

### *Estimatif des travaux*

Chaque prix unitaire fait l'objet d'un sous-détail de prix en annexe F. Il a été tenu compte dans les sous-détails des prix les coûts actuels de rémunération du personnel, de location de matériel et de carburant.

Le montant total des travaux est estimé à deux cent cinquante et quatre millions d'Ariary hors TVA dont le détail quantitatif et estimatif est en annexe F.



Figure 50: Travaux de réhabilitation de la digue de sisaony à Antokamita, Soalandy

## **VII.2. Ouvrage de protection des berges**

### **VII.2.1. Généralités**

#### *VII.2.1.1. Définition de la berge*

La berge est la surface inclinée du terrain qui se trouve en contact avec la masse d'eau dormante ou courant.

La protection des berges comprend tout ouvrage qui vise à maintenir la stabilité des talus en dépit de l'action de l'eau.

### VII.2.1.2. Mode d'attaque des berges

Les berges sont attaquées par des courants perturbateurs qui ont des origines variées. Il peut s'agir de courants de crue et en particulier de composante transversale. Les courants provoquent des dégâts lorsque la force tractrice excède la force tractrice critique.

Le pied de talus est attaqué par les courants : c'est l'affouillement. Des renards se creusent de l'eau de la nappe phréatique qui se dirige vers la rivière en emportant des matériaux fins. La destruction est finalement due à l'érosion ou l'affouillement, à la dimension de la résistance intérieure du sol causée par la présence de l'eau, à l'affaiblissement des fondations.

#### *Nécessité d'une protection des berges.*

La protection des berges concaves surtout est souvent nécessaire dans le cadre de la réalisation de l'aménagement à courant libre des rivières.

Au point de vue mode d'action des ouvrages, on distingue 2 zones à protéger :

- La partie supérieure de la berge, c'est à dire le talus situé au-dessus de l'étiage qui peut être soumis à des actions d'érosion et d'entraînement des matériaux ;
- La partie inférieure de la berge, située au-dessus de l'étiage, qui est sujette à un affouillement au pied de talus. A moins que les intérêts à protéger soient considérables, on doit essayer de les réaliser aux moindres frais, compte tenu des dépenses de maseau.

### VII.2.2. Protection des pieds de berge

Il s'agit essentiellement de protection des berges vis à vis du glissement. La protection de pied est un ouvrage répondant à l'objectif qui est d'assurer la stabilité de la berge.

#### VII.2.2.1. Enrochements

##### a. Dispositions

- Les deux berges (rive droite et rive gauche) sont protégées par les rideaux d'enrochements.
- Le rideau a une largeur de 1 m et une hauteur de 1,50m. Sa longueur est égale à celle de la berge à protéger.

##### b. Dimensionnement des blocs d'enrochement :

Le dimensionnement fait intervenir la notion du seuil de mouvement en hydraulique fluviale, si on désigne par  $\tau_c$  la tension du début de mouvement des matériaux, c'est à dire la force de traction ou tension limite d'entraînement et  $t$  désigne la force de frottement.

La condition qu'on surmontera doit être respectée pour que les grains ne soient pas entraînés par le courant c'est à dire :  $\tau_c \geq \tau$

L'U.S Bureau of Réclamation propose la répartition de  $\tau$  suivante

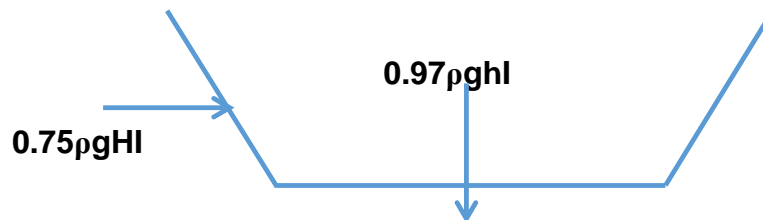


Figure 51: Répartition de la force de frottement dans un lit de section (US bureau of Réclamation)

$\tau$  : Force de frottement

U.S: United States

D'un côté, Ramette propose pour les gros matériaux constituant les berges :

$$\tau_c = (0,02 \text{ à } 0,03) \cdot \omega_s \cdot D_m$$

où  $\omega_s = \delta_s - \delta_w$

$D_m$ : Diamètre moyen des grains

$\delta_w$ : Poids volumique de l'eau = 10 000N / m<sup>3</sup> ;

$\delta_s$ : Poids volumique des grains = 24 000N / m<sup>3</sup> ;

En prenant  $\tau = 0.97 \rho \cdot g \cdot h \cdot I$

On trouve en faisant l'inégalité  $D_m \geq 0,20m$

Le diamètre moyen des enrochements est donc de 20cm.

Les enrochements seront stabilisés par des micro pieux de 10 cm de diamètre et espacés de 20 cm.

### VII.2.3. Protection de la partie supérieure

Elle est simplement talutée et enherbée de façon à avoir une pente stable.

Pour raison d'économie, on se contente d'enherber le talus aval d'une couche de terre végétale de 0.05m à 0.10m d'épaisseur.

### VII.2.3.1. Engazonnement

Les berges sont recouvertes au moyen des masses de gazon qui sont posées pour éviter l'érosion due aux ruissellements et aux vents (figure 52).

Il faut noter tout de même que le gazon résiste mal à l'action prolongée de forts courants, c'est pourquoi on ne doit y avoir recours, si possible, qu'au-dessus d'un niveau correspondant à de faibles durées de submersion (1 à 2 jours au plus).

#### *Mise en place de broussailles*

La protection est beaucoup plus efficace que par l'engazonnement, mais la résistance offerte à l'écoulement est également bien plus importante. On l'emploie sur des rives formées de terres peu cohérentes et pulvérulentes. Le chevelu de racine provoque d'ailleurs une sédimentation intense le long de la rive.

L'efficacité de ce type de protection dépend pour beaucoup de son entretien. Il faut éviter la diminution de la section du lit.

Si la pente des rives est trop forte pour le démarrage de la végétation, on la remet à 45° et on en soutient la base au moyen de deux ou trois petits redans clayonnés sur des piquets de bois appelés également micropieux.

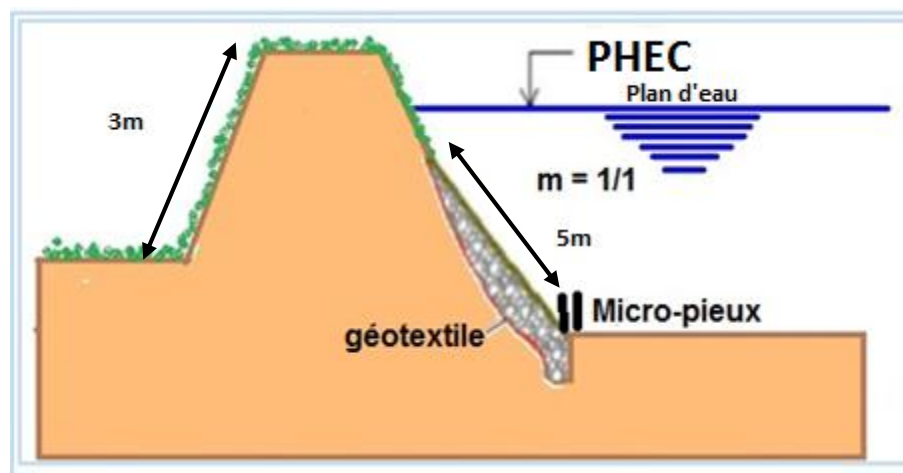


Figure 52: Enrochement avec géotextile et engazonnement de la partie supérieur

PHEC : Plus Hautes Eaux Cycloniques

### **Protection au niveau des zones d'extraction de sable**

Il est nécessaire de parler de l'extraction des sables, car les populations riveraines surexploitent la rivière surtout les fonds des talus. Cet enlèvement excessif de sable provoque l'instabilité des talus qui accentue le phénomène de boulangerie et d'affouillement.

Pour solution, les personnes concernées doivent être incitées à faire ces activités dans les zones où les dépôts sableux sont importants (côté convexe où la rivière serpente) et aussi à des endroits différents où les désordres sont moindres.

Les autorités compétentes devront sensibiliser les extracteurs de sable à protéger les berges et à exposer les risques et les dangers de cette activité.

Malgré tout, ces activités paraissent être bénéfiques vu qu'on a proposé de faire du dragage pour la protection des berges et l'élargissement du lit de la rivière. La limite de cet avantage est le surcreusement généralisé du lit et aussi le refoulement d'eau.

On se propose ici d'utiliser les gabions. C'est une solution très efficace vis-à-vis de l'affouillement.

La largeur est toujours 1m, la hauteur est normalement 0.50m et la longueur varie entre 3m à 6m.

Il est important de positionner des pierres de forme parallélépipédique rectangulaire à chaque angle du gabion afin de préserver la forme de celui-ci.

#### ***VII.2.4.1. Mise en œuvre des gabions***

Les gabions sont utilisés dans la défense antiérosive. Il convient surtout au cours d'eau à faible pente avec un lit sableux. La dimension normale de ces gabions est de 2m x 1m. Les gabions sont attachés les uns aux autres avec le fil d'acier galvanisé. Le principe de construction est simple : on creuse à travers du lit une tranchée de 1,2m de large juste en aval de digue. Les gabions vides sont attachés les uns aux autres pour former une rangée de la longueur voulue.

Pour qu'elle reste alignée après l'opération, la rangée de gabions doit être tendue pendant le remplissage. Une fois le remplissage terminé, on ferme les gabions avec des fils de fer et on remblaye.

On remarque que l'usage de gabion ne coûte pas cher lorsque les gabions sont tressés localement et si on réalise la main d'œuvre locale. Car cette technique nécessite l'emploi d'un effectif non qualifié important.

#### ***VII.2.4.2. Avantage des gabions***

Les principaux avantages des gabions sont leur :

- Extrême souplesse qui permet l'adaptation aux mouvements du terrain sans compromettre la stabilité et l'efficacité de la structure ;
- Forte résistance à la poussée de terrain ;
- Forte perméabilité qui diminue la poussée de l'eau ;
- Assemblage et remplissage ne nécessitant que des outils simples et une main d'œuvre non qualifiée.

#### **VII.2.5. Dragage**

Par suite des apports annuels des produits d'érosion provenant des bassins versants de la rivière Sisaony, le niveau de fond des lits se rehaussait, la pente du lit et la section nécessaire pour le passage des crues, entraînant des nouvelles inondations.

Dans ce cas, les protections envisagées ne seraient plus alors efficaces et il faudrait prendre des mesures adéquates. Pour surpasser ce genre de problème, il s'avère nécessaire qu'on fasse le dragage sur les tronçons étudiés.

Le dragage est un moyen pour permettre un bon entretien de la rivière.

##### **VII.2.5.1. Définition**

Le dragage est l'action d'enlever le sable, le gravier ou la vase reposant au fond d'une rivière, d'un lac ou d'un port maritime. Les matériaux extraits au-dessous du niveau de l'eau sont appelés déblais. Les engins utilisés pour le dragage, les dragues, sont composés d'un dispositif de levage et d'aspiration, habituellement actionné par un moteur Diesel monté sur un flotteur en forme de péniche, connu sous le nom de dragueur. Les dragues sont utilisées pour l'approfondissement ou l'élargissement de voies navigables, pour le remblai de terres submergées, la construction de digues ou encore pour l'extraction de minerais précieux.

Divers types de dragues sont utilisés pour recouvrir les déblais. Les dragues à cuiller ou à benne ont un godet au bout d'un bras mobile qui ramasse et enlève les matériaux

##### **VII.2.5.2. But**

Le développement de l'activité humaine est très intimement lié aux rivières : les rivières ont également été des voies de communication. Elles ont également été aménagées pour le développement de l'agriculture sous deux aspects : la protection contre les crues et l'irrigation.

Les aménagements fluviaux sont, par nature, à buts multiples et les schémas d'aménagement doivent absolument être conçus comme tels dès l'origine et au-delà des préoccupations.

##### **VII.2.5.3. Profondeur de dragage**

Notons tout d'abord que le dragage comprend tous les travaux d'enlèvement des obstacles qui gênent l'écoulement d'eau quelles que soient leurs quantités. Il concerne surtout le lit majeur jusqu'à une profondeur de 30 cm.

#### *VII.2.5.4. Limite de dragage*

Vu le problème qui existe en aval de Sisaony en présence de la faible pente, la profondeur de dragage est limitée à 30 cm. On a imposé donc ce seuil à ne pas dépasser pour éviter un surcreusement généralisé du lit et aussi de refoulement d'eau.

#### *VII.2.5.5. Conséquence de dragage*

Comme le travail de dragage vise l'amélioration de l'écoulement dans une section de rivière, il a pour effet donc d'abaisser le plan d'eau au droit de cette section.

En conséquence, la section mouillée augmente et les coefficients de rugosité de MANNING deviennent uniformes dans les lits majeurs et mineurs.

## CONCLUSION

À la lumière des connaissances acquises sur les caractéristiques morphologiques et géotechniques de l'ouvrage, les phénomènes qui ont causé les désordres, l'évolution des lits de la rivière, nous sommes en mesure de faire une proposition de réhabilitation et maintien des digues avec des études environnementaux et étude des coûts pour la réalisation du projet

Plusieurs brèches et effondrements de talus ont été décelés puis réhabilités selon l'ordre de priorité. Les plus marquants sont ceux de la rive droite Vahilava, Behoririka, Antokamita, Ambarandehilahy et Ankazomizinga. Après toutes les procédures pour la réalisation des travaux, le coût total de la réhabilitation était d'un milliard quatre cent quarante et huit millions d'Ariary hors TVA. Les dispositifs et méthodologies pour la protection des berges qui concernait surtout la partie supérieure et inférieure de l'ouvrage sont multiples comme l'enrochement avec comme diamètre moyenne de 20cm, l'utilisation des géotextiles de types non-tissés, les gabions pour la zone d'extraction des sables et le dragage qui est limité à 30 cm pour éviter un surcreusement. L'étude d'impact environnemental et social était indispensable pour la réalisation du projet que ce soit avant, pendant ou à près les travaux. Ces mesures ont été prises pour que tout le monde sorte bénéfiques à la fin du projet.



## CONCLUSION GENENERALE

En guise de conclusion, on peut dire que le projet présente un grand intérêt, nécessaire et potentiel pour le développement des neuf communes.

À chaque période de crue, la zone qui se trouve entre le pont d'Ambatofotsy et le pont d'Ampitatafika est victime de l'inondation et les populations qui s'y trouvent en reçoivent de lourde perte.

La diagnostique est surtout un moyen de connaître l'ampleur des dégâts et des désordres. C'est pour le LOT3 que les risques sont le plus marquants. La mise en place de la base de données qui est la création des cartes facilitera les autorités compétentes à comprendre les états actuels des ouvrages et devra prendre des décisions pour les zones qui présentent beaucoup de risque pour éviter l'aggravation des dégâts.

Les études géotechniques qui sont faites sur terrain et en laboratoire nous ont aidés à comprendre la nature et les propriétés mécaniques des sols.

Les solutions proposées paraissent intéressantes pour surpasser les problèmes. Le rehaussement des digues (rive gauche et droites), la protection des talus pour les zones sensibles et le dragage de la rivière Sisaony assurent une maîtrise de l'eau en période de crue et permettent d'éviter tout risque de rupture et d'inondation.

L'efficacité de l'aménagement proposé est étroitement liée à la protection du bassin versant concerné.

Après avoir constaté les problèmes existants, la réparation des ouvrages détruits est donc un moyen pour recourir à la protection de l'environnement.

Le projet a un impact sur le plan économique à savoir l'augmentation des surfaces cultivables ce qui augmente le rendement agricole.

## BIBLIOGRAPHIES

- [1] APIPA. (2015). Rapport des dégâts sur les digues en 2015. Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et d'Hygiène. 58p.
- [2] APIPA. (2015). Avant-Projet Détaillé (APD) des travaux prioritaires de réhabilitation des digues de protection de la plaine d'Antananarivo. Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et d'Hygiène. 41p.
- [3] Barijaonarivelo H. (2013). Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de quelques puits et détermination du toit du Substratum d'aquifères dans la plaine du district Antananarivo- Atsimondrano. Université d'antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Physique. 93p.
- [4] Benot R, Malassingne O. (2013). Evaluation du risque érosif et sismique au niveau de la digue de protection marine de la Duchesse Anne entre Cancale et le Mont-Saint-Michel. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest, Département Laboratoire de Saint-Brieuc, raphael.benot@developpement-durable.gouv.fr. p.5-4.
- [5] Beguin R. (2011). Etude multi-échelle de l'érosion de contact au sein des ouvrages hydrauliques en terre, *Rapport de thèse*, Université de Grenoble. 320p.
- [6] Beguin R. (2011). Etude multi-échelle de l'érosion de contact au sein des ouvrages hydrauliques en terre, *Rapport de thèse*, Université de Grenoble. 320p.
- [7] Blais J.P. (2005). Typologie de l'érosion interne et érosion interne des digues fluviales : une courte revue bibliographique. *Ingénieries No Spécial*, p.65-70.
- [8] Bonelli et al., (2011). Erosion des géomatériaux, Hermès science publication. 401p.
- [9] Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL centre). (2010). Les levées (digue) de la Loire.120p
- [10] Chhun S. (2013). Etude de la stabilité des berges de rivière soumises à la marée. Thèse de doctorat. Other. INSA de Rennes. 165p.
- [11] Fell R, Fry J.J. (2007). Internal Erosion of Dams an their Foundations, *Taylor & Francis Group*, London, ISBN 978-0-415-43724-0. 245p.
- [12] Huguel A. (2010). Etude des aléas de rupture des digues du Petit-Rhône. INSA Strasbourg. Spécialité Génie Civil. 175p.
- [13] Kham M, Kolmayer P, Foucault A, Guyonvarh V, Devésa G, Idoux L. (2010). Calculs statique et dynamique sur une digue en terre : Application de la loi de Hujeux. 240p.
- [14] Kurtz J. P. (1997). Dictionnaire de génie civil. Paris : Editions du conseil International de la Langue Française, p.398-399.
- [15] Laplaine L. (1952). Etude géologique cristallin Malgache à la latitude de Tananarive. 108p.
- [16] Lepetit L. (2002). Etude d'une méthode de diagnostic des digues avec prise en compte du risque de liquéfaction. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont 2. 207 p.

- [17] MAEP. (2003). Unité de politique de développement rural (UPDR). Monographie de la région d'Antananarivo. 139p.
- [18] Mériaux P, Royet P, Folton C. (2001). Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations. Cemagref Editions, 191p.
- [19] Michel A, Mamert M., Darcy J, Bruno B, Robert C, Michael J, Olivier R, Stabilité géotechnique des ouvrages de retenue pour les résidus miniers : problèmes persistants et méthodes de contrôle. 80p.
- [20] Nasrin J. (2012). Étude expérimentale de l'initiation de la rupture des digues en enrochement par surverse. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées. Département des Génies civil, Géologique et des Mines Ecole Polytechnique de Montréal. 138p.
- [21] Nguyen V.N. (2014). Caractérisation de l'érosion des sols par le jet érosion test. Ecole Centrale des Arts et Manufactures « Ecole Centrale Paris », thèse pour l'obtention du grade de Docteur, spécialité : hydraulique et mécanique des sols. 381p.
- [22] Pham T.L. (2008). Erosion et dispersion des sols argileux par un fluide. Rapport de thèse de doctorat, E.N.P.C-L.C.P.C. 214p.
- [23] Pilot M.M, Cartier. (1984). Dignes et barrages en terre de faible hauteur. Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 58, boulevard Lefebvre- 75732 PARIS CEDEX 15, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. 96p.
- [24] Posamentier H.W, Allen G.P. (1999). Siliciclastic sequence stratigraphy - concepts and
- [25] applications. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology, No.7. 210p.
- [26] Rakotoarisoa M.M (2011). Mise en œuvre d'un modèle hydrologique conceptuel distribué application sur le bassin versant de la Sisaony. Mémoire de fin d'étude. ESPA. Département Hydraulique. 136p.
- [27] Rakotoarisoa T. (2013). Couplage du modèle hydrologique et hydrodynamique unidirectionnelle (1D), en vue d'une modélisation et spatialisation de l'étendue d'une crue : application au bassin versant de la Sisaony. Mémoire de fin d'étude. ESPA, Département Hydraulique. 204p.
- [28] Randriantsoa F. (2004). Protection de la plaine de Fenoarivo contre l'inondation de la rivière Sisaony. Mémoire de fin d'étude. ESPA, Département Bâtiment et Travaux Publics. 112p.
- [29] Razafimbelo R. (2014). Cours de Géologie sédimentaire, Bassins sédimentaires malgaches. Géologie Master 2. ESPA, Université d'Antananarivo.
- [30] Serre D. (2005). Evaluation de la performance des digues de protection contre les inondations, Modélisation de critères de décision dans un Système d'Information Géographique. Université de Marne-La-Vallée, Spécialité : Sciences de l'Information Géographique. 369p.
- [31] Tourment R. (2010). Ingénierie des ouvrages de protection contre les inondations. Master Gestion Territoriale des Risques Naturels et Technologiques. 130p.

## ANNEXES