ETUDE HYDROMORPHOLOGIQUE DU COURS DôEAU PRINCIPAL EN AMONT DE LA RETENUE DE MOGTEDO

MEMOIRE POUR LôOBTENTION DU

MASTER DôINGENIERIE DE LôEAU ET DE LôENVIRONNEMENT

OPTION : EAU

Présenté et soutenu publiquement le 28 juin 2013 par

DJANTENG WANDJI Caleb

Travaux dirigés par :

Dr. Eric HALLOT

Maître de Conférence ï Université de Liège, Belgique

M. Francis GUYON

Représentant de lôAPEFE

Dr. Dial NIANG

Enseignant Chercheur au Centre de Recherche Eau et Climat

M. Sévère FOSSI

Ingénieur de Recherche au Centre de Recherche Eau et Climat

Jury dôévaluation du stage :

Président : **M. Adjadi MOUNIROU**

Membres et correcteurs : M. Abdouramane GADO DJIBO
Mme Bernadette NKA NNOMO

Promotion 2012/2013

REMERCIEMENTS

Le présent document est le résumé de plusieurs actions combinées, dont nous mentionnerons particulièrement celles de nos encadreurs. Tout au long de la période de stage,

- M. Francis GUYON (représentant de lôAPEFE dans le cadre du projet dénommé PADI) a particulièrement marqué notre attention par sa disponibilité et sa promptitude à répondre à nos inquiétudes. En cet encadreur, nous avons vu un désir de transmettre le savoir qui se traduisait par une facilité à donner de la documentation et du matériel nécessaire à lôavancement du stage. Nous lui témoignons notre gratitude.
- Dr Eric HALLOT (enseignant-chercheur au Laboratoire dôHydrographie et de Géomorphologie fluviatile de lôUniversité de Liège en Belgique) pour tous ses commentaires et apports sur ce document.
- De même, nous remercions M. Sévère FOSSI (Ingénieur de recherche), co-encadreur. Ce dernier malgré son emploi de temps hyper saturé, a toujours su trouver du temps pour nous et a toujours réagi par rapport à nos inquiétudes émises et en nous programmant des pré-soutenances ; ce qui a facilité ainsi lôévolution de nos travaux.
- Nous ne manquerons pas de remercier M. Dial NIANG (enseignant dôhydrologie à 2iE), co-encadreur de ce stage également. Il nôa pas manqué de nous apporter également son expérience pour le bon déroulement de notre stage et la rédaction de ce mémoire qui en découle.
- Nos remerciements vont également à lôendroit de M. SOME Corentin, enseignant-chercheur à 2iE qui a été un pilier pour nous en ce qui concernait les Systèmes dôInformations Géographiques (SIG).
- Nous remercions M. Mohamadou TOROU pour son appui en ce qui concerne les outils de statistiques pour une meilleure interprétation de nos données.
- Nous ne manquerons pas de remercier M. Roland YONABA, Ingénieur en eau et assistant de recherches à 2iE, pour son aide dans lôinstallation et la gestion de certains logiciels que nous avons utilisés.

RESUME

Lôexistence des cours dôeau est fortement menacée de nos jours, notamment par lôérosion des berges, les aléas climatiques et les activités anthropiques. Les nombreuses fonctions des berges de ces cours dôeau font quõil y a consensus quant à la nécessité de les protéger et les restaurer au besoin, car une fois les berges détériorées, les impacts se font sentir sur la faune et la flore, de même que sur lôHomme et ses activités économiques. La détérioration des berges affectant plusieurs types dôactivités, il est important dõidentifier concrètement quels sont les impacts réels dôune détérioration et de les quantifier, afin de pouvoir comparer des faits réels et ainsi justifier, la réalisation de travaux de protection des berges, ou juger si ces travaux ont été réalisés de manière satisfaisante.

Cette étude a porté sur le cours dôeau en amont de la retenue de Mogtedo, dans la province du Ganzourgou au Burkina Faso. Sur les 18,8 km de longueur de ce cours dôeau, les résultats révèlent : concernant le type de profil de berge, 52,19 % des berges ont un profil compris entre 70° et 90°, ce qui montre que les berges ont été érodées pendant les crues (G. Degoute). En ce qui concerne la dynamique des berges, 64.06 % de celles-ci sont instables. Pour ce qui est de la végétation des berges, 71.56 % sont dénudées et à propos du type de matériaux, 87.5% des berges ont de lôargile pour matériau principal. Des solutions-types ont été proposées pour lutter contre lôérosion des berges, en lôoccurrence des réaménagements. Toutefois, une étude détaillée de lõimpact environnemental devra être réalisée au préalable.

Mots-clés :

1- Barrage

2- Cours dôeau

3- Erosion

4- Mogtedo

5- Burkina Faso

ABSTRACT

The existence of watercourses is largely threatened today, including bank erosion, climatic variations and human activities. The many functions of banks of these rivers reveal the need to protect and restore these banks if necessary, because once they are deteriorated, the impacts are felt on the fauna and flora, well as human and economic activities. The deterioration of banks affecting several types of activities, it is important to identify specifically what are the real impacts of damage and to quantify, in order to compare the actual facts and thus justify the execution of works, or judge if the work was completed satisfactorily.

This study focused on the river upstream of the retaining dam of Mogtedo in the province Ganzourgou, Burkina Faso. Of the 18.8 km length of the river, the results show that: on the profile type of bank, 52.19% of the banks have a profile between 70 ° and 90 °, indicating that the banks have been eroded during floods (G. Degoute). Regarding the dynamics of banks, 64.06% of them are unstable. In terms of riparian vegetation, 71.56% are bare and about the type of materials, 87.5% of the banks have clay as main material. The standard solutions have been proposed to fight against the erosion of banks, namely readjustments. However, a detailed study of the environmental impact must be made beforehand.

Keywords :

1- Dam
2- watercourse
3- Erosion
4- Mogtedo
5- Burkina Faso

QUELQUES DEFINITIONS

- **Barrage** : Un barrage est un mur érigé au travers dôun cours dôeau et destiné à bloquer dans une cuvette toute ou partie des eaux de ruissellement du bassin versant pour constituer une retenue dôeau temporaire ou pérenne à usage multiple ou spécifique.
- **Bassin versant** : Le bassin versant en une section considérée dôun cours dôeau est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours dôeau et des affluents à lôamont de ladite section Tous les écoulements prenant naissance à lôintérieur de cette surface doivent traverser la section considérée. pour poursuivre leur trajet vers lôaval.
- **Berges** : Bord dôun cours dôeau, il est la zone tampon entre le lit mineur dôun cours dôeau et la plaine alluviale.
  Bande de terre qui borde un cours dôeau ou une étendue dôeau (Le petit Larousse illustré, 2006).
- **Erosion** : Processus physique et chimique naturel par lequel le sol et les roches de la croûte terrestre sont constamment soumis à une abrasion et à une corrosion. La majeure partie de lôérosion provient des actions combinées de différents facteurs comme la chaleur, le froid, les gaz, le vent, la gravité et la vie végétale.
- **Lit** : Chenal creusé par un cours dôeau et dans lequel il sôécoule.
- **Ruissellement** : Ecoulement par gravité à la surface du sol sous lôeffet de la pente du terrain, des eaux météorites qui ont échappé à lôinfiltration, à lôévaporation et au stockage à la surface du sol
- **Site** : Dans ce contexte, le site est une portion délimitée entre deux points de lôéchantillonnage. Celle-ci sôétend sur 15 à 20 fois la largeur du cours dôeau moyen entre ces deux points.
- **Végétaux** : Plantes (êtres vivant caractérisés par une très faible motilité) qui se nourrit de substances minérales et absorbe du gaz carbonique.
- **Végétation** : Ensemble des végétaux.

SIGLES ET ABBREVIATIONS

2iE : Institut International dõIngénierie de lõEau et de lõEnvironnement

APEFE : Association pour la Promotion de lõEducation et la Formation à lõEtranger

CDI : Centre de Documentation Interne

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

MNT : Modèle Numérique de Terrain

NPK : Azote-Potassium-Phosphore

PADI : Programme dôAppui au Développement de lõIrrigation

PVC : Polychlorure de Vinyle

SIG : Système dõInformation Géographique

WAIPRO: West African Irrigation Project

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS....ii
RESUME....iii
ABSTRACT....iv
QUELQUES DEFINITIONS....v
SIGLES ET ABBREVIATIONS....vi
TABLE DES MATIERES....vii
LISTE DES TABLEAUX....ix
LISTE DES FIGURES....x
INTRODUCTION GENERALE....11
PROBLEMATIQUE....12
CONTEXTE DE LA RECHERCHE....13
OBJECTIFS DE RECHERCHE....13
PREMIERE PARTIE : GENERALITES....14
I-1. Présentation de la zone dôétude....14
a) Situation géographique....14
b) Climat et végétation....15
c) Hydrographie....16
d) Aspect socio-culturel....18
I-2. Aménagements hydro-agricoles....18
a- Le barrage....18
b- Aménagements....20
I-3. Activités principalement menées....20
a- Irrigation....20
b- Elevage....22
c- Activités minières....22
I-4 Revue de littérature....22
DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES....27
Chapitre I : Matériels....27
Chapitre II : Méthode....28
II-1 Lôéchantillonnage....29
II-2 Reconnaissance du site....35

II-3 Choix des variables dôétude 35
II-4 Mode de collecte des données 38
II-5 Méthode de traitement de données 38
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET ANALYSES 39
Chapitre III : RESULTATS 39
Chapitre IV : INTERPRETATION ET ANALYSES 49
RECOMMANDATIONS 44
CONCLUSION 48
BIBLIOGRAPHIE 49
ANNEXES I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Localités incluses dans le bassin versant de Mogtedo 17
Tableau 2: spécificités culturales et saisons de cultures. Source : Francine KI et al. ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA GESTION DU BARRAGE DE MOGTEDO). 20
Tableau 3: Limitations de l'angle de la pente sur l'établissement de la végétation (proposé par Paul Truong et al, 2009).....24
Tableau 4: Récapitulatif des techniques 26
Tableau 5: Coordonnées des points choisis du réseau. 33
Tableau 6: Variables hydromorphologiques considérées influent sur lœrosion des berges.....35
Tableau 7: Remplissage de la Grille d'interprétation pour l'indice de stabilité du cours d'eau en amont de la retenue de Mogtedo.....39
Tableau 8: Récapitulatif des indices 40
Tableau 9: Pentes moyennes calculées 48
Tableau 10: Classification du canal en fonction de l'indice de stabilité (Méo 2003).....49
Tableau 11: Classement selon la typologie des cours d'eau (ROSGEN;1996) 49
Tableau 12: Classification des sites par priorité d'intervention 39
Tableau 13: Bilan de nos propositions.....40
Tableau 14: Pourcentages des types de profil des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo..... II
Tableau 15:Pourcentages des types de dynamique des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo..... II
Tableau 16:Pourcentages des types de végétation des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo..... III
Tableau 17: Types de matériaux des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo. III
Tableau 18: Itinéraire suivi le long du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo IV
Tableau 19: Effets physiques généraux de la végétation sur la stabilité des pentes VI
Tableau 20: Diamètre et force ductile de la racine de différentes herbes VI

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de département de Mogtedo au Burkina Faso 14
Figure 2: Pluviométrie moyenne annuelle de 2006 à 2011. 15
Figure 3: Réseau hydrographique du bassin versant du Bomboré.....16
Figure 4:Quelques photos du barrage de Mogtedo. Source: Caleb DJANTENG, février 2013 19
Figure 5: Parcelle irriguée par le barrage de Mogtedo. Source: Caleb DJANTENG février 2013.....21
Figure 7: Etape 1 sur ArcGIS 10 30
Figure 8: Etape 3 sur ArcGIS 10 31
Figure 9: Etape 4 sur ArcGIS 10 32
Figure 10: Etape 5 sur ArcGIS 10 32
Figure 11: Echantillonnage du cours d'eau à étudier 34
Figure 12: Exemple de profil incliné de 70 -90° 41
Figure 13: Exemple de berge verticale instable.....42
Figure 14: Exemple de segment de cours d'eau où le sol des berges est nu. 43
Figure 15: Proposition de solution profil-type1, source : ÉTUDE SUR L'ÉROSION DES RIVES DES RIVIÈRES LORETTE ET DU CAP ROUGE 1 42
Figure 16:Proposition de solution profil-type 2, source : ÉTUDE SUR L'ÉROSION DES RIVES DES RIVIÈRES LORETTE ET DU CAP ROUGE.....43
Figure 17: Photo du site 28-A, rive gauche. Source: Caleb DJANTENG février 2013 VII
Figure 18: Photo du site 31-A rive gauche. Source: Caleb DJANTENG février 2013 VII
Figure 19: Photo de la manifestation de l'érosion sur un ponceau. Source: Caleb DJANTENG février 2013 VIII
Figure 20: Photo du site 31-A rive gauche. Source: Caleb DJANTENG février 2013 VIII
Figure 21: Forme du cours d'eau à l'approche du barrage. Source: Caleb DJANTENG février 2013..... IX
Figure 22: Cours d'eau à l'approche du barrage. Source: Caleb DJANTENG février 2013 IX
Figure 23: les racines de vétiver renforcent ce barrage ont empêché quil soit emporté par les crues. X

INTRODUCTION GENERALE

Les besoins en eau sont de plus en plus importants au fur et à mesure que les années passent. Lôimportance de cette ressource naturelle qui parfois ne répond pas aux attentes des populations qui la sollicitent, nôest plus à démontrer. La non maîtrise de cette ressource peut-être due aux conditions naturelles, mais parfois aussi aux activités anthropiques. Au Sahel, pendant la longue saison sèche, les populations sont amenées à rechercher de lôeau pour différents besoins (irrigation, eau potable, élevage). Une solution à cette situation est la réalisation dôun barrage.

Réaliser un barrage côest bien, mais ce nôest pas toujours suffisant. Il doit être entretenu et préservé de phénomènes indésirables comme lôérosion des berges du cours dôeau en amont de celui-ci. Pour ce faire, il est fondamental de maitriser la zone dôétude, ainsi que les paramètres qui de près ou de loin affectent lôouvrage.

Plusieurs travaux ont déjà été réalisés sur le barrage de Mogtédo. Nous pouvons entre autres citer le projet WAIPRO (West African Irrigation Project) qui a travaillé sur « lôETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA GESTION DU BARRAGE DE MOGTEDO ». Réalisé en 2010, ce travail relate les pratiques tout autour du barrage de Mogtedo.

Dans le cadre spécifique de ce travail, nous nous sommes intéressés à « lôEtude hydromorphologique du cours dôeau en amont de la retenue de Mogtedo ». Dans un premier temps, nous avons fait un diagnostic de lôétat des berges (notamment sur lôérosion) et avons ensuite proposé un protocole pour la protection de ces berges. Ce document rapporte les grands éléments de notre travail.

PROBLEMATIQUE

Les berges de plusieurs cours dôeau à lôéchelle mondiale présentent des phénomènes de dégradation accélérée. Les causes avancées pour expliquer l'ampleur de l'érosion sur ces berges sont variées et souvent discutables.

Du point de vue spatial, elles peuvent être locales ou régionales alors que, chronologiquement, elles peuvent être récentes ou liées à des phénomènes s'étendant sur des millénaires. Les changements climatiques régionaux, les tempêtes, les variations du niveau relatif de la mer, la variation des apports sédimentaires naturels sur les côtes et les actions humaines constituent les principales causes associées à l'érosion des berges (cf. Erosion_des_berges).

Les conséquences économiques et sociales de l'érosion des berges peuvent être importantes dans de nombreux cas. Elle peut même provoquer le déplacement d'une collectivité toute entière dans des cas extrêmes. On note la perte de terrains et de biens pouvant être assez graves également. La faune et la flore peuvent être affectées, de même que lôhumain et ses activités récréatives et économiques.

Concernant la retenue de Mogtedo, cette érosion déforme le cours dôeau qui lôalimente, faisant ainsi reculer progressivement les berges chaque année. Comme conséquence, lôérosion des berges mène à une non maitrise des quantités dôeau qui sont ainsi perdues et pourrait malheureusement influencer le disponible en eau pour lôirrigation en aval.

La problématique de lôérosion des berges nôest une réalité dont lôimpact serait mineur. Au contraire, elle peut avoir de grandes répercussions lorsquôon regarde tous les aspects affectés, depuis les besoins vitaux de lôHomme à lôéquilibre environnemental.

CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Cette recherche entre dans le cadre du Programme de la DADI intitulé « Programme dôAppui au Développement de lôIrrigation 2011 ï 2013 » impliquant lôAssociation pour la Promotion de lôEducation et de la Formation à lôEtranger (APEFE). Ce programme est composé de 4 résultats de programme dont lôun vise à mettre à la disposition de la DADI, de lôAgence de lôEau du Nakanbé (AEN) et des DRAH du Centre, du Centre Sud et du Plateau Central des outils opérationnels de protection des retenues dôeau dôirrigation. Ce résultat de programme, plus communément dénommé PAPRI (Projet dôAppui à la Protection des Retenues dôeau dôIrrigation), sôappuie sur une approche de type recherche / développement impliquant également deux partenaires wallons : la Direction des Cours dôeau non Navigables (DCENN) du Service Public de Wallonie et le Laboratoire dôHydrographie et de Géomorphologie Fluviatile de lôUniversité de Liège (ULg). Il vise principalement le développement dôoutils dôaide à la décision pour la limitation de la sédimentation des retenues dôeau à travers lôaménagement des terres et des berges des cours dôeau à lôéchelle des bassins versants alimentant les retenues.

