

FLOOD CONTROL AND DRAINAGE PROJECT IN THE PLAINE DES MOUSTIQUES

The Plaine des Moustiques, Haiti

Contract No: MOUSTIQUE-CTT-1 - SERVICE CONTRACT WITHIN THE FRAMEWORK OF
THE IRRIGATION PROJECT IN MOUSTIQUE. FUNDED BY THE EUROPEAN UNION
(contract number: FOOD/2004/085-566)

Prepared for

PROTOS

(represented by Martine Haentjens in Haiti)

May 2007 Final Report



Note:

Some pages in this document have been purposefully skipped or blank pages inserted so that this document will copy correctly when duplexed.

FLOOD CONTROL AND DRAINAGE PROJECT IN THE PLAINE DES MOUSTIQUES

The Plaine des Moustiques, Haiti

Contract No: MOUSTIQUE-CTT-1 - SERVICE CONTRACT WITHIN THE FRAMEWORK OF
THE IRRIGATION PROJECT IN MOUSTIQUE. FUNDED BY THE EUROPEAN UNION
(contract number: FOOD/2004/085-566)

Prepared for

PROTOS
#1, 2ème rue Herard
Bourdon – Port au Prince
(represented by Martine Haentjens in Haiti)

Prepared by

Mark Siegenthaler

and

Herrera Environmental Consultants, Inc.
2200 Sixth Avenue, Suite 1100
Seattle, Washington 98121
Telephone: 206/441-9080

May 18, 2007 Final Report

Contents

Executive Summary	viii
Introduction.....	viii
Project Objectives.....	viii
Site Conditions.....	xviii
Project Design.....	xviii
Phase 1	xxiv
Phase 2	xxviii
Agricultural Benefits of the Project.....	xxx
Additional Studies	xxxii
Background.....	2
Project Objectives	4
Methodology	6
Alternative Development, Evaluation and Report Preparation Following Site Visit.....	10
Site Conditions.....	12
Watershed and Hydrology	12
Weather and Flooding.....	12
Geomorphology	20
Rivière des Moustiques and Floodplain Hydraulics.....	22
Soils	34
Vegetation.....	34
Land Use.....	36
Drainage and Irrigation.....	38
Community Perception	44
Project Design.....	52
Phase 1 Concepts	52
Canal Elmé Diversion	52
Canal Altida Diversion.....	58
High Flow Diversion Canal to La Saline	60
Canal Culvert Upgrades	62
Drainage Canal Clearing and Dredging	62
Access Road and River Crossing	62
Phase 2 Concepts	64
Highway Bridge Levee Relocation	64
Floodway Avulsion Channel Relocation	64
Nan Makày Wetland Dike.....	68
The Ravine and La Baie Levee	68

Basin Reforestation and Riparian Restoration	68
Flood Warning/Response Program	70
Agricultural Benefits of the Project	70
Project Costs	72
Project Administration	72
Construction Costs	72
Administration du Projet	73
Coûts de Construction	73
Engineering and Design Development	84
Construction Support	84
Project Implementation Considerations	84
Construction Methods	84
Additional Studies and Data Required	88
Phase 1 Work	88
Immediate Work	88
Near Term Work	90
Phase 2 Project Tasks	94
Flood Warning/Response Program	98
Appendix A Survey and Topography	
Appendix B Photographic Documentation	
Appendix C Public Perception Surveys	
Appendix D Conceptual Drawings	
Appendix E Hydraulic and Hydraulic Analysis Report	

Tables

Table 1.	Summary of hurricane information since 1954.	20
Table 2.	Engineering estimate of probable project cost.	80

Figures

Figure E-1.	Project basin map.	xi
Figure E-2.	Landforms and water drainage features.	xiii
Figure E-3.	Current land use in La Plaine des Moustiques.	xv
Figure E-4.	Conceptual design elements.	xxi
Figure 1.	Project basin map.	15
Figure 2.	Landforms and water drainage features.	17
Figure 3.	The Plaine des Moustiques cross-section.	25
Figure 4.	Rivière des Moustiques channel bed profile.	27
Figure 5.	The Plaine des Moustiques delineated from HEC-GeoRAS model results.	31
Figure 6.	The distribution of overbank flows heading toward Nan Makày versus the lower section of Rivière des Moustiques based on the HEC-GeoRAS results.	33
Figure 7.	Current land use in La Plaine des Moustiques.	41
Figure 8.	Community understanding of project needs.	47
Figure 9.	What is needed for successful implementation.	47
Figure 10.	What people were willing to contribute.	49
Figure 11.	Willingness to volunteer.	49
Figure 12.	Conceptual design elements.	55
Figure 13a.	Proposed net increase in agricultural productivity for Phase 1.	75
Figure 13b.	Proposed net increase in agricultural productivity for Phase 2.	77

Contents

Sommaire	ix
Introduction.....	ix
Objectifs du Projet.....	ix
Conditions du Site.....	xix
Conception du Projet	xix
Phase 1	xxv
Phase 2	xxix
Avantages Agricoles du Projet	xxxi
Études Complémentaires	xxxiii
Contexte	3
Objectifs du Projet	5
Méthodologie	7
Développement, Évaluation et Préparation d'un Rapport Alternatifs Suivant la Visite sur le Terrain.....	11
Conditions du Site.....	13
Bassin Versant et Hydrologie	13
Climat et Inondations.....	13
Géomorphologie	21
Hydraulique de la Rivière des Moustiques et de la Plaine Inondable	23
Sols	35
Végétation.....	35
Utilisation des Sols	37
Drainage et Irrigation.....	39
Enquête Auprès de la Population.....	45
Conception du Projet.....	53
Concepts de la Phase 1	53
Dérivation du Canal Elmé.....	53
Dérivation du Canal Altida	59
Canal de Dérivation des Débits de Crue vers La Saline	61
Amélioration des Dalots.....	63
Nettoyage et Dragage des Canaux	63
Routes d'Accès et Points de Franchissement de la Rivière	63
Concepts de la Phase 2	65
Déplacement de la Levée du Pont.....	65
Déplacement du Chemin Naturel de l'Eau.....	65
Digue de la Zone Humide de Nan Makà.....	69

Levée de la Ravine et de La Baie.....	69
Reforestation du Bassin et Restauration de la Ripisylve	69
Programme d'Alerte/de Réponse aux Inondations	71
Avantages Agricoles du Projet	71
Coûts du Projet	73
Développement Conceptuel et d'Ingénierie.....	85
Soutien Technique.....	85
Considérations sur la Mise en Œuvre du Projet.....	85
Méthodes de Construction	85
Études et Données Supplémentaires Requises.....	89
Travaux de la Phase 1	89
Travail Immédiat.....	89
Travail à Très Court Terme.....	91
Tâches de la Phase 2 du Projet	95
Programme d'Alerte/de Réponse aux Inondations	99
Appendix A Survey and Topography	
Appendix B Photographic Documentation	
Appendix C Public Perception Surveys	
Appendix D Conceptual Drawings	
Appendix E Hydraulic and Hydraulic Analysis Report	

Tables

Tableau 1. Résumé des ouragans ayant frappé Haïti depuis 1954.	21
Tableau 2. Procédé détaillé des coûts probables du projet.	81

