Les dimensions des bassins de dissipation au niveau des ailes sont présentées au tableau 16 :

Tableau 16: Dimensions des bassins de dissipation au niveau des ailes (lit majeur)

Composante	Hauteur (m)	Lame d'eau (m)	Type de Bassin
Ailes haute	0.4	0.1	Type 100
Ailes basse	0.2	0.3	Type 70
Contre fort	Déverse pour les crues exceptionnelles		Type 70

Voir annexe 2 pour les détails des calculs

- Seuil 3

Le calcul des dimensions du bassin de dissipation en aval du seuil 3 est identique au seuil 1 (voir plus haut). Les résultats sont regroupés au tableau 17.

Tableau 17 : Dimensions du bassin de dissipation en aval du seuil 3

Ouvrage	Hauteur de chute	Longueur	Profondeur critique	Profondeur par rapport au lit mineur
Bassin de dissipation (seuil 3)	H = 1.2 m	L = 5.8 m	$y_n = 0.25$ m	D = 0.50 m

Le seuil 3 traverse deux bras du cours d'eau, son positionnement a été choisi en utilisant la classification de Bender. Il a été placé en continuité du becquet du bassin de dissipation et sa hauteur est correspond à la valeur de **D arrondie à 50 cm.**

Composante	Hauteur (m)	Lame d'eau (m)	Type de Bassin
Seuil 3.2 (second seuil)	0.5	0.2	Type 100

❖ Profondeur affouillable

La hauteur maximum affouillable est déterminée par la formule de l'équation de 8 et les résultats sont présentées dans le tableau 18.

Tableau 18: Hauteurs affouillables des seuils

Caractéristique	Seuil 1	Seuil 2				Seuil 3
		Déversoir lit mineur	Contrefort	Aile haute	Aile basse	
h_a (m)	0.8	1.0	0.4	0.4	0.8	1.0

4.2.5. Stabilité des seuils

❖ Stabilité au glissement et au renversement

Les stabilités au glissement et au renversement des 3 seuils sont représentées sur les figures 14, 15 et 16 et aux tableaux 19, 20 et 21.

Seuil 1

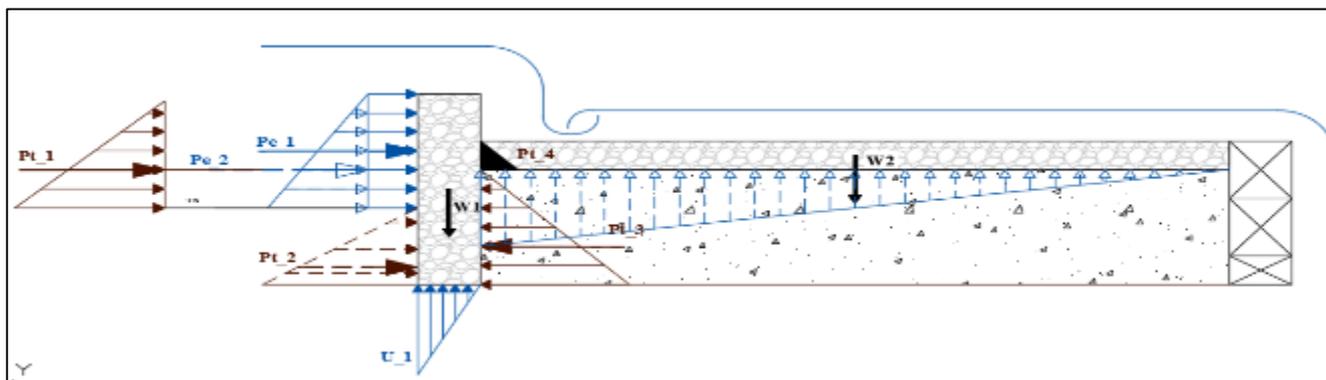


Figure 14: Descente des charges seuil 1

Tableau 19: Vérification de la stabilité du seuil 1

Vérification de la stabilité seuil 1					
Désignation	Forces en KN/m		Bras de levier (m)	Moment en KN.m	
	Verticale	Horizontale		Stabilisant	Renversant
Poussée hydrostatique externe amont					
Pe_1	-	4.80	0.60	-	2.88
Pe_2	-	4.80	0.40	-	1.92
Poussée hydrostatique externe aval					
Pe_a	-	0.00	0.00	0.00	-
Poussée des terres en amont et sédiments					
Pt_1	-	1.92	0.40		0.77
Pt_2	-	1.92	0.53	1.02	
Pt_3	-	4.32		0.00	
Pt_4	-	0.90	0.50	0.45	
Poids propre de l'ouvrage					
W1	20.00	-	0.25	5.00	-
W2	36.00	-			-
W3		-			-
Poussée hydrostatique interne (sous pression)					
U_1	3.00	-	0.17		0.50
U_2		-	0.00		0.00
Résultante des forces verticales		53.00			
Résultante des forces horizontales			6.30		
Somme des moments stabilisants				6.47	
Somme des moments renversants					6.07
Facteur de sécurité au glissement Fg		4.86	Fg > 1 donc seuil stable au glissement		
Facteur de sécurité au renversement Fr		1.07	Fr > 1 donc seuil stable au renversement		

Seuil 2

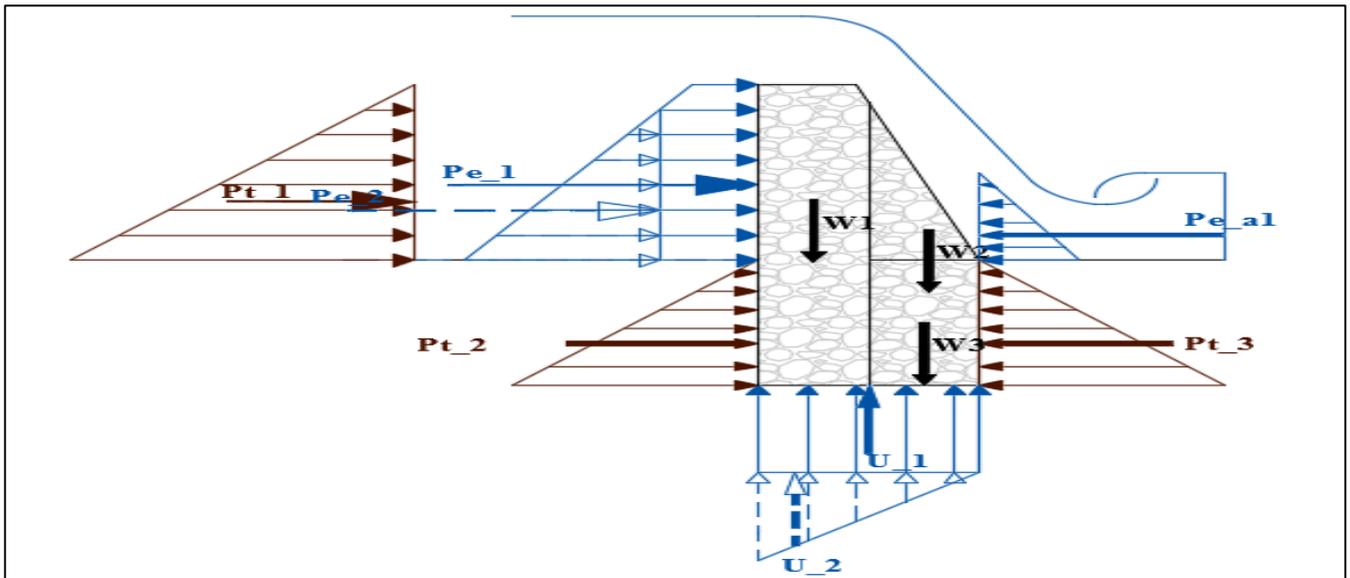


Figure 15: Descente des charges seuil 2

Tableau 20: Vérification de la stabilité seuil 2

Vérification de la stabilité seuil 2					
Désignation	Forces en KN/m		Bras de levier (m)	Moment en KN.m	
	Verticale	Horizontale		Stabilisant	Renversant
Poussée hydrostatique externe amont					
Pe_1	-	7.70	0.70	-	5.39
Pe_2	-	5.95	0.47	-	2.78
Poussée hydrostatique externe aval					
Pe_a	-	2.45	0.23	0.57	-
Poussée des terres en amont et sédiments					
Pt_1	-	2.61	0.47		1.22
Pt_2	-	3.00	0.67	2.00	
Pt_3	-	1.47	0.77	1.13	
Poids propre de l'ouvrage					
W1	19.20	-	0.70	13.44	-
W2	6.30	-	0.25	1.58	-
W3	10.00	-	0.25	2.50	-
Poussée hydrostatique interne (sous pression)					
U_1	6.30	-	0.45		2.84
U_2	3.15	-	0.30		0.95
Résultante des forces verticales	26.05				
Résultante des forces horizontales		12.34			
Somme des moments stabilisants				21.21	
Somme des moments renversants					13.17
Facteur de sécurité au glissement Fg	1.22	Fg > 1 donc seuil stable au glissement			
Facteur de sécurité au renversement Fr	1.61	Fr > 1 donc seuil stable au renversement			

Seuil 3

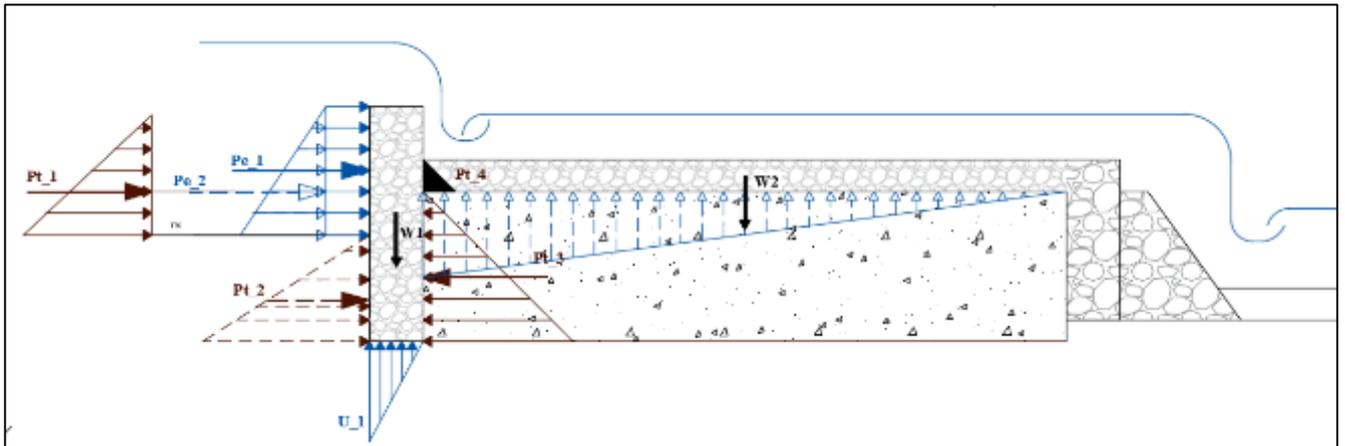


Figure 16: Descente des charges seuil 3

Tableau 21: Vérification de la stabilité du seuil 3

Vérification de la stabilité seuil 3					
Désignation	Forces en KN/m		Bras de levier (m)	Moment en KN.m	
	Verticale	Horizontale		Stabilisant	Renversant
<i>Poussée hydrostatique externe amont</i>					
Pe_1	-	6.00	0.60	-	3.60
Pe_2	-	4.20	0.40	-	1.68
<i>Poussée hydrostatique externe aval</i>					
Pe_a	-	0.00	0.00	0.00	-
<i>Poussée des terres en amont et sédiments</i>					
Pt_1	-	1.92	0.40		0.77
Pt_2	-	3.00	0.53	1.60	
Pt_3	-	4.32		0.00	
Pt_4	-	0.90	0.50	0.45	
<i>Poids propre de l'ouvrage</i>					
W1	22.00	-	0.25	5.50	-
W2	36.00	-			-
W3		-			-
<i>Poussée hydrostatique interne (sous pression)</i>					
U_1	3.00	-	0.17		0.50
U_2		-	0.00		0.00
Résultante des forces verticales	55.00				
Résultante des forces horizontales		6.90			
Somme des moments stabilisants				7.55	
Somme des moments renversants				6.55	
Facteur de sécurité au glissement Fg	4.60	Fg > 1 donc seuil stable au glissement			
Facteur de sécurité au renversement Fr	1.15	Fr > 1 donc seuil stable au renversement			

❖ Stabilité au phénomène de renard

La profondeur d'ancrage calculée à partir de la loi d'EDF (tableau 22) est faite de sorte que la règle de LANE soit respectée (cf. équation 5)

Tableau 22: Vérification de la règle de LANE

Ouvrage	ΣL_h (m)	ΣL_v (m)	CH (m)	$\Sigma L_v + \frac{1}{3} \times L_h$	Conclusion
Seuil 1	12.90	3.70	4.80	8.00	Vérifiée
Seuil 2	14.70	5.70	5.85	10.60	Vérifiée
Seuil 3	13.05	4.40	4.80	8.75	Vérifiée

4.2.6. Coût des travaux

L'établissement du métré, nous a permis de faire une évaluation des coûts de réalisation des seuils. Le prix du seuil 1 coutera environ **onze millions cent mille (11 100 000)** francs CFA (tableau 23) ; le seuil 2 coutera autour de **six millions deux cent soixante-dix mille (6 270 000)** francs CFA (tableau 24), quant au seuil 3 son prix tournera autour de **soixante un millions cinq cent mille francs (61 500 000)** francs CFA (tableau 25).

Tableau 23: Devis estimatif pour la construction du seuil 1

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Débroussaillage	m ²	2 889	50	144 450
Fouille	m ³	776	3 000	2 329 080
Remblai	m ³	30	11 500	342 470
Fourniture de moellons	m ³	452	1 250	565 000
Géotextile	m ²	424	1 000	424 000
Maçonnerie	m ²	453	15 000	6 795 000
Mise en place de comité	FF	1	500 000	500 000
Montant travaux				10 600 000
Montant général				11 100 000

Tableau 24: Devis estimatif pour la construction du seuil 2

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Débroussaillage	m ²	269	50	13 450
Fouille	m ³	259	3 000	777 000
Remblai	m ³	37	11 500	422 050
Fourniture de moellons	m ³	178	1 250	222 500
Maçonnerie	m ²	289	15 000	4 335 000
Mise en place de comité	FF	1	500 000	500 000
Montant des travaux				5 770 000
Montant général				6 270 000

Tableau 25: Devis estimatif pour la construction du seuil 3

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Débroussaillage	m ²	4 105	50	205 250
Fouille	m ³	2 779	3 000	8 337 000
Remblai	m ³	156	11 500	1 794 000
Fourniture de moellons	m ³	1 537	1 250	1 921 250
Maçonnerie	m ²	3 250	15 000	48 742 500
Mise en place de comité	FF	1	500 000	500 000
Montant des travaux				61 000 000
Montant général				61 500 000

Pour la construction des différents seuils, la participation des populations s'est limitée à la fourniture des moellons.

4.3. Etude d'impact sur l'environnement

L'étude d'impact sur l'environnement est un processus qui, au tout début de la planification, cerne et évalue les risques d'incidences environnementales découlant d'un projet prévu. Pour notre cas, elle analyse les effets positifs et négatifs de la réalisation des seuils d'épandage sur l'environnement et le cadre de vie des populations de Zam. Elle établit les mesures qui doivent être adoptées pour corriger les déséquilibres environnementaux créés par la construction de ces seuils.

Le tableau 26 fait le récapitulatif des impacts sur l'environnement dus à la réalisation de ces seuils d'épandage.

Tableau 26 : Impact environnemental de la mise en place des seuils

Phase	Récepteurs	Impacts	Causes	Mesures d'accompagnement
Construction	Sol	<ul style="list-style-type: none"> - Tassement du sol, - Destruction de la structure du sol, 	Circulation des engins	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des engins non polluants, - Rationaliser l'utilisation des terres.
			Prélèvement de la terre	
	Eaux de surface	<ul style="list-style-type: none"> - Souillure - Diminution 	Rejets polluants liquides ou solides	<ul style="list-style-type: none"> - Récupérer et traiter les polluants avant rejet, - Utiliser les engins bien entretenus.
			Prélèvement pour les besoins du chantier	
	Eaux souterraines	Contamination chimique	Rejets polluants liquides ou solides	<ul style="list-style-type: none"> - Optimiser l'utilisation de l'eau
	Végétation naturelle	<ul style="list-style-type: none"> - Destruction de la végétation 	<ul style="list-style-type: none"> - Abatage des arbres, - Débroussaillage 	Reboiser

Phase	Récepteurs	Impacts	Causes	Mesures d'accompagnement
	Bien être de la population	<ul style="list-style-type: none"> - Accidents, - Perturbation par le bruit et la poussière, - Développement de maladies pulmonaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Participation de la population au travaux - Curiosité des Enfants sur le chantier 	Adopter une bonne organisation d'exécution des travaux, Mettre à la disposition des travailleurs le matériel minimum de chantier (cache nez surtout)
	Activités économiques	Stimulation des petites activités commerciales, Opportunités d'emplois temporaires	<ul style="list-style-type: none"> - Présence d'un nombre important des travailleurs sur e chantier, - Ramassage des moellons 	
Exploitation	Bas-fond	Réhabilitation du bas-fond : <ul style="list-style-type: none"> - Récupération des terres, - Inondation des terres. 	Changement du comportement hydraulique du bas-fond	Sensibilisation de la population bénéficiaire pour l'appropriation des ouvrages et de leur entretien
	Eaux de surface	Amélioration de la disponibilité de l'eau	Ralentissement des écoulements et augmentation des superficies inondées	Accompagner les populations dans l'exploitation de la ressource eau
		Pollution de la nappe	L'utilisation des produits chimiques agricoles	Sensibiliser les agriculteurs dans la bonne pratique agricole
	Eaux souterraines	Recharge de la nappe	Augmentation de l'infiltration des eaux	Réaliser les puits l'abreuvement des animaux en saison sèche
		Population riveraine	Contribuer à désenclaver la populations	Franchissement facile des cours d'eau
	Augmentation du nombre de cas de paludisme		Stagnation de l'eau	Dormir sous un moustiquaire imprégné
	Augmentation des revenus des agriculteurs		<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des cultivable ; - Augmentation de la 	Accompagner les agriculteurs à utiliser les bonnes méthodes agricole

Phase	Récepteurs	Impacts	Causes	Mesures d'accompagnement
			disponibilité de l'eau	
		Augmentation de cas de noyade des enfants	Utilisation des surfaces inondées comme des terrains de jeu	Sensibiliser les enfants à ne pas utiliser les surfaces inondées comme des espaces de jeu

Sur les plans écologique, économique et social, les apports positifs sont reportés au tableau 27.

Tableau 27: Impacts positifs par milieu

Prestation	Impact écologique	Impact économique	Impact social
Construction des seuils d'épandage, organisation de la population locale, éducation de tous les acteurs	Répartition de l'eau sur l'ensemble du fond de la vallée	Amélioration temporaire de la situation des revenus	Renforcement de capacités
	Réduction de l'érosion du sol	Rajout d'une culture irriguée	Accès aux villages isolés pendant toute l'année
	L'écoulement des eaux ralenti	Rendements plus élevés pour la culture pluviale et de la culture de contre saison	Access plus facile à l'eau pour le bétail
	Dépôt des sédiments fertiles	Augmentation de la surface cultivable	Diversification de la situation alimentaire
	Taux d'infiltration d'eau élevé	Diversification des cultures	Diminution de l'exode rural
	Comblement des ravines d'érosion	Réduction des coûts de la construction de puits	Organisation améliorée de la population locale
	Augmentation de la réserve d'eau dans le sol	Augmentation de l'approvisionnement en fourrage et du pâturage	Réduction de la pauvreté
	Montée de la nappe phréatique	Augmentation de la production des cultures commerciales	
	Formation des mares et d'autres surfaces inondées	Access facile aux surfaces destinées pour le maraichage	
	Augmentations de la fertilité des sols	Revenu supplémentaire permanent	

Prestation	Impact écologique	Impact économique	Impact social
	Reconquérir des surface	Emploi sur toute l'année	
	Augmentation de la végétation naturelle et de la biodiversité	Nouvelles activités de production	
	Moins de presssion sur les terres agricoles		

4.4. Système de suivi de gestion et entretien des seuils

❖ Organisation

Pour tout ouvrage de génie civil, il est primordial d'effectuer un minimum d'actions visant à assurer la durabilité de l'ouvrage. Pour ce faire il est important d'organiser la population bénéficiaire au sein d'organes de gestion. En effet, dans le cadre du transfert des compétences aux communes, la gestion des ouvrages revient à la charge de la collectivité locale. C'est dans ce contexte qu'il est mis en place à l'échelle du bassin versant de Bomboré un Comité Local de l'Eau (CLE) qui assure la gestion durable du bassin versant. Les organes de gestion (groupements) à mettre en place doivent être sous le contrôle du CLE.

❖ Suivi technique

Pour la pérennité de l'ouvrage, il est primordial de prévoir un suivi technique pour évaluer les impacts sur l'environnement. Ce suivi (recharge de la nappe, piégeage des sédiments conservation des eaux et des sols) sera assuré par une équipe pluridisciplinaire des agents des services techniques déconcentrés de l'Etat.

IV. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif général de contribuer au schéma d'aménagement du bassin versant de Bomboré pour la protection du barrage de Mogtéo dans le Plateau Central du Burkina Faso. La démarche méthodologique suivie a consisté à proposer des emplacements sur le cours d'eau 3 seuils réalisés en maçonnerie et en gabion de moellon. Pour la mise en place de ces ouvrages servant à la fois d'épandage de crue et de franchissement du cours d'eau en période hivernale, il a fallu procéder à des études hydrologiques, hydrauliques, de Génie Civil mais aussi une étude d'impact environnemental.

Au terme de cette démarche, nous avons retenu la mise en place de trois seuils dont 2 vont servir de déversement libre (seuils 1 et 3) et le troisième est orienté comme un ressaut (seuil 2). Les seuils 1 et 3 servent également d'ouvrages de franchissement.

Vu le processus de dégradation continue des ressources naturelles plus particulièrement des sols à cause d'une forte érosion entraînant l'ensablement de la retenue, ces ouvrages peuvent être une solution pour un schéma d'aménagement du bassin de la Bomboré. En effet, ces ouvrages pourront permettre d'épandre les crues, de retenir les sédiments, de ralentir le ravinement et de recharge de la nappe.

Les réalisations de ces ouvrages se feront en matériaux locaux (gabions de moellons) et le coût global est d'environ 79 millions de francs CFA qui pourrait être budgétisé et inscrire dans un plan de gestion du bassin versant de la Bomboré. Le seuil 3 positionné à un endroit où le cours d'eau se subdivise en deux bras représente 78% de l'enveloppe financière.

La surveillance et l'entretien des ouvrages seront assurés par un organe piloté par le Comité Local de l'Eau (CLE) de Bomboré. Cet organe devrait participer activement aux travaux de construction et organisera des sessions d'information et de formation à l'endroit des bénéficiaires afin de permettre une meilleure appropriation des ouvrages. Ces sessions se feront avec l'appui conseil de l'Agence de l'Eau du Nakanbé. Il est aussi proposé un suivi technique à travers les services étatiques intervenant dans le milieu rural afin d'évaluer l'impact de ces ouvrages sur le milieu naturel et humain de la localité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bender. H. Seuils d'épandage en zone sahélienne. 2009. 29 p.
- Bérard. P. Aménagement des vallées des volta. AVV LCHF Géohydraulique. 1974. p 5-30
- Bérard. P. Etude hydrogéologique de Mogtédou-Bomboré. AVV LCHF Géohydraulique. 1977. p 3-25
- Bulletin FAO 54. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. 1996. 265 p.
- Certu. Maitrise des vitesses par l'aménagement. 2008 ; Fiche 3 :5 p.
- Durand. J-M, Royet. P, Meriaux. P. Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale. Cemagref. 1999. 415 p.
- 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, p. 55-72.
- INSD. Recensement générale de la population et de l'Habitation de 2006. 2008 p. 52.
- Mietton. M. Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. In : Cah Orstom ser Pedofil. 1986. p. 181-96.
- Nill. D. Seuils d'épandage pour la valorisation des vallées d'oued dégradées : Expérience du sahel. GIZ. 2012 ;56 p.
- Padonou. M N, Sarr. P. Contribution de la Télédétection et du Système d'Information géographique (SIG) à l'amélioration de la gestion des eaux de surface dans un bassin versant : Cas du barrage de Mogtédou au Burkina Faso. In : Journée d'Animation Scientifique de l'AUF (Alger) ; 2009. 7 p.
- Peyras. L, Royet. R, Degoutte. G. Ecoulement et dissipation sur les déversoirs en gradins de gabions. LA HOUILLE BLANCHE/N° I-1991. 1991 ; 11p.
- PNSR 2011-2015. Programme National du Secteur Rural. 2012. 101 p.
- Soulga. Cours d'aménagement des bas-fonds. 2iE. 2015. 34 p.
- Wopereis. M C S, Defoer. T, Idinoba. P, Drack. S, Dugué. M-J. Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne : Manuel technique. Cotonou, Bénin : le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). 2008 ; vi+128.

ANNEXES

ANNEXE 1 FICHE SYNOPTIQUE DES SEUILS	42
ANNEXE 2 : ETUDES HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	43
ANNEXE 3 :DIMENSIONNEMENT DES SEUILS.....	55
ANNEXE 4:FICHE D'ENQUETE	63
ANNEXE 5 : ETUDE DES PRIX.....	65
ANNEXE 6 : RAPPORT DE MISSION D'IMPLANTATION DE 12 MICRO-PIEZOMETRE	68
ANNEXE 7 :FICHE 3 DE CERTU.....	75
ANNEXE 8 :PLANS DESSINES	80

ANNEXE 1 FICHE SYNOPTIQUE DES SEUILS

DESIGNATION	CARACTERISTIQUES		
	Seuil 1	Seuil 2	Seuil 3
SITUATION			
Pays	Burkina Faso	Burkina Faso	Burkina Faso
Département	Zam	Zam	Zam
Cours d'eau	Affluent de la Bomboré	Affluent de la Bomboré	Affluent de la Bomboré
DESTINATION DES SEUILS			
Objectif	- Retenue des sédiments, - Epandage des crues, - Franchissement du cours d'eau	- Retenue des sédiments, - Epandage des crues, - Irrigation	- Retenue des sédiments, - Epandage des crues, - Franchissement du cours d'eau
HYDROLOGIE			
Climat	Soudano-sahélien	Soudano-sahélien	Soudano-sahélien
Superficie du bassin versant de chaque seuil	6.02 km ²	13.90 km ²	89.42 km ²
Longueur du bassin versant	13.30 km	19.70 km	52.73 km
CARACTERISTIQUES DES EVACUATEURS DE CRUE			
DEVERSOIR			
Matériau	Moellon maçonné	Moellon maçonné	Moellon maçonné
Type	Déversement libre	Ressaut	Déversement libre
Débit	20 m ³ /s	30 m ³ /s	102 m ³ /s
Longueur	46 m	10 m	290 m
Hauteur	1.2 m	1.4 m	1.2 m
RADIER –CHENAL			
Matériau	Moellon maçonné	-	Moellon maçonné
Largeur	6 m	-	6 m
BASSIN DE DISSIPATION			
Matériau	Gabion de moellon	Moellon maçonné	Moellon maçonné
Longueur	5.4 m	2 bassins en séries de 4.5 m	5.8 m
Largeur	46 m	10 m	170 m
DEVIS ESTIMATIF			
Coût	11 100 000	6 270 000	61 500 000

ANNEXE 2 : ETUDES HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

A.1.1. Analyse fréquentielle des pluies de la station de Mogtéo

❖ Données des pluies brutes

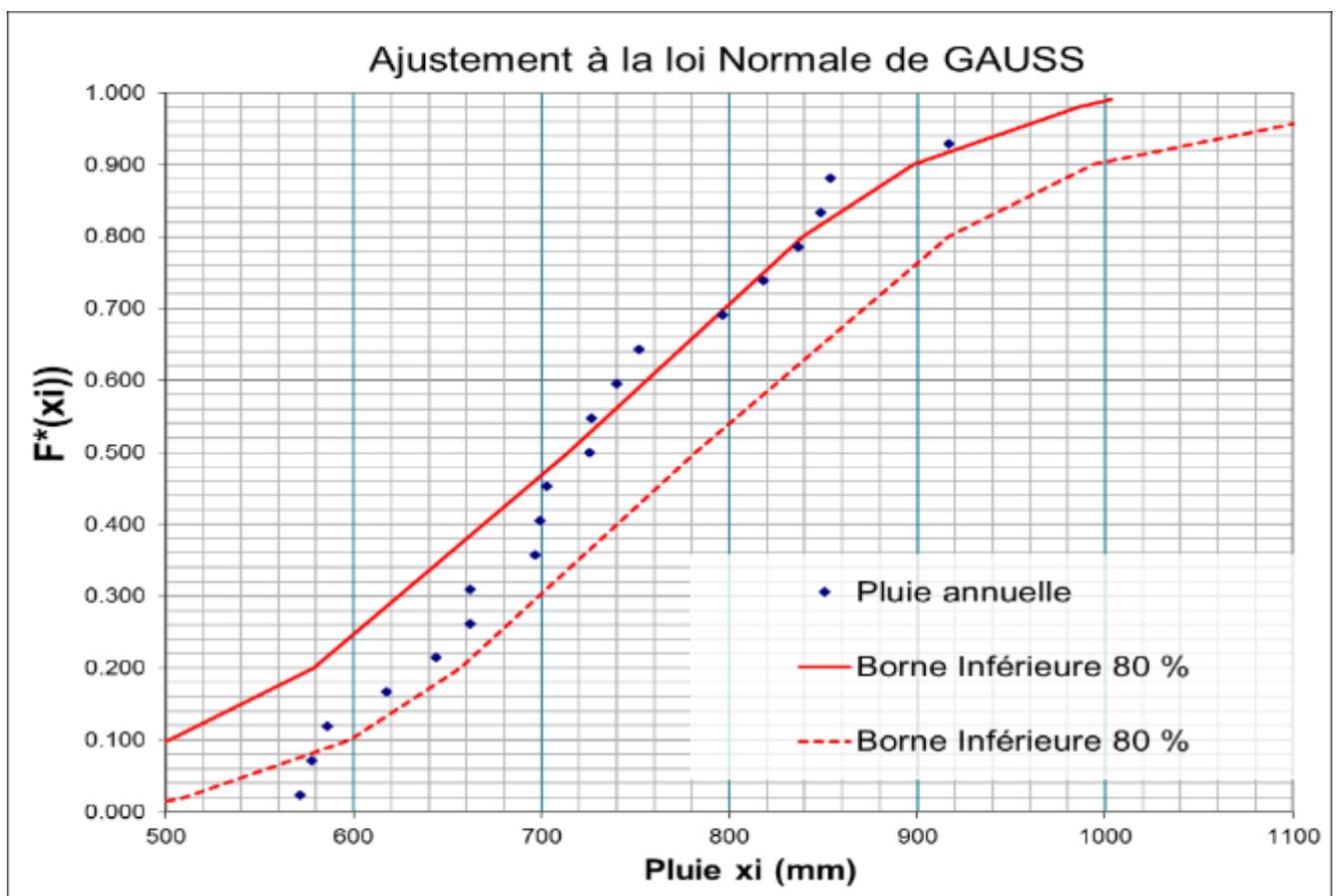
Année	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
1970	0.0	0.0	0.0	3.5	45.7	79.0	202.8	209.0	155.9	0.8	0.0	0.0
1971	0.0	4.8	0.8	24.4	56.8	85.1	163.9	159.5	116.8	1.6	0.0	4
1972	0.0	0.0	0.0	37.7	36.7	165.2	155.2	187.5	65.2	78.9	0.0	0.0
1973	0.0	17.9	0.0	22.2	19.3	127.5	129.7	246.4	125.4	10.6	0.0	0.0
1974	0.0	0.0	1.0	2.2	81.5	81.0	182.4	300.4	148.7	56.4	0.0	0.0
1975	0.0	0.0	0.7	0.0	38.8	87.5	233.5	188.1	108.7	4.6	0.0	0.0
1976	0.0	0.0	0.0	0.0	110.1	87.4	108.9	203.9	184.9	141.3	0.0	0.0
1977	0.0	0.0	31.4	18.1	61.2	42.4	206.7	222.9	110.9	58.5	0.0	0.0
1978	0.0	0.0	6.1	41.1	45.5	103.9	206.7	159.7	119.4	20.5	0.0	0.0
1979	0.0	0.0	11.0	11.6	143.2	120.6	135.7	284.3	171.0	34.2	5.4	0.0
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	65.0	208.5	258.4	64.9	51.8	0.0	--
1981	0.0	0.0	0.0	11.0	45.3	122.9	159.7	126.5	106.3	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.0	10.4	61.0	--	--	--	--	--	--	--	--
1983	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1984	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1985	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1986	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1992	--	--	--	17.6	96.2	88.7	274.8	247.0	71.8	--	--	--
1993	--	--	--	7.2	0.0	160.4	229.2	178.6	111.7	52.8	--	--
1994	0.0	0.0	31.4	20.8	40.9	126.9	212.4	477.2	275.2	88.7	--	--
1995	0.0	0.0	0.0	9.2	82.7	63.9	177.5	295.2	97.0	--	--	--
1996	0.0	0.0	0.0	40.1	73.9	45.1	221.5	266.9	167.1	3.3	0.0	0.0
1997	0.0	0.0	22.5	47.6	58.9	17.8	142.0	154.9	114.9	27.3	0.0	0.0
1998	0.0	0.0	0.0	36.2	81.1	185.6	187.2	--	--	--	--	--
1999	0.0	0.0	0.0	4.3	25.7	147.4	204.7	253.1	213.5	0.0	0.0	0.0
2000	0.0	0.0	0.0	4.1	85.6	128.7	104.3	178.2	35.1	41.6	0.0	0.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	67.3	49.3	212.0	177.9	133.3	4.0	0.0	0.0
2002	--	--	--	--	--	78.9	151.6	149.3	--	--	--	--
MOY	0.0	1.1	5.5	18.3	59.5	98.3	183.1	223.9	128.5	35.6	0.3	0.3

❖ Statistique descriptive de la série de pluie

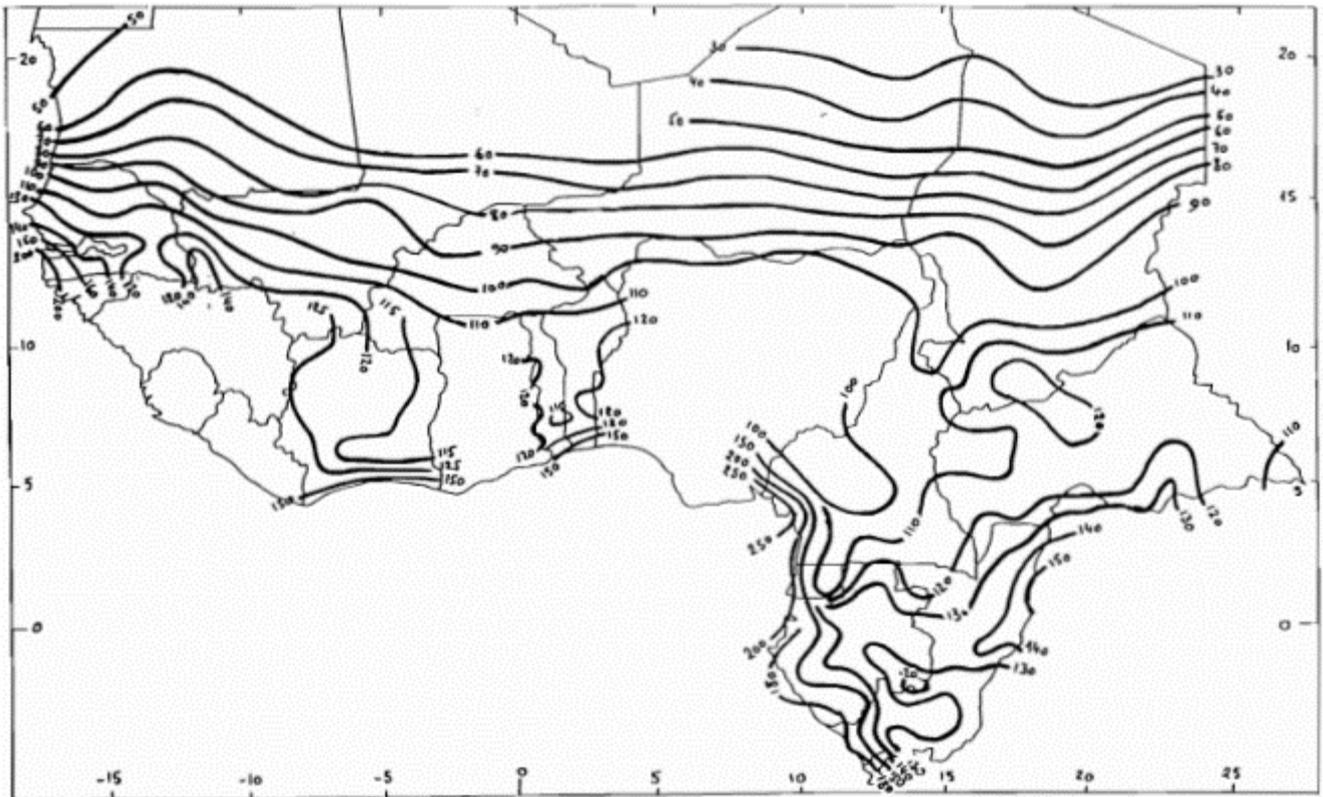
Moyenne	747.9 mm	Maximum	1273.5 mm
Médiane	725.5 mm	Minimum	571.7 mm
Mode	700 mm	Ecart type	154.6 mm

Durée de retour (ans)	Période sèche		Période humide	
	Fréquence	Pluies (mm)	Fréquence	Pluies (mm)
5	0.2	618	0.8	878
10	0.1	550	0.9	946
50	0.02	430	0.98	1065
100	0.01	388	0.99	1108

Comme la moyenne et la médiane sont proche. On suppose que la distribution des pluies annuelle de la station de Mogtéo suit une loi normale de GAUSS. On obtient :



❖ Pluies journalière décennale



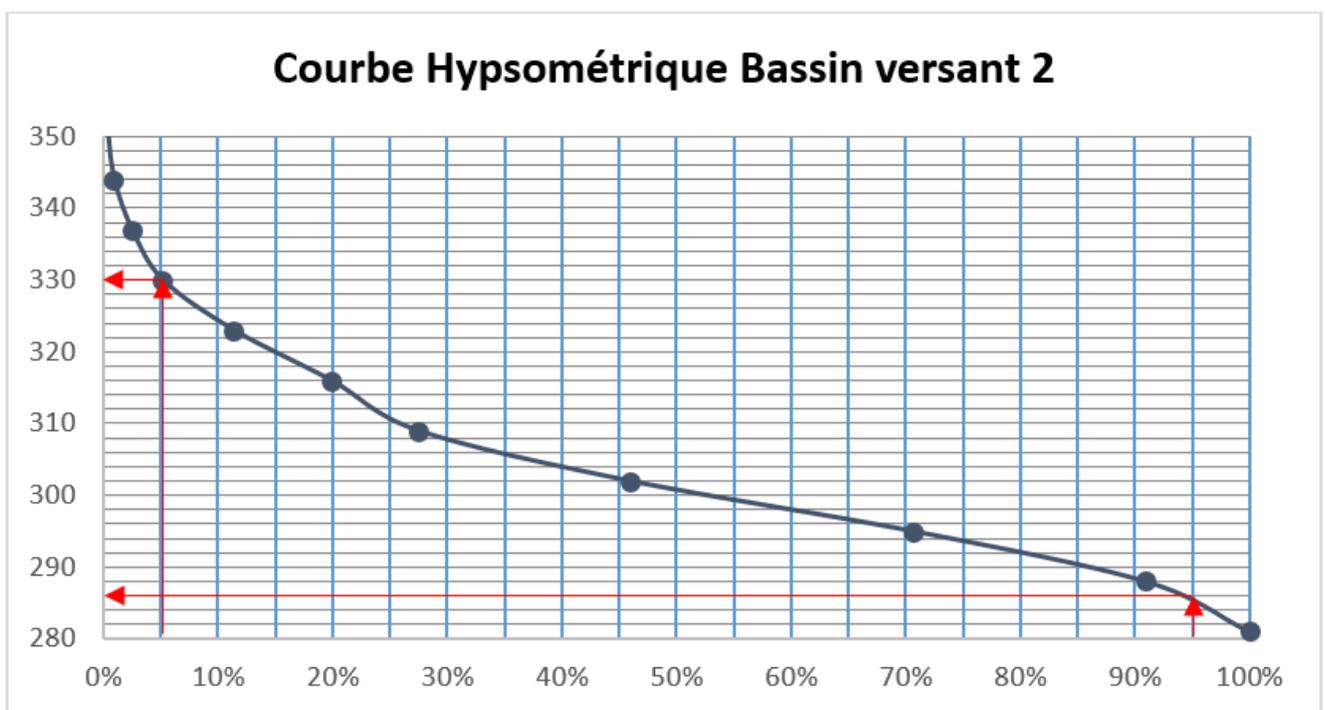
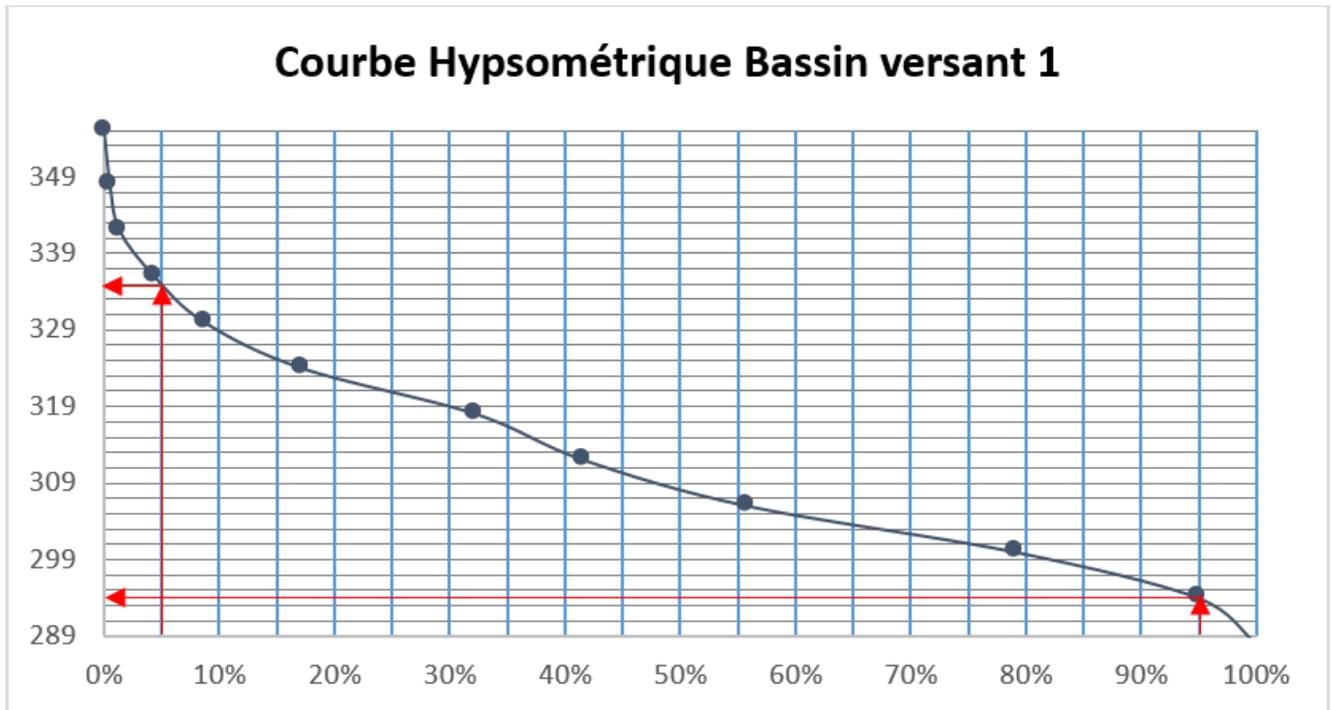
A.1.2. Caractéristiques des bassins versants

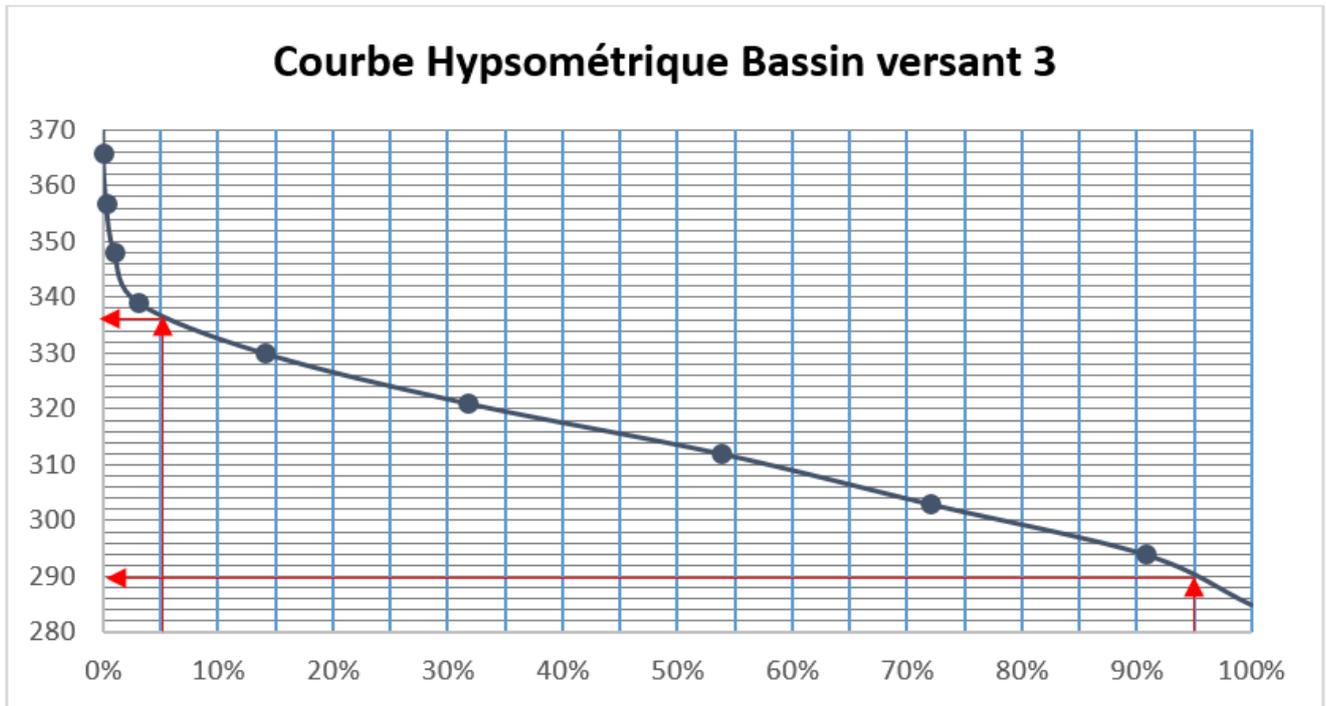
Paramètres	Symbole	Dimension	Formule	Résultats obtenus			Commentaires
				BV 1	BV 2	BV 3	
Climat				Soudano-sahélien			Le climat tropicale sèche est retenu pour le choix des paramètres dans le Bulletin 54 de la FAO.
Aspect du réseau hydrographique				Dendritique			
Typologie du relief				Faible			
Classe de perméabilité				RI (P3)	RI (P3)	I (P2)	I (P2) : Bassin imperméable, RI (P3) : Bassin relativement imperméable
Périmètre	P	km	A partir de Arc GIS	14.30	19.74	52.73	
Surface	S	km ²	A partir de Arc GIS	6.02	13.9	89.42	
Indice de forme	K _g	Sans dimension	Formule de GRAVELIUS : $K_g = \frac{P}{2 \times \sqrt{\pi \times S}}$	1.64	1.49	1.57	Les valeurs sont supérieures à 1.30 ce qui montre que les 3 bassins versants sont de forme allongée.
Longueur de rectangle équivalent	L	km	$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 \times S}}{4}$	6.18	8.17	22.37	
Largeur de rectangle équivalent l (km)	l	km	$L = \frac{P - \sqrt{P^2 - 16 \times S}}{4}$	0.97	1.70	4.00	
Indice global de pente	I _g	m/km	$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L}$	6.64	5.39	2.10	Les valeurs de H _{5%} et H _{95%} sont obtenue à partir de la courbe hypsométrique.
Pente transversale moyenne	IT	m/km	--	8.78	8.40	7.74	Les valeurs sont les moyennes de 4 pentes transversales calculées à partir de Global Mapper en considérant la ligne de plus grande pente des versants.
Indice global des pente corrigé	I _{gcor}	m/km	$I_{gcor} = \frac{(n - 1) \times I_g + IT}{n}$	7.35	6.39	3.98	On a 5 < L < 25 donc pour les 3 bassins n = 3

Dénivelée spécifique	Ds	m	$D_S = I_{gcor} \times \sqrt{S}$	18.04	23.83	37.63	Ds < 50, donc les bassins ont des reliefs faible
Longueur du réseau hydrographique	L _{réseau}	km	$L_{réseau} = \sum_{i=1}^{i=n} L_i$	4.65	10.71	68.85	Obtenues à partir de Arc GIS
Densité de drainage	Dd	km/km ²	$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S}$	0.77	0.77	0.77	

❖ Courbes hypsométrique

Le calcul des surfaces partielles par triangulation a donné des valeurs qui ont permis de dresser les graphiques suivants :





On peut lire les valeurs de H_{5%} et de H_{95%} directement sur les courbes. Le récapitulatif des valeurs lues est présenté dans le tableau ci-dessous :

Altitude	Bassin versant 1	Bassin versant 2	Bassin versant 3
H _{5%} (m)	335 m	330 m	337 m
H _{95%} (m)	294 m	286	290 m
ΔH (m)	41 m	44 m	47 m

Le calcul des moyennes des pentes transversales est présenté dans le tableau ci-dessous :

❖ Pente transversale du bassin versant 1

Paramètres	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Moyenne	Différence entre Ig et IT
Z _{max} (m)	309.86	300.40	320.51	331.11		
Z _{min} (m)	298.39	297.53	310.82	320.2		
Distance (km)	1.45	0.43	1.16	0.893		
Pente (m/km)	7.91	6.64	8.35	12.22	8.78	24.39% > 20% donc il faut corriger Ig

❖ **Pente transversale du bassin versant 2**

Paramètres	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4		
Zmax (m)	309.86	331.11	296.49	303.79	Moyenne	Différence entre Ig et IT
Zmin (m)	298.39	320.20	292.1	297.04		
Distance (km)	1.45	0.89	1.08	0.717		
Pente (m/km)	7.91	12.22	4.06	9.41	8.40	35.91% > 20% donc il faut corriger Ig

❖ **Pente transversale du bassin versant 3**

Paramètres	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4		
Zmax (m)	329.88	333.20	336.96	305.16	Moyenne	Différence entre Ig et IT
Zmin (m)	298.21	300.78	311.07	286.67		
Distance (km)	4.09	4.57	2.71	2.82		
Pente (m/km)	7.74	7.09	9.55	6.56	7.74	72.84% > 20% donc il faut corriger Ig

A.1.3. Prédétermination de la crue de projet

❖ Calcul des paramètres nécessaires (méthode ORSTOM)

Paramètres	Symboles	Dimensions	Formules	Valeurs			Commentaires
				BV 1	BV 2	BV 3	
Coefficient d'abattement de Vuillaume	A	Sans dimension	Formule de Vuillaume : $A = 1 - \left(\frac{161 - 0.042 \times P_{an}}{1000} \times \log S \right)$	0.9	0.85	0.75	❖ P_{an} : Pluie annuelle décennale (748 mm) ; ❖ S: surface du bassin versant en km ²
Hauteur de pluie journalière décennale	P_{10}	mm	Bulletin 54 de la FAO	95	95	95	
Hauteur de pluie journalière décennale moyenne	P_{m10}	mm	$P_{m10} = A \times P_{10}$	85.4	80.93	70.98	❖ A = Coefficient d'abattement ; ❖ P_{10} = Hauteur de pluie journalière décennale
Coefficient de ruissellement décennal	K_{r10}	%	La forme analytique générale est donnée par la relation : $K_{r10} = \frac{a'}{b' + S} + c'$ - Pour $I_{gcor} = 7.35$ m/km (Bassin versant 1) on a : $K_{r70} = 26.41\%$ et $K_{r100} = 28.94\%$ et par interpolation linéaire on a la valeur de K_{r10} pour la $P_{10} = 95$ mm. - Pour $I_{gcor} = 6.39$ m/km (Bassin versant 2) on a : $K_{r70} = 23.64\%$ et $K_{r100} = 26.57\%$ et par interpolation	28.52	26.08	36.07	❖ S: surface du bassin versant. ❖ Les coefficient a', b' et c' sont dépendant de l'imperméabilité, l'indice global de pente et de la zone

Paramètres	Symboles	Dimensions	Formules	Valeurs			Commentaires
				BV 1	BV 2	BV 3	
			linéaire on a l a valeur de K_{r10} pour la $P_{10} = 95$ mm. - Pour $I_{gcor} = 3.98$ m/km (Bassin versant 3) on a : $K_{r70} = 32.69\%$ et $K_{r100} = 36.74\%$ et par interpolation linéaire on a l a valeur de K_{r10} pour la $P_{10} = 95$ mm.				climatique (Tableaux 3 et 4 du Bulletin 54 de la FAO).
Coefficient de pointe décennal	α_0	Sans dimension	Bulletin 54 de la FAO	2.6	2.6	2.6	
Temps de base correspond à la crue	T_{b10}	mn	La formule utilisée est (Bulletin FAO 54 1996) : $Tb_{10} = a \times S^{0.36} + b$ Les valeurs de a et b sont pris en fonction l'indice global de pente I_{gcor} : - Pour $I_{gcor} = 3$ m/km, on a : $Tb_{10} = 325 \times S^{0.36} + 315$ - Pour $I_{gcor} = 7$ m/km, on a : $Tb_{10} = 163 \times S^{0.36} + 142$ - Pour $I_{gcor} = 10$ m/km, on a : $Tb_{10} = 95 \times S^{0.36} + 80$ La valeur de T_{b10} est obtenue par interpolation linéaire avec la valeur de I_{gcor} du bassin correspondant.	430.69	652.51	1710.83	Les coefficient a et sont entièrement dépendant de l'indice global de ente
Débit de crue ruisselé décennal	Q_{r10}	m^3/s	La formule utilisée est la suivante (Bulletin FAO 54 1996) : $Q_{r10} = A \cdot P_{10} \cdot K_{r10} \cdot \alpha_{10} \cdot S / T_{b10}$	14.84	19.36	57.6	
Débit de crue décennal	Q_{10}	m^3/s	La formule utilisée est la suivante (Bulletin FAO 54 1996) :	15.28	19.94	59.33	Conformément au bulletin 54 de la

Paramètres	Symboles	Dimensions	Formules	Valeurs			Commentaires
				BV 1	BV 2	BV 3	
			$Q_{r10} = 1.03 \times Q_{r10}$				FAO page 50, le coefficient 1.03 a été retenu.

❖ Calcul des paramètres nécessaires (méthode CIEH)

N° Equation	Nombre échantillons	Valeur de r ²	Constante a	Exposants				Q ₁₀ calculé en m ³ /s		
				S	i	P	k	BV ¹	BV ²	BV ³
12	176	0.795	0.095	0.643	0.406	0	1.038	21.94	32.35	123.69
26	295	0.654	146	0.479	0	-0.969	0.457	21.44	32.37	103.98
27	288	0.65	0.56	0.619	0.279	0	0.51	16.39	25.28	82.72
40	60	0.824	0.254	0.462	0.101	0	0.976	18.74	24.92	77.05
42	133	0.755	0.0912	0.643	0.399	0	1.019	19.49	28.81	109.86
44	133	0.757	203	0.459	0	-1.301	0.813	21.65	31.71	115.04
Moyenne								19.94	29.24	102.06

La formule utilisée est la suivante :

$$Q_{10} = a \cdot S^s \cdot P_{m10}^p \cdot I_g^i \cdot K_{r10}^k \cdot D_d^d \dots$$

Paramètres	Symboles= valeurs – unités		
	Bassin versant 1	Bassin versant 2	Bassin versant 3
Surface du bassin versant	S = 6.02 km ²	S = 13.9 km ²	S = 89.42 km ²
Hauteur de pluie journalière décennale moyenne	P _{m10} = 85.4 mm	P _{m10} = 80.93 mm	P _{m10} = 70.9 mm
Indice global de pente	I _{gcor} = 7.35 m/km	I _{gcor} = 6.39 m/km	I _{gcor} = 3.98 m/km
Coefficient de ruissellement décennal ²	K _{r10} = 28.52 %	K _{r10} = 26.08 %	K _{r10} = 36.07 %
Densité de drainage	D _d = 0.77 km ⁻¹	D _d = 0.77 km ⁻¹	D _d = 0.77 km ⁻¹

¹ BV : Bassin versant

² Le coefficient est celui calculé dans la méthode ORSTOM

ANNEXE 3 : DIMENSIONNEMENT DES SEUILS

A.2.1. Dimensionnement des déversoirs

❖ Seuils 1 et 3

La détermination de la longueur déversante des seuils est faite en utilisant la formule de l'écoulement sur un seuil dénoyé :

$$Q = m \times L \times \sqrt{2 \times g} \times h^{3/2}$$

Avec, Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
m	coefficient de débit du seuil, (m = 0.385 pour les déversoirs à crête épaisse ;
L	longueur déversante en m ;
g	accélérateur de la pesanteur en m/s ² (g = 9.81 m/s ²) ;
h	hauteur de la lame d'eau déversante en m (0.4 < h < 0.7 pour les déversoirs en moellons).

La hauteur du déversoir par rapport au lit mineur est calée conformément au profil en travers du cours d'eau, de manière à ce qu'après le laminage le plan d'eau normale soit dans le cours d'eau. La charge d'eau **h** au-dessus du déversoir a été pris de manière à ce que le plan d'eau pendant le laminage ne dépasse pas le plan des hautes eaux et en même temps n'excède pas les conditions pour le cas de déversoir en moellons (0.4 < h < 0.7). Ce qui donne les résultats suivants :

Seuil	Q (m ³ /s)	m	h (m)	L (m)
Seuil 1	20	0.385	0.4	46
Seuil 3	102	0.385	0.5	170

❖ Seuil 2

Nous choisissons de mettre en place un seuil de hauteur H = 140 cm. Et à partir de la formule de l'écoulement sur un seuil, nous calculons le débit.

Pour la cote de l'eau à 190 cm nous avons le résultat suivant :

Tableau 11 : Débit évacué par le seuil 2 à la cote 190 cm

Paramètres	Seuil (lit mineur)	Contrefort	Aile haute	Aile basse
L (m)	20	57	75	50
H (m)	1.4	0.7	0.4	0.2
h (m)	0.5	0	0.1	0.3
m	0.385	0.385	0.385	0.385
g (m.s ⁻²)	9.81	9.81	9.81	9.81
Q (m ³ /s)	12.06	0.00	4.04	14.01
Q (m³/s) total	30.11			

Pour la cote de l'eau à 195 cm nous avons le résultat suivant :

Tableau 12 : Débit évacué par le seuil 2 à la cote 195 cm

Paramètres	Seuil (lit mineur)	Contrefort	Aile haute	Aile basse
L (m)	20	57	75	50
H (m)	1.4	0.7	0.4	0.2
h (m)	0.55	0	0.15	0.35
m	0.385	0.385	0.385	0.385
g (m.s ⁻²)	9.81	9.81	9.81	9.81
Q (m ³ /s)	13.91	0.00	7.43	17.66
Q (m³/s) total	39.00			

Les résultats montrent que si nous mettons en place un seuil de hauteur H = 140 cm à la section du cours d'eau, le débit de projet est évacué à une cote de 195 cm par rapport au lit mineur. Suivant la classification de Heinz Bender, il s'agit d'un seuil double trapézoïdale.

La synthèse des dimensions des déversoirs sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Dimensions des déversoirs des trois seuils

Caractéristiques	Seuil 1	Seuil 2				Seuil 3
		Seuil (lit mineur)	Contrefort	Aile haute	Aile basse	
L (m)	46	20	82	50	50	170
H (m)	1.2	1.4	0.7	0.4	0.2	1.2
e _{base}	0.5	0.9	0.4	0.4	0.4	0.5
e _{crete}	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5

e_{base} : épaisseur de la base du déversoir ; e_{crête} : épaisseur de la crête du déversoir

A.2.2. Dimensions des chenaux radier (seuils 1 et 3)

Le dimensionnement des chenaux a été fait uniquement pour les seuils 1 et 2. Ils sont utilisés en même temps comme des radiers pour permettre le franchissement du cours même en cas de déversement. La formule de Manning – Strickler a été utilisée pour déterminer la profondeur minimale :

$$Q = K \times S \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec ; Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
K	coefficient de Manning – Strickler (K=60 pour un canal en maçonnerie vieille) ;
S	section mouillée obtenue par le formule en m ² : $S = L \times y_n$;
R	rayon hydraulique en m par la formule : $R = \frac{S}{L+y_n}$;
I	Pente du chenal en m/m (ici on prendra 0.002 m/m pour éviter la dégradation),
y _n	profondeur normale du chenal (profondeur minimale) en m.

La forme finale de la formule utilisée est :

$$Q = K \times L \times y_n \times \left(\frac{L \times y_n}{L + 2 \times y_n} \right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

La profondeur critique est calculée à partir de la formule suivante :

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \times \left(\frac{Q}{L} \right)^2}$$

Par itération nous avons les résultats suivants :

Paramètres	Seuil 1	Seuil 3
Q m ³ /s	20	102
K	60	60
L (m)	46	170
I	0.002	0.002
y_n (m)	0.33	0.41
y_c (m)	0.26	0.33

Les résultats donnent une profondeur minimale y_n pour les deux chenaux. On a $y_n > y_c$ donc l'écoulement à ce niveau est fluvial.

La largeur du radier a été dimensionnée pour obliger aux usagers de la route de réduire la vitesse des véhicules au passage sur le seuil. La largeur permet le croisement de 2 véhicules poids lourds. Largeur retenue est de **l = 6 m** (Certu 2008)(Certu 2008)(Certu, 2008).

A.2.3. Dimensionnement des bassins de dissipation

❖ Seuil 1 en gabion

- Détermination de la longueur L' du bassin de dissipation du seuil 1

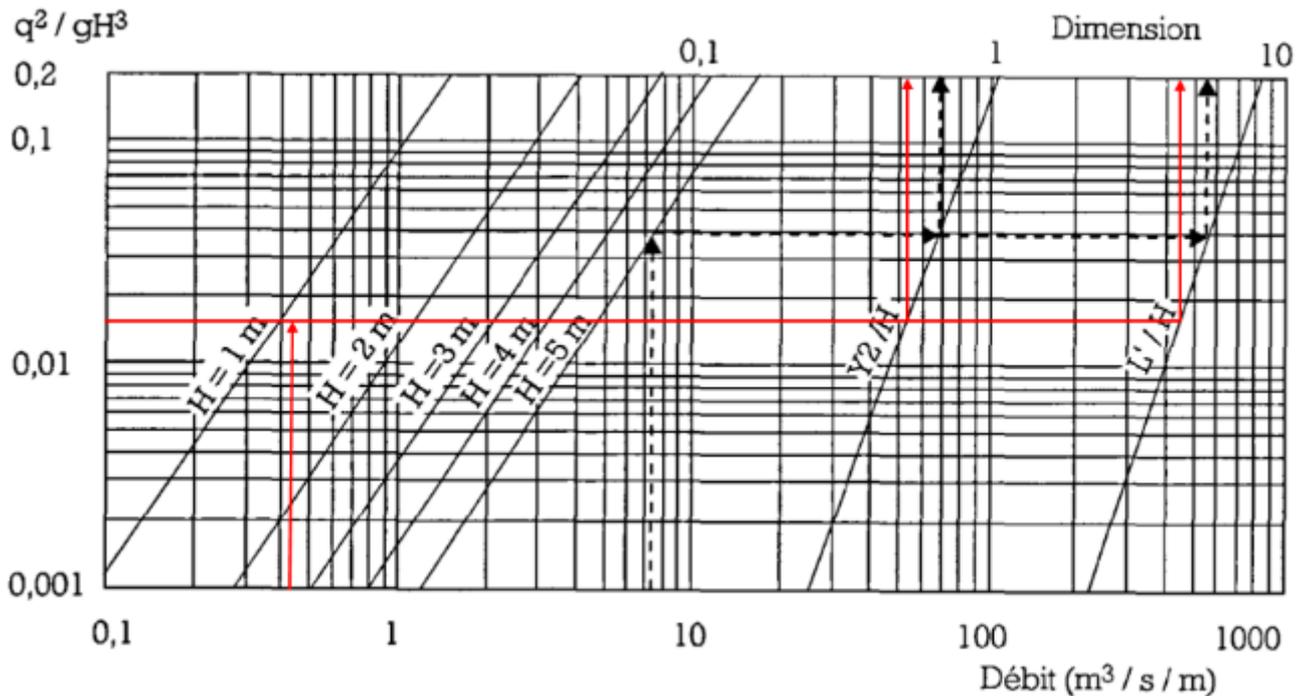
Calculons le débit par unité de longueur déversante q par la formule suivante :

$q = \frac{Q}{L}$	
Avec q	Débit par unité de longueur déversante en m ³ /s/ml ;
Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
L	longueur déversante en m

On a alors $q = \frac{20}{46} = 0.43 \text{ m}^3/\text{s/ml}$

Choisissons une hauteur de chute de **H = 1.2 m** et en calculant $\frac{q^2}{g \times H^3} = \frac{0.43^2}{9.81 \times 1.2^3} = 0.016$

A partir de q et H , nous pouvons exploiter l'abaque suivant :



Les résultats donnent les valeurs suivantes :

$$y_2/H = 0.53 \leftrightarrow y_2 = 0.53 \times 1.2$$

Ce qui donne une valeur de $y_2 = 0.64$ m et

$$L'/H = 4.5 \leftrightarrow y_2 = 4.5 \times 1.2$$

Ce qui donne une valeur de $L' = 5.4$ m

- Détermination de la profondeur D par rapport au lit mineur aval

On calcule d'abord le tirant d'eau normal du cours d'eau y_n par la formule de Manning – Strickler :

$$Q = K \times L \times y_n \times \left(\frac{L \times y_n}{L + 2 \times y_n} \right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec ; Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m^3/s ;
K	coefficient de Manning – Strickler ($K=40$ pour un chenal rempli de cailloux) ;
S	section mouillée obtenue par le formule en m^2 : $S = L \times y_n$;
R	rayon hydraulique en m par la formule : $R = \frac{S}{L + y_n}$;
I	Pente du cours d'eau en m/m (le terrain a une pente de 0.0016 m/m),
y_n	profondeur normale du chenal (profondeur minimale) en m.

En résolvant l'équation suivantes $20 = 40 \times 46 \times y_n \times \left(\frac{46 \times y_n}{46 + 2 \times y_n} \right)^{2/3} \times 0.0016^{1/2}$ nous avons un tirant d'eau de $y_n = 0.46$ m.

La valeur de D est obtenue maintenant par la formule :

$$D = y_2 - y_n$$

Donc

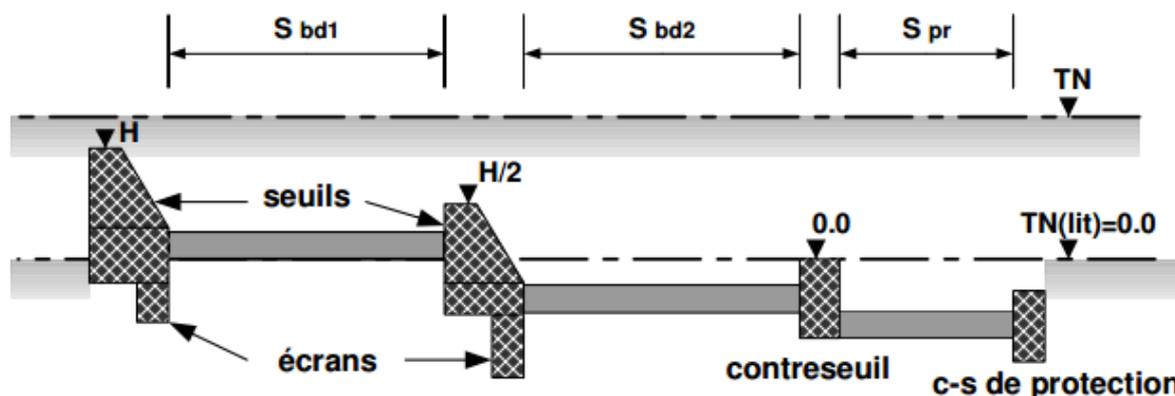
$$D = 0.64 - 0.46 = 0.18 \approx 0.20 \text{ m}$$

❖ Seuil 2

En fonction de la hauteur du seuil et en utilisant classification de Heinz BENDER nous avons au total 2 bassins de dissipation et un bassin de protection. Les caractéristiques sont les suivantes :

H	Seuil		Ecran	Contre seuil	C-S de protection	Muret longitudinal	S Bd1	S Bd2	Bassin de protection
	Base	Crête							
140	90	40	45	50	40	50	400x450	400x450	250x300

Les valeurs sont en cm.



Classification selon Bender

hauteur H	dimensions (cm)		écran	contre seuil	c-s de prot.	muret long.	bassins de dissipation Sbd1/Sbd2	bassin de prot Spr
	seuils base	tête						
seuil simple								
50 à 65	80	40	40	40/50	40	40	300-400	200
70 à 75	90	40	45	50	40	40-50	400-450	250
80	100	40	50	50	40	50	450-500	
seuil double								
100-130 sans bd	80	40	40	50	-	40	300-400/300-400	-
100-130 avec bd	80	40	40	50	40		300-400/300-400	200-250
140 à 150	90	40	45	50	40	50	400-450/400-450	250-300
160	100	40	50	50	40	50	450-500/450-500	300

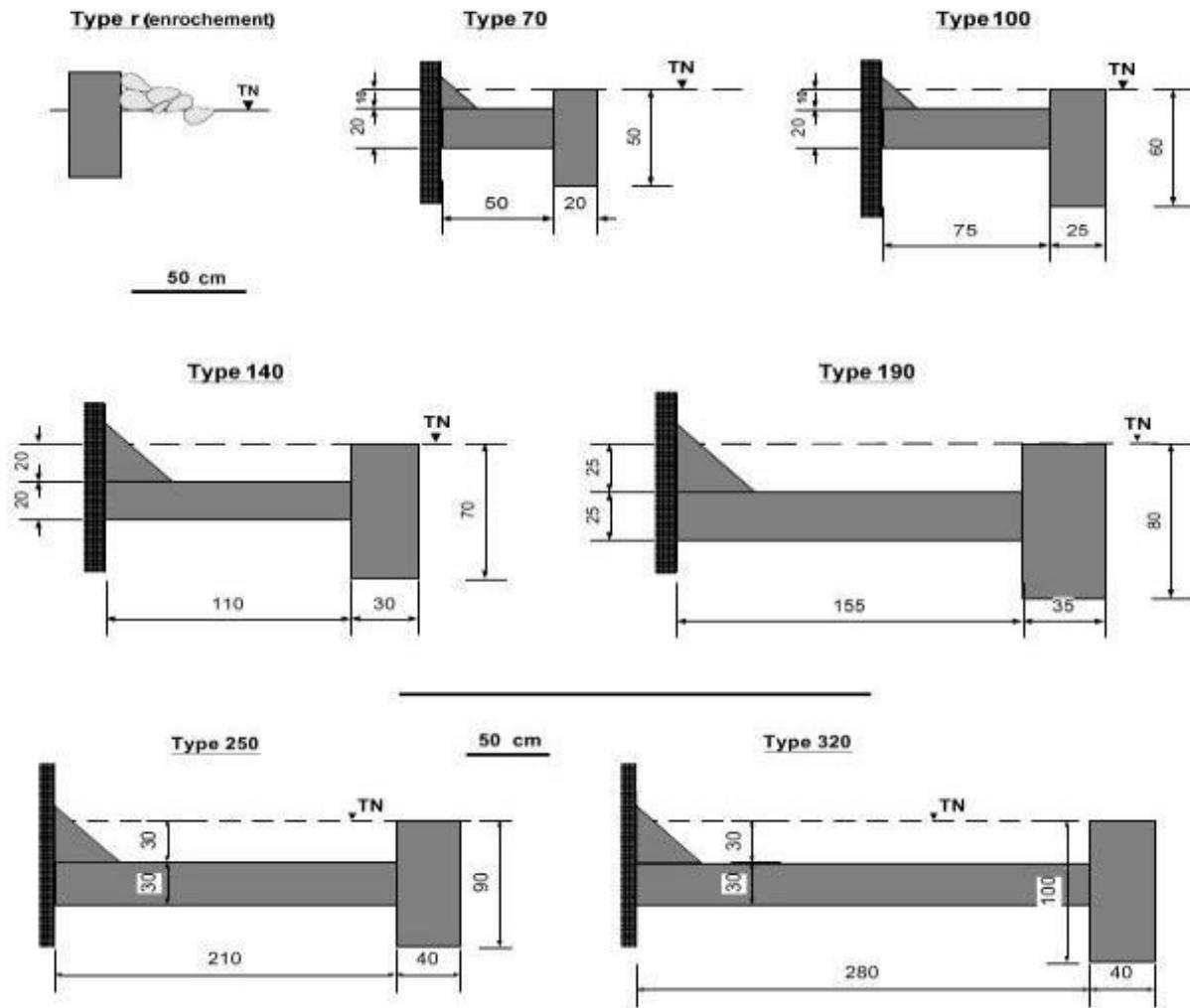
Les dimensions des bassins de dissipation au niveau des ailes les résultats sont les suivantes :

Composante	Hauteur (m)	Lame d'eau (m)	Type de Bassin
Ailes haute	0.4	0.1	Type 100
Ailles basse	0.2	0.3	Type 70
Contre fort	Déverse pour les crues exceptionnelles		Type 70

Classification des bassins selon Heinz Bender

Recommandations seuils d'épandage
Version provisoire, novembre 2009

KfW – Pöyry Environment GmbH
Heinz Bender



Type de bassin de protection en fonction de l'hauteur et de l'épaisseur de la lame d'eau déversant.

lame d'eau déversant [cm]	hauteur contrefort/aile [cm]					
	20 - 25	30 - 35	40 - 50	55 - 70	75 - 90	> 90
crues except.	r	r	r	70	70	70/100
0 - 10	r	r	70	70	100	100
10 - 20	r	r/70	100	100	140	140/190
20 - 35	r/70	70/100	100	140	190	190
35 - 50	70	100	140	190	250/320	cp
50 - 70	100	140/190	250/320	cp	cp	cp
> 70	100	190/250	cp	cp	cp	cp

cp = cas particulier, à traiter selon les recommandations seuils

Figure 12 : Différents types de bassin de protection en aval d'ailes et contreforts avec le tableau de dimensionnement selon la hauteur et le débit/lame d'eau (à noter que l'échelle des plans n'est pas la même pour les types 250 et 320).

❖ **Seuil 3**

- Détermination de la longueur **L'** du bassin de dissipation du seuil 1

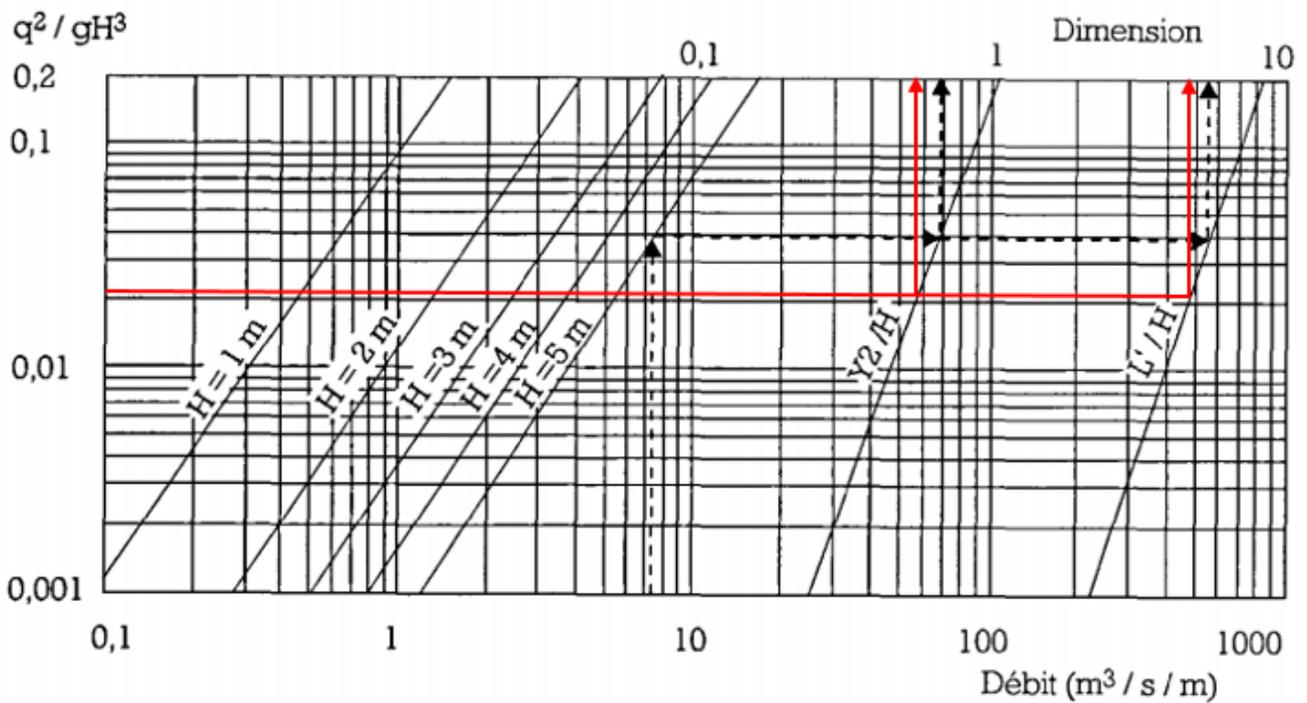
Calculons le débit par unité de longueur déversante **q** par la formule suivante :

$q = \frac{Q}{L}$	
Avec q	Débit par unité de longueur déversante en m ³ /s/ml ;
Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
L	longueur déversante en m

On a alors $q = \frac{102}{170} = 0.6 \text{ m}^3/\text{s/ml}$

Choisissons une hauteur de chute de **H = 1.2 m** et en calculant $\frac{q^2}{g \times H^3} = \frac{0.6^2}{9.81 \times 1.2^3} = 0.021$

A partir de **q** et **H**, nous pouvons exploiter l'abaque suivant :



Les résultats donnent les valeurs suivantes :

$$y_2/H = 0.58 \leftrightarrow y_2 = 0.58 \times 1.2$$

Ce qui donne une valeur de **y₂ = 0.7 m** et

$$L'/H = 4.8 \leftrightarrow y_2 = 4.8 \times 1.2$$

Ce qui donne une valeur de **L' = 5.8 m**

- Détermination de la profondeur **D** par rapport au lit mineur aval

On calcul d'abord le tirant d'eau normal du cours d'eau **y_n** par la formule de Manning – Strickler :

$$Q = K \times L \times y_n \times \left(\frac{L \times y_n}{L + 2 \times y_n} \right)^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec ; Q	débit sur le seuil (débit du projet) en m ³ /s ;
K	coefficient de Manning – Strickler (K=60 pour un chenal en maçonnerie vieille) ;
S	section mouillée obtenue par le formule en m ² : $S = L \times y_n$;
R	rayon hydraulique en m par la formule : $R = \frac{S}{L+y_n}$;
I	Pente du cours d'eau en m/m (le terrain a une pente de 0.001 m/m),
y _n	profondeur normale du chenal (profondeur minimale) en m.

En résolvant l'équation suivantes $102 = 60 \times 170 \times y_n \times \left(\frac{170 \times y_n}{170 + 2 \times y_n} \right)^{2/3} \times 0.001^{1/2}$ nous avons un tirant d'eau de $y_n = 0.25\text{m}$.

La valeur de **D** est obtenue maintenant par la formule :

$$D = y_2 - y_n$$

Donc

$$D = 0.7 - 0.25 = 0.45 \text{ m.}$$

Le seuil 3 coupe deux affluents du cours d'eau. Le lit mineur d'un des affluents est bien, donc à ce niveau un second seuil a été placé. Il a été placé selon la classification de Heinz Bender. Il a été placé en continuité du **becquet**. La hauteur est la même que la valeur de D qui arrondi à 50 cm.

Composante	Hauteur (m)	Lame d'eau (m)	Type de Bassin
Seuil 3.2 (second seuil)	0.5	0.2	Type 100

ANNEXE 4:FICHE D'ENQUETE

Enquêtes socio-économique pour la mise en place de seuils d'épandage de crues sur la Bomboré
l'affluent principal du barrage de Mogtéo.

FICHE D'ENQUETE		
Date :/ mars / 2016		
Opérateur :		
1- Quelle est votre profession principale activité ?		
-Agriculteur : <input type="checkbox"/>	- Eleveur : <input type="checkbox"/>	- Autre : <input type="checkbox"/>
2- Comment exploitez-vous le cours d'eau?		
-Agricole : <input type="checkbox"/>	- Abreuvement : <input type="checkbox"/>	- Autre : <input type="checkbox"/>
3- Etes-vous membre d'un groupement?		
-Oui : <input type="checkbox"/>	Si oui lequel?	- Non : <input type="checkbox"/>
Est-il fonctionnel?		
4- Sur quelle rive exploitez-vous une parcelle?		
-Gauche : <input type="checkbox"/>	- Droite : <input type="checkbox"/>	- Autre à préciser :
5- Etes-vous propriétaire de la parcelle?		
-Oui : <input type="checkbox"/>	- Non : <input type="checkbox"/>	
6- A quelle saison climatique exploitez-vous la parcelle?		
-Saison sèche : <input type="checkbox"/>	- Saison pluvieuse: <input type="checkbox"/>	
Précisez la spéculation :		
7- Rencontrez-vous des problèmes liés à l'écoulement de l'eau?		
-Manque d'eau : <input type="checkbox"/>	- Excès d'eau: <input type="checkbox"/>	
Explications :	Explications :	
8- Rencontrez-vous des problèmes liés à l'érosion des sols?		
-Oui : <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>	
Commentaires :		

Enquêtes socio-économique pour la mise en place de seuils d'épandage de crues sur la Bomboré
l'affluent principal du barrage de Mogtêdo.

9- Existe-t-il autres problèmes à souligner?

-Oui :

Non

Précisez :

10- Que faites vous déjà pour résoudre les problèmes?

Précisez :

11- Quelles solutions proposez-vous pour résoudre les problèmes?

Précisez :

12- Avez-vous déjà participer à un travail communautaire?

-Oui :

Si oui lequel?

- Non :

13-Que pensez-vous des seuils d'épandage?

Commentaires:

14-Que pensez-vous si les réalisation se font sur l'approche HIMO?

Commentaires:

ANNEXE 5 : ETUDE DES PRIX

Devis pour la réalisation du seuil 1					
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
I	Fouille				
1.1	Débroussaillage	m ²	2889	50	144 450
1.2	Fouille mise en place du déversoir	m ³	33	3 000	99 000
1.3	Fouille mise en place du chenal-radier	m ³	276	3 000	828 000
1.4	Fouille pour la pose de bajoyer	m ³	44.31	3 000	132 930
1.5	Fouille pour la mise en place du bassin de dissipation	m ³	423.05	3 000	1 269 150
Sous total 1		m ³	776.36	3 000	2 473 530
II	Remblai				
2.1	Remblai pour la mise en place du chenal-radier	m ³	29.78	11 500	342 470
Sous total 2			30	11 500	342 470
III	Fourniture de moellons				
3.1	Fourniture en moellon pour le chenal-radier	m ³	200	1 250	250 000
3.2	Fourniture en moellon pour le déversoir	m ³	48	1 250	60 000
3.3	Fourniture en moellon pour la confection de gabion pour bajoyer	m ³	82	1 250	102 500
3.4	Fourniture en moellon pour la confection de gabion pour le bassin de dissipation	m ³	122	1 250	152 500
Sous total 3			452	1 250	565 000
IV	Géotextile et maçonnerie				
4.1	Fourniture et pose de géotextile	m ²	424	1 000	424 000
4.2	Maçonnerie de déversoir	m ²	92	15 000	1 380 000
4.3	Maçonnerie de chenal radier	m ²	34	15 000	510 000
4.4	Confection et pose de gabions	m ²	327	15 000	4 905 000
Sous total 4			453	15 000	7 219 000
Montant total					10 600 000

Devis pour la réalisation du seuil 2					
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
I	Fouille				
I.1	Débroussaillage	m ²	269	50	13 450
I.2	Fouille pour la mise en place du seuil 2.1	m ³	14	3 000	42 000
I.3	Fouille pour la mise en place des contreforts	m ³	9	3 000	27 000

Devis pour la réalisation du seuil 2					
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
I.4	Fouille pour la mise en place des ailes hautes	m ³	8	3 000	24 000
I.5	Fouille pour la mise en place des ailes basses	m ³	14	3 000	42 000
I.6	Fouille pour la mise en place du bassin de dissipation 1	m ³	38	3 000	114 000
I.7	Fouille pour la mise en place du seuil 2.2	m ³	10	3 000	30 000
I.8	Fouille pour la mise en place du bassin de dissipation 2	m ³	70	3 000	210 000
I.9	Fouille pour la mise en place du contre seuil	m ³	10	3 000	30 000
I.10	Fouille pour la mise en place bassin de protection	m ³	53	3 000	159 000
I.11	Fouille pour la mise en place c-s bassin de protection	m ³	9	3 000	27 000
I.12	Fouille pour la mise en place de bajoyers	m ³	24	3 000	72 000
Sous total 1			259	3 000	790 450
II	Remblai				
2.1	Remblai contre les bajoyers	m ³	36.7	11 500	422 050
Sous total 2					422 050
III	Fourniture de moellons				
3.1	Fourniture de moellons pour les seuils 2.1 et 2.2	m ³	32	1 250	40 000
3.2	Fourniture de moellons pour le contre seuil	m ³	7	1 250	8 750
3.3	Fourniture de moellons pour le c-s bassin de protection	m ³	3	1 250	3 750
3.4	Fourniture de moellons pour les bassins	m ³	33	1 250	41 250
3.5	Fourniture de moellon pour les contrefort et les ailes	m ³	78	1 250	97 500
3.6	Fourniture de moellons pour les bajoyers	m ³	25	1 250	31 250
Sous total 3			178	1 250	222 500
IV	Maçonnerie				
4.1	Maçonnerie des seuils 2.1 et 2.2	m ²	5	15 000	75 000
4.2	Maçonnerie du contre seuil	m ²	13	15 000	195 000
4.3	Maçonnerie du c-s bassin de protection	m ²	9	15 000	135 000
4.4	Maçonnerie des contrefort et des	m ²	198	15 000	2 970 000

Devis pour la réalisation du seuil 2					
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
	ails				
4.5	Maçonnerie des bajoyers	m ²	64	15 000	960 000
Sous total 4			289	15 000	4 335 000
Montant total					5 770 000

Devis pour la réalisation du seuil 3					
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
I	Fouille				
1.1	Débroussaillage	m ³	4105	50	205 250
1.2	Fouille mise en place du déversoir	m ³	145	3 000	435 000
1.3	Fouille mise en place du chenal-radier	m ³	164	3 000	492 000
1.4	Fouille pour la mise en place du bassin de dissipation	m ³	2304	3 000	6 912 000
1.5	Fouille en amont du déversoir	m ³	166	3 000	498 000
Sous total 1			2779	3 000	8 542 250
III	Fourniture de moellons				
3.1	Fourniture en moellon pour le chenal-radier	m ³	660	1 250	825 000
3.2	Fourniture en moellon pour le déversoir	m ³	325	1 250	406 250
3.3	Fourniture en moellon pour la confection de gabion pour bajoyer	m ³	25	1 250	31 250
3.4	Fourniture en moellon pour la réalisation des bassins de dissipation	m ³	510	1 250	637 500
3.5	Fourniture en moellon pour la construction de raidisseur	m ³	17	1 250	21 250
Sous total 3			1537	1 250	1 921 250
IV	Maçonnerie				
4.1	Maçonnerie de déversoir	m ²	277	15 000	4 155 000
4.2	Maçonnerie de chenal radier	m ²	2177.5	15 000	32 662 500
4.3	Maçonnerie du bassin de dissipation	m ²	731	15 000	10 965 000
4.4	Maçonnerie des bajoyers	m ²	64	15 000	960 000
Sous total 4			3249.5	15 000	48 742 500
V	Remblai				
5.1	Remblai à la suite du chenal	m ³	156	11 500	1 794 000
Sous total 2					1 794 000
Montant total					61 000 000

ANNEXE 6 : RAPPORT DE MISSION D'IMPLANTATION DE 12 MICRO-PIEZOMETRE

**MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DES
RESSOURCES HYDRAULIQUES, DE
L'ASSAINISSEMENT
ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRE**

BURKINA FASO

UNITE-PROGRES-JUSTICE

SECRETARIAT GENERAL

**DIRECTION GENERALE DES AMENAGEMENTS
AGRICOLES ET DU DEVELOPPEMENT
DE L'IRRIGATION**

**PROGRAMME D'APPUI AU DEVELOPPEMENT
DE L'IRRIGATION (PADI)**

Tél : 50-49-99-00 à 09 / Fax : 50 37 58 39

Email. : cppiv@fasonet.bf

**Rapport de la mission d'implantation de 12 micro piézomètres au niveau des sites de
Mogtédou (Plateau central) et de Wedbila (Centre) dans le cadre du résultat 3 du
programme PADI (BF103)**

Février 2015

1. Introduction :

Le Programme PADI II 2014 – 2016 a pour objectif global d'améliorer les capacités techniques des structures impliquées dans la mise en œuvre de la Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Agriculture Irriguée (SNDDAI) par le développement d'outils opérationnels et par le renforcement des compétences. Il est composé de quatre (4) résultats de programme dont l'un vise à mettre à la disposition de la DGADI, 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 résultat 3 de programme s'appuie sur une approche de type recherche / développement. Il vise principalement le développement d'outils d'aide à la décision pour la limitation de la sédimentation des retenues d'eau à travers l'aménagement des terres et des berges des cours d'eau à l'échelle des bassins versants alimentant les retenues. Ces outils seront mis à profit à travers l'élaboration de plans d'aménagement pour 03 sites pilotes.

Dans le Plan de Travail et de Budget annuel (PTBA) 2015 du PADI BF103, il est prévu de mettre en place et de suivre 10 micro piézomètres dans des fonds de vallée de cours d'eau alimentant les retenues de Mogtédou et de Wedbila. Au niveau de ces sites de fonds de vallée, il est envisagé de proposer la mise en place d'ouvrages de type « seuils d'épandage » qui participent au piégeage de la charge solide provenant du bassin amont et qui permettent une sécurisation des productions agricoles par une meilleure disponibilité en eau. Le suivi piézométrique envisagé en 2015 permettra de constituer une situation de référence des niveaux de la nappe alluviale présente dans ces bas-fonds et de pouvoir apprécier l'impact de ces ouvrages de type seuils d'épandage sur les eaux souterraines quand ils seront mis en place. Une première mission de reconnaissance de sites d'implantation des 10 micro piézomètres (+ 2 qui se sont ajoutés par la suite) a été réalisée les 20 et 21 janvier 2015 avec l'AT du PADI BF101 qui travaille sur cette problématique dans d'autres sites d'étude. Il s'agit maintenant d'installer ces micro piézomètres.

2. Rappel des objectifs et des résultats attendus de la mission :

2.1 Objectifs spécifiques :

- Installer 12 micro piézomètres dans des fonds de vallée à l'amont des retenues de Mogtédou et de Wedbila

2.2. Résultats attendus :

- Les 12 micro piézomètres ont été installés dans des fonds de vallée situés à l'amont des retenues de Mogtédou et de Wedbila

3. Analyse des résultats obtenus

La mission a eu lieu du 04 au 08 février 2015. Elle a été assurée par une équipe de foreur recommandée par Nestor COMPAORE (AT APEFE BF101 / DGADI). Francis GUYON (AT APEFE BF103 / DGADI) en mission à Wedbila le 06 février pour des travaux de topographie a pu constater les travaux effectués sur le site.

Réalisation du micro piézomètre

Au total 12 micro piézomètres ont été réalisés dont quatre (4) à Mogtédó et huit (8) à Wedbila.

La première étape de la réalisation consiste à retrouver l'emplacement du point implanté sur le terrain. Vient ensuite la foration à l'aide de la tarière mécanique et le prélèvement d'échantillon de sol tous les 0.5 mètres. S'il y'a venue d'eau, elle est signalée pendant ce moment. La foration continue jusqu'au moment où le sol devient dur et impossible à creuser ou bien lorsqu'on est en présence de sable mouillé. Dans ce cas, on craint un éboulement qui pourrait refermer une bonne partie du trou creusé. Après la foration, le tubage en PVC crépiné est préparé pour être enfoncé. L'intervalle entre le tubage et le trou nu est comblé avec du gravier propre qui constitue le massif filtrant.

Le caisson est ensuite installé sur le micro piézomètre. Il est fixé et renforcé avec du mortier et dans certains cas du béton.

Les crépines ont été placées sur la longueur du tubage avec un diamètre d'ouverture de 0,5mm.

Chaque tubage a été muni d'un décanteur de 0,25 m de long.

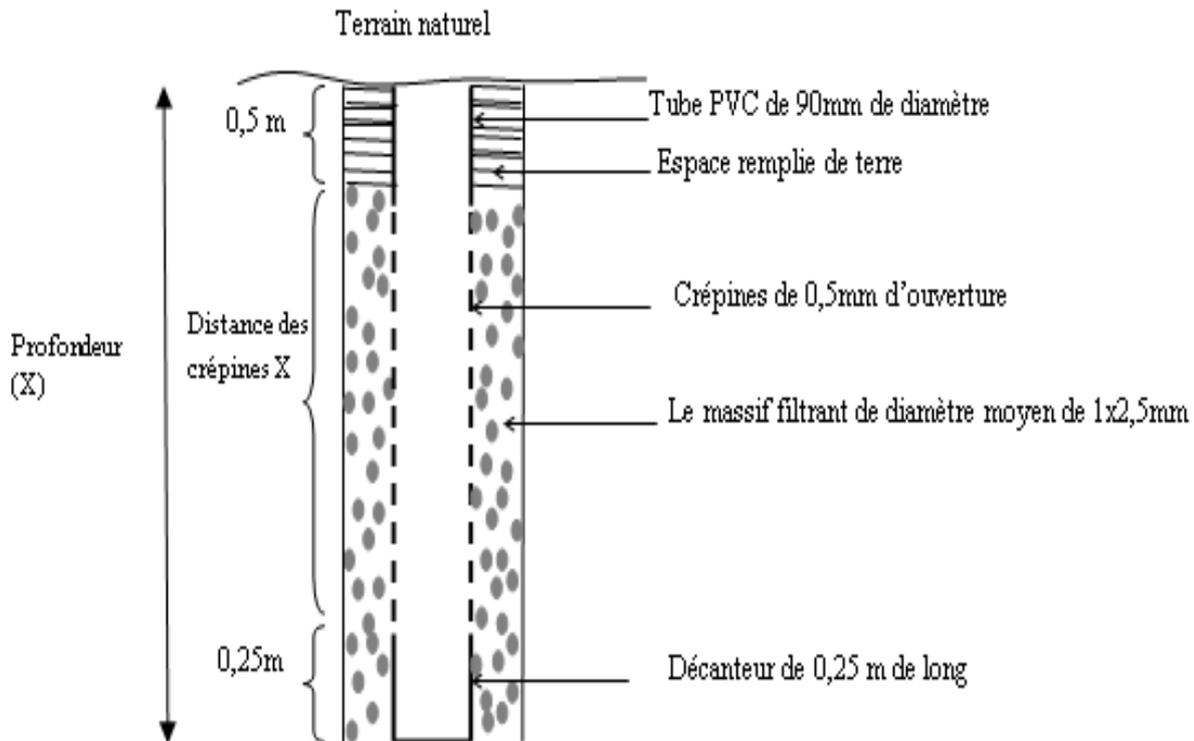
Après cela, on procède au relevé des informations suivantes :

- Le niveau statique de l'ouvrage en cas de présence d'eau ;
- La hauteur de débordement du caisson à partir du sol : Cela constitue la référence ;
- La prise des coordonnées GPS
- L'analyse des échantillons de sol est faite sur place afin d'établir plus tard la lithologie des formations traversées.

A la fin de tout cela le caisson de protection est verrouillé avec un cadenas et les clés son étiquetées.

NB : le développement des ouvrages a été impossible car la conduite d'aspiration de la pompe n'était pas adaptée au tubage de l'ouvrage.

Ouvrage	Date de réalisation	coordonnées mises à jour		Z GPS (m)	Venue d'eau (m)	Niveau statique (m)	Référence (m)	Profondeur (m)	Longueur crépine (m)	Localité	Observations
		X (m)	Y (m)								
P2M	05/02/2015	735819	1362822	280	2	2,57	0,77	6	4	Mogtêdo	
P1M	05/02/2015	735884	1362653	283	3	3,84	0,8	5	3	Mogtêdo	
P3M	05/02/2015	735870	1363116	287	4	5,51	0,83	6	3	Mogtêdo	
P4M	05/02/2015	735944	1363304	281	non	-	0,8	4,5	3	Mogtêdo	Pas d'eau
P1W	06/02/2015	669966	1341517	302	non	-	0,86	6	4	Wedbila	Pas d'eau
P2W	06/02/2015	669856	1341391	299	2	3,46	0,85	4,5	3	Wedbila	
P8W	06/02/2015	670203	1341635	298	5	4,3	0,87	5,5	3	Wedbila	
P7W	06/02/2015	670461	1341788	299	3	3,97	0,85	5	4	Wedbila	
P3W	07/02/2015	669703	1340894	294	non	-	0,85	5	4	Wedbila	Pas d'eau
P4W	07/02/2015	669678	1340765	294	non	-	0,86	6	3	Wedbila	Pas d'eau
P3W	07/02/2015	669642	1340570	303	non	-	0,85	6	3	Wedbila	Pas d'eau
P4W	07/02/2015	669850	1341171	302	non	-	0,83	5,5	3	Wedbila	Pas d'eau



Moyens de réalisation

Les moyens de réalisation utilisés sont les suivants :

Moyen humain :

- Quatre (4) foreurs ;
- Un contrôleur chargé du contrôle et de l'analyse des échantillons de sol.
- Deux manœuvres chargés de la pose des caissons
- Un chauffeur

Moyens matériels utilisés

- Un kit composé de la tarière de 100 mm de diamètre avec les différents bouts ;
- Des tubages de PVC de 75 mm de diamètre ;
- Une scie ;
- Une machette ;
- Deux truelles ;
- Un GPS ;
- Une pioche ;
- Une pelle ;
- De la colle ;
- Une bonbonne de gaz ;
- Des caissons de protection avec les cadenas ;

- Une sonde de mesure de niveau statique ;
- Deux bidons de 20 litres
- Deux seaux

Matériaux

- Du sable ;
- Deux sacs de ciment ;
- Du gravier ;
- De l'eau ;

Coupes lithologiques :

Les échantillons de sol prélevés ont été analysés par l'équipe du PADI BF101 afin d'établir les coupes lithologiques. On remarque en général que les sols sont constitués d'une couche superficielle composée principalement d'argile ; puis vient une couche intermédiaire constituée le plus souvent d'un mélange fait de limons et d'argile et parfois avec un peu de sable. Vers la profondeur (5 à 6 m), on retrouve une prédominance des sables et des limons qui peut contenir parfois un peu d'argile.

Conclusion.

Au total 12 micro piézomètres ont été réalisés dont quatre (4) à Mogtédó et huit (8) à Wedbila.

- A Mogtédó, la profondeur moyenne des ouvrages est de 5.375 mètres avec une profondeur maximale de 6 mètres et une profondeur minimale de 4.5 mètres.
- A Wedbila, la profondeur moyenne est de 5.43 mètres avec une profondeur maximale de 6 mètres et une profondeur minimale de 4.5 mètres

Sur l'ensemble des douze (12) ouvrages, six (6) sont négatifs dont un (1) à Mogtédó.

Fait à Ouagadougou, le 12 février 2015

Francis GUYON

ANNEXE 7 : FICHE 3 DE CERTU

Certu

Cette fiche est destinée à donner une information rapide. La contrepartie est le risque d'approximation et la non exhaustivité. Pour plus de précisions, il convient de consulter les ouvrages cités en référence.

Urbain

Certu 2008/38



Savoirs de base en sécurité routière

FICHE n°03

décembre 2008

Maîtrise des vitesses par l'aménagement

Cette fiche a pour objectif de faire connaître quelques outils d'aménagement, avec leurs conditions de mise en oeuvre, permettant de maîtriser les vitesses des véhicules en agglomération.

Elle décrit ces différents outils en fonction des techniques de conception ou d'équipement de voirie.

Le décret du 29 novembre 1990 définit les règles en matière de modulation et de modulation de la vitesse : « zone 30 », régime général à 50 km/h et « section 70 » (voir fiche *Sécurité et hiérarchie des voies urbaines*). Le code de la route y fait référence dans ses articles R 411-4 et R 413-1 à 4.

Plus qu'une simple mesure réglementaire, c'est un CONCEPT qui définit le lien entre la limitation de vitesse, l'aménagement de la voirie et la fonction sociale de la rue, dans un objectif de sécurité pour tous les modes de déplacements.

Le décret n° 2008-754 du 30 juillet 2008 portant diverses dispositions de sécurité routière a introduit dans la réglementation la zone de rencontre dans laquelle la vitesse des véhicules est limitée à 20 km/h ainsi que la nécessité d'une cohérence des aménagements avec la limitation de vitesse applicable pour les zones 30 et les zones de rencontre.

Autrement dit, un aménagement de voirie cohérent avec le régime de limitation de vitesse en vigueur va jouer un rôle essentiel pour une meilleure compréhension, perception ainsi qu'un meilleur respect de la vitesse limite par les usagers. Le contrôle - sanction par les forces de l'ordre s'imposera si des vitesses élevées subsistent.

Les outils d'aménagement permettant la maîtrise des vitesses sont variés en fonction des techniques de conception ou d'équipement de la voirie.

Structuration de l'espace

On peut parler de structure aussi bien sur le plan de l'organisation des espaces et des bâtiments que sur le plan des activités et des pratiques.

Modifier la structuration de l'espace peut inciter les usagers à adapter leur vitesse en fonction de l'environnement. Les possibilités sont notamment de :

- faire varier l'attention des usagers, qu'ils soient piétons, cyclistes ou motorisés, lors de leur parcours ou de leurs activités ;
- modifier les comportements des usagers, en jouant sur les variations du cadre visuel, et la signification des scènes visuelles (séquences) ;
- créer des environnements propices au développement des activités urbaines ;
- provoquer un rééquilibrage des espaces en faveur de la vie locale ;
- utiliser les carrefours comme des éléments de structuration de l'espace (rôle de limite de séquence, de point fort, ...).

Réduction de la largeur des voies de circulation

Pour un dimensionnement de largeur de voies de circulation, il faut prendre en compte la somme de trois éléments : gabarits des véhicules, marges de manœuvre et marges de sécurité. Le gabarit d'un véhicule léger est en moyenne de 1,80 m et la largeur maximale définie par le code de la route pour un poids lourd est de 2,55 m (2,60 m pour les transports frigorifiques) hors rétroviseurs.

Toutefois, pour se croiser, deux véhicules ont besoin à la fois d'une marge de manœuvre et d'une marge de sécurité. La première s'applique aux éléments fixes : bordures, véhicules en stationnement, obstacles ; elle induit la notion d'effet de paroi. La seconde concerne la présence des autres usagers : espaces entre véhicules lors du croisement ou du dépassement.

Ces marges croissent de façon sensiblement linéaire avec la vitesse.

Ainsi, dans le cas simple d'une chaussée à 2 voies (sans TPC, ni bande cyclable, ni stationnement latéral, ...), en prenant des gabarits moyens de 1,80 m pour un véhicule léger et de 2,55 m pour un poids lourd, on peut appréhender différents profils en travers en fonction de la hiérarchie des voies et de la nature du trafic ; ceci dans le sens d'une minimisation de l'espace « roulant » et donc d'une vitesse d'écoulement moindre sans compromettre sa capacité :

⇨ sur une chaussée de largeur 5,00 m :

- le croisement de deux véhicules légers se fait dans des conditions satisfaisantes à 50 km/h ;
- le croisement d'un véhicule léger et d'un poids lourd se fait au pas ;
- le croisement de deux poids lourds n'est pas possible (sauf en montant sur le trottoir ou en empiétant sur la bande cyclable).

⇨ sur une chaussée de largeur 5,50 m :

- le croisement de deux véhicules légers se réalise facilement en écoulement libre à des vitesses de l'ordre de 50 km/h ;
- le croisement de deux poids lourds s'effectue au pas.

⇨ sur une chaussée de largeur 6,00 m :

- le croisement de deux poids lourds s'effectue à vitesse réduite.

Dans tous les cas, les largeurs retenues doivent être compatibles avec la réduction souhaitée de la vitesse.

Pour les outils qui suivent (paragraphes « Traitement des trajectoires » et « Variation du profil en long »), il est important de bien maîtriser la vitesse d'approche, et notamment pour les ralentisseurs, un décret imposant pour cet outil des aménagements complémentaires de réduction de la vitesse.

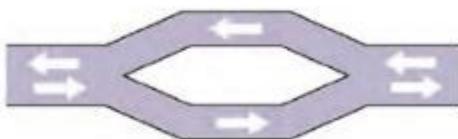
Traitement des trajectoires

Le traitement des trajectoires est un outil de base de l'aménagement urbain et de la maîtrise des comportements des usagers ; pour cet outil, il convient de se référer aux recommandations existantes, notamment pour les conditions d'implantation, le marquage et la signalisation.

⇨ Chicane et écluse

La chicane est un aménagement qui impose une déflexion significative de la trajectoire des véhicules. Il existe deux sortes de chicanes :

- **chicane avec îlot symétrique**



ou **chicane avec îlot asymétrique**



- les **chicanes sans îlot simple**

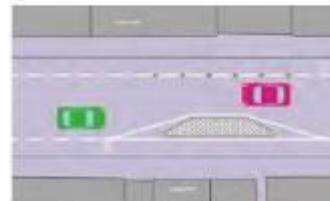


ou **chicanes sans îlot double**

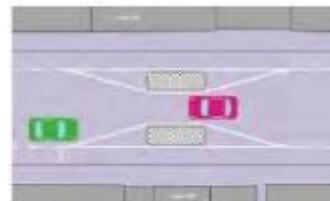


L'écluse : cet aménagement consiste en un rétrécissement de la chaussée qui impose le passage d'un seul véhicule à la fois. Il existe deux sortes d'écluses :

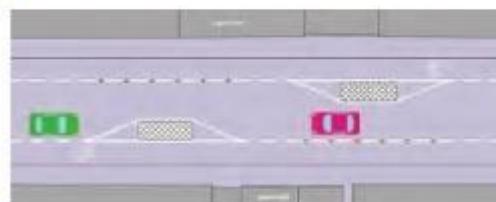
- **écluse simple avec rétrécissement latéral**



ou **écluse simple avec rétrécissement axial**



- et **écluse double**



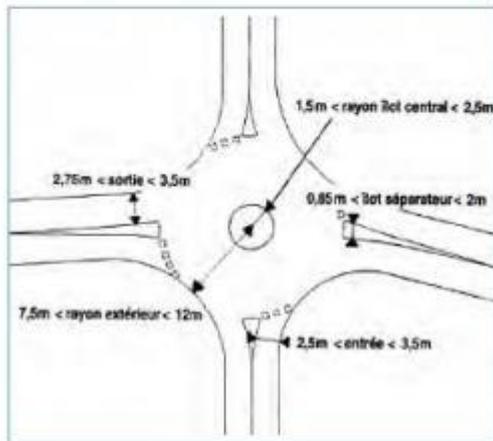
Les modifications de trajectoires n'auront qu'un impact limité en l'absence d'actions d'accompagnement permettant d'assurer une meilleure perception et une meilleure intégration dans le site.

⇒ **Mini-giratoire**

(article R 110-2 du Code de la route).

L'utilisation du mini-giratoire est exclusivement réservée au milieu urbain avec des vitesses limitées au plus à 50 km/h, en privilégiant les secteurs où on souhaite des comportements apaisés comme les zones 30 et les zones de rencontre.

Ses caractéristiques le configurent bien sur des voies de desserte. Les recommandations relatives à la surélévation de la calotte sphérique centrale (franchissable) fixent le maximum à 15 cm dans le cas général, et 12 cm en présence de bus à plancher surbaissé.



Variation du profil en long

Il s'agit d'utiliser le profil en long (altimétrie du projet) pour signifier aux usagers un mode de fonctionnement différent et pour contribuer à la maîtrise de la vitesse.

Il existe différents dispositifs ralentisseurs introduisant la variation du profil en long afin de provoquer un inconfort qui reste admissible pour les usagers sans constituer pour autant un danger.

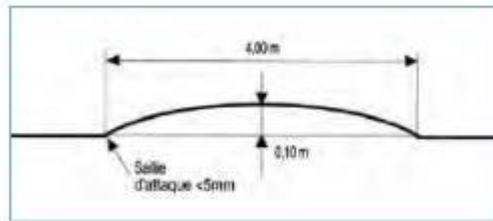
Pour cela, il est indispensable de respecter les recommandations techniques et les conditions d'implantation prévues pour chacun de ces dispositifs, en particulier le marquage, la signalisation et la limitation de vitesse à 30 km/h maximum.

⇒ **Ralentisseur** (norme AFNOR NF P 98-300 du 16 mai 1994, décret n° 94-447 du 27 mai 1994, annexe au décret).

Pour ce dispositif, le décret impose des restrictions d'implantation.

⇒ **Ralentisseur de type dos d'âne**

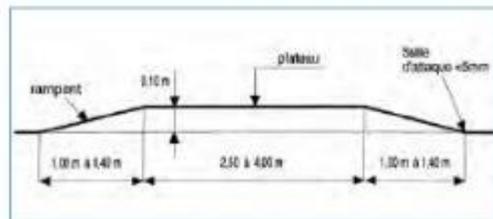
Son profil en long est de forme circulaire. Il ne supporte jamais de passage piétons.



⇒ **Ralentisseur de type trapézoïdal**

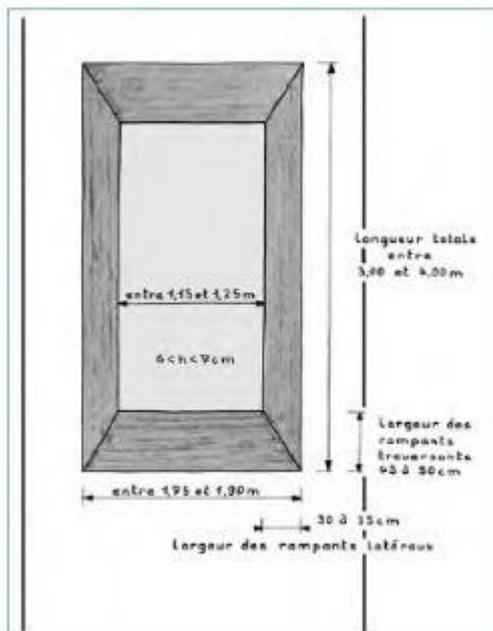
Son profil en long comporte un plateau surélevé et deux parties en pente, dénommés rampants. Il supporte obligatoirement un passage piétons.

Les règles relatives à l'accessibilité des personnes à mobilité réduite devront, là aussi, être respectées.



⇒ **Coussin**

Les recommandations existantes définissent des implantations qu'il convient d'éviter.



Le coussin est une surélévation qui ne s'étend pas sur toute la largeur de la chaussée. Ainsi le coussin permet aux véhicules de transport en commun et aux poids lourds de le franchir en atténuant l'effet de surélévation. Seuls les véhicules légers, du fait d'un espacement moindre entre les roues, sont obligés de rouler sur la partie surélevée soit avec les roues de droite, soit avec les roues de gauche. Les motos et les vélos peuvent continuer leur trajectoire par la droite sans passer sur le coussin.

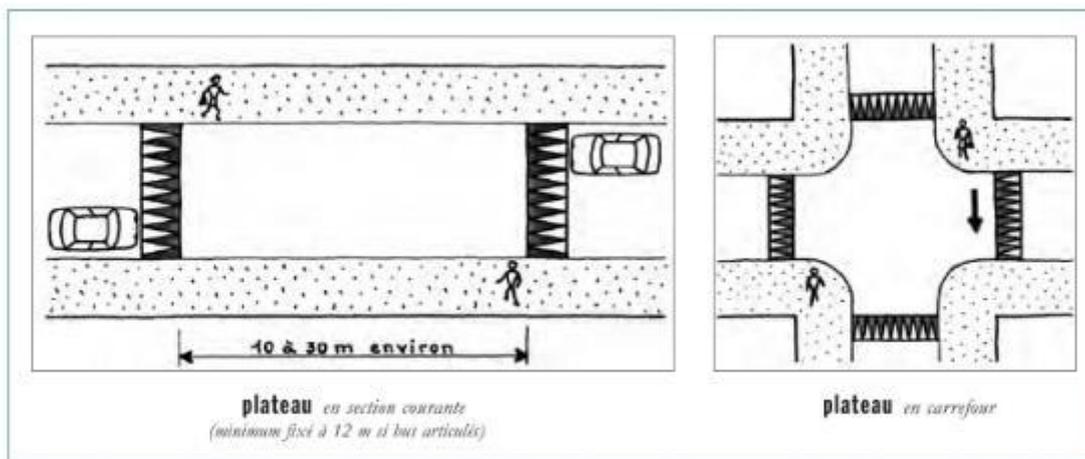
⇒ **Plateau**

Le plateau est une surélévation de la chaussée s'étendant sur une certaine longueur et occupant toute la largeur de la chaussée d'un trottoir à l'autre. Outre le respect de la vitesse réglementaire, il vise également une lisibilité particulière de l'espace pour que les usagers adoptent des vitesses appropriées, ainsi qu'un équilibre entre tous les modes de déplacement en favorisant un partage de la voirie dans des conditions de sécurité et de commodité surtout pour les usagers vulnérables.

La hauteur du plateau est celle du trottoir moins 2 cm, sans toutefois dépasser 15 cm. Les 2 cm de garde sont destinés à bien marquer visuellement le trottoir en particulier pour les enfants, et à permettre aux personnes aveugles et malvoyantes de la détecter. La pente des rampes d'accès doit être comprise entre 5 % et 10 %.

Ces surélévations se présentent sous quatre types de configuration :

- en section courante ;
- en carrefour ;
- en prolongement de trottoir ;
- en sortie de giratoire.



Expérimentations

Quel que soit le type d'aménagement choisi, des expérimentations peuvent être envisagées provisoirement afin de vérifier la faisabilité et mesurer l'efficacité de l'aménagement en fonction des objectifs souhaités.

Il est très facile de simuler un aménagement par des moyens légers (chicane à l'aide de barrières mobiles, dispositifs préfabriqués...).

Ces expérimentations permettent en outre des adaptations de détails avant la mise en œuvre définitive.

Enfin elles peuvent être l'occasion d'une opération de communication avec les usagers et les riverains sur le type d'aménagement réalisé.



Certu
centre d'Études
sur les réseaux
les transports
l'urbanisme
et les constructions
publiques
9, rue Juliette
Récamier
69456 Lyon
Cedex 06
téléphone :
04 72 74 58 00
télécopie :
04 72 74 59 00
www.certu.fr

Sujets associés

- Vitesse et fonctionnement urbain
- Sécurité et hiérarchie des voies urbaines
- Généralités sur les carrefours plans
- Les chicanes urbaines implantées en entrée d'agglomération

Références bibliographiques

- Les zones 30 - 2008
téléchargeable sur le site du CERTU www.certu.fr
- Les zones de rencontre - 2008
téléchargeable sur le site du CERTU www.certu.fr
- Les aires piétonnes - 2008
téléchargeable sur le site du CERTU www.certu.fr
- Guide des coussins et plateaux :
Recommandations techniques, BAGNEUX
CETUR, novembre 2000.

- Guide pratique de la voirie urbaine (21 fascicules), RGRA, à partir de 1999.
 - Les mini-giratoires : Textes et recommandations, Guide, LYON Certu, décembre 1997.
 - Guide des ralentisseurs de type dos d'âne et trapézoïdal, LYON Certu, septembre 1994.
 - Sécurité des routes et des rues, BAGNEUX SETRA/CETUR, septembre 1992.
 - Ville plus sûre, quartiers sans accidents, Savoir-faire et techniques, BAGNEUX CETUR, avril 1990.
 - Réduire la vitesse en agglomération : Mesures localisées d'exploitation et d'équipement de la voirie, BAGNEUX CETUR, mars 1989.
 - Guide général de la voirie urbaine : Conception, aménagement, exploitation, BAGNEUX CETUR, mai 1988.
-
- Décret du 30 juillet 2008.
 - Décret n° 94-447 du 27 mai 1994.
 - Norme AFNOR NF P 98-300 du 16 mai 1994.
 - Décret du 29 novembre 1990.

La série de fiches «Savoirs de Base en sécurité routière» a été réalisée dans le cadre de la démarche MPSR «Management et Pratiques en Sécurité Routière» par les groupes de travail du RST pilotés par le Certu pour le milieu urbain et par le Sétra pour le milieu interurbain.

Cette série de documents a pour seule vocation de constituer un recueil d'expériences.

Ce document ne peut pas engager la responsabilité de l'Administration.

Ces fiches sont disponibles en téléchargement sur les sites du :

- Certu (<http://www.certu.fr>)
- «portail métier» sécurité routière de la DSCR (<http://securite-routiere.metier.i2>)
- Sétra (intranet : <http://catalogue.setra.i2> et internet : <http://catalogue.setra.equipement.gouv.fr>).

© 2006 Certu
La reproduction totale
de ce document est libre
de droits.
En cas
de reproduction partielle,
l'accord préalable
du Certu
devra être demandé.

AUTEUR DE LA FICHE

Franck MONTI
☎ 04 42 24 77 51
franck.monti@developpement-durable.gouv.fr

VOTRE CONTACT AU Certu

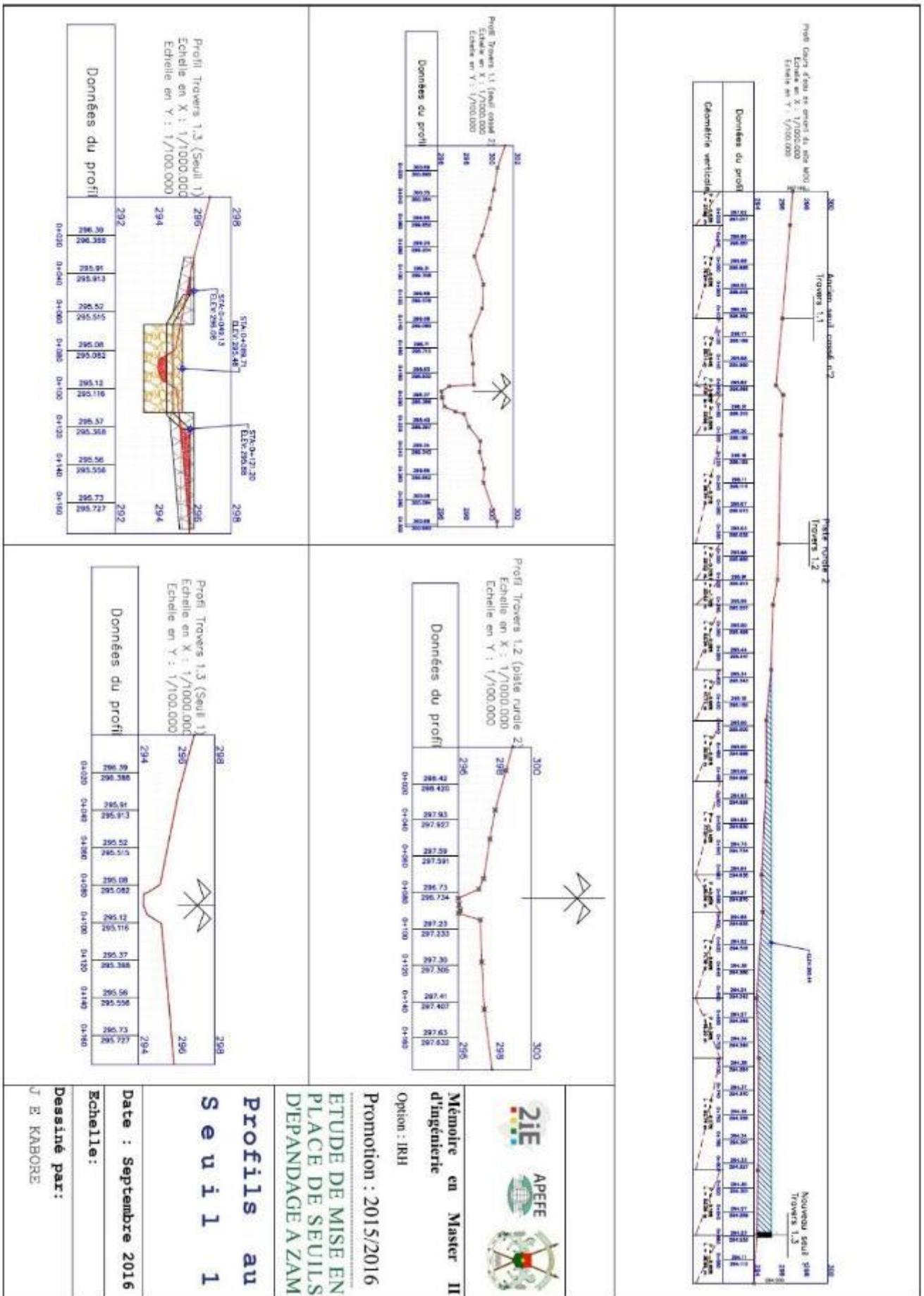
Nicolas NUYTTENS
☎ 04 72 74 58 69
nicolas.nuytens@developpement-durable.gouv.fr
Secrétariat : ☎ 04 72 74 59 33

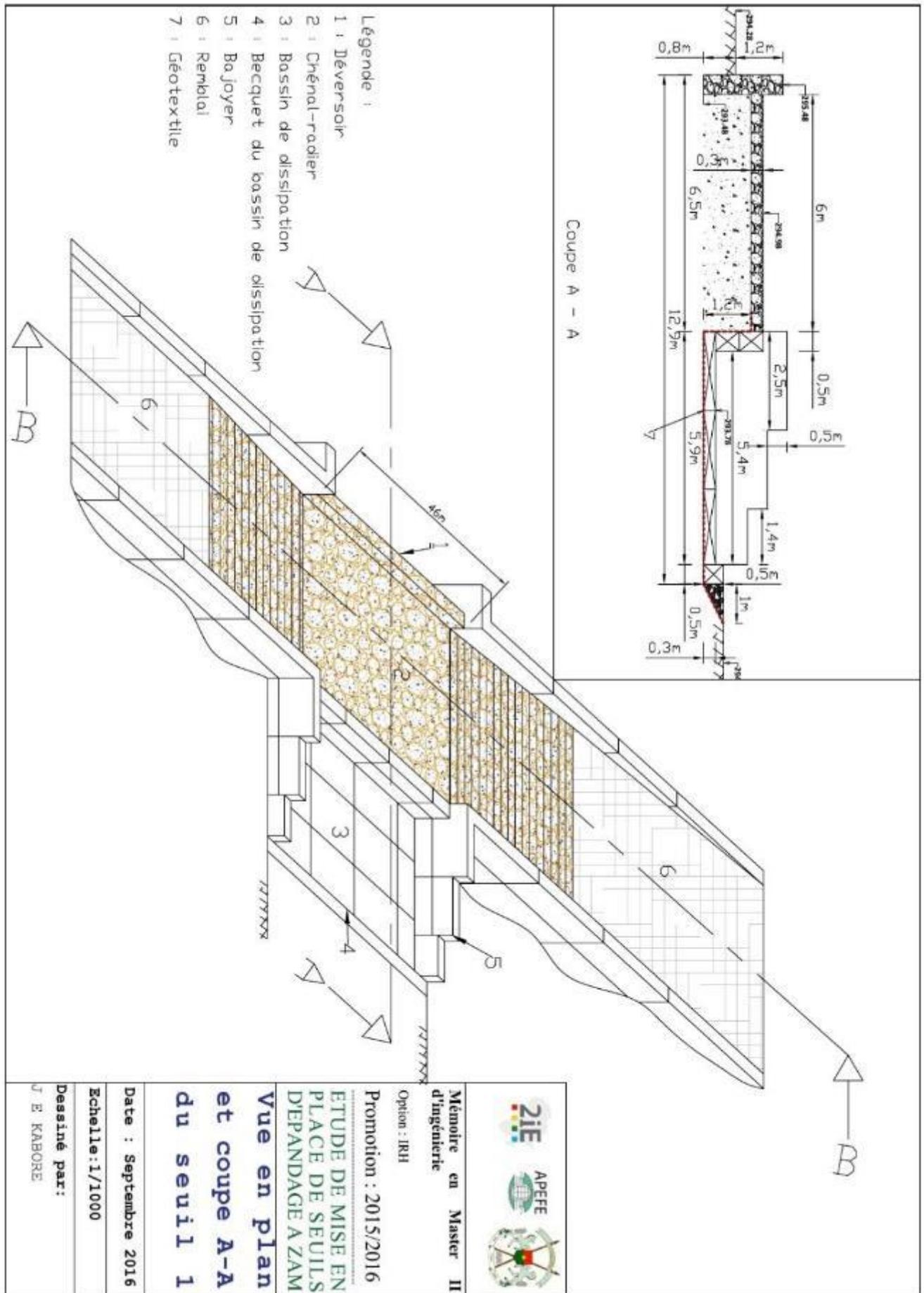


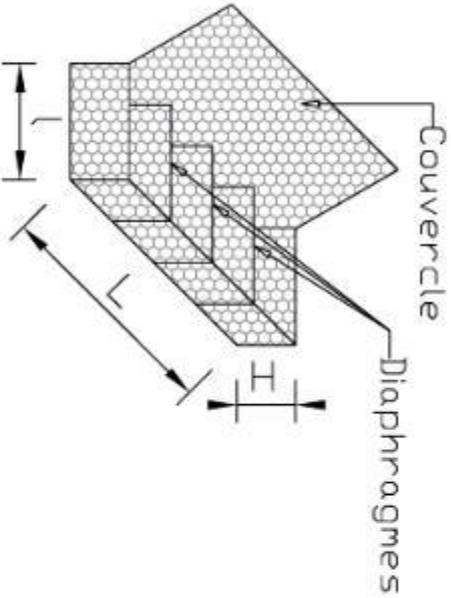
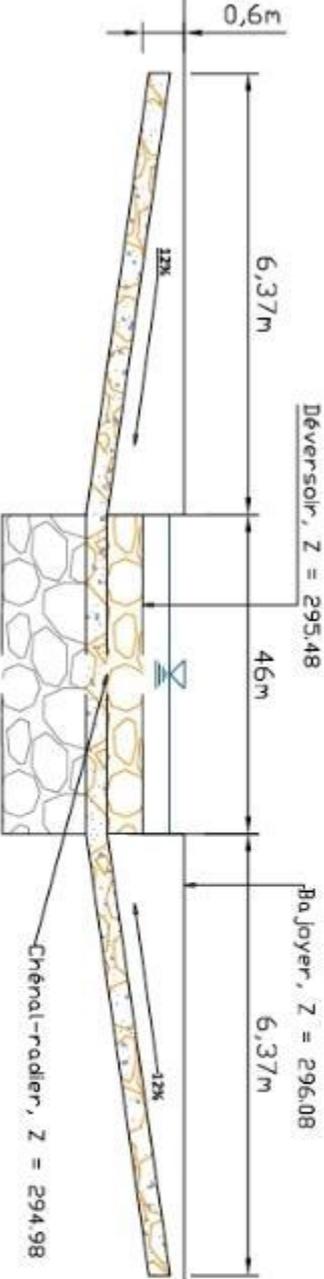
ANNEXE 8 :PLANS DESSINES

Liste des plans dessinés

Numéro	Nom du plan
1	Profils au seuil 1
2	Vue en plan et coupe A-A du seuil 1
3	Coupe B-B du seuil 1 et plan de confection des gabions
4	Plan topographique au seuil 2
5	Vue de dessus et coupes seuil 2
6	Profils au seuil 2
7	Profils au seuil 3
8	Vue de dessus du seuil 3 au droit du cours d'eau principal





	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Mémoire en Master II d'ingénierie</p> <p>Option : IRH</p> <p>Promotion : 2015/2016</p> </div> </div> <hr/> <p style="text-align: center;">ETUDE DE MISE EN PLACE DE SEUILS D'EPANDAGE A ZAM</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coupe B-B du seuil • Plan de gabion <p>Date : Septembre 2016</p> <p>Echelle: 1/1000</p> <p>Dessiné par : J E KABORE</p>	