OBJECTIFS DE RECHERCHE

La retenue dôeau de Mogtedo risque de perdre ses capacités de rétention, côest la problématique qui justifie nos travaux. Le long du cours dôeau en amont, on observe une érosion des berges progressive et importante. Etant donné que le dysfonctionnement du barrage créera des pénuries en ce qui concerne les quantités dôeau nécessaires pour lôirrigation des cultures, il est impératif de sôintéresser à cette érosion pour éviter ou réduire les situations de comblement de retenue et de pénurie dôeau, dôoù lôobjectif de notre recherche qui est de réaliser lôétude hydromorphologique du cours dôeau en amont de la retenue de Mogtedo. Ici nous avons été appelés à inventorier les différentes dégradations des berges et proposer un dispositif de suivi de lôérosion de celles-ci.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

I-1. Présentation de la zone dôétude

a) Situation géographique

Dans la région du plateau central du Burkina Faso, plus précisément dans la province du Ganzourgou, Mogtédo est un village situé à 80 km à lôest de Ouagadougou. Dôune population de 15 076 habitants, le département dont il est administrativement dépendant porte également le nom de Mogtédo et comprend huit (08) autres villages. Mogtedo (village) quant à lui regorge 4 445 habitants (source : Wikipédia 2013).

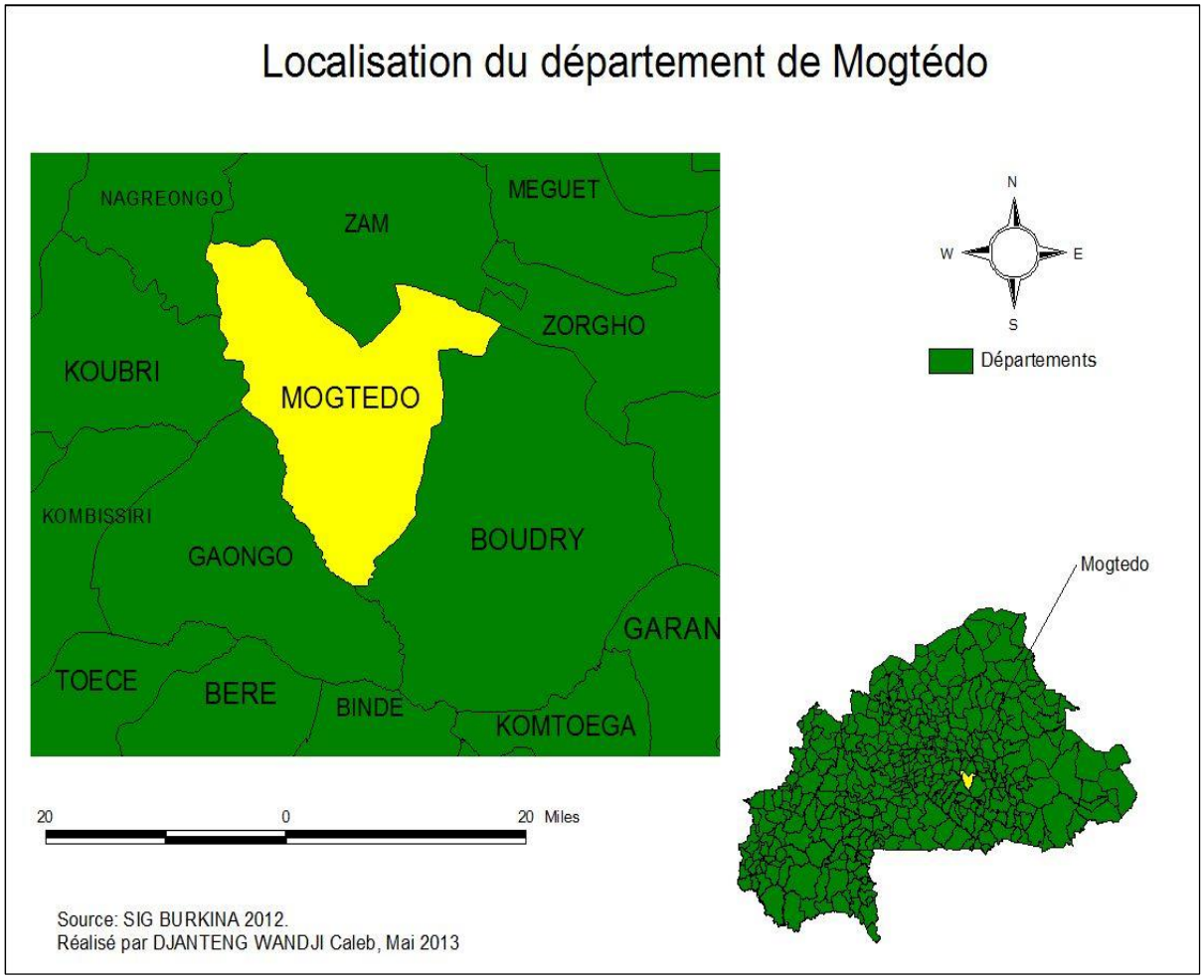


Figure 1: Localisation de département de Mogtedo au Burkina Faso

Dôun point de vue géologique, au droit du site, on peut évoquer des affleurements volcano-sédimentaires avec secteurs à prédominance de métavolcanites sur fond de migmatites.

b) Climat et végétation

Le climat de Mogtedo est un climat à caractère très contrasté semblable à celui de la zone nord soudanienne. Il est caractérisé par une saison sèche longue et une saison de pluies relativement courte avec des pluies souvent violentes.

La végétation est fortement dégradée par lôHomme (feux de brousse assez fréquents) et des défrichements. On note aussi une faible densité dôarbres à Mogtédo. Lôessentiel de la savane arbustive se trouve au Sud-Est et au centre Centre-Est du bassin versant. Les zones de cultures importantes et les habitations concentrées se situent le long des cours dôeau principaux.
La pluviométrie moyenne annuelle à Mogtédo qui appartient à la zone du plateau central est comprise entre 600 mm et 900 mm.

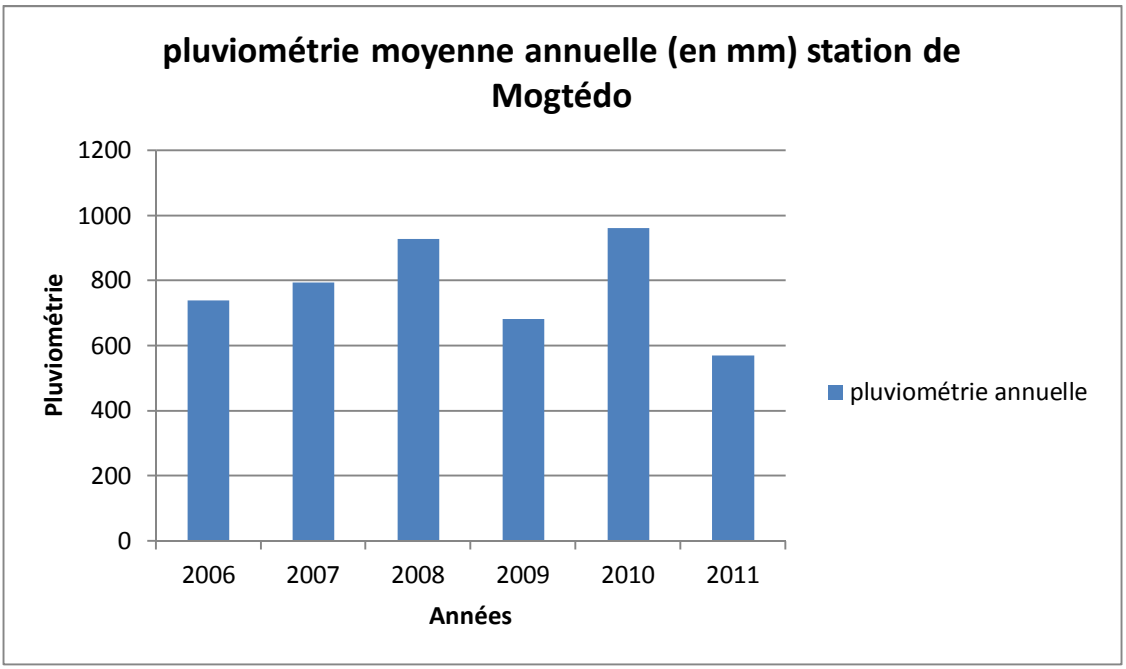


Figure 2: Pluviométrie moyenne annuelle de 2006 à 2011.

c) Hydrographie

Le cours dôeau alimentant la retenue de Mogtedo appartient au réseau hydrographique représenté sur la figure 3.

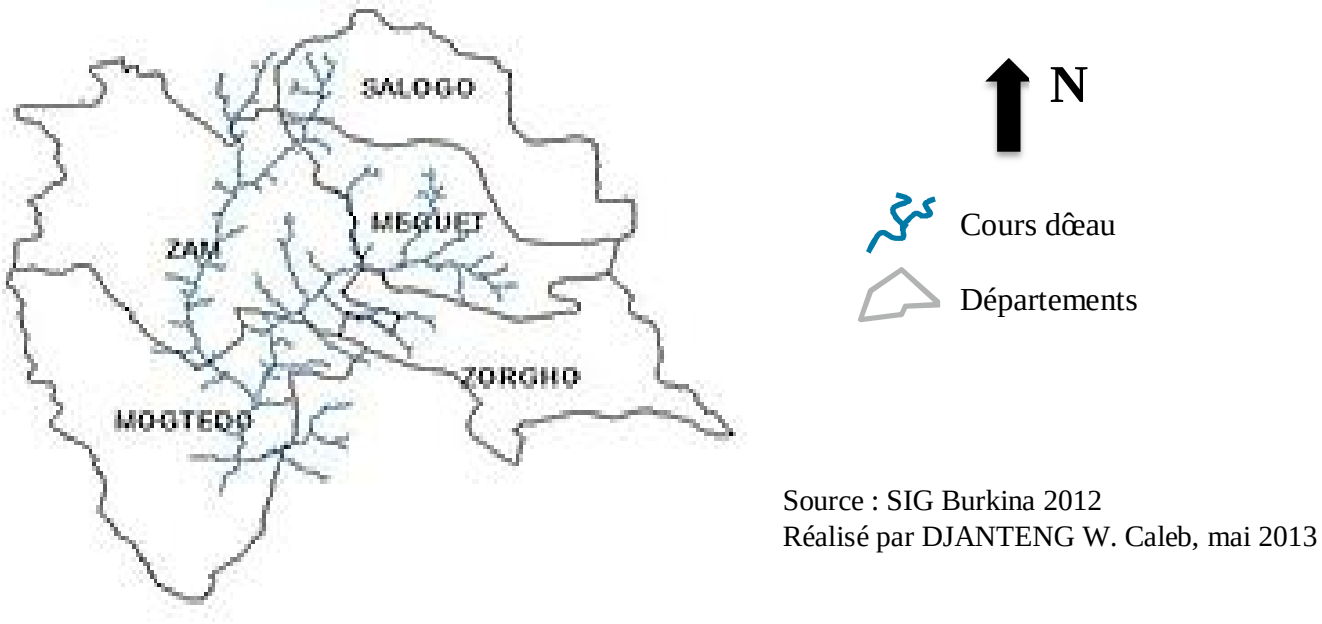


Figure 3: Réseau hydrographique du bassin versant du Bomboré

- **La surface (S) du bassin versant**

Le bassin versant topographique dont le barrage de Mogtedo est lôexutoire présente une surface S = 477 km².

- **Le périmètre (P)**

Le pourtour du bassin versant est P = 93 km.

- **Lôindice de compacité (Icomp)**

Appelé aussi coefficient de forme, il correspond au rapport du périmètre du bassin à celui dôun cercle de même superficie.

Icomp = 0,282. P. $S^{-1/2}$,

où P est le périmètre du bassin exprimé en km et S la superficie du bassin exprimée en km².

Icomp = 1, 20.

- **La longueur du rectangle équivalent (L)**

Côest le rectangle qui a la même surface, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant. Sa longueur est donnée par lôexpression :

$L = S^{0,5} (Icomp / 1,128). (1 + (1 ï (1,128 / Icomp)^{2})^{0,5})$,

où L est exprimé en km, Icomp est l'indice de compacité sans dimension et S est la superficie du bassin versant exprimée en km².

L = 32,23 km.

- **La densité de drainage (Dd)**

Cœst le rapport à la surface dôun bassin versant, de la longueur totale des cours dœau de tous ordres.

Dd = × Li / S,

où Li est exprimé en km et S en km².

Dd = 1,014 km/ km².

Dans le tableau ci-dessous, nous avons mentionné les localités qui font partie de ce bassin versant.

Tableau 1: Localités incluses dans le bassin versant de Mogtedo

PROVINCES	DEPARTEMENTS	LOCALITES
GANZOURGOU	MEGUET	Boulwando
GANZOURGOU	MEGUET	Fatmatinga
GANZOURGOU	MEGUET	MEGUET
GANZOURGOU	MEGUET	Tibin
GANZOURGOU	MEGUET	Koulweogo
GANZOURGOU	MEGUET	Dazanre
GANZOURGOU	MEGUET	Ouavousse
GANZOURGOU	MEGUET	Bolle
GANZOURGOU	MEGUET	Tanghin
GANZOURGOU	MEGUET	Kabouda

PROVINCES	DEPARTEMENTS	LOCALITES
GANZOURGOU	ZAM	Dassimpouigo
GANZOURGOU	ZAM	Zam
GANZOURGOU	ZAM	Kieglesse
GANZOURGOU	ZAM	Song-Naba
GANZOURGOU	ZAM	Yargho
GANZOURGOU	ZHORGO	Kourgou
GANZOURGOU	ZHORGO	Yougloumande
GANZOURGOU	ZHORGO	Bissiga
GANZOURGOU	ZHORGO	Zempassogo

d) Aspect socio-culturel

La commune de Mogtédo est la troisième de la province en termes dôeffectif de la population. Elle regroupe ainsi 7,1% de la population provinciale totale. Plus de 70% de la population possède un acte de naissance. (Source : Monographie de la région du plateau central, novembre 2009).

I-2. Aménagements hydro-agricoles

a- Le barrage

Il existe un barrage compacté dôune longueur de 2 600 m et dôune hauteur maximale de 5m. Ce barrage est doté dôun déversoir latéral de 650m de long. Sa capacité a été estimée lors de sa conception à 6 580 000 m^3 (SOGETHA, 1964).

La digue est géographiquement localisée sur le parallèle 00°50ô Ouest et le méridien 12°11ô Nord à une altitude de 272 m au-dessus du niveau de la mer (SOME et al. 2008).

Il est la principale source dôeau pour les activités socio-économiques des populations de Mogtédo et alentours.

Figure 4:Quelques photos du barrage de Mogtedo. Source: Caleb DJANTENG, février 2013

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

- superficie du bassin versant: 478 km² ;

- volume brut du barrage : 6 580 000 m^3 ;

- longueur de la digue : 2 600 m ;

- largeur en crête de la digue : 3,5 m ;

- longueur et nature du déversoir : 650 m en béton cyclopéen

- position du déversoir : déversoir latéral ;

- type et nombre de prise dœau : 2 prises dœau en tour ;

- tranche dœau exploitable : 2,83m (RG) ; 2,96m (RD).

Toutefois, ces caractéristiques ont été modifiées avec le temps. En 2007 (soit 44 ans après), le BEM réalise une étude en vue de la réhabilitation du barrage. Il estime le volume à cette date du barrage à 4 657 000 m^3. La comparaison de ces deux situations montre une nette variation du volume à la baisse du barrage de plus de 1 900 000 m^3 due à lœnvasement de la retenue (soit une perte de 30%) de sa capacité.

b- Aménagements

Trois types dôaménagement sont distingués autour du barrage selon (BEM, 2007) :

- le périmètre aménagé légal à lôaval du barrage qui sôétend sur une superficie de 130 ha ;

- les aménagements pirates toujours à lôaval du barrage dôenviron 90 ha de superficies qui prélèvent illégalement les eaux du réseau ;

- les périmètres informels à lôamont du barrage qui couvrent une superficie de 170 ha dont plus de 100 ha sur la rive gauche.

Un aménagement rizicole a été créé en aval du périmètre et la première mise en exploitation date de 1967 avec 74 ha sur la rive gauche et 19 ha sur la rive droite. On note deux campagnes de production dont une en saison sèche (novembre à mars) et une autre de saison pluviale (juin à octobre). En 1996, 123 ha ont été mis en valeur dont 93 ha formels et 30 ha spontanés (Hilmy S. et al. 1997).

I-3. Activités principalement menées

a- Irrigation

Lôactivité la plus importante autour du barrage de Mogtédo est lôirrigation. Elle concerne la riziculture et le maraîchage. Les produits maraîchers sont lôoignon, le piment, lôaubergine, le chou, le gombo, la tomate, la courgette, le concombre, la carotte, etc. Lôirrigation est ainsi lôusage qui utilise le plus dôeau. On a deux campagnes de production dont une en saison sèche (novembre à mars) et une autre de saison pluviale (juin à octobre).

Tableau 2: spécificités culturales et saisons de cultures. Source : Francine KI et al. ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA GESTION DU BARRAGE DE MOGTEDO).

Saison sèche	Saison pluviale
choux	Riz
Oignon	Mais
Tomate	Sorgho blanc
Aubergine (importée et locale)	Sorgho rouge
Gombo	Petit mil
Piment	Niébé
Maïs frais	

En aval de la retenue, nous avons photographié une des parcelles irriguées.

Figure 5: Parcelle irriguée par le barrage de Mogtedo. Source: Caleb DJANTENG février 2013

A Mogtédo, un périmètre de plus de 100 ha irrigué de façon gravitaire a été aménagé en aval peu après la construction du réservoir. Cœst une plaine rizicole avec des parcelles de 0,20 ha, 0,25 ha et 0,50 ha. La plaine compte 378 exploitants (Statistique de 2010, Francine KI et al. ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA GESTION DU BARRAGE DE MOGTEDO). Hors du périmètre, environ 500 irrigants exploitent des parcelles non aménagées avec des motopompes et des tuyaux PVC comme matériels dœexhaure. Les producteurs de la plaine peuvent bénéficier des prix subventionnés des engrais (NPK et urée) auprès de la coopérative. Par contre les producteurs informels peuvent sœapprovisionner mais sans aucune subvention.

Depuis 2006 le barrage arrive à sec avant la fin de la campagne irriguée, et la vitesse varie encore dœannée en année. En 2012, les agriculteurs craignaient ce manque dœeau déjà très tôt, et ne voulaient pas prendre le risque ; ils ont donc laissé leurs champs en jachère. Comme la pluviométrie de 2012 a été abondante et que le barrage a été bien rempli, une plus grande occupation pour la campagne irriguée de 2013 est attendue. (Source : Recensement hydro-agricole Mogtedo -Mars 2012).

b- Elevage

Dôaprès le Président du groupement des éleveurs de Mogtédo, peu dôéleveurs abreuvent leurs animaux au niveau du réservoir. Lôensemble du bétail sôélève à près de 35 000 têtes avec environ 500 éleveurs. Avec le développement de lôirrigation, les animaux accèdent difficilement au réservoir parce quôil nôy a pas de voies dôaccès. Les éleveurs qui abreuvent vraiment leurs animaux au niveau du réservoir ne le font que pendant 3 mois (de Décembre à Février).

En saison sèche la plupart des éleveurs creusent des puits pour abreuver leurs animaux et en saison humide ils conduisent le bétail aux bords des marigots ou larges flaques dôeau. Ils ne parcourent pas plus de 3 à 4 km pour abreuver leur bétail. (Source : Francine KI et al. ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA GESTION DU BARRAGE DE MOGTEDO).

c- Activités minières

Lors de notre descente sur le terrain, nous avons constaté quôil existe une exploitation minière aux alentours de notre zone dôétude. Par endroit, nous pouvions remarquer des installations dôorpailleurs et voire quelques fois des femmes à la quête de lôor.

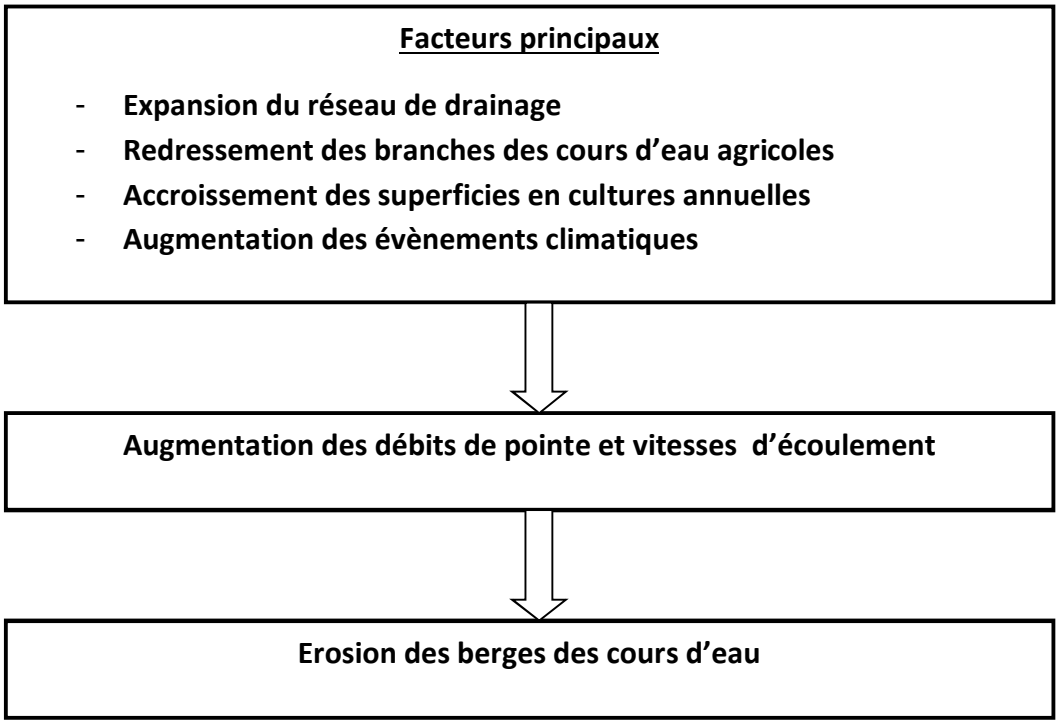
I-4 Revue de littérature

Cette partie a été consacrée à la recherche des documents relatifs à notre étude. Elle sôest effectuée principalement grâce à lôoutil internet et au Centre de Documentation Interne (CDI) de la Fondation 2iE. Plusieurs documents et revues ont été consultés.

De prime abord, nous pouvons dire que plusieurs écrits sur lôérosion des berges sont disponibles. Toutefois, les cas dôérosion des berges étant rencontrés un peu partout, ils ne sont pas gérés de la même manière et de ce fait, les solutions à apporter pour protéger ou restaurer les berges des cours dôeau de cette érosion ne sont pas forcément standardisables.

a- Conception générale sur lôérosion des berges

De manière générale, les paramètres aboutissant à lôérosion des berges des cours dôeau sont organisés tel que présenté ci-dessous.



b- Facteurs influents de lôérosion des berges

La pente du lit, la direction du courant, lôampleur du débit de pointe, la présence dôobstacles dans le lit du cours dôeau, la forme des talus, la couverture végétale et la résistance du sol en rive sont autant de facteurs qui doivent être pris en compte dans le cadre dôun diagnostic complet des sites à restaurer visant à sélectionner les travaux de corrections appropriés.

c- Principales causes de lôérosion des berges

Au cours du dernier siècle, l'exploitation des ressources naturelles et l'augmentation de la demande énergétique a nécessité la construction de barrages sur de nombreux cours d'eau de la Côte-Nord. L'impact de ces barrages sur le milieu côtier n'est pas à négliger. En effet, les barrages régularisent le débit des rivières, ce qui diminue l'érosion des berges en aval des ouvrages pendant les crues. De plus, leur réservoir forme un énorme piège à sédiments, de sorte que la charge sédimentaire pouvant alimenter les plages à l'embouchure des cours d'eau harnachés se trouve réduite. La présence de barrages sur les cours dôeau affluents au fleuve a aussi un effet sur la zone côtière. Les débits réduits des cours dôeau à lôaval des barrages permettent à lôeau du fleuve de pénétrer de façon plus

importante dans ces cours dôeau ce qui engendre plus dôérosion côtière de ces rivières lors des tempêtes. De plus, les barrages bloquent lôécoulement normal des sédiments qui servaient auparavant à alimenter les plages le long du fleuve (Bernatchez, Dubois, 2004). Il sôagit donc encore dôun facteur qui fait reculer les plages et contribue à leur disparition.

d- Solutions possibles contre lôérosion des berges

Nous avons essayé de les classer comme nous le présente le tableau 12 plus loin, avec les conditions dôutilisation qui correspondent au mieux pour des résultats attendus.

d.1- Végétalisation

La végétalisation seule a lôavantage dôêtre

- une technique simple qui peut être réalisée par une main dôœuvre non spécialisée. Même le concept dôune végétalisation peut être défini par un particulier sans notions spécifiques, à lôaide des diverses publications disponibles.
- ne requière pas lôutilisation de machinerie lourde, à moins que la pente doive être adoucie.
- méthode peu coûteuse, car contrairement au génie végétal, il nôy a pas dôautres manipulations à faire que de planter les végétaux.

Tableau 3: Limitations de l'angle de la pente sur l'établissement de la végétation (proposé par Paul Truong et al, 2009)

Pente angle (degrés)	Type de végétation	
	Herbe	**Arbrisseaux/arbres**
0 ï 30	Facile à planter ; les techniques habituelles de plantation peuvent être utilisées	Facile à planter ; les techniques habituelles de plantation s peuvent être utilisées
30 ï 45	De plus en plus difficile pour des repousses ou du turf Grass; application habituelle pour l'hydro ensemencement	De plus en plus difficile à planter
> 45	Exige des considérations spéciales	Plantation sur banquettes préétabli

d.2 - Enrochement

Elle est simple la mise en place dôenrochement. Elle consiste à :

- Placer des blocs de roche le long de la pente, en réalisant un ancrage en bas de pente.
- Placer derrière lôenrochement un géotextile pour éviter la perte de sol à travers lôenrochement.

La grosseur des blocs de roche peut être dimensionnée selon la force attendue des vagues. Lôenrochement peut difficilement être végété. Par contre, lôenrochement peut facilement être utilisé en combinaison avec une autre méthode, lorsquôil est placé comme ancrage sous le niveau dôétiage et dans la partie basse de la pente. Le reste de la berge peut alors être végété.

d.3 Murets de blocs de béton

Un muret est une construction verticale en bloc, béton ou pierre qui est faite

- immédiatement en pied de talus.
- lôarrière du muret doit être remblayé.

Cette méthode coûteuse élimine complètement lôhabitat riverain, accroît le ruissellement et participe au réchauffement de lôeau (Corporation bassin versant baie Missisiquoi, 2008).

d.4 Gabions

Les méthodes présentées ci-après sont des méthodes artificielles ayant lôavantage dôêtre conçues pour que de la végétation y soit insérée.

- Les gabions sont des armatures de métal en forme de cube dans lesquelles de lôenrochement est placé. Les cubes peuvent donc être agencés de façon à sôadapter à la pente de berge voulue. Les gabions ont lôavantage de pouvoir être végétés, puisque leur structure contient environ 30% de vides dans lesquelles la végétation pourra sôinstaller.
- Des boutures peuvent aussi y être placées. Le fabriquant Maccaferri propose une version Green Gabion® où le gabion est de forme trapézoïdale et dans lequel lôarmature est pourvue dôun matelas de fibre de noix de coco sur la face extérieure, et est remplie dôenrochement et de terre végétale (Maccaferri, 2009). Tout ceci favorise la reprise de la végétation. Les gabions, étant constitués dôenrochement, sont efficaces pour les cas dôérosion sévère et les forts courants.
- Un autre produit similaire utilise plutôt un quadrillage de polyéthylène dans lequel le sol est placé ce qui renforce la pente et permet la prise de végétation herbacée (Terrafix Geosynthetics Inc., s.d.).

d.5 Matelas de béton

Le matelas de béton consiste à un assemblage de blocs de béton qui forme un matelas dôenviron 6 m x 2,5 m pouvant être mis en place à lôaide dôune pelle mécanique. Lôavantage de cette méthode est que le béton est très résistant à lôérosion et particulièrement aux effets du batillage, et que de la végétation herbacée peut sôinstaller à partir de terre placée dans les trous de chaque bloc de béton, jusquôà en cacher complètement la vue (Armortec, 2004).

Tableau 4: Récapitulatif des techniques

NOM	CONDITION DôUTILISATION	EXPERTISE REQUISE	PROVENANCE DES MATERIAUX REQUIS	OUTILS ET MACHINERIE REQUIS
Végétalisation	Vitesse dôécoulement faible	Non	Végétaux, prélevés sur le site ou pépinière	Outil de jardinage, pas de machinerie
Enrochements	Érosion sévère, batillage	Oui	Enrochement, géotextile	Machinerie lourde
Murets de blocs de béton	Pente abrupte, érosion sévère	Oui	Béton, matériaux granulaire, géotextile	Machinerie lourde
Gabions	Érosion forte, pente abrupte	Oui	Gabion, enrochement, géotextile	Machinerie lourde
Matelas de béton	Érosion forte, batillage, pente moyenne	Oui	Matelas de béton, géotextile	Machinerie lourde

e- Quelques cas de cours dôeau étudiés.

Nous avons consultés les résultats des études menées sur certains cours dôeau notamment la rivière de Cap rouge (parc Champigny) sur 425 m de long, la rivière de la Lorette (parc Frénélon-Frenette) sur 397m, avons aussi entre plusieurs autres consulté le manuel de gestion des eaux pluviales de lôétat du Maryland (MDE, 2000). Nous avons également des documents fournis par lôUniversité Louis Pasteur (Strasbourg) sur les travaux en rapport avec lôérosion des berges.

Pour ces cas, un enrochement a été apporté comme solution.

Quelques affluents du fleuve Niger ont également été étudiés, dans la commune rurale du Fakala au Mali. Notamment les sites Montorobougou, Diaba Allaye et Sofara dont les noms des cours dôeau et leur longueur considérée en mètre linéaires sont respectivement Bani, 1 200ml ; Yamé, 2 110 ml et Yamé, 6 087 ml. Pour les berges de ces rivières, une végétalisation a été proposée, la technique du système Vétiver.

DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES

Chapitre I : Matériels

Pour mener à bien nos travaux, nous nous sommes servis :

- **Dôun GPS (Garmin 60)** : celui-ci a servis principalement à repérer les points de lôéchantillonnage que nous avions précédemment définis ;
- **Dôun niveau** : Nous lôutilisions pour relever les côtes terrains et déduire certains paramètres (tels que la pente du terrain) ;

Cet appareil nous donnait les hauteurs et les différences de hauteur une fois les visées faites.

- **Des fiches de terrain** : Celles-ci nous permettaient de consigner de manière très simple et ordonnée les informations prises une fois sur le terrain. (Voir modèle en annexe).
  En outre, nous nous sommes servis de certains logiciels tels que ArcGIS9.3, Arcview3.2a, Excel, Mapsource, Leica sprinter, Tanagra (logiciel de statistiques).
- **Dôun appareil photo** : Pour mieux illustrer nos travaux, nous avons pris quelques photos.
- **Dôune moto** : Une fois sur le terrain, nous avons loué une moto pour nous déplacer sur les longues distances (notamment les distances entre deux tronçons dôétude prédéfinis du cours dôeau).
- **Logiciels utilisés** : nous avons utilisés Excel (pour élaborer la fiche synthèse et faire quelques traitements), Mapsource (notamment pour importer et exporter après traitement les informations obtenues du GPS). Nous avons également utilisé le logiciel TANAGRA pour analyser les données et interpréter les résultats.
- **Données** : Celles-ci nous ont été fournies par le Ministère de lôHydraulique notamment le Modèle Numérique de Terrain et par lôInstitut National de la Statistique et de la Démographie dôune part (INSD) notamment la monographie du plateau central.

Chapitre II : Méthode

LôEtude hydromorphologique dôun cours dôeau peut se faire par plusieurs méthodes. Parmi ces méthodes, nous pouvons citer :

➢ **La méthode (ou outil) QUALPHY** : Cette méthode, beaucoup plus développée en France (par l'Agence Rhin-Meuse), s'effectue en 04 grandes phases:

- La détermination des types (typologie) : il est nécessaire de définir la ou les typologies du cours d'eau en rapport avec son fonctionnement et sa dynamique pour comparer le cours d'eau à son type géomorphologique de référence.

- Le découpage : consiste en une sectorisation du cours d'eau en tronçons et ensuite en segments homogènes sur la base de critères géomorphologiques et anthropiques.

- L'inventaire : correspond aux visites de terrain. Pour chaque tronçon déterminé il faut renseigner sur la fiche des paramètres importants observés sur le terrain qui permettent de décrire le lit mineur, majeur et les berges.

- Le traitement informatique : utilisation du logiciel QUALPHY qui traite les données issues de l'inventaire selon une pondération des critères d'évaluation relative à la classification typologique.

Le résultat des quatre premières étapes donne au final des valeurs d'indices qui nous renseignent sur l'état de dégradation de l'ensemble des tronçons par rapport à leur type géomorphologique de référence.

Un indice proche de 0 correspond à un état de dégradation très élevé et au contraire un indice proche de 100 correspond à un état de dégradation quasi nul. A leur tour, ces valeurs d'indices serviront de référence pour guider le choix des aménagements ou des restaurations par les organismes concernés et impliqués dans la gestion du cours d'eau. Une autre méthode qui sôapparente à la première est

➢ **La méthode simplifiée de Méo** : Quant à elle, cette méthode est basée sur 04 paramètres.

- Lôévidence de dépôts;
- Lôévidence de dégradation;
- Lôévidence dôélargissement du canal principal;
- Lôévidence dôajustement de la forme en plan.

En considérant les éléments constituants les évidences, on aboutit par une moyenne arithmétique à un indice de stabilité. Celui nous indique le degré dôinstabilité du cours dôeau étudié.
A cet effet, les personnes chargées de prendre des décisions peuvent juger de la pertinence des actions à entreprendre.

Dans la suite de ces travaux, nous nous sommes servis de la méthode simplifiée de Méo étant donné quôelle ne nécessite pas autant de paramètres que la méthode QUALPHY dont lôencodage nécessite (au moins 40 paramètres) que nous ne disposions pas encore pour lôétude hydromorphologique du cours dôeau principal en Amont de la retenue de Mogtedo.

Il a aussi été proposé des solutions qui permettront à la Direction Générale des Aménagement et du Développement de lôIrrigation de prendre des décisions.

HYPOTHESE :

Lôétude hydromorphologique du cours dôeau principal en amont de la retenue de Mogtedo a été faite sur certains tronçons définis comme échantillon dôétude. Les résultats et interprétations faits sont valables pour lôensemble du cours dôeau.

II-1 Lôéchantillonnage

Pour mieux cerner le raisonnement que nous avons adopté pour la réalisation de notre étude, nous estimons que la photo-type dôun cours dôeau (telle que présentée ci-dessous) sera dôun ajout à la compréhension.

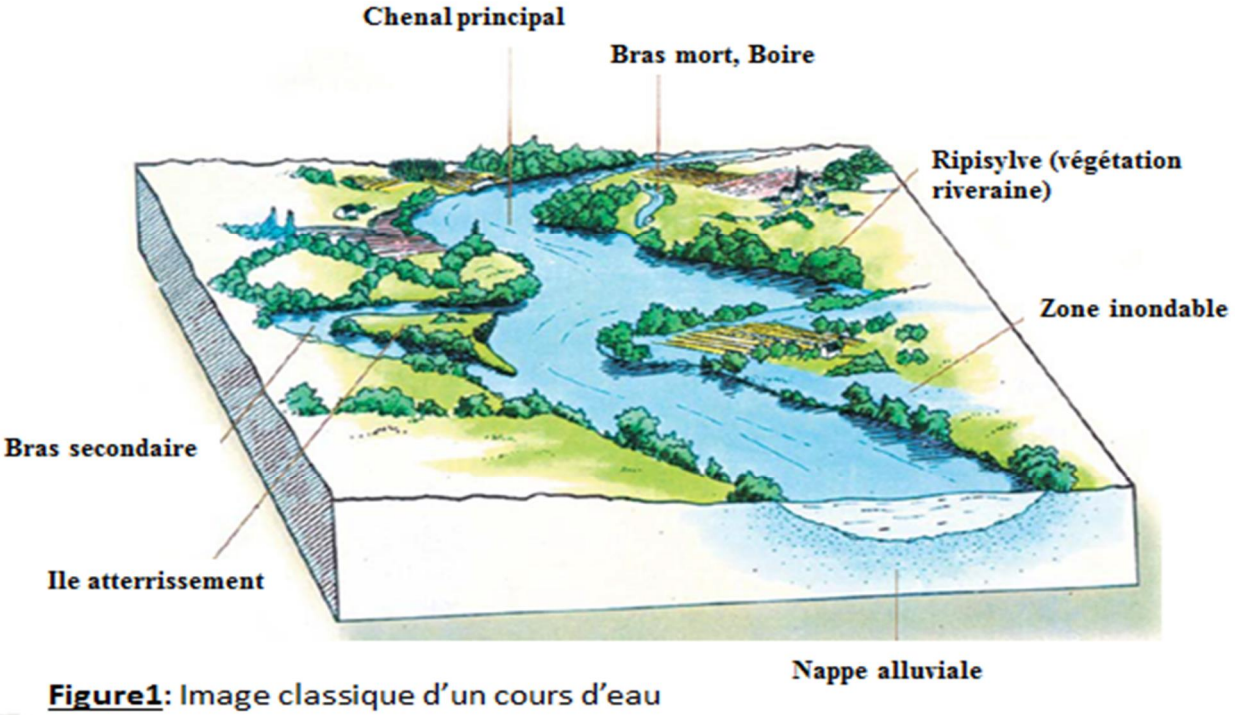


Figure1: Image classique d'un cours d'eau

Sur cette image figurent les différents éléments qui entrent en compte dans le fonctionnement du cours dœau. Principalement lœon remarque le chenal qui est le lieu effectif de transit du cours dœau. La ripisylve quant à elle regorge tout ce qui est végétation autour du cours dœau. Elle a pouvoir dœaffecter la nature du cours dœau en agissant par exemple sur ses berges. La plaine alluviale comme cela peut se constater interagis avec le cours dœau. Dans cet échange, on pourra parler ou non des zones inondables et des méandres qui peuvent se former.

Etant donné quœil était difficile de longer tout le cours dœau pour mener de manière minutieuse lœétude hydromorphologique, nous nous sommes proposé de choisir 20 sites du cours dœau en amont de la retenue. Ceci en raison du temps impartis à lœétude.

Le site ici est un tronçon représentatif délimité du cours dœau. Sur chaque site, nous avons décidé de réaliser trois profils qui nous permettraient dœavoir des renseignements hydrologiques recherchés de notre cours dœau. La longueur des différents sites qui ont été définis variait de 10 à 15 fois la largeur de la section moyenne du cours dœau en ce site.

- Nous avons affiché un modèle numérique de terrain (MNT) : fichier raster (ref3d, SPOT Image). Il est dœune résolution de 30m x 30m -. Ce modèle numérique de terrain a été découpé sur lœensemble du bassin versant du Bomboré. Les cellules sont affectées dœune altitude z.

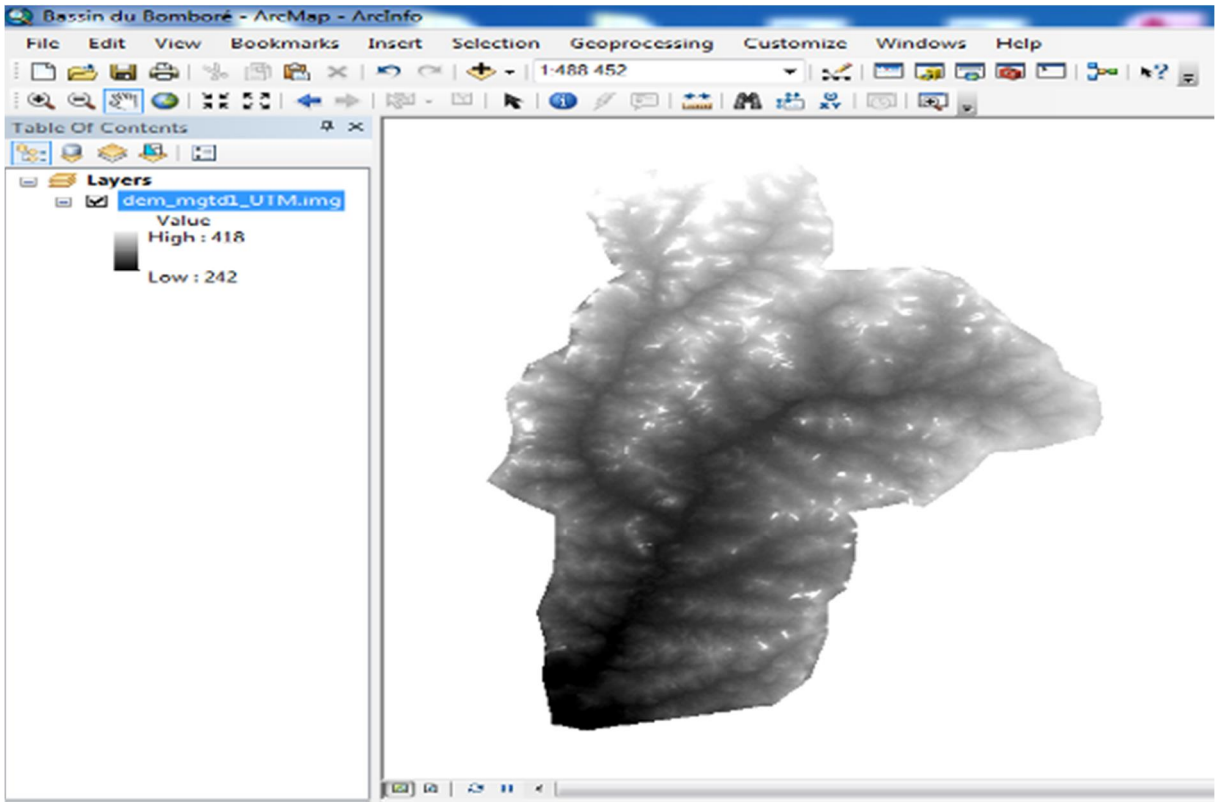


Figure 6: Etape 1 sur ArcGIS 10

- Après avoir chargé le fichier, nous avons appliqué sur ce dernier la commande « FILL ». La commande se trouvant dans la boite dôoutils «arctoolbox » Ÿ « spatial analyst tools » Ÿ « hydrology » Ÿ « fill ». Cette commande permet de régulariser les dépressions fermées. Ainsi appliquée, un toilettage est fait sur le MNT et les « sinks » (dépressions fermées) sont remplies. Dès lors nous pouvons procéder aux autres commandes sur le nouveau fichier nettoyé portant le nom « Fill_img ».

- A ce stade, il nous faut ressortir la direction des flux.

Comme plus haut, on utilise le fichier raster sur lequel on a effectué le remplissage des puits. En suivant le même protocole que celui du remplissage, on demande au logiciel de nous générer la direction des flux (Flow direction) quôon peut voir ci-dessous. En vert (au centre), côest la superficie occupée par le barrage de Mogtedo.

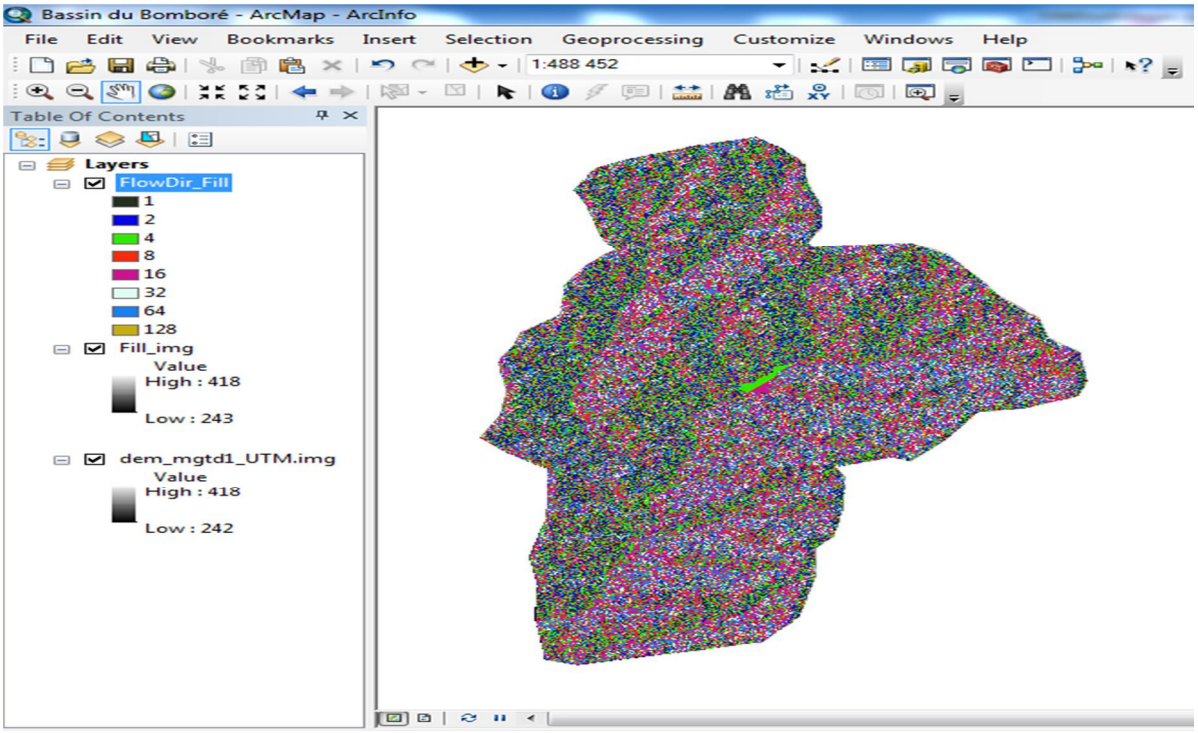


Figure 7: Etape 3 sur ArcGIS 10

- Une fois la direction des flux est ressortie, il nous faut générer le réseau hydrologique.

Il sôobtient à lôaide de la commande « flow accumulation » dans la barre dôoutils.

Nous tenons à rappeler que le réseau hydrologique ainsi généré est celui de lôensemble du bassin versant du Bomboré. Nous nous limiterons plus tard à la partie amont du barrage de Mogtedo.

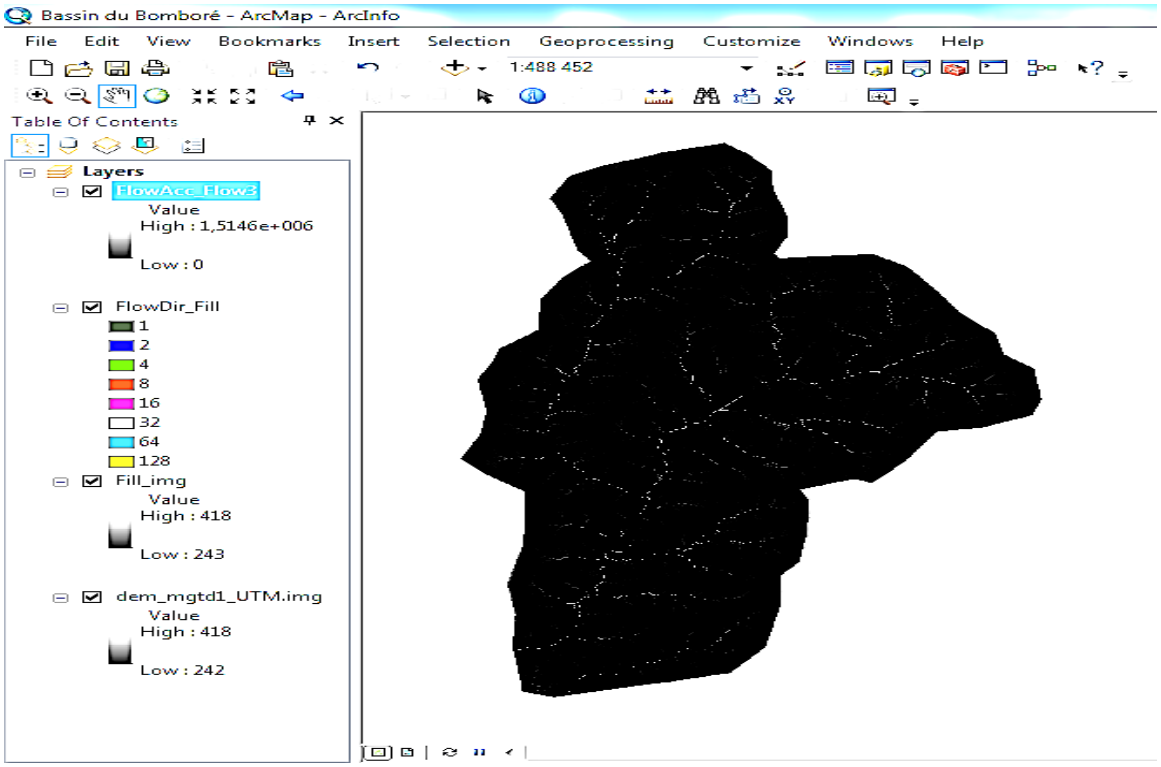


Figure 8: Etape 4 sur ArcGIS 10

Nous nous sommes proposé de regrouper les tronçons du cours dôeau ayant une superficie de bassin versant égale à **15 km².** Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode dôintervalles définis. Sachant quôun pixel vaut **900m² (30m X 30m),** nous avons obtenu une valeur de **16 667 pixels** que nous avons introduite comme classe dôintervalle. Après ceci, nous avons rastérisé notre fichier. Par un jeu de couleurs, nous avons isolé ces tronçons tels que présentés ci-dessous.

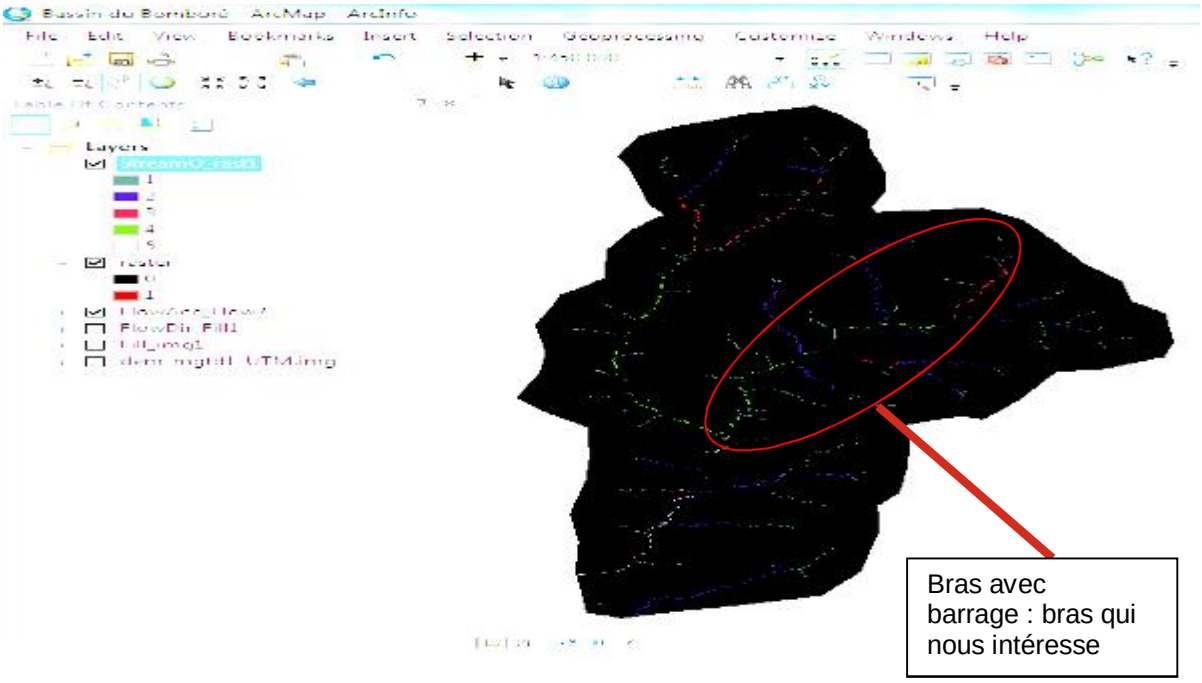


Figure 9: Etape 5 sur ArcGIS 10

Pour le travail de terrain, nous avons matérialisé tous les points du bassin (extrémités des tronçons délimités) que nous avons consignés dans le tableau ci-dessous. Seuls ceux en gris font partie du cours dœau en amont de la retenue de Mogtedo : ce sont ces points qui nous intéresseront dans la suite.

Tableau 5: Coordonnées des points choisis du réseau.

Id	X	Y	Id	X	Y
1	-0,81126128524	12,53226902920	24	-0,90932202658	12,10887770120
2	-0,81413134162	12,51864778620	25	-0,70841233947	12,43363217660
3	-0,82924339997	12,49007220230	26	-0,70789322778	12,40768989210
4	-0,82892472285	12,48531597440	27	-0,71431291673	12,38881802460
5	-0,83909225283	12,46919989870	28	-0,72115514187	12,37489392810
6	-0,84705037736	12,46134062950	29	-0,73595281120	12,35273590660
7	-0,86518485945	12,44346719420	30	-0,75060398598	12,33562599650
8	-0,88007738395	12,42958698410	31	-0,77111673685	12,33975574990
9	-0,89110780025	12,42795646630	32	-0,80808188260	12,32314268140
10	-0,89625551186	12,42271443530	33	-0,73768336282	12,34141733500
11	-0,89724791582	12,41625159020	34	-0,78682174024	12,33642078580
12	-0,91015798108	12,39786401480	35	-0,82503401622	12,30591624650
13	-0,91233372632	12,37767657680	36	-0,82919813980	12,30281000380
14	-0,91705353249	12,35843290290	37	-0,83535051544	12,29435452750
15	-0,92276876465	12,34910070520	38	-0,84692868644	12,28757850140
16	-0,93396654404	12,32567998180	39	-0,86204409741	12,28127101300
17	-0,94082579700	12,30077319230	40	-0,86508147733	12,27575166370
18	-0,94205211611	12,29850445190	41	-0,86099444043	12,23824289970
19	-0,93987371277	12,28075947280	42	-0,86721505124	12,22749944410
20	-0,93087866056	12,25900146140	43	-0,92735723054	12,34265082220
21	-0,92303350410	12,24487825470	44	-0,86212981780	12,25361701260
22	-0,90893169419	12,23258918550	45	-0,87309692243	12,20781557270
23	-0,87680141764	12,21062024330	46	-0,87642452150	12,20795163050

- Nous avons introduits ces coordonnées dans le GPS.

Pour faciliter notre déplacement une fois sur le terrain, nous avons tracé un itinéraire en reliant ces différents points à lôaide du logiciel Mapsource comme nous le présente la figure 12. Cet itinéraire a été réintroduit dans le GPS.

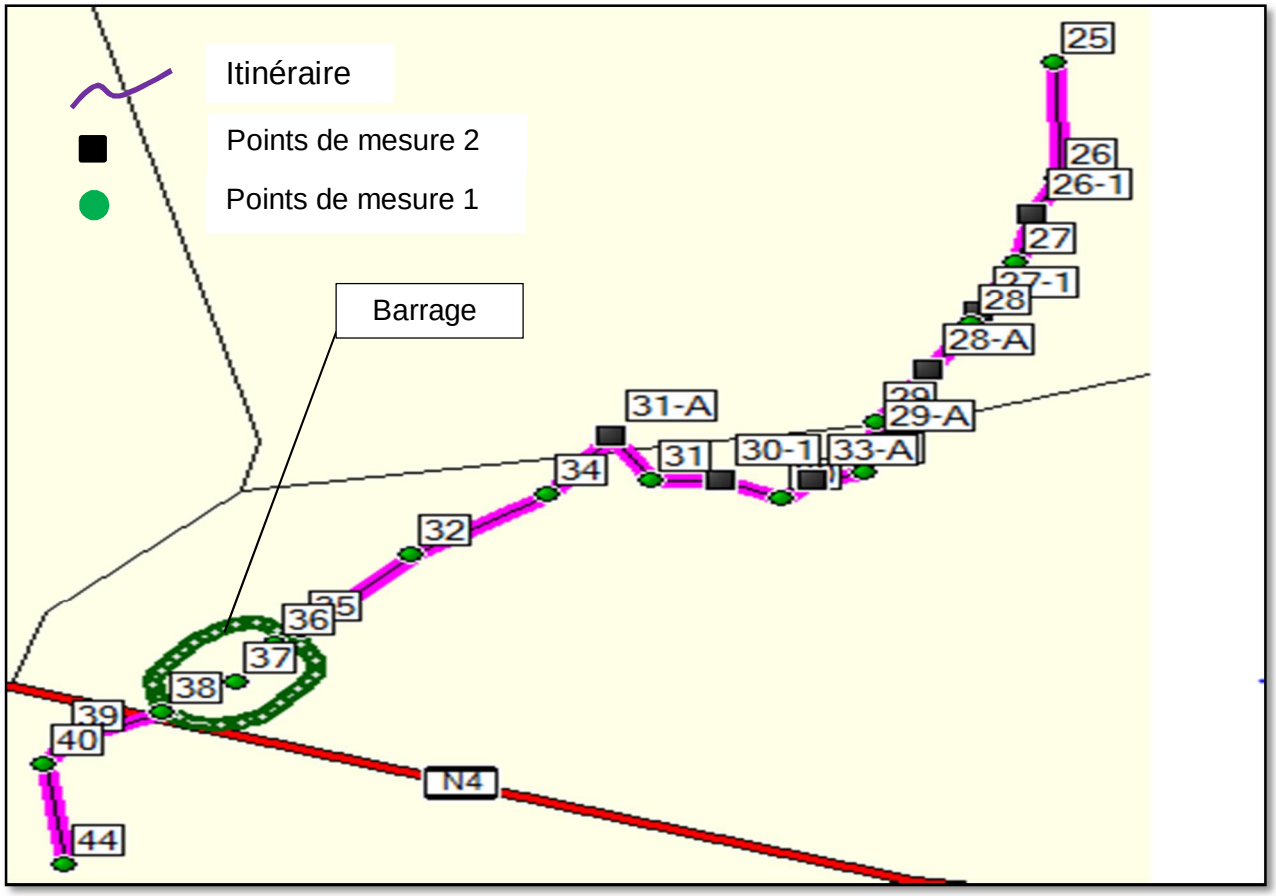


Figure 10: Echantillonnage du cours d'eau à étudier

NB : Les « points de mesure 1 » sont les points prédéfinis à lôaide du réseau hydrographique de la zone. Ceux-ci ont été définis avant la descente sur le terrain.

En revanche, les « points de mesure 2 » ont été définis in-situ. Ceci pour avoir un plus grand nombre dôéchantillon. Chacun de ces points a été choisis approximativement à 800 mètres de tout autre point.

Lôalignement de ces points constitue un itinéraire de 18.8 km de longueur cumulée.

NB : La présence du barrage ayant largement modifié le profil du cours dôeau des points qui lui sont les plus rapprochés, nous nous sommes proposé dôajouter 06 points intermédiaires pour rester plus ou moins dans le nombre de site voulus.

II-2 Reconnaissance du site

La reconnaissance du site était la raison de notre première descente sur Mogtédo.

- Une fois sur les lieux, nous avons repéré tous les points de lôéchantillonnage.
- Nous remplissions à chaque point donné les informations recherchées qui étaient imprimées au préalable sur la fiche.

II-3 Choix des variables dôétude

Pour mener à bien notre étude, nous avons recensé certaines variables à rechercher.

La géologie, le climat, la topographie sont les facteurs qui façonnent la morphologie dôun cours dôeau et en déterminent le régime. Ces éléments naturels imposent donc le débit liquide, la charge solide, la ripisylve, la géométrie ainsi que les caractéristiques granulométriques et mécanique du lit du cours dôeau. Ces éléments imposés au cours dôeau constituent ce quôon appelle **les variables de contrôle**. **Les variables de réponse** ou dôajustement sont des variables sur lequel le cours dôeau peut agir pour accomplir ses fonctions de base, côest-à-dire transporter un débit liquide et une charge solide. Elles constituent donc lôensemble de degrés de liberté du cours dôeau. Les variables de réponses sont :

-les variables géométriques : largeur, profondeur, pente du fond, amplitude et longueur dôonde des sinuosités,

- la taille des sédiments transportés,

- la vitesse du courant.

Dans le cadre de nos travaux, nous avons retenus quelques variables comme présentés sur le tableau ci-dessous, avec mention du degré de leur pertinence.

Tableau 6: Variables hydromorphologiques considérées influent sur lôérosion des berges

Variables de contrôle	Pertinence de la variable	Variables de réponse	Pertinence de la variable
Type de profil	Elevé	Pente	Faible
Type de matériaux de berge	Elevé	Largeur	Elevé
Type de dynamique de berges	Elevé	Sinuosité	Faible
Type de végétation des berges	Elevé	Profondeur	Elevé

- **Justification du choix de ces variables :** Gisèle Verniers a effectué des travaux en 1995.

- **Type de profil de berges**: Quatre types ont été définis. Le type P1 : celui-ci concerne les berges dont la pente est comprise entre 0 et 45°. Le type P2 : pente comprise entre 45 et 70°. Le type P3 : pente comprise entre 70 et 90°. Et enfin le type P4 : Celui-ci est attribué aux berges composées.

Connaitre le type de profil de berges permet de savoir quelle est la configuration de la section transversale du cours d'eau en un espace défini de ce dernier. Cette connaissance servira d'outil d'aide à la décision du type de protection il faudra prévoir.

- **Type de matériaux de berges** : Le glissement des talus survient généralement lorsque les matériaux composant la berge ne peuvent plus résister aux forces gravitationnelles. Ce mécanisme survient plutôt dans des sols cohésifs qui sont capables de retenir de grandes quantités d'eau, ce qui ajoute du poids à la berge et réduit les forces de cohésion entre les particules phénomène de lubrification. Résultat : le talus devient encore plus sensible au décrochement

Les matériaux communément rencontrés sont : la pierre, l'argile, le limon, le sable, le gravier et le caillou. Ce sont là les six (06) types de matériaux que nous devions identifier sur le terrain après avoir pris un échantillon des berges dans la main. Selon que ce matériau était effritable, nous pouvions conclure si c'était de l'argile ou du limon et vice-versa. A vu d'œil, nous pouvions également déduire du reste.

- **Type de végétation des berges** : Au préalable, nous avions prédéfinis les classes possibles de végétation que l'on pouvait rencontrer sur les berges. Il s'agit des classes de Type 1 : Herbacées éparses : pour les tronçons où la végétation est de l'herbe dispersée. Type 2 : Herbacées denses : Ici, les herbes sont plus resserrées. Type 3 : Ligneux éparses : qualificatif utilisé pour les tronçons où l'on trouve du bois de manière dispersée. type 4 : Ligneux dense : Bois ou arbuste présents de manière plus ou moins groupés, et Type 5 : sol nu.

Il n'est plus à démontrer le rôle de la végétation dans la préservation des berges d'un cours d'eau.

Connaitre le type de végétation existant permet ainsi de voir le degré actuel de vulnérabilité des berges mais aussi de savoir ce qu'il faudra soit ajouté, soit retrancher (en terme de végétation) pour s'assurer que nos berges sont à l'abri de l'érosion ou tout au moins très peu exposées.

- **Largeur et hauteur des berges** : Lorsqu'on augmente la pente ou la hauteur d'un talus, le poids du sol excède éventuellement les forces de cohésion qui le retiennent, le sommet de la berge se fissure et le sol glisse en plaques. Une hauteur de berge réduite offre une plus grande qualité paysagère puisque le contact visuel et l'accessibilité à l'eau sont favorisés. Définis au niveau de chaque site, ces paramètres ont été obtenus à base des levés topographiques que nous avons réalisés.

- **Type de dynamique de berges** : Pour des raisons presque identiques au premier, connaitre la dynamique des berges nous renseigne davantage sur a phase dôérosion et par-dessus, nous fait aisément ressortir le traitement à administrer qui convienne le mieux.

Les étapes dôérosion comme vue sur la photo ci-dessous sont :

Lôaffouillement : il correspond à lôérosion localisée du pied de la berge, principalement engendrée par le batillage. La berge adopte un profil caractéristique en « surplomb », provoquant une instabilité de la partie haute du talus;

Le glissement : il est marqué par un déplacement vertical des matériaux depuis le sommet ou le talus de la berge vers le pied de la berge et le lit mineur ;

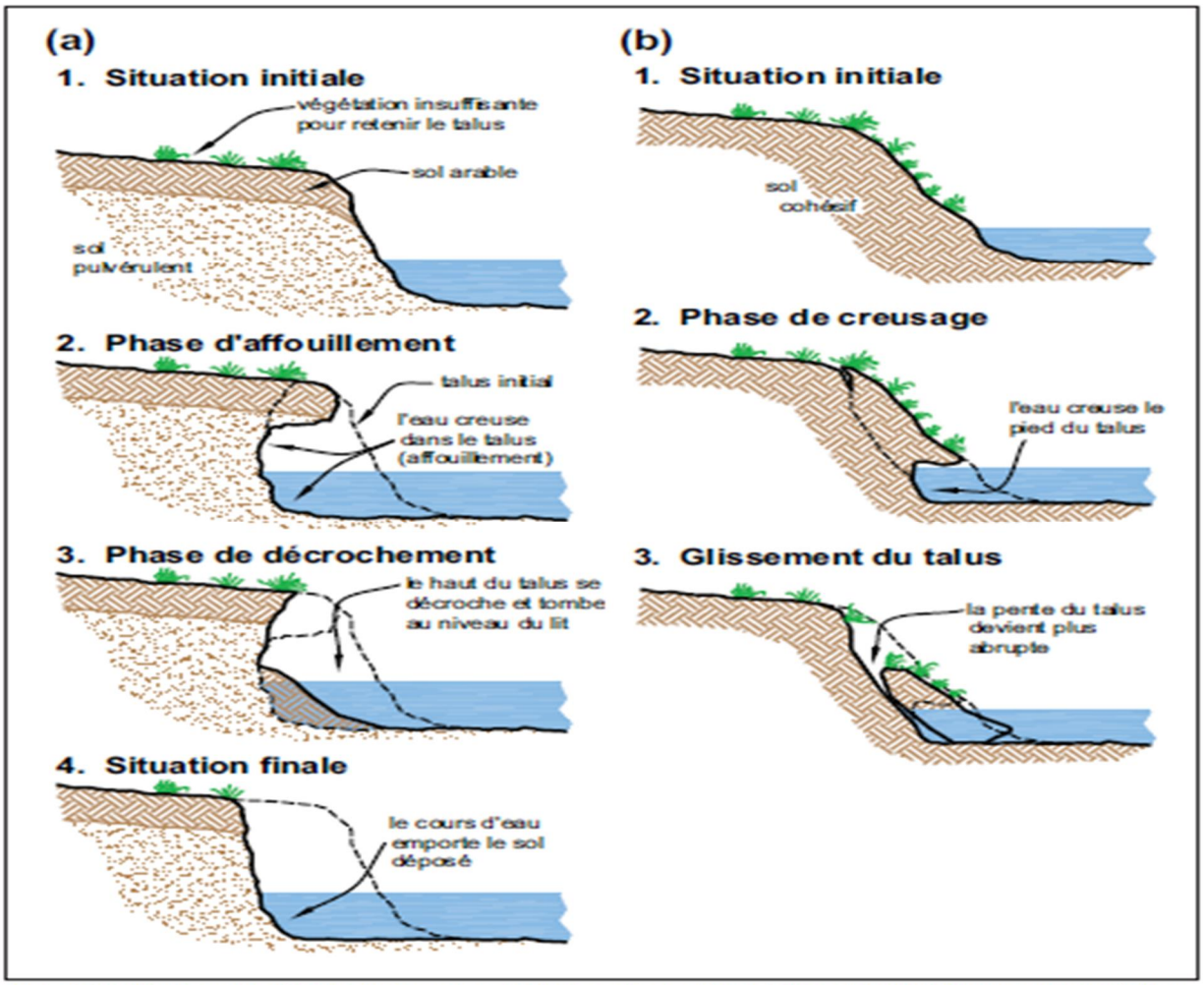


Figure 1 (a et b) : Processus d'érosion de berges rencontré (a) en sol peu cohésif et (b) en sol cohésif lorsque la vitesse de l'eau est importante
Source : Luc Lemieux, MAPAQ, adapté de Bentrup G. et Hoag J. C. (1998)

NB 1: sur la fiche-terrain, nous avons laissé une rubrique pour mentionner les dégradations dôorigine anthropique notamment lôextraction de sable, la production de briques, les seuils dans le

lit mineur, les gabions, les empierrements, le passage du bétail. Toute autre observation devrait également y être consignée.

NB 2: Les informations fournies concernant les variables ci-dessus développées ont été estimées (pour les types de profils, dynamiques de berges, types de matériaux et végétation). Pour ce qui est des profils, nous les avons obtenus de notre niveau.
(Voir modèle de fiche de terrain en annexe).

II-4 Mode de collecte des données

Le principe était simple. Marquer sur la fiche ce que nous constations sur le terrain (ceci a été surtout vrai pour évoquer les dégradations des berges dôorigine anthropique). Pour les autres paramètres, il fallait juste faire des classifications (notamment pour le type de matériaux de berge) et estimer des pourcentages (côest le cas notamment du type de profil, du type de dynamique et le type de végétation de berges).
A chaque site défini correspond une fiche de terrain.

II-5 Méthode de traitement de données

Pour traiter les informations recueillies, nous nous sommes servis dôExcel. Nous avons élaboré un tableau à double entrée dans lequel nous avons introduits les informations relatives à tous nos sites dôétude. Après avoir traitées ces données sur le logiciel TANAGRA, nous avons pu proposer lôordonnancement des interventions de restauration.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET ANALYSES

Chapitre III : RESULTATS

Dans cette section, nous présenterons les résultats qui ont été obtenus.

Tableau 7: Remplissage de la Grille d'interprétation pour l'indice de stabilité du cours d'eau en amont de la retenue de Mogtedo

Forme/Processus	Indicateur géomorphologique		Présent	
	N°	Description	Non	Oui
Évidence d'alluvionnement (ID)	1	Aire de dépôt (bar)		
	2	Matériaux grossiers dans zones rapides		ŏ
	3	Dépôt de silt dans zones tranquilles		
	4	Aire de dépôt au milieu		
	5	Accumulation sur les aires de dépôt dans les courbes		
	6	Mauvaise ségrégation longitudinale des matériaux du lit		ŏ
	7	Dépôts dans la zone extérieure		
	2	Somme des indices		
Évidence d'érosion (IE)	1	Fondations de pont exposées		ŏ
	2	Conduites exposées		
	3	Émissaire pluvial surélevé		
	4	Gabion/béton minés		
	5	Trou d'érosion en aval des ponceaux/émissaires		ŏ
	6	Face coupée pour les aires de dépôt		
	7	Coupe verticale		
	8	Couche de protection avec base dégagée		
	9	Canal dégradé jusqu'au roc		ŏ
	3	Somme des indices		
Évidence d'élargissement (IEL)	1	Arbres, arbustes, clôtures tombés		ŏ
	2	Présence de débris organiques de grandes dimensions		
	3	Racines d'arbres exposées		ŏ
	4	Érosion au bas du talus dans les méandres		ŏ
	5	Érosion au bas de talus sur les 2 côtés dans les zones rapides		ŏ
	6	Gabion/murs contournés par l'écoulement		
	7	Longueur de l'érosion au bas de talus > 50 % dans le tronçon		ŏ
	8	Longueur exposée d'une conduite ou d'un câble antérieurement enfouis		
	9	Lignes de fracture en haut du talus		ŏ
	10	Fondations de bâtiment exposées		
	6	Somme des indices		

Évidence dôajustement de la forme en plan (IP)	1	Formation de coupe(s)		
	2	Canal simple à canaux multiples		ŏ
	3	Évolution de la forme zone tranquille (bassin) vers zone rapide à un lit abaissé		
	4	Canaux de coupe		
	5	Formation dôiles		ŏ
	6	Alignement du thalweg déphasé avec la forme des méandres		ŏ
	7	La forme des aires de dépôt mal définie Somme des indices		
	3	Somme des indices		
Indice de stabilité (IS) = (ID + IE + IEL + IP) / m				

Tableau 8: Récapitulatif des indices

Évidence dôalluvionnement (ID)	Évidence dôérosion (IE)	Évidence dôélargissement (IEL)	Évidence dôajustement de la forme en plan (IP)	Total [IS=(ID+IE+IEL+IP)/33]
2	3	6	3	0,42

a) Résultats types de profils

Résultats : Types de profils					
Attribut	**Min**	**Max**	**Moyenne**	**Std-dev**	**Std-dev/moy**
RG : 0-45°	0	0	00,00%	0,0000	-99999,0000
RG : 45-70°	0	0,3	03,13%	0,0873	2,7943
RG : 70-90°	0	0,9	54,37%	0,3669	0,6748
RG : berges composée	0	1	42,50%	0,3941	0,9273
RD : 0-45°	0	0	00,00%	0,0000	-99999,0000
RD : 45-70°	0	0,3	05,63%	0,1031	1,8325
RD : 70-90°	0	0,9	50,00%	0,3916	0,7832
RD : berges composée	0	1	45,00%	0,3899	0,8664

Sur les deux rives (rives gauche et droite), nous constatons que le type de profil le plus rencontré est celui dont lôinclinaison est comprise entre 70° et 90°. Sur les 16 segments définis les berges ont ce profil à 52,19%, soit à ce profil seul plus de la moitié.

Figure 11: Exemple de profil incliné de 70 -90°

b) Résultats types de de dynamiques de berges

Résultats : Type de dynamique de berges					
Attribut	**Min**	**Max**	**Moyenne**	**Std-dev**	**Std-dev/moy**
RG : Berges stables	0	0,9	10,62%	0,2909	2,7379
RG : Berges verticales instables	0	1	63,75%	0,3914	0,6139
RG : Affouillement du pied de berge	0	0,3	03,13%	0,0873	2,7943
RG : Présence de début de ravines	0	0,7	16,88%	0,1580	0,9362
RG : Glissement/effondrement	0	0,9	05,62%	0,2250	4,0000
RD : Berges stables	0	0,9	15,62%	0,3386	2,1668
RD : Berges verticales instables	0	1	64,37%	0,3759	0,5839
RD : Affouillement du pied de berge	0	0,4	06,25%	0,1204	1,9267
RD : Présence de début de ravines	0	0,2	07,50%	0,0577	0,7698
RD : Glissement/effondrement	0	0,9	06,25%	0,2247	3,5956

Nous constatons que 64,06% des berges sont instables.

Figure 12: Exemple de berge verticale instable

c) Résultats types de végétation

Résultats : Type de végétation					
Attribut	**Min**	**Max**	**Moyenne**	**Std-dev**	**Std-dev/moy**
RG : Herbacée éparse	0	0,6	08,13%	0,1721	2,1184
RG : Herbacée dense	0	0,9	07,50%	0,2324	3,0984
RG : Ligneux éparse	0	0,6	09,06%	0,1615	1,7818
RG : Ligneux dense	0	0,8	05,00%	0,2000	4,0000
RG : Sol nu	0,1	1	70,31%	0,3036	0,4317
RD : Herbacée éparse	0	0,6	06,25%	0,1500	2,4000
RD : Herbacée dense	0	0,9	05,62%	0,2250	4,0000
RD : Herbacée éparse	0	0,6	10,31%	0,1812	1,7568
RD : Herbacée dense	0	0,8	05,00%	0,2000	4,0000
RD : Sol nu	0	1	72,81%	0,3173	0,4357

Pour ce qui est de la végétation, nous pouvons dire que le sol est pratiquement nu sur toute lœtendue de notre cours dœau à cause du pourcentage élevé qui est de 71,56%.

Figure 13: Exemple de segment de cours d'eau où le sol des berges est nu.

d) Résultats types de matériaux

Résultats : Type de matériau de berges

Attribut	Gini	Distribution			
		Valeurs	**Nombre**	**Pourcentage**	**Histogramme**
RG-Dominant	0,2188	A	14	87,50 %	
		L	2	12,50 %	
		Valeurs	**Nombre**	**Pourcentage**	**Histogramme**
RD-Dominant	0,2188	A	14	87,50 %	
		L	2	12,50 %	

Légende : A : Argile L : Limon.

Nous constatons que le matériau le plus rencontré sur nos berges est lôargile qui à elle seule recouvre 87% des matériaux lorsquôil est dominant sur un segment de cours dôeau et recouvre 12,50% lorsquôil est secondaire.

e) Résultats levés topographiques

Deux types de levés ont été faits sur chaque tronçon étudié. Les levés en profil en long (pour connaitre la pente) et des levés en profil en travers (pour connaitre largeur et profondeur.

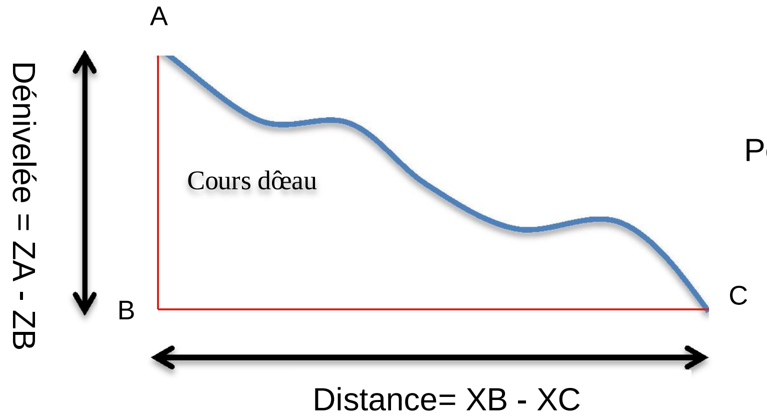
Sites	Types de profil	Code Profil	Hauteur lue [m]	Distance lue [m]
Site 25	Profil en long	AB25P1F1	1,5807	26,658
		AB25P1F2	1,7556	35,377
		AB25P1F3	1,4754	44,742
		AB25P1F4	1,6141	41,219
		AB25P1F5	1,0179	46,567
		AB25P1F6	1,3194	34,786
		AB25P1F7	2,1728	2,775
		AB25P1F8	2,5463	4,125
		AB25P1F9	2,1200	5,248
	Profil en travers	SB25P1F7	2,0378	3,645
		SB25P1F8	2,6333	5,274
		SB25P1F9	1,8913	7,119

Site 26	Profil en long	AB26P1F1	1,6395	28,253
		AB26P1F2	1,8133	32,299
		AB26P1F3	1,6032	51,301
		AB26P1F4	1,6703	32,567
		AB26P1F5	1,4180	39,925
		AB26P1F6	1,4220	27,312
		AB26P1F7	1,8441	2,087
		AB26P1F8	2,7035	5,818
		AB26P1F9	1,7451	9,138
	Profil en travers	26AP1	1,7153	2,573
		26AP2	2,5184	6,805
		26AP3	1,8766	11,379
Site 26-1	Profils en travers	26AP1	1,7153	2,573
		26AP2	2,5184	6,805
		26AP3	1,8766	11,379
Site 27	Profil en long	AB27P1L1	1,5160	40,263
		AB27P1L2	1,5431	47,555
		AB27P1L3	1,4707	64,855
		AB27P1L4	1,6781	60,710
		AB27P1L5	1,7095	61,097
		AB27P1L6	1,7980	64,247
		AB27P1L7	1,5833	3,189
		AB27P1L8	3,6273	10,818
		AB27P1L9	1,7714	17,188
	Profil en travers	27AP1	1,5403	2,571
		27AP2	4,5041	7,827
		27AP3	1,4720	13,091
Site 27-1	Profils en travers	27AP1	1,5403	2,571
		27AP2	4,5041	7,827
		27AP3	1,4720	13,091
Site 28	Profil en long	AB28P1L1	1,4827	18,421
		AB28P1L2	1,6838	25,783
		AB28P1L3	1,7712	26,492
		AB28P1L4	1,8579	22,293
		AB28P1L5	1,7736	38,768
		AB28P1L6	1,7863	21,740
		AB28P1L7	2,1837	2,650
		AB28P1L8	3,3106	6,215
		AB28P1L9	1,4877	10,962
	Profil en travers	28AP1	1,9058	2,239
		28AP2	4,1969	9,825
		28AP3	3,1450	14,122

Site 28-1	Profils en travers	28AP1	1,9058	2,239
		28AP2	4,1969	9,825
		28AP3	3,1450	14,122
Site 29	Profil en long	AB29P1L1	1,7132	26,041
		AB29P1L2	1,7150	40,668
		AB29P1L3	1,7167	27,575
		AB29P1L4	1,6259	9,957
		AB29P1L5	1,5013	19,714
		AB29P1L6	1,6404	22,548
		AB29P1L7	1,6779	2,622
		AB29P1L8	3,2231	4,324
		AB29P1L9	1,5814	6,478
	Profil en travers	29AP1	2,3305	4,337
		29AP2	3,2505	7,939
		29AP3	1,6710	10,871
Site 29-1	Profils en travers	29AP1	2,3305	4,337
		29AP2	3,2505	7,939
		29AP3	1,6710	10,871
Site 33	Profil en long	AB33P1L1	1,5026	26,002
		AB33P1L2	1,4455	39,572
		AB33P1L3	1,6010	24,037
		AB33P1L4	1,4923	19,184
		AB33P1L5	0,9732	31,943
		AB33P1L6	0,9223	27,020
		AB33P1L7	1,7933	2,014
		AB33P1L8	3,5957	4,715
		AB33P1L9	1,6556	9,312
	Profil en travers	33AP1	1,4803	2,844
		33AP2	2,8529	5,541
		33AP3	1,9266	8,626
Site 33-1	Profils en travers	33AP1	1,4803	2,844
		33AP2	2,8529	5,541
		33AP3	1,9266	8,626
Site 30	Profil en long	AB30P1L1	1,7864	44,311
		AB30P1L2	1,9177	59,527
		AB30P1L3	1,8537	77,795
		AB30P1L4	1,9091	79,172
		AB30P1L5	1,8638	57,159
		AB30P1L6	1,8295	48,772
		AB30P1L7	1,6455	2,127
		AB30P1L8	4,0000	9,725
		AB30P1L9	2,4158	16,677
	Profil en travers	30AP1	1,7097	2,447
		30AP2	2,8195	5,575
		30AP3	1,6106	9,013

Site 30-1	Profils en travers	30AP1	1,7097	2,447
		30AP2	2,8195	5,575
		30AP3	1,6106	9,013
Site 31	Profil en long	AB31P1L1	1,5090	44,121
		AB31P1L2	1,8062	47,229
		AB31P1L3	1,6914	57,476
		AB31P1L4	1,8717	37,130
		AB31P1L5	1,9403	70,303
		AB31P1L6	1,9224	63,109
		AB31P1L7	1,6713	4,436
		AB31P1L8	2,9228	7,192
		AB31P1L9	1,7994	9,183
	Profil en travers	31AP1	1,6289	2,296
		31AP2	2,6770	4,134
		31AP3	1,6624	6,635
Site 31-1	Profils en travers	31AP1	1,6289	2,296
		31AP2	2,6770	4,134
		31AP3	1,6624	6,635
Site 34	Profil en long	AB34P1L1	1,5109	38,332
		AB34P1L2	1,7951	48,304
		AB34P1L3	1,8807	58,717
		AB34P1L4	1,7340	59,685
		AB34P1L5	1,6632	47,706
		AB34P1L6	1,8819	35,558
		AB34P1L7	1,4146	3,618
		AB34P1L8	3,3359	8,639
		AB34P1L9	1,6190	13,244
	Profil en travers	34AP1	1,5804	3,072
		34AP2	3,7994	9,880
		34AP3	1,4500	15,978
Site 34-1	Profils en travers	34AP1	1,5804	3,072
		34AP2	3,7994	9,880
		34AP3	1,4500	15,978

f) Calcul des pentes



$$\text{Pente} = \frac{\text{dénivelée}}{\text{distance}} \times 100$$

Les résultats sont consignés dans le tableau

Tableau 9: Pentes moyennes calculées

Sites	Longueur (m)	Largeur du cours d'eau (m)	Pente moyenne (en %)
Site 25	154	3,9	0,0435
Site 26	215	7	0,0363
Site 26-1	65	8,8	0,0363
Site 27	313	14	0,0470
Site 27-1	70	10,5	0,0470
Site 28	172	8,3	0,0506
Site 28-1	64	11,85	0,0506
Site 29	155	4	0,0129
Site 33	148	7,3	0,0967
Site 33-1	81	5,8	0,0967
Site 30	209	14,5	0,0072
Site 30-1	137	6,5	0,0072
Site 31	155	4,7	0,0840
Site 31-1	151	4,4	0,0840
Site 34	193	9,65	0,0618
Site 34-1	908	12,9	0,0618

Chapitre IV : INTERPRETATION ET ANALYSES

a) Indice de stabilité

Pour le cours dôeau principal en amont de la retenue de Mogtedo, nous avons eu comme résultats les valeurs du tableau 7. Nous précisons que les valeurs y consignées résultent de la descente de terrain effectuée.

Tableau 10: Classification du canal en fonction de l'indice de stabilité (Méo 2003)

Valeur de lôindice de stabilité IS	Classification	Interprétation
IS > 0,41	En ajustement	La morphologie du canal nôest pas à lôintérieur de la gamme de variabilité pour des cours dôeau de caractéristiques hydrographiques similaires et une évidence dôinstabilité est observée à plusieurs endroits.

b) Levés topographiques

Tableau 11: Classement selon la typologie des cours d'eau (ROSGEN;1996)

Pente	**Classe de pente**
P < 0,2%	Pente faible
0,2% < P < 1%	Pente moyenne
1% < P	Pente forte

Dôaprès ce classement, il en ressort que toutes les pentes sont faibles car elles nôatteignent pas la valeur de 0.2%.

c) Proposition de protection des berges

Comme nous lôavons évoqué plus haut, les impacts de la détérioration des berges sont nombreux et les raisons ne manquent pas pour envisager leur restauration.

Nous avons également classé les types de travaux que nous proposons pour chaque segment définis par ordre de priorité d'intervention.

Pour avoir cette priorité d'intervention, nous avons totalisé les degrés d'exposition aux risques d'érosion : ceux qui ont la somme la plus élevée sont les plus vulnérables : donc doivent recevoir les premières interventions.

Pour chaque site et chaque type considéré, nous avons travaillé avec le paramètre le plus influent. Par exemple pour le type de dynamique de berge, le profil « berge verticale instable » à lui seul affecte plus de 60% des berges.

Tableau 12: Classification des sites par priorité d'intervention

Site	Type de profil	Type de dynamique	Type de végétation	Type de matériaux de berges	Total	Priorité d'intervention
Site 25	A	B	A	A	Groupe 3	2
Site 26	A	B	B	A	Groupe 2	3
Site 26-1	B	A	A	A	Groupe 3	2
Site 27	B	A	A	A	Groupe 3	2
Site 27-1	B	A	A	A	Groupe 3	2
Site 28	A	A	B	A	Groupe 3	2
Site 28-1	A	B	B	A	Groupe 2	3
Site 29	A	A	A	A	Groupe 4	1
Site 33	B	A	A	A	Groupe 3	2
Site 33-1	A	A	A	A	Groupe 4	1
Site 30	A	A	A	B	Groupe 3	2
Site 30-1	A	A	B	B	Groupe 2	3
Site 31	A	B	A	A	Groupe 3	2
Site 31-1	B	A	A	A	Groupe 3	2
Site 34	B	A	A	A	Groupe 3	2
Site 34-1	A	B	A	A	Groupe 3	2

Nous sommes donc repartis sur nos relevés de terrain et avons donné la valeur « A » à tous les sites qui avaient un pourcentage élevé à cette moyenne (de 64,06%) et attribué la valeur « B » aux autres. Nous avons fait le même travail avec les autres types (profil, végétation et matériaux).

De cette classification est sortie des groupes (groupe de 2A, de 3A et 4A) d'où les priorités d'intervention « 1 », « 2 » et « 3 » respectivement.

Ainsi, nous présentons ci-dessous les solutions applicables sur nos sites étudiés.

Le choix dôune méthode de restauration repose sur la combinaison de plusieurs paramètres dont la morphologie observée en la section considérée, les moyens que lôon dispose, la disponibilité du matériau et du matériel. Par-dessus tout, il faut sôassurer du maintien de lôéquilibre écologique.

Deux types de profils ont été définis en fonction de la dynamique des berges. Le type A (où lôon ne retrouve pas dôaffouillement) et le type B (où lôaffouillement des berges est présente).

Tableau 13: Bilan de nos propositions

Sites	Longueur (m)	Largeur du cours dôeau (m)	Profil-type	Priorité dôintervention	Solution préconisée
Site 25	154	3,9	Type B	2	Solution B
Site 26	215	7	Type A	3	Solution A
Site 26-1	65	8,8	Type A	2	Solution A
Site 27	313	14	Type B	2	Solution B
Site 27-1	70	10,5	Type B	2	Solution B
Site 28	172	8,3	Type A	2	Solution A
Site 28-1	64	11,85	Type A	3	Solution A
Site 29	155	4	Type A	1	Solution A
Site 33	148	7,3	Type B	2	Solution B
Site 33-1	81	5,8	Type B	1	Solution B
Site 30	209	14,5	Type A	2	Solution A
Site 30-1	137	6,5	Type A	3	Solution A
Site 31	155	4,7	Type A	2	Solution A
Site 31-1	151	4,4	Type A	2	Solution A
Site 34	193	9,65	Type A	2	Solution A
Site 34-1	908	12,9	Type A	2	Solution A

Ci-dessous, sont présentés la matérialisation des solutions A et B proposées.

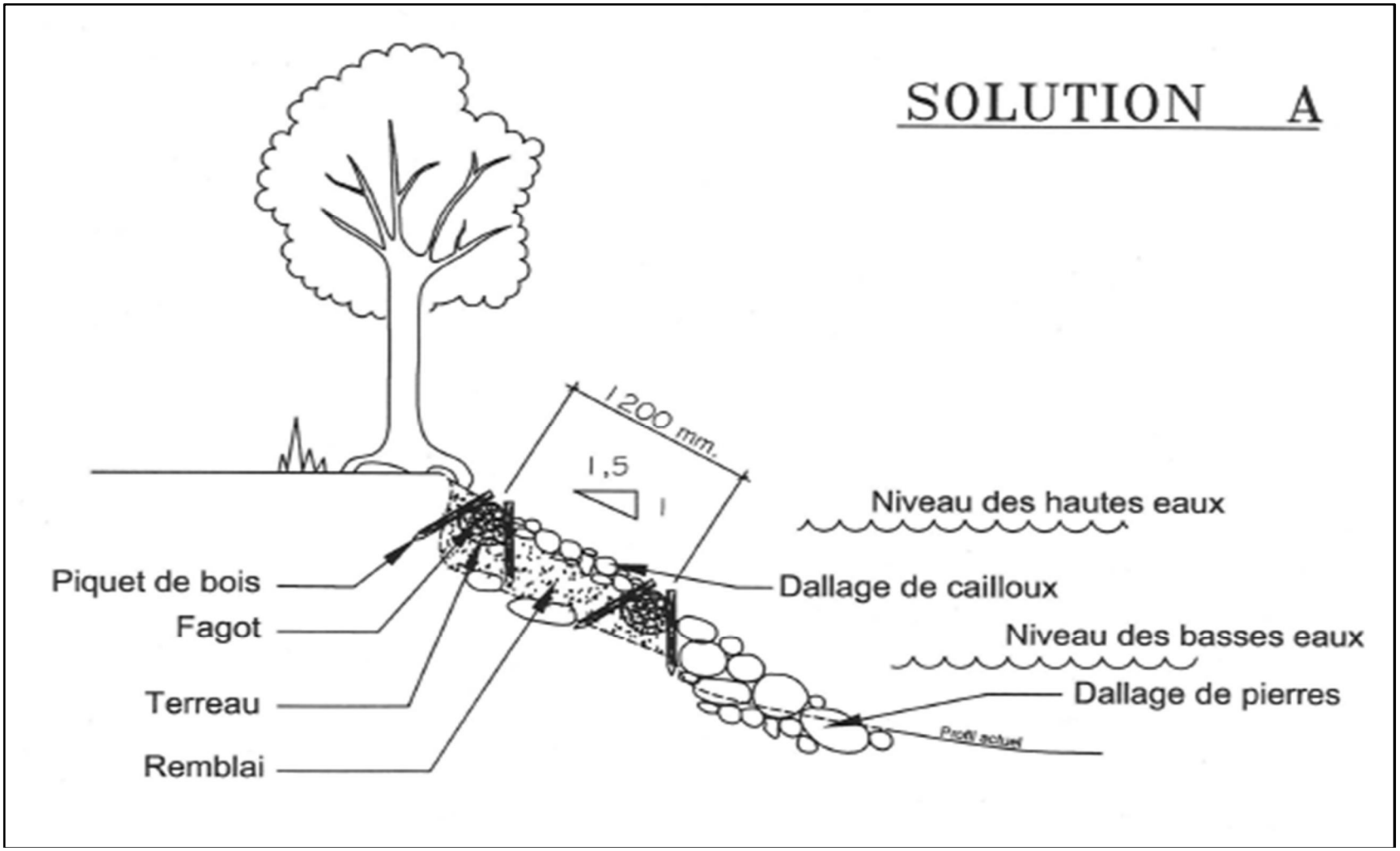


Figure 14: Proposition de solution profil-type1, source : ÉTUDE SUR L'ÉROSION DES RIVES DES RIVIÈRES LORETTE ET DU CAP ROUGE 1

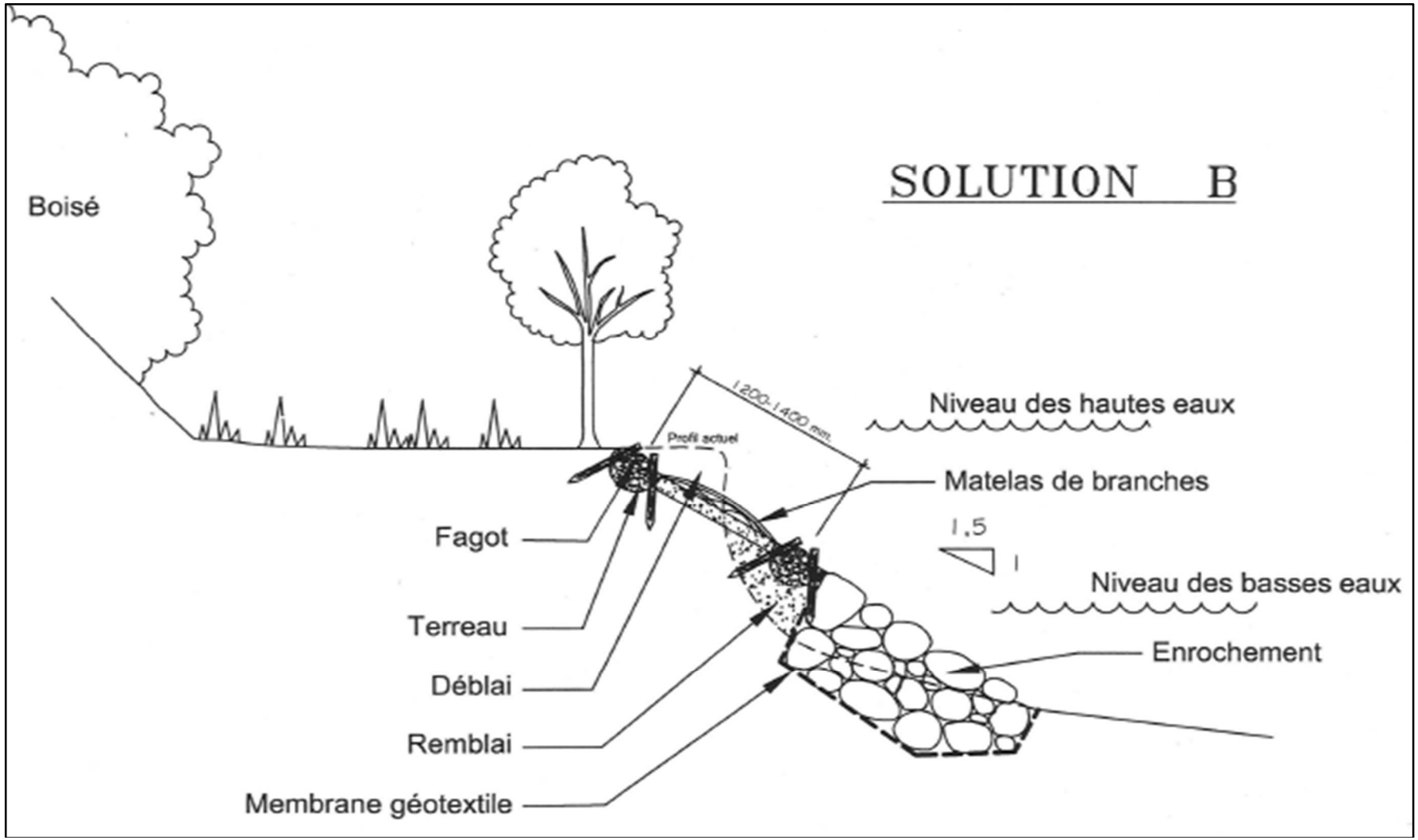


Figure 15:Proposition de solution profil-type 2, source : ÉTUDE SUR L'ÉROSION DES RIVES DES RIVIÈRES LORETTE ET DU CAP ROUGE

RECOMMANDATIONS

- A lôissu du travail en cours, des tiges dôérosion pour localiser quantifier celle - ci devront être ajoutées. Actuellement, quelques tiges sont installées entre les sites « 26 » et « 27 » aux localisations suivantes :

	Tige 1	Tige 2	Tige 3	Tige 4
latitude	12.339389	12.339028	12.336700	12.336400
longitude	-0.778889	-0.779167	-0.787740	-0.789350

Nous proposons que ces tiges dôérosion soient installées au niveau des sites 25, 27, 27-1, 33 et 33-1.

- Quantifier les apports sédimentaires provenant des berges des retenues et ceux provenant du bassin versant en vue de réorienter les mesures de protection des retenues,
- Réfléchir à la végétalisation par le système vétiver combiné à dôautres types de redressement

Le vétiver est efficace à la fois en lui-même et combiné à dôautres méthodes traditionnelles. Par exemple, sur une section donnée de berge ou de digue, un enrochement en roche ou en béton peut renforcer la partie sous lôeau, et le vétiver peut renforcer la partie supérieure. Cette application en tandem constitue un facteur de stabilité et de sécurité. Le vétiver peut aussi être planté avec le bambou, une plante traditionnellement utilisée pour protéger les berges. Lôexpérience montre que lôutilisation du seul bambou présente plusieurs désavantages qui peuvent être surmontés par lôajout du vétiver.

Dans des conditions moyennes de sol et de pente, lôinstallation du vétiver peut accroître la stabilité de la pente dôenviron 40%.

Caractéristiques de vétiver adaptées à la stabilisation des talus

✓ Bien que techniquement il sôagisse dôune herbacée, les plantes de vétiver utilisées pour les applications de stabilisation des terres se comportent plus comme des arbres ou des arbrisseaux à la croissance rapide. Les racines de vétiver sont, par unité de surfaces, plus fortes et plus profondes que les racines dôarbres.

✓ Le système racinaire extrêmement profond et massif finement structuré du vétiver peut sôétendre de deux à trois mètres (six à neuf pieds) en profondeur au cours de la première année. Sur les pentes de remblais, diverses expérimentations montrent que cette plante peut atteindre 3,6 m (12 pieds) en 12 mois. Le système racinaire profond et épais du vétiver se noue au sol, ce qui le rend très difficile à déloger et extrêmement tolérant à la sécheresse.

- ✓ Le vétiver tolère des variations climatiques et environnementales extrêmes, notamment la sécheresse prolongée, l'inondation et l'immersion et des températures extrêmes allant de - 14º C à 55º C (7º F à 131º F) (Truong et al, 1996).
- ✓ Le vétiver affiche un très haut niveau de tolérance à l'acidité, salinité, sodicité et acide sulfate, et conditions d'acidosulfatés du sol (Le van Du and Truong, 2003).

Caractéristiques spéciales du vétiver adaptées à l'atténuation des catastrophes liées à l'eau

Pour réduire l'impact des catastrophes liées à l'eau comme les crues, l'érosion des berges et l'érosion des côtes et l'instabilité des barrages et des digues, le vétiver est planté en rangées, soit parallèlement, soit à contrecourant du débit d'eau ou de la direction des vagues. Ses caractéristiques uniques sont très utiles :

- ✓ Etant donné la profondeur et la force extraordinaires de sa racine, le vétiver mûr est extrêmement résistant à des débits à forte vitesse. Le vétiver planté au nord du Queensland (Australie) a résisté à une vitesse de débit supérieure à 3,5m/sec (10'/sec) d'un rivière en crue et, au sud du Queensland, jusqu'à 5 m/sec (15'/sec) dans un canal de drainage inondé.
- ✓ Lorsque le débit est peu profond ou à faible vitesse, les tiges hautes et dures du vétiver agissent comme une barrière qui réduit la vitesse du débit (c'est-à-dire qui augmentent la résistance hydraulique) et piègent les sédiments érodés. En fait, le vétiver peut maintenir sa position verticale dans un débit d'une profondeur de 0,6-0,8 m (24-31'').
- ✓ Lorsqu'elles sont plantées sur des structures de rétention d'eau comme les barrages ou les digues, les haies de vétiver contribuent à réduire la vitesse du débit, à diminuer l'élan des vagues, le déversement et enfin le volume d'eau qui s'écoule dans la zone protégée par ces structures.

Son système racinaire profond et vigoureux aide à stabiliser structurellement les pentes tandis que ses pousses dispersent le ruissellement de surface, réduisent l'érosion et piègent les sédiments en facilitant la croissance des espèces indigènes.

Caractéristiques hydrauliques

Des tests en canal menés à l'université du Sud du Queensland pour étudier la conception et l'incorporation de haies de vétiver dans l'aménagement de cultures en bande pour l'atténuation des crues ont confirmé les caractéristiques hydrauliques des haies de vétiver soumises à de profonds débits. Les haies ont réussi à réduire la vitesse de la crue et à limiter le mouvement du sol ; les bandes en jachère ont subi très peu d'érosion, et une jeune culture de sorgo a été complètement protégée des dégâts de la crue (Dalton et al, 1996).

Avantages et inconvénients du système vétiver

Avantages	Inconvénients
Lôavantage majeur du SV par rapport aux méthodes conventionnelles dôingénierie est son faible coût et sa longévité	Il est difficile de planter et dôarroser la végétation sur des pentes très élevées ou raides
Pour la stabilisation des pentes en Chine, par exemple, lôépargne est de lôordre de 85-90% (Xie, 1997 et Xia et al, 1999). En Australie, lôavantage lié au coût du SV par rapport aux méthodes conventionnelles dôingénierie varie de 64% à 72%, selon la méthode utilisée (Braken and Truong 2001). Son coût maximal ne représente que 30% du coût des mesures traditionnelles. En outre, les coûts dôentretien annuels sont significativement réduits une fois que les haies de vétiver sont établies.	Le Système Vétiver nôest efficace que lorsque les plantes sont bien établies. Une plantation efficace nécessite une période dôétablissement initiale de 2 à 3 mois par temps chaud et 4-6 mois par temps plus frais. Ce retard peut être réglé à condition de planter tôt et en saison sèche.
Comme avec les autres techniques de bio-ingénierie, le SV est un moyen naturel, non nuisible à lôenvironnement, de lutte contre lôérosion et de stabilisation des terres qui óadoucitô lôaspect sévère des structures conventionnelles dôingénierie comme les structures en béton et en pierre. Cela est particulièrement important dans les zones urbaines et semi-rurales où les communautés locales décrient lôapparence peu esthétique des infrastructures de développement.	Les haies de vétiver ne sont totalement efficaces que lorsque les plantes forment des rangs serrés. Les vides entre les touffes doivent être replantés en temps opportun.

Les coûts d'entretien à long terme sont faibles. Contrairement aux structures conventionnelles d'ingénierie, la technologie verte s'améliore au fur et à mesure que la couverture végétale s'installe. Le SV requiert un programme d'entretien au cours des deux premières années ; mais une fois établi, il ne nécessite pratiquement pas d'entretien. L'utilisation du vétiver est par conséquent particulièrement bien adaptée aux zones reculées où l'entretien est coûteux et difficile.	Le principal inconvénient des applications du SV est l'intolérance de la plante à l'ombre, particulièrement lors de sa phase d'établissement. L'ombrage partiel nuit à sa croissance ; un ombrage important peut l'éliminer à long terme en réduisant sa capacité à être en compétition avec des espèces plus tolérantes à l'ombre. Toutefois, cette faiblesse pourrait être souhaitable dans des situations où la stabilisation initiale nécessite une plante pionnière pour améliorer la capacité du microenvironnement à accueillir l'introduction d'espèces endémiques indigènes spontanées ou planifié.
Le vétiver est très efficace dans les sols pauvres et très érodables et sujets à la dispersion.	Dans certain cas où il n'y aucune autre végétation, le vétiver nécessite d'être protégé du bétail pendant sa phase d'établissement.
Les haies de vétiver sont une technique naturelle et bio-ingénierie douce ; une alternative écologique aux structures rigides ou dures.	

Toujours en guise de recommandations, nous proposons de

- Réaliser des évaluations environnementales en vue d'identifier la meilleure méthode de protection des berges,
- Etudier les coûts de réalisation des différentes techniques de protection afin de ne retenir que celles qui ont le meilleur ratio coût/efficacité.

CONCLUSION

Au fil du temps, le cours dôeau alimentant le barrage de Mogtedo a été pertubé par des changements naturels et des activités anthropiques ce qui a entrainé des problèmes dôérosion. La destruction du couvert végétal (feu de brousse en occurrence) a rendu les rives beaucoup plus vulnérables aux problèmes dôérosion.

La caractérisation des tronçons telle que nous lôavons fait, nous a permis dôidentifier et de localiser les problèmes dôérosion des berges et de proposer les solutions à apporter selon la gravité rencontrée. Ainsi, nous avons étudié en tout 16 tronçons de berges sur une longueur de 18,8 km.
Nos résultats montrent quôenvirons 40 % des berges de notre cours dôeau alimentant la retenue de Mogtedo sont sujettes à lôérosion.

Il est impératif dôeffectuer des travaux dôaménagement afin de pouvoir protéger le cours dôeau alimentant la retenue de Mogtedo. Si rien nôest fait, cette retenue perdra une grande partie de sa capacité de rétention dôeau car les berges en amont de celle-ci se dégradent au fil du temps et induiront une perte du disponible en eau ce qui entrainera une baisse de rendement pour les cultures en aval et un ralentissement des activités de tout ce qui en dépends (hommes et bétails).

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- Actes du colloque régional sur l'érosion des berges: vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin, Baie-Comeau, p. 122-131.
- A. GUINDO, Protection biologique des berges du fleuve Niger comme alternative dôadaptation aux changements climatiques, 21 p.
- A. KEITA, 1991. Gestion hydraulique du périmètre de Mogtedo : Proposition dôintégration des extensions spontanées. Rapport annuel. 71 p.
- B. Massicotte, L. Côté, S. Bélanger et B-P Harvey. 1996. Guide d'évaluation environnementale des techniques de stabilisation des berges. Présenté au ministère des Pêches et des Océans Canada, Division de la gestion de l'habitat du poisson par Les consultants en environnement Argus Inc. Pag. mult. + annexe.
- B. Lachat et al. Protection des berges de cours d'eau.
- Comité ZIP de la rive nord de lôestuaire. 2003. Guide de construction ï Système dôépis pour la restauration de la plage ï Protection des berges par la restauration de plage contre lôérosion du littoral (basé sur le modèle développé par MM. Maltais et Savard (SEMS)).Baie-Comeau. 28 pages.
- D. Diallo, E. Roose, B. Barthès, 2002. Comparaison dôun test simple dôérodibilité des sols et de mesures sur parcelles dôérosion des bassins versants de Djitiko (Mali).
- Évaluation du risque d'érosion du littoral de la Côte-Nord du Saint-Laurent pour la période de 1996-2003. Conférence régionale des élus de la Côte-Nord, 291 pages.
- F. Morneau. 1999. Modèle d'analyse visant la gestion intégrée des zones côtières.
- Guyon, F., J. Moy, X. Cogels et P. Vanderborght, 2005. Evaluation globale de la qualité hydromorphologique des masses dôeau définies en Région wallonne. Adaptation de la méthodologie Qualphy et mise au point dôun système dôévaluation de la qualité physique des masses dôeau de surface en Région wallonne. Rapport final au Ministère de la Région wallonne, Direction des Eaux de Surface, Département des Sciences et Gestion de lôEnvironnement de lôUniversité de Liège.
- J-C. Dionne. 1999. L'érosion des rives du Saint-Laurent, vue d'ensemble et état de la question. Actes du colloque régional sur l'érosion des berges: vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin, Baie-Comeau, p. 2-19.

- J-É Turcotte et M-P Ouellon. 2002. Rapport final - Érosion des berges MRC de Sept-Rivières. Présenté à la Corporation de Protection de l'Environnement de Sept-Îles (CPESI) par Turcotte Ouellon Géomorphologie Environnement. 125 pages.
- J-M M. Dubois. 1999. Dynamique de l'érosion littorale sur la Côte-Nord du Saint-Laurent. Actes du Colloque régional sur l'érosion des berges : vers une gestion intégrée des interventions en milieu marin, Baie-Comeau, p. 20-52.
- Laboratoire sols et matériaux, Ecole Inter-Etats des Ingénieurs de lôEquipement Rural. Etudes géotechniques. Décembre 1991. Projet du barrage de Mogtedo.
- M. Mietton ; 1988. Méthodes et efficacité de la lutte contre lôérosion hydrique au Burkina Faso.
- Ministère des Pêches et des Océans, direction générale des océans. 2002. La stratégie sur les océans du Canada - Cadre opérationnel pour la gestion intégrée. Ottawa. 39 pages.
- Paul Truong, Tran Tan Van et Elise Pinners, 2009, APPLICATION DU SYSTÈME VETIVER, 103 p.
- R. Paskoff. 1985. Les littoraux - Impacts des aménagements sur leur évolution, 3ème édition. Masson et Armand Colin Éditeurs. Paris. 260 pages.

Sites internet

- www.agirpourladiable.org/liens/depliant_embarcation_motorisee.pdf
- www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/.../Berges_FR_web
- www.aquaterra-solutions.fr/pdf/guides_ats
- www.aquaterra-solutions.fr/pdf/guides_ats/GUIDEATS-CHAP2
- www.corela.org/publications/plaquettes/.../200608TechniquesVegetales
- www.obvcapitale.org/.../Ecogénie_%20Étude_sur_lérosion_des_rives
- www.sepaq.com/dotAsset/21014
- bttp://assembly.coe.intidocuments/workingdocs/doc03/fdoc9981.htm (consulté le 8ē janvier 2010).

ANNEXES

Tableau 14: Pourcentages des types de profil des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo

Site	Largeur moyenne du cours d'eau (m)	Type de profil							
		Rive Gauche				Rive droite			
		Type1	Type2	Type3	Type4	Type1	Type2	Type3	Type4
Site 25	3,9	0,00%	20,00%	80,00%	0,00%	0,00%	0,00%	40,00%	60,00%
Site 26	7	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%
Site 26-1	8,8	0,00%	0,00%	20,00%	80,00%	0,00%	0,00%	20,00%	80,00%
Site 27	14	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Site 27-1	10,5	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Site 28	8,3	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%
Site 28-1	11,85	0,00%	0,00%	60,00%	40,00%	0,00%	30,00%	70,00%	0,00%
Site 29	4	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%
Site 33	7,3	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%
Site 33-1	5,8	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	30,00%	0,00%	70,00%
Site 30	14,5	0,00%	0,00%	80,00%	20,00%	0,00%	0,00%	80,00%	20,00%
Site 30-1	6,5	0,00%	0,00%	70,00%	30,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%
Site 31	4,7	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%
Site 31-1	4,4	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%	0,00%	10,00%	30,00%	70,00%
Site 34	9,65	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%	0,00%	10,00%	10,00%	80,00%
Site 34-1	12,9	0,00%	30,00%	70,00%	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%	0,00%

Tableau 15:Pourcentages des types de dynamique des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo

Site	Largeur moyenne du cours d'eau (m)	Type de dynamique de berge									
		Rive Gauche					Rive droite				
		Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
Site 25	3,9	0,00%	0,00%	30,00%	70,00%	0,00%	0,00%	70,00%	30,00%	0,00%	0,00%
Site 26	7	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Site 26-1	8,8	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%
Site 27	14	0,00%	60,00%	20,00%	20,00%	0,00%	0,00%	50,00%	40,00%	10,00%	0,00%
Site 27-1	10,5	0,00%	80,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%
Site 28	8,3	0,00%	100,00%	0,00%		0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Site 28-1	11,85	80,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%	90,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%
Site 29	4	0,00%	80,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	80,00%	0,00%	20,00%	0,00%
Site 33	7,3	0,00%	80,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	80,00%	10,00%	10,00%	0,00%
Site 33-1	5,8	0,00%	80,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	80,00%	10,00%	10,00%	0,00%
Site 30	14,5	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%
Site 30-1	6,5	0,00%	80,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%
Site 31	4,7	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	90,00%
Site 31-1	4,4	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%	70,00%	20,00%	0,00%	10,00%	0,00%
Site 34	9,65	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	90,00%	0,00%	10,00%	0,00%
Site 34-1	12,9	90,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	90,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%

Tableau 16:Pourcentages des types de végétation des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo

Site	Largeur moyenne du cours d'eau (m)	Type de végétation des berges									
		Rive Gauche					Rive droite				
		Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
Site 25	3,9	0,00%	0,00%	30,00%	0,00%	70,00%	0,00%	0,00%	30,00%	0,00%	70,00%
Site 26	7	0,00%	0,00%	0,00%	80,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	80,00%	20,00%
Site 26-1	8,8	0,00%	0,00%	5,00%	0,00%	95,00%	0,00%	0,00%	5,00%	0,00%	95,00%
Site 27	14	0,00%	90,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%
Site 27-1	10,5	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	90,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Site 28	8,3	60,00%	0,00%	0,00%	0,00%	40,00%	60,00%	0,00%	0,00%	0,00%	40,00%
Site 28-1	11,85	40,00%	0,00%	20,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%	80,00%
Site 29	4	0,00%	30,00%	0,00%	0,00%	70,00%	0,00%	0,00%	40,00%	0,00%	60,00%
Site 33	7,3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Site 33-1	5,8	10,00%	0,00%	10,00%	0,00%	80,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	90,00%
Site 30	14,5	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	90,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Site 30-1	6,5	0,00%	0,00%	60,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%	60,00%	0,00%	40,00%
Site 31	4,7	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	90,00%
Site 31-1	4,4	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	90,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	90,00%
Site 34	9,65	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	90,00%
Site 34-1	12,9	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Tableau 17: Types de matériaux des berges du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo

Site	Largeur moyenne du cours d'eau (m)	Type de matériaux de berges			
		Rive Gauche		Rive droite	
		Dominant	Secondaire	Dominant	Secondaire
Site 25	3,9	A	L	A	L
Site 26	7	A		A	
Site 26-1	8,8	A	L	A	L
Site 27	14	A	L	A	L
Site 27-1	10,5	A	L	A	L
Site 28	8,3	A		A	
Site 28-1	11,85	A		A	
Site 29	4	A		A	
Site 33	7,3	A		A	
Site 33-1	5,8	A	L	A	L
Site 30	14,5	L	A	L	A
Site 30-1	6,5	L	A	L	A
Site 31	4,7	A	L	A	L
Site 31-1	4,4	A	L	A	L
Site 34	9,65	A	L	A	L
Site 34-1	12,9	A		A	

Tableau 18: Itinéraire suivi le long du cours d'eau principal en amont de la retenue de Mogtedo

Itinéraire : 25 à 32 30/05/2013

	Directions/Nom	Distance	Longueur de l'étape	Durée de l'étape	Temps total	Route désirée	Position
1.	25	0 m			0:00:00		N12 26.018 W0 42.505
2.	26	2.9 km	2.9 km		0:00:00	179° Vrai	N12 24.461 W0 42.474
3.	26-1	3.9 km	1.0 km		0:00:00	205° Vrai	N12 23.958 W0 42.716
4.	NEW 27	5.1 km	1.2 km		0:00:00	193° Vrai	N12 23.341 W0 42.856
5.	27-1	6.5 km	1.4 km		0:00:00	208° Vrai	N12 22.653 W0 43.233
6.	NEW 28	6.9 km	390 m		0:00:00	185° Vrai	N12 22.443 W0 43.251
7.	28-A	8.3 km	1.3 km		0:00:00	216° Vrai	N12 21.862 W0 43.691
8.	29	9.8 km	1.5 km		0:00:00	213° Vrai	N12 21.164 W0 44.157
9.	33	11.1 km	1.3 km		0:00:00	188° Vrai	N12 20.485 W0 44.261
10.	33-A	12.0 km	938 m		0:00:00	259° Vrai	N12 20.392 W0 44.770
11.	NEW30	12.9 km	848 m		0:00:00	254° Vrai	N12 20.262 W0 45.219
12.	30-1	13.6 km	754 m		0:00:00	289° Vrai	N12 20.393 W0 45.612
13.	31	14.8 km	1.2 km		0:00:00	269° Vrai	N12 20.385 W0 46.267
14.	31-A	16.1 km	1.3 km		0:00:00	329° Vrai	N12 20.964 W0 46.629
15.	NEW 34	17.8 km	1.8 km		0:00:00	218° Vrai	N12 20.215 W0 47.231
16.	34-1	18.8 km	951 m		0:00:00	263° Vrai	N12 20.156 W0 47.752
17.	32	20.7 km	1.9 km		0:00:00	223° Vrai	N12 19.389 W0 48.485

Fiche de terrain

TYPE DE PROFIL		TYPE DE MATERIAUX DE BERGE		TYPE DE DYNAMIQUE DE BERGES		TYPE DE VEGETATION DES BERGES	
P1	0 à 45°	A	Argile	TE1	Berges stables	TV1	Herbacée éparse
P2	45 à 70°	L	Limon	TE2	Berges verticales instables	TV2	Herbacée dense
P3	70 à 90°	S	Sable	TE3	Affouillement du pied de berge	TV3	Ligneux éparse
P4	Berges composées	G	Gravier	TE4	Présence de début de ravines, de griffes, d'anses d'érosion, é	TV4	Ligneux dense
		C	Cailloux	TE5	Glissement / Effondrement	TV5	Sol nu
		P	Pierre				

Date		**Nom de lôenquêteur**			
Code station		Code Waypoint Amont		Code Waypoint Aval	
Longueur station		Largeur moyenne du cours dôeau au plein bord (m)		Référence Photo	

Type de profil de berge				**Type de matériau de berges**		
Importance en % de linéaire de la station du type de profil						
	RG	RD	Commentaire		RG	RD
Type 1				Dominant		
Type 2				Secondaire		
Type 3				Anecdotique		
Type 4						

Type de dynamique de berges				**Type de végétation de berges**			
Importance en % de linéaire de la station du type d'érosion				Importance en % de linéaire de la station du type de végétation			
	RG	RD	Commentaire		RG	RD	Commentaire
Type 1				Type 1			
Type 2				Type 2			
Type 3				Type 3			
Type 4				Type 4			
Type 5				Type 5			

Dégradation des berges dôorigine anthropique			
	RG	RD	Commentaire (ref. WP, Photosé)
Extraction de sable			
Production de briques			
Seuils dans le lit mineur			
Gabions, empierrement			
Passage du bétail			
Autres (à préciser)			

Tableau 19: Effets physiques généraux de la végétation sur la stabilité des pentes

Effet Caractéristiques physiques	**Effet Caractéristiques physiques**
Avantages	
Renforcement des racines, voûtage du sol, soutient, ancrage, arrêt la chute de rochers par des arbres	Ratio de la masse racinaire, distribution et morphologie des racines ; force ductile des racines ; espacement, diamètre et enfouissage des arbres, épaisseur et inclinaison des strates élastiques ; propriétés de résistance de cisaillement des sols
Pénurie de l'humidité du sol et augmentation de la tension capillaire ? by root uptake and transpiration	Teneur du sol en humidité ; niveau de la nappe souterraine; pression de pore/tension capillaire
Interception des pluies par le feuillage, notamment des pertes par évaporation	Précipitations nettes sur les pentes
Augmentation de la résistance hydraulique dans les canaux d'irrigation et de drainage	Coefficient Manning
Inconvénients	
Coincement des racines par les blocs de rocher près de la surface et arrachage par les cyclones	Ratio de masse racinaire, distribution et morphologie
Surcharge de la pente par de grands arbres lourds (parfois avantageux selon les situations)	Poids moyen de la végétation
Charge exercée par le vent	Le design en fonction de la vitesse de vent provenant de lôautre sens; hauteur moyenne des arbres adultes pour les groupes d'arbres
Maintien de la capacité d'infiltration	Variation de la teneur en eau du sol avec la profondeur

Tableau 20: Diamètre et force ductile de la racine de différentes herbes

Plants	**Diamètre moyen des racines (mm)**	**Force ductile moyenne (MPa)**
Late Juncellus	0,38±0,43	24,50±4,2
Paspalum dilatatum	0,92±0,28	19,74±3,00
Trèfle blanc	0,91±0,11	24,64±3,36
Vétiver	0,66±0,32	85,10±31,2
Eremochloa ophiuroides	0,66±0,05	27,30±1,74
Herbe de Bahia	0,73±0,07	19,23±3,59
Gazon de Manille	0,77±0,67	17,55±2,85
Herbe des Bermudes	0,99±0,17	13,45±2,18

QUELQUES PHOTOS PRISES LORS DE LA DESCENTE DU TERRAIN

Figure 16: Photo du site 28-A, rive gauche. Source: Caleb DJANTENG février 2013

Figure 17: Photo du site 31-A rive gauche. Source: Caleb DJANTENG février 2013

Figure 19: Photo du site 31-A rive gauche. Source: Caleb DJANTENG février 2013

Figure 18: Photo de la manifestation de l'érosion sur un ponceau. Source: Caleb DJANTENG février 2013

Figure 20: Forme du cours d'eau à l'approche du barrage. Source: Caleb DJANTENG février 2013

Figure 21: Cours d'eau à l'approche du barrage. Source: Caleb DJANTENG février 2013

Figure 22: les racines de vétiver renforcent ce barrage ont empêché quil soit emporté par les crues