Figures

Figure E-1. Carte du projet de reservoir.	xi
Figure E-2. Topographie et systemes d'evacuation.	xiii
Figure E-3. Exploitation actuelle du terrain de La Plaine des Moustiques.	xv
Figure E-4. Elements du design conceptuel.	xxi
Figure 1. Carte du projet de reservoir.	15
Figure 2. Topographie et systemes d'evacuation.	17
Figure 3. La Plaine des Moustiques en section transversale.	25
Figure 4. La Rivière des Moustiques en profil.	27
Figure 5. Le floodplain de la Moustiques de plaine cree par des resultats du modele d'ordinateur de HEC-GeoRAS.	31
Figure 6. Distribution d'ecoulement d'overbank vers Nan Makay contre l'ecoulement dans le canal de la Rivière des Moustiques.	33
Figure 7. Exploitation actuelle du terrain de La Plaine des Moustiques.	41
Figure 8. Arrangement de la communauté des besoins de project.	47
Figure 9. Ce qui es nécessaire pour l'exécution réussie.	47
Figure 10. Les contributions des personnes.	49
Figure 11. Volonté d'offrir.	49
Figure 12. Elements du design conceptuel.	55
Figure 13a. Augmentation nette proposee de la productivite agricole pour la phase 1.	75
Figure 13b. Augmentation nette proposee de la productivite agricole pour la phase 2.	77

Executive Summary

Introduction

PROTOS and ODRINO/UEBH have teamed to coordinate and execute an irrigation program in the watershed of the Rivière des Moustiques in northwest Haiti (see Figure E-1). As part of this program, this flooding and drainage study of the Plaine des Moustiques has been prepared to develop design concepts and make recommendations to address flooding, irrigation and drainage problems within the floodplain.

Project Objectives

The Plaine des Moustiques, comprising about 10 square kilometers of the lower Rivière des Moustiques drainage basin, shown in Figure E-2, has historically been a rich and productive agricultural area. In recent decades the floodplain comprising the Plaine des Moustiques has been inundated with repeated and prolonged flooding that has killed crops, and rendered farming in many parts of the basin increasingly difficult and less productive, see Figure E-3. Agricultural damage has largely resulted from the long periods of time following flooding that the land remains ponded. Solutions to restore agricultural productivity should therefore alleviate the frequency and severity of flooding over the productive and potential agricultural areas, and reduce the period of inundation.

The river flows may be conceptually divided into three flow regimes: 1) below bankfull flows are flows most frequently found in the stream; 2) bankfull flows, defined as flows that reach the top of the river's banks; and 3) overbank flows, when the river overtops its banks and floods the valley. The structural alternatives recommended herein are designed to accomplish three objectives:

- Route bankfull flows such that damages to farmland and crops can be minimized
- Drain the ponded floodwaters from bankfull and overbank flows off of farmland as quickly as possible to minimize crop damage
- Route as much of the peaks of bankfull and overbank flows as possible toward the mud flats of la Saline to reduce the amount of inundation in the Plaine des Moustiques.

Major considerations in the implementation of any set of structural solutions to alleviate flooding are the social acceptability of the project, the economic and food production benefits of the project, and the maintenance and sustainability of the hydraulic infrastructure. To assess social

Sommaire

Introduction

PROTOS et l'ORDINO/UEBH se sont associés pour coordonner et réaliser un programme d'irrigation dans le bassin versant de la Rivière des Moustiques, dans le nord-ouest d'Haïti (voir la Figure E-1). Dans le cadre de ce programme, la présente étude sur le contrôle des crues et le drainage de la plaine des Moustiques a été préparée afin de développer des scénarii d'aménagement et de proposer des recommandations pour aborder les problèmes d'inondation, d'irrigation et de drainage de la plaine inondable.

Objectifs du Projet

La Plaine des Moustiques, qui occupe environ 10 kilomètres carrés du bassin versant de la Rivière des Moustiques (voir la Figure E-2) a toujours été une zone agricole riche et fertile. Toutefois, depuis plusieurs dizaines d'années, la plaine des Moustiques a été inondée à plusieurs reprises et pendant des périodes prolongées, ce qui a entraîné la perte des récoltes et rendu l'agriculture de plus en plus difficile et de moins en moins productive (voir la Figure E-3). Les dégâts sont en particulier imputables aux longues périodes pendant lesquelles les sols sont restés inondés. Afin de restaurer la productivité agricole, les solutions doivent viser à réduire la fréquence, la gravité et la durée des inondations touchant les zones agricoles productives et potentiellement fertiles de la plaine des Moustiques.

Le débit de la rivière peut être décrit de la façon suivante: 1) un débit en-dessous des berges de la rivière, correspondant au débit le plus fréquent, 2) un débit dit « en gueule » de la rivière, c'est à dire au ras des berges et, 3) un débit au-dessus des berges, correspondant à un débit de crue maximum entraînant l'inondation de la plaine. Les alternatives structurelles proposées dans le présent rapport remplissent trois objectifs:

- Canaliser les débits de crue de manière à réduire les dégâts sur les cultures
- Drainer aussi rapidement que possible les inondations provoquées par des débits de crue au ras et au-dessus des berges afin de minimiser les dégâts sur les cultures
- Diriger, canaliser et évacuer les débits de crue critiques vers le marais de La Saline afin de désengorger rapidement la plaine des Moustiques.

Avant toute mise en œuvre d'un ensemble de solutions structurelles visant à réduire l'impact des inondations, les considérations suivantes doivent être prises en compte: l'acceptabilité sociale du projet, ses avantages économiques et productifs ainsi que la maintenance et la durabilité des infrastructures hydrauliques. Afin d'évaluer

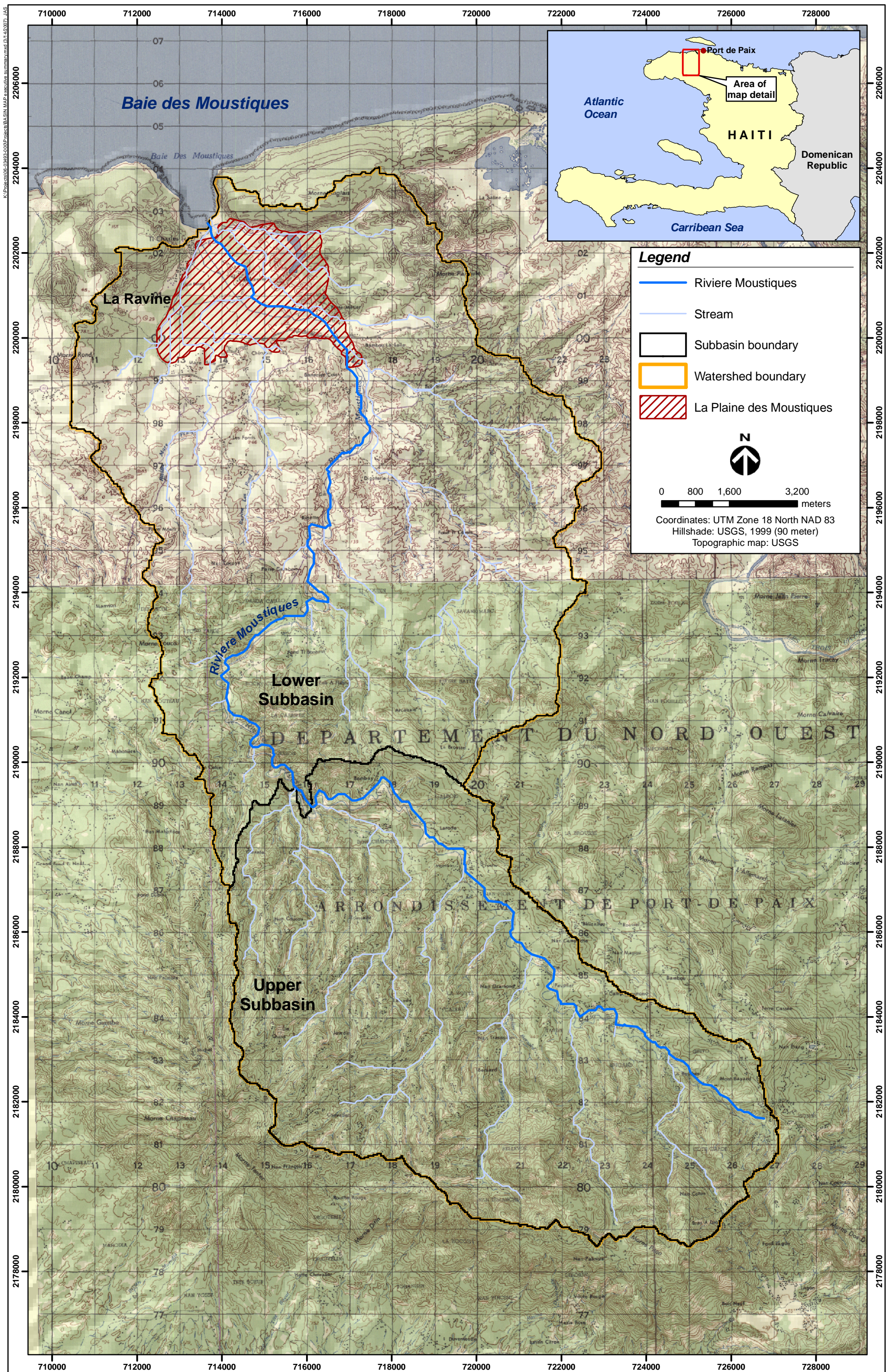


Figure E-1. Project basin map.

Figure E-1. Carte du projet de reservoir.

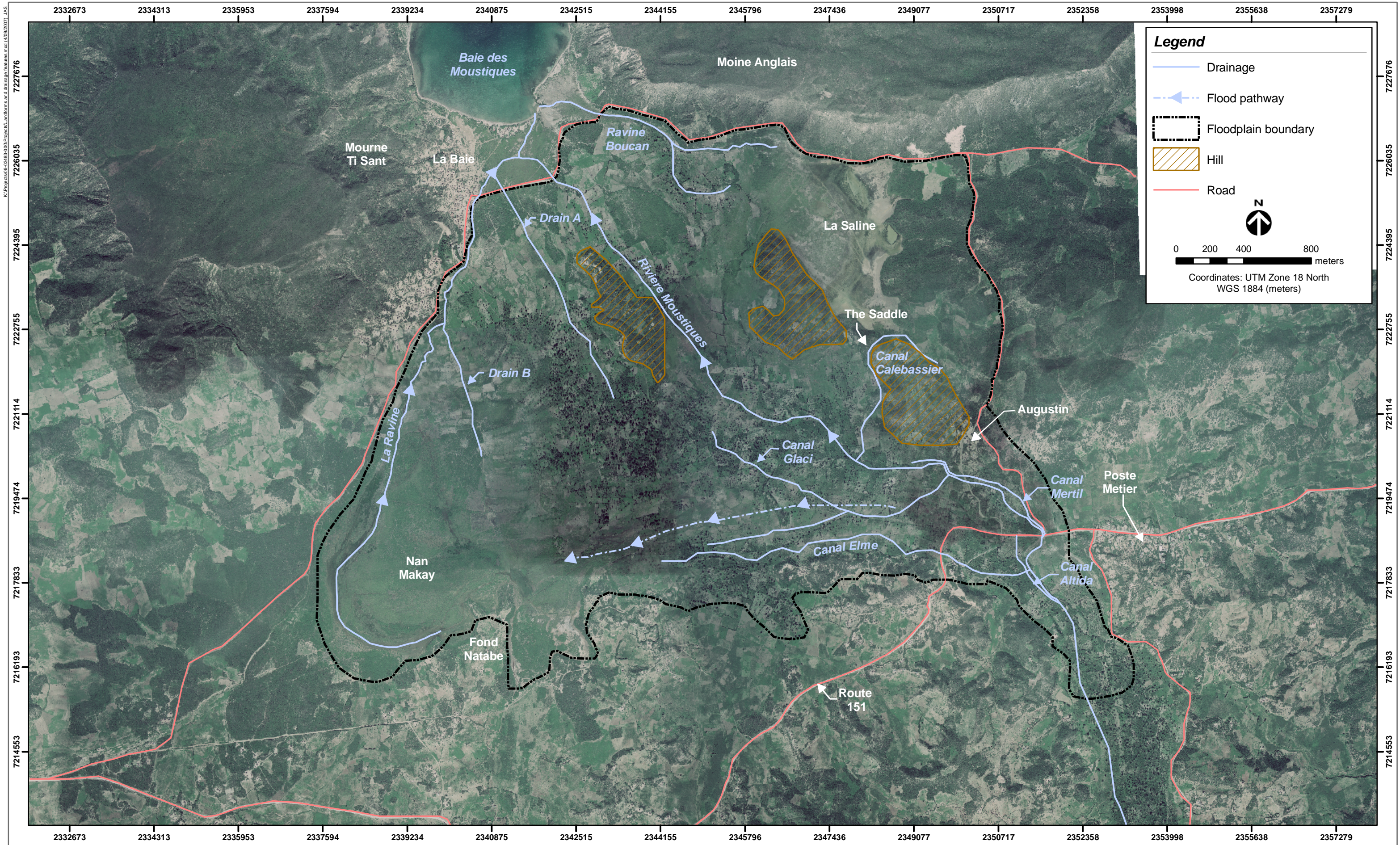


Figure E-2. Landforms and water drainage features.
Figure E-2. Topographie et systèmes d'évacuation.

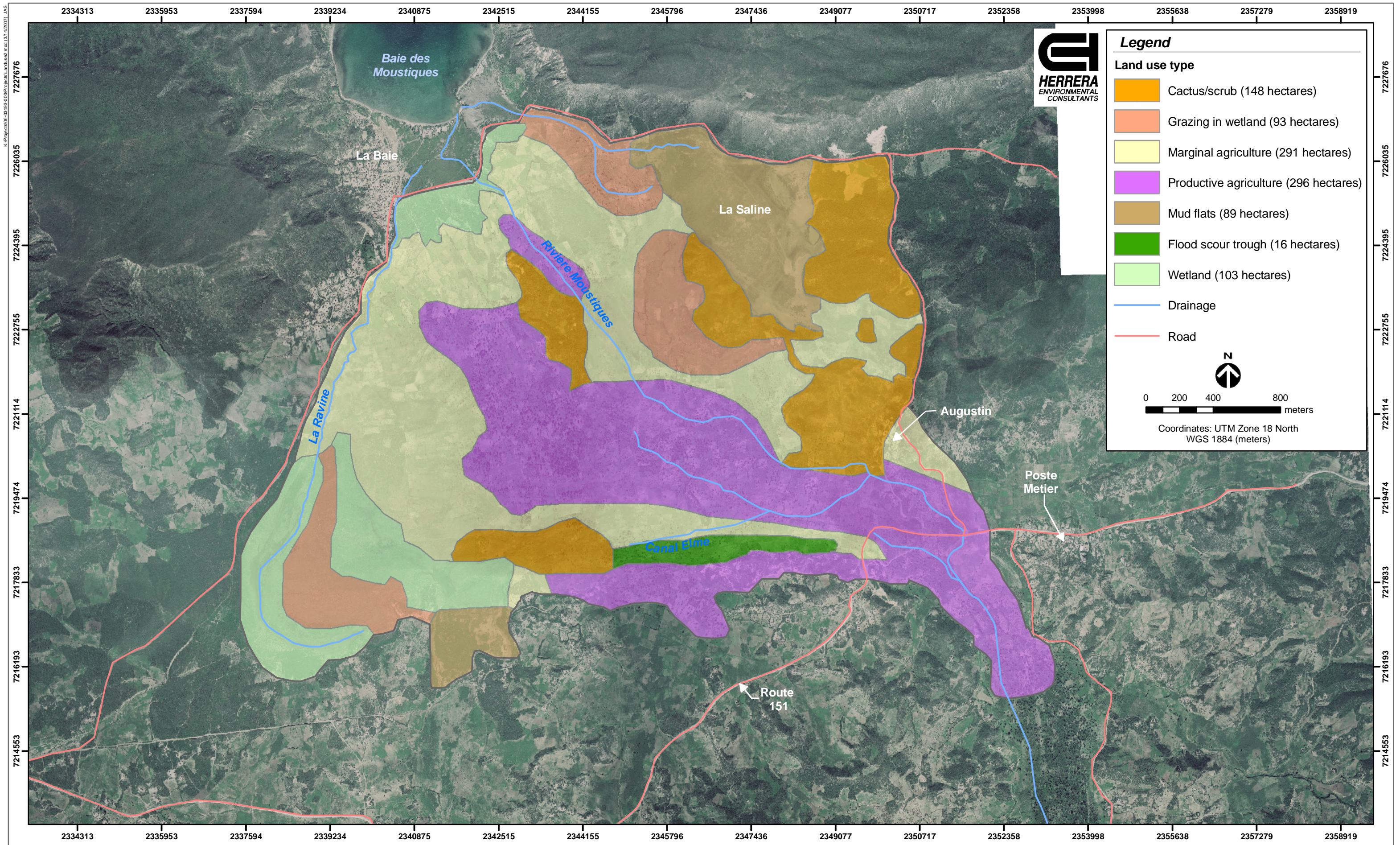


Figure E-3. Current land use in La Plaine des Moustiques.

Figure E-3. Exploitation actuelle du terrain de La Plaine des Moustiques.

acceptability, a community perception survey of local land owners and farmers was conducted by ODRINO agronomists and staff. The land owners and farmers unanimously recognized the need to improve drainage in order to increase agricultural production. Consensus opinion was that the work should be performed through a cooperative arrangement between the local community, the local irrigation associations, the government, and non-governmental organizations. Some indicated an ability to support the project financially, while the majority of respondents indicated a willingness to donate labor for the project.

The agricultural and economic benefits of the project may now begin to be assessed based upon risk analysis of the flooding behavior of the valley and the hydrologic benefits of the proposed alternatives. This entails a probabilistic assessment of flood magnitudes below bankfull elevations, where the structural measures recommended herein are assumed to be operational.

The existing local irrigation associations have continued to maintain the existing canals. Based upon discussions with officials from these associations, together with ODRINO, it appears that these associations have the capability of maintaining the hydraulic infrastructure under the proposed project. An umbrella organization should be designated with this responsibility and provided with a specific operations plan and technical assistance from ODRINO.

Site Conditions

Topographic cross sections of the Plaine des Moustiques reveal a convex form in which the highest elevations are closest to the river. The lateral gradient of the floodplain reaches about 1 percent, which is steeper than the 0.5 percent longitudinal gradient of the river. This is the result of continuing aggradation of the river bed and its adjacent banks. This increases the risk of channel avulsion, which in this case would likely result in Rivière des Moustiques cutting a new channel from the area upstream of Canal Glaci to the wetland at Nan Makày. The structural alternatives designed to minimize floodplain flooding are not meant to prevent an avulsion from occurring. It would be difficult and ultimately expensive to try to regulate the river in this manner.

Project Design

Various structural and non-structural solution alternatives were considered during the course of field investigations at the site. It became evident that selection and design of flood and drainage control features be based upon an understanding of river behavior and the floodplain geomorphology, and how the floodplain is expected to evolve, as described above. Various solution alternatives were modified or discarded as more knowledge of the river was gained. The proposed project design therefore consists of recommended alternatives, as presented in Figure E-4 that ideally should be undertaken together as a systems approach to restoration of the Plaine des Moustiques.

l'acceptabilité sociale du projet, une enquête semi directive a été réalisée auprès de la communauté locale d'agriculteurs et de propriétaires fonciers par les agronomes et le personnel de l'ODRINO. Les propriétaires et agriculteurs ont unanimement reconnu le besoin d'améliorer l'écoulement des eaux pour accroître la production agricole. L'opinion générale est que le projet doit être réalisé dans un cadre coopératif entre la communauté locale, les associations d'irrigation locales, le gouvernement et des organisations non gouvernementales. Certaines personnes ont indiqué qu'elles pouvaient soutenir le projet financièrement et d'autres, la majorité, se sont montrés disposés à travailler pour le projet.

Les avantages agricoles et économiques du projet ont ensuite pu être évalués en se basant sur l'analyse des risques du comportement inondable de la vallée et les avantages hydrologiques des alternatives proposées. Cela suppose une évaluation probabiliste de l'amplitude des inondations sous berge, où les mesures structurelles recommandées dans le présent rapport sont supposées opérationnelles.

Les associations d'irrigation locales ont continué à entretenir les canaux existants. Au terme des discussions menées entre les équipes de l'ODRINO et les responsables de ces associations, il apparaît que ces dernières ont la capacité d'effectuer la maintenance de l'infrastructure hydraulique proposée. Un organisme devra être désigné pour superviser la maintenance à l'aide d'un plan d'exploitation spécifique et l'assistance technique de l'ODRINO.

Conditions du Site

Une coupe transversale topographique de la Plaine des Moustiques montre une forme convexe dont les points les plus élevés sont les plus proches de la rivière. L'inclinaison latérale de la zone d'inondation atteint environ 1 pour cent, un chiffre supérieur à l'inclinaison longitudinale de 0.5 pour cent de la rivière. C'est le résultat de l'alluvionnement continu du lit de la rivière et de ses berges. Cela augmente de risque de formation de méandres ou de débordements répétés de la rivière, ce qui se traduirait par le changement naturel du lit de la rivière depuis la zone située en amont du canal Glaci jusqu'aux zones humides de Nan Makày. Les alternatives structurelles conçues pour réduire l'inondation de la plaine n'ont pas pour objectif d'endiguer la rivière ou de contrôler la sortie des eaux du lit de la rivière. Il serait difficile et, à terme, onéreux d'essayer de réguler la rivière de cette manière.

Conception du Projet

Diverses solutions structurelles et non structurelles ont été considérées au cours des recherches sur le terrain. Il est devenu évident que la détermination et la conception de systèmes de contrôle des crues et de l'écoulement des eaux devaient reposer sur la connaissance du comportement de la rivière, de la géomorphologie de la zone inondable ainsi que de l'évolution probable de cette dernière, tel que décrit plus haut. Plusieurs alternatives ont été modifiées ou rejetées à mesure que nous avons acquis davantage de connaissances sur la rivière. Les solutions proposées consistent donc en une approche systémique intégrant un ensemble cohérent de structures devant restaurer l'agriculture dans la plaine des Moustiques (voir Figure E-4).

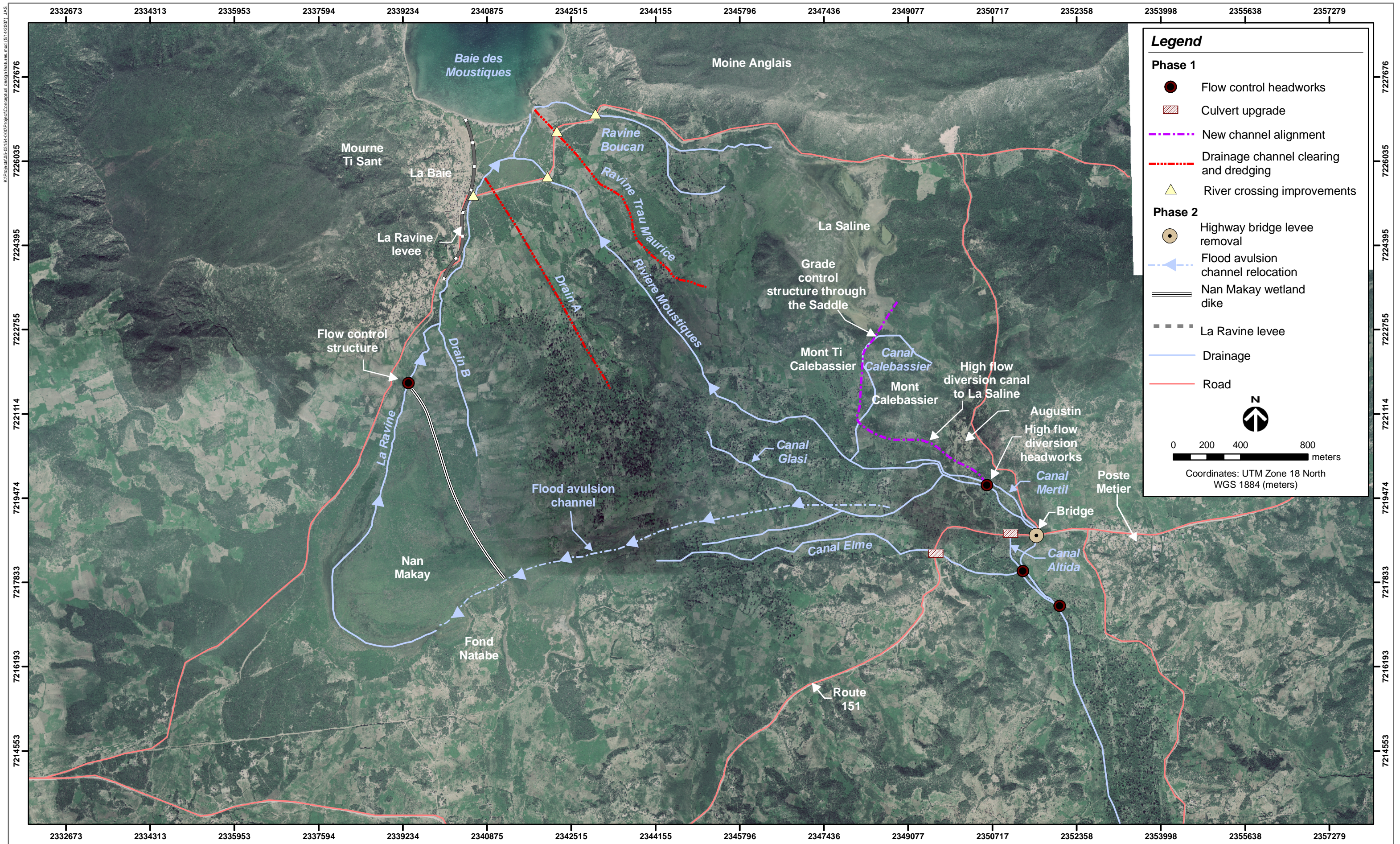


Figure E-4. Conceptual design elements.

Figure E-4. Elements du design conceptuel.

Implementation of the design recommendations is proposed to occur in two phases. In Phase I, specific structural features are designed to alleviate targeted and immediate needs to control irrigation flow volumes and reduce the severity and time extents of inundation of farmland. The uncontrolled flow of water into Canal Elmé, Altida, Glaci, and excess flows down the lower reaches of Rivière des Moustiques have resulted in excessively wet conditions in Nan Makày, causing the wetland area to expand.

Phase II presents guidance for the long-term management of the Plaine des Moustiques. These concepts require additional study, or represent long-term modifications that may be implemented over time.

Phase 1

The recommended alternatives in general fall into four classes:

- Diversion structures and canal rerouting for control of flows in major irrigation canals
- Diversion canal to remove flood volumes from the Plaine des Moustiques
- Improvement of drainage canals to reduce the period of inundation
- Culvert and bridge conveyance improvements to reduce impounding.

It should be noted that diversion structures become ineffective during overbank (very large) flow events when the entire floodplain is inundated, as the flood waters flow around the submerged structures. The diversion of water away from the Plaine des Moustiques to la Saline has a limited effect upon peak flood alleviation in the Plaine des Moustiques. However, revitalization and construction of drainage canals can reduce the period of inundation. The other measures described herein are effective for future regulation of irrigation water and flood control for medium floods only.

Elmé Diversion Structure

The Elmé Diversion Structure, located about 200 meters upstream of the Rivière des Moustiques-Route 151 bridge, will enable regulation of mid- to full-bank flows in the Elmé Canal. Currently, approximately one-half of the flow from Rivière des Moustiques is diverted into Elmé Canal during mid-range flows. The proposed inlet control structure will enable control of flows into the canal up to the bankfull flow. The structure will consist of a box culvert with H-pile guide rails. The box culvert height will extend from channel bottom to above the bank full elevation. Low flow control will be easily controlled by the hand placement of flashboards. High flow control will be provided by steel plates that will be lowered into position by a winch or block and tackle system. The plates are to be designed to withstand high water pressures. The winch system is to be designed to present a small obstruction footprint to overbank flows during extreme flood events. Channel degradation protection will be provided

Nous proposons que l'implémentation des recommandations s'effectue en deux phases distinctes: la Phase I consiste en projets structurels spécifiques conçus pour répondre aux besoins ciblés et immédiats de contrôler les volumes des flux d'irrigation et ainsi réduire la gravité des inondations sur les terres arables. L'écoulement d'eau non contrôlé dans les canaux Elmé, Altida et Glaci ainsi que l'excès d'eau dans le cours inférieur de la Rivière des Moustiques ont entraîné des conditions excessivement humides à Nan Makày, provoquant l'expansion de la zone humide.

La Phase II consiste en une série de conseils pour la gestion à long terme de la plaine des Moustiques. Ces concepts requièrent des études supplémentaires ou représentent des modifications à long terme pouvant être mises en œuvre avec le temps.

Phase 1

Les alternatives recommandées peuvent être classées dans quatre catégories:

- Des ouvrages de dérivation et le détournement des canaux pour le contrôle de l'écoulement dans les principaux canaux d'irrigation
- Des canaux de dérivation visant à dévier les inondations de la plaine des Moustiques
- L'amélioration des canaux de drainage afin de réduire la durée des inondations
- L'amélioration de l'adduction des caniveaux et des ponts afin de réduire la retenue d'eau.

Il est à noter que les ouvrages de dérivation deviennent inefficaces lors des crues importantes inondant toute la plaine, car l'eau s'écoule autour des ouvrages immergés. Le détournement de l'eau de la plaine des Moustiques vers La Saline a un effet limité sur la réduction des pics d'inondation dans la plaine des Moustiques. La revitalisation et la construction des canaux de drainage peuvent toutefois réduire la durée des inondations. Les autres mesures décrites dans le présent rapport sont efficaces pour la régulation future des eaux d'irrigation et le contrôle des inondations pour les crues moyennes uniquement.

Ouvrage de Dérivation d'Elmé

L'ouvrage de dérivation d'Elmé, située à environ 200 mètres en amont du pont de la Route 151, sur la Rivière des Moustiques, permettra la régulation des débits moyens et « en gueule » dans le canal Elmé. Environ la moitié du débit de la Rivière Moustique est actuellement détourné dans le canal Elmé lors des crues moyennes. La structure de la prise d'ouvrage proposée permettra de contrôler l'écoulement dans le canal jusqu'à ras bord. L'ouvrage consistera en un ponceau rectangulaire avec guides sur pieux en H. Le ponceau s'élèvera du fond du canal jusqu'au-dessus des élévations au niveau des berges. Les débits faibles seront facilement contrôlés grâce à l'utilisation manuelle de hausses. Le contrôle des débits élevés s'effectuera avec des plaques en acier abaissées à l'aide d'un treuil ou d'un système de palans à moufles. Les plaques seront conçues pour résister à de fortes pressions. Le treuil sera quant à lui conçu pour présenter peu de résistance au débit lors des crues importantes. La protection du canal contre l'érosion se fera

by rock-filled gabions embedded in the channel upstream and downstream of the proposed diversion structure.

Altida Diversion Structure

Canal Altida occurs about 300 meters upstream of Canal Elmé. The current diversion structure experiences severe sediment deposition and the inadequately regulated discharges into Canal Altida cause excessive flows to Nan Makày. The proposed diversion may be moved upstream to provide for a deeper diversion structure or may be retrofitted in the existing location. Design of the diversion structure will be similar to that of Canal Elmé.

Glaci, Mertil, and Calebassier Diversion Structures

The Canal Glaci canal is located approximately 1,200 meters downstream of the Route 151 bridge. Farmers complain that too much water enters this canal. Relocation and realignment of this canal was initially considered however water right and land ownership concerns resulted in recommending a new proposed inlet in the existing location. The remaining canals, Mertil and Calebassier in addition to Glasi, will have a proposed inlet control structure that will enable the control of flows into the canal up to the bankfull flows and will be similar to that of Canal Elmè.

La Saline Diversion Canal

A major problem in the Plaine des Moustiques is the presence of too much water in the floodplain during bankfull flow and overbank flow flood events, exceeding the ability of the floodplain to convey those flood waters to Baie des Moustiques in an expedient time. Control of flows into the Elmé, Altida and Glaci canals may potentially exacerbate the flows down the main channel of Rivière des Moustiques. La Saline, a salt crusted mud flat north of the saddle between Mont Calebassier and Ti Mont Calebassier, provides a place to discharge large quantities of flood water without inundating farmland (see Figure E-2). A trapezoidal channel is proposed, approximately 800 meters in length, 3 meters wide at the bottom, 2 to 2.5 meters deep with 2.5:1 sideslopes. The channel will generally be sloped to match the valley floor, and hug the hillsides at the toe of Mont Calebassier. The channel will be cut through the Calebassier saddle, where the channel will reach a maximum depth of about 3.5 meters. The canal may be lined with concrete to maximize conveyance and channel stability. The existing Canal Calebassier will be relocated or reconnected to the La Saline Diversion Canal, so that irrigation to the Augustin area can continue.

Canal Elmé and Canal Altida Box Culvert Replacements

The concrete box culverts at Canal Elmé and Canal Altida where they cross Route 151 are both undersized. The height of the culverts is too small, and conveyance constriction has resulted in flooding and shoaling on the upstream sides of the culverts. These will be replaced with larger box culverts, with increased height and width. The highway will be raised for about 50 to 100 meters on each side of the crossings to accommodate the raised culverts. The bottom elevations of the culverts will remain unchanged. Rock-filled gabions will provide grade erosion control upstream and downstream of the culverts.

à l'aide de gabions enfoncés dans le canal en amont et en aval de l'ouvrage de dérivation proposé.

Ouvrage de Dérivation d'Altida

Le canal Altida se trouve à environ 300 mètres en amont du canal Elmé. L'ouvrage de dérivation actuel subit une importante sédimentation et les décharges mal régulées dans le canal Altida provoquent des écoulements excessifs vers Nan Makày. La dérivation proposée pourra être déplacée en amont afin de fournir un ouvrage de dérivation plus profond ou bien consistera en une mise à niveau de l'emplacement existant. La conception de l'ouvrage de dérivation sera similaire à celle du canal Elmé.

Ouvrages de Dérivation de Glaci, Mertil et Calebassier

Le canal Glaci est situé à environ 1,200 mètres en aval du pont de la Route 151. Les agriculteurs se plaignent que trop d'eau emprunte ce canal. Le déplacement et le réaligement de ce canal avaient été initialement prévus mais les droits d'usage de l'eau et des problèmes fonciers ont conduit à proposer une nouvelle prise d'ouvrage à l'emplacement existant. Les canaux restants, Mertil et Calebassier, bénéficieront d'une structure de contrôle du débit permettant la régulation des écoulements dans le canal jusqu'aux débits « en gueule » et seront similaires à celle du canal Elmé.

Canal de Dérivation de La Saline

L'un des principaux problèmes de la plaine des Moustiques est lié à l'excès d'eau dans la zone inondable lors des crues au ras et au-dessus des berges, qui dépassent la capacité de la plaine à amener ces eaux de crue dans la Baie des Moustiques en un temps suffisamment court. Le contrôle des débits dans les canaux Elmé, Altida et Glaci peut potentiellement aggraver les débits dans le cours principal de la Rivière des Moustiques. La Saline, une plaine de boue salée située au nord de l'ensellement entre le Mont Calebassier et le Ti Mont Calebassier, offre le site idéal où déverser de grandes quantités d'eaux de crue sans inonder de terres arables (voir la Figure E-2). La proposition consiste en un canal trapézoïdal d'environ 800 mètres de long, de 3 mètres de large au fond et de 2 à 2.5 mètres de profondeur avec une inclinaison des bords de 2.5:1. Le canal sera conçu de manière à suivre la pente naturelle de la vallée et à serrer les flancs du Mont Calebassier à sa base. Il sera creusé dans l'ensellement où il atteindra une profondeur maximum d'approximativement 3.5 mètres. Il pourra enfin être recouvert de béton afin de maximiser l'adduction d'eau et d'améliorer sa stabilité. Le canal Calebassier existant sera déplacé ou reconnecté au canal de dérivation de La Saline de manière à ce que l'irrigation de la zone d'Augustin ne soit pas interrompue.

Remplacement des Dalots des Canaux Elmé et Altida

Les dalots en béton des canaux Elmé et Altida à l'intersection avec la route 151 sont d'une taille trop petite provoquant l'étranglement de l'adduction et entraînant des inondations et la création de hauts-fonds en amont. Ceux-ci seront remplacés par des dalots plus larges et plus hauts. La route sera surélevée sur une distance de 50 à 100 mètres de chaque côté de l'intersection afin de pouvoir loger les nouveaux dalots. L'élévation du fond des dalots restera inchangée. Des gabions serviront enfin à réduire l'érosion en amont et en aval des dalots.

Phase 2

Highway Bridge Levee Relocation

The existing Rivière des Moustiques bridge under Route 151 has filled in with sediment, reducing its conveyance capacity by nearly half. Overbank flooding has increased, as suggested by anecdotal descriptions of flooding over Route 151. Preliminary investigation suggests that removal of the existing right bank levee may result in increased flows through the channel during large floods. The possible result of this restoration of flow through the channel is to scour out the shoaled material, increasing the conveyance capacity of the bridge, and reducing the overbank flooding upstream of the bridge and over Route 151. This is to be further modeled to determine whether levee removal will be effective before recommendations are finalized.

Floodway Avulsion Channel Relocation

The convex shape of the Plaine des Moustiques is the result of continuing aggradation of the river bed and its adjacent banks from massive sediment loads being transported from the upper watershed. Over time, the natural progression of the river channel is to avulse or switch course as the resistance due to an ever increasing bed elevation becomes too great. It has been estimated that the bed elevation is increasing by 0.15 meters per year. The alignment of a new avulsion channel is currently exhibited during over bank floods where a majority of flood water follows the pathway of Canal Elmé and Glaci to Nan Makey and then exits via the Ravine (Figure E-3). This channel will eventually switch course and should be managed and planned for to protect agricultural infrastructure and lives.

The preferred location of the new channel would be located between Canal Elmé and Glaci as denoted in Figure E-4. The channel form and shape would be based on historic photos and analysis to determine optimum dimensions. It would be designed to allow for low flow conveyance as well as handle the much larger flows that occur on the floodplain. The implementation of this design approach would be carried out in different phases. The first phase would primarily involve channel excavation and the planting of riparian vegetation along its bank to prevent erosion and help stabilize soil. It is anticipated the annual floods will use this channel as the primary conveyance route, therefore it will be possible to evaluate whether the channel design is adequate. The second phase would involve abandoning the current Rivière des Moustiques channel and diverting water to the new avulsion channel. Careful analysis would be carried out to see if an additional irrigation canal would be needed to supplement portions of the floodplain adversely affected by this diversion.

Nan Makày Wetland Dike

Inundation of the Nan Makày wetland is the result of the excessive flows that discharge westward from Rivière des Moustiques in the reach between the existing Canal Elmé and Canal Glaci diversions. This phenomenon is expected to continue or increase. Ponding of the Nan Makày wetland can be made to serve useful purposes as flood storage and as a shoaling basin. A one-meter high dike along the northern boundary of the wetland is recommended together with a

Phase 2

Déplacement de la Levée du Pont

Le pont existant sous la Route 151 s'est rempli de sédiments et sa capacité d'adduction a été réduite de moitié. Les inondations au-dessus des berges ont augmenté, comme l'illustrent les descriptions anecdotiques d'inondations sur la Route 151. Les études préliminaires montrent que la suppression de la levée située sur la rive droite de la Rivière des Moustiques pourrait augmenter le débit dans le canal lors des crues importantes. La restauration du débit dans le canal pourrait permettre d'évacuer les sédiments accumulés, d'accroître la capacité d'adduction du pont et donc de réduire les inondations au-dessus des berges en amont et sur la Route 151. Des études de modélisation plus poussées devront être réalisées afin de déterminer si la suppression de la levée sera effectuée avant la finalisation des recommandations.

Déplacement du Chemin Naturel de l'Eau

La forme convexe de la plaine de Moustiques est le résultat du dépôt successif de sédiments provenant de l'amont du bassin versant sur le lit mineur et majeur de la rivière. Avec le temps, l'évolution naturelle de la rivière est de changer de cours à mesure que s'accroît la résistance offerte par un lit en constante élévation. On estime en effet que ce dernier s'élève de 0.15 mètres par an. L'alignement d'un nouveau lit naturel est actuellement visible lors des inondations au-dessus des berges, lorsque la plupart des eaux de crues suivent le chemin des canaux Elmé et Glaci vers Nan Makày puis sortent via la Ravine (voir la Figure E-3). Ce canal finira par changer de cours et doit donc être surveillé et étudié de manière à protéger des vies et les infrastructures agricoles.

L'emplacement idéal du nouveau lit se situe entre les canaux Elmé et Glaci, comme indiqué sur la Figure E-4. Des photos et une analyse du terrain serviront à définir une forme et des dimensions optimum. Il sera conçu pour permettre l'adduction des petites crues ainsi que celles plus importantes qui frappent la région. La mise en œuvre de cette approche se fera en deux parties. La première consistera à creuser le lit et à planter une végétation rivulaire sur ses berges afin de réduire l'érosion et stabiliser le sol. On prévoit que les inondations annuelles utiliseront ce nouveau lit comme voie d'adduction primaire, ce qui rend possible d'évaluer si sa conception est adéquate ou non. La deuxième partie consistera à abandonner le canal actuel de la Rivière des Moustiques et à dévier l'eau vers le nouveau lit. Une étude approfondie devra être réalisée afin de savoir si un canal d'irrigation supplémentaire sera nécessaire pour alimenter en eau les parties de la plaine inondable touchées par cette dérivation.

Digue de la Zone Humide de Nan Makày

L'inondation de la zone humide de Nan Makày est le résultat de crues excessives qui se déchargent à l'ouest de la Rivière des Moustiques, dans l'étendue qui sépare les ouvrages de dérivation des canaux Elmé et Glaci. On s'attend à ce que ce phénomène s'accroisse avec le temps. Il serait utile de creuser le fond de la zone humide de Nan Makày afin d'accueillir les eaux de crues et de servir de bassin de sédimentation. La construction d'une digue d'un mètre de haut à la limite nord de la zone humide est recommandée, de même

flow control structure within the Ravine at the northwest edge of the wetland. The preliminary concept for the flow control structure is a box culvert with H-pile guide rails. The box culvert height will extend from the channel bottom of the Ravine to the top of the wetland dike. Manually placed batter boards will provide flow control, and flood relief to the low area along the Ravine downstream of the wetland.

The Ravine Levee

Flows from the avulsion of Rivière des Moustiques toward Nan Makày will require channel improvements along the Ravine to the Baie des Moustiques. A detailed topographic and hydraulic analysis is recommended for the consideration of a levee and channel improvements to protect the town of La Baie.

Basin Reforestation

The frequency, severity, and suddenness of floods in Rivière des Moustiques is primarily the result of deforestation of the watershed. This is a well-known problem throughout Haiti. A basin reforestation program beginning with restoration of a forested buffer zone along Rivière des Moustiques will reduce floods and sedimentation resulting from floods.

Riparian Restoration

Within the Plaine des Moustiques, a riparian restoration plan should be developed to provide a continuous vegetative buffer along Rivière des Moustiques and along the major canals. The plan should implement the planting of a 10-meter buffer of trees and shrubs to restore riparian functions on either side of the waterways. This will stabilize banks, increase floodplain roughness, reduce the energy of flood flows, and help block debris from entering canals and streams. Fruit-bearing trees and other vegetation with strong root structures are recommended for planting.

Flood Warning/Response Program

There is currently no flood warning/flood response program in the Rivière des Moustiques drainage basin. As flooding has resulted in loss of life, and will likely continue to do so, a flood warning program should be initiated. A simple network of alarms and sirens in heavily flood-prone areas could be extremely effective in waking people, and in giving people sufficient time to evacuate themselves and their animals before a flood wave strikes. Responsible persons in the upper basin and along the river could be linked by cell phone or by sounding a string of alarms.

Agricultural Benefits of the Project

The community survey of 50 farmers in the Plaine des Moustiques found that, for the majority of farmers, floodwaters from major storm events inundated their crops for 1 or more months (57 percent). After a flooding event, 31 percent of farmers were unable to work their croplands for 3 months or more. Twenty-nine percent have to wait 2 to 3 months and another 29 percent

qu'un ouvrage de régularisation du débit dans la Ravine, à la limite nord-ouest de la zone humide. Le concept préliminaire pour cet ouvrage consistera en un ponceau rectangulaire avec guides sur pieux en H. Le ponceau s'élèvera du fond du canal de la Ravine jusqu'au niveau supérieur de la digue. Des chevalets seront disposés manuellement afin de contrôler le débit et soulager les crues dans la partie de la zone humide située en aval de la Ravine.

Levée de la Ravine

Le déplacement du lit naturel de la Rivière des Moustiques vers Nan Makày nécessitera l'amélioration du canal le long de la Ravine jusqu'à la Baie des Moustiques. La réalisation d'une étude topographique et hydraulique est recommandée pour déterminer dans quelle mesure la levée et le canal doivent être améliorés afin de protéger la ville de La Baie.

Reforestation du Bassin

La fréquence, la gravité et la soudaineté des crues de la Rivière des Moustiques sont avant tout le résultat de la déforestation de son bassin versant. Il s'agit d'un problème bien connu en Haïti. Un programme de reforestation du bassin commençant par la restauration d'une zone tampon boisée le long de la Rivière des Moustiques permettra de réduire les inondations et la sédimentation qui s'en suit.

Restauration de la Ripisylve

Un plan de restauration de la ripisylve de la plaine des Moustiques devra être développé afin d'offrir un tampon végétal le long de la Rivière des Moustiques et des principaux canaux. Ce plan devra comprendre la plantation d'une zone tampon composée d'arbres et d'arbustes de 10 mètres de large afin de restaurer les fonctions rivulaires de chaque côté du cours d'eau. Cela permettra de stabiliser les berges, d'accroître la rugosité de la zone inondable, de réduire la force des crues et d'éviter que des débris n'entrent dans les canaux et les cours d'eau. Des arbres fruitiers et autres plantes à système racinaires fortement développé sont recommandés.

Programme d'Alerte/de Réponse aux Inondations

Il n'existe actuellement aucun programme d'alerte/de réponse aux inondations dans le bassin versant de la Rivière des Moustiques. Étant donné que les inondations ont déjà fait des victimes, et qu'elles en feront probablement d'autres, un plan d'alerte aux inondations devrait être mis en place. Un simple réseau d'alarmes et de sirènes dans les zones à risque élevé pourrait s'avérer très efficace pour réveiller les habitants et leur donner suffisamment de temps pour évacuer la zone avec leurs animaux avant l'arrivée de l'onde de crue. Des responsables pourraient être désignés dans le bassin supérieur et le long de la rivière et donner l'alarme par téléphone portable ou à l'aide de sirènes.

Avantages Agricoles du Projet

L'étude menée auprès de 50 agriculteurs de la plaine des Moustiques montre que, pour la majorité d'entre eux, des crues provoquées par des tempêtes ont inondé leurs cultures pendant 1 ou plusieurs mois (57 pourcent) après une inondation, 31 pourcent des agriculteurs ne peuvent pas travailler dans leurs champs pendant 3 mois ou plus. Vingt-neuf pourcent d'entre eux doivent attendre entre 2 et 3 mois et encore 29 pourcent

are prevented from working for 1 to 2 months. These events occur, on average, each year for 29 percent of farmers and at least once in 5 years for 69 percent of farmers. When such flood events occur, farmers unanimously complain that the flood kills the plants in their gardens. In addition, over 86 percent of those surveyed complained that crops not destroyed in the flood did not grow well after flooding. These results indicate that agricultural damage from flooding is frequent, pervasive, and has largely resulted from the long periods of flood inundation following storm events. It is expected that solutions to restore agricultural productivity by better managing drainage would therefore alleviate the frequency and severity of flooding of the productive agricultural areas and would also increase the potential for agriculture in areas currently not farmed.

We estimate that by implementing the Phase 1 concepts described in this report, agricultural productivity within the Plaine des Moustiques could increase from 296 hectares to 587 hectares by making the currently marginal agricultural gardens (291 hectares) more productive. This would increase lands that could support productive gardens (gardens capable of producing fruit-bearing trees such as mango and coconut, plantains and corn with beans, potatoes, manioc, and onions in the understory) to 57 percent of the plain (more than double current conditions (see Figure 13). This would occur because gardens located on marginally productive lands would realize improved drainage. This would allow for more optimum growing conditions for a greater diversity of food producing species. In addition the recommended improvements would lessen the frequency of crop destroying flood events.

The improvements identified for Phase 2 will also impart significant agricultural benefits by increasing the potential for agricultural productivity within Nan Makày (103 hectares) and La Saline (80 hectares). These areas are currently used for limited animal grazing and are not viable for crop production. By improving drainage and restoring soil fertility in these areas an additional 183 hectares could be used for increased agricultural production in the long term for a total increase of 474 hectares over the existing 296 hectares of productive gardens. This would be a 160 percent increase in potentially productive agricultural lands over current conditions within the Plaine des Moustiques.

Additional Studies

This report presents a recommended course of action to provide agricultural reclamation in the Plaine des Moustiques. Designs for the structural elements provided are conceptual only. Development of final design plans and specifications should be based upon additional studies of basin flooding and sedimentation. Additional topographic information is also needed. A LiDAR survey of the floodplain is strongly recommended.

A detailed analysis of the agricultural and economic benefits of the project should be completed based upon risk analysis of flooding, and a more detailed HEC-RAS floodplain model showing flood depths in various locations of the Plaine des Moustiques. This analysis is required as a first step in the next design phase of the project. Similarly, development of a plan for management organization is needed to work out the details of project maintenance following implementation.

ne peuvent pas travailler entre 1 et 2 mois. De tels événements se produisent en moyenne chaque année pour 29 pourcent des agriculteurs et au moins une fois tous les 5 ans pour 69 pourcent d'entre eux. Pendant ces inondations, les agriculteurs se plaignent unanimement que leurs propres jardins ont été détruits. Par ailleurs, plus de 86 pourcent des agriculteurs interrogés ont indiqué que les cultures non détruites pendant l'inondation voyaient postérieurement leur croissance ralentie. Ces résultats montrent que les dégâts provoqués par les inondations sur les cultures sont fréquents, généralisés et résultent principalement des longues périodes de stagnation de l'eau dans les cultures après les tempêtes. Il est attendu que les solutions visant à restaurer la productivité agricole en contrôlant le drainage de manière plus efficace permettront de réduire la fréquence et la gravité des inondations des zones arables et d'accroître le potentiel agricole des zones non encore cultivées.

On estime qu'en implémentant les propositions de la Phase 1 décrites dans ce rapport, la productivité agricole de la plaine des Moustiques pourrait passer de 296 à 587 hectares, en particulier grâce à l'augmentation de la production des jardins cultivés, qui représentent 291 hectares. Cela augmenterait la superficie des terres pouvant accueillir des jardins vivriers (c'est-à-dire capables de produire des arbres fruitiers tels que des manguiers, des cocotiers ou des plantains, avec du maïs, des haricots, du manioc et des oignons comme végétation de sous-étage) de 57 pourcent, soit le double de la production actuelle (voir la Figure 13). Cela s'explique par le fait que les jardins situés sur des terres peu productives profiteraient de l'amélioration du drainage. Cela se traduirait par des conditions de culture optimisées pour une plus grande diversité d'espèces vivrières. Par ailleurs, les améliorations recommandées réduiraient également la fréquence des crues dévastatrices.

Les améliorations identifiées à la Phase 2 auront également un impact considérable sur la production agricole, notamment en augmentant le potentiel agricole des zones de Nan Makày (103 hectares) et de La Saline (80 hectares). Celles-ci sont actuellement utilisées comme pâturages et ne sont pas viables pour la culture. En améliorant le drainage et en restaurant la fertilité du sol dans ces zones, 183 hectares supplémentaires pourraient être utilisés afin d'accroître la production agricole à long terme, pour un total de 474 hectares sur les 296 hectares de jardins vivriers. Cela aboutirait à une augmentation totale de 160 pourcent des terres potentiellement arables par rapport aux conditions actuelles de la plaine des Moustiques.

Études Complémentaires

Ce rapport recommande une ligne de conduite visant à mettre en valeur les terres de la plaine des Moustiques. La conception des éléments structurels proposés n'est qu'à l'état de concept. Le développement des plans et du cahier des charges définitifs devra reposer sur des études complémentaires des principes d'inondation et de sédimentation du bassin. Des informations topographiques supplémentaires seront également nécessaires. Il est également fortement conseillé de réaliser une étude LiDAR de la zone inondable.

Une analyse détaillée des avantages économiques et agricoles du projet devra également être réalisée par rapport à l'analyse des risques d'inondation, ainsi qu'un modèle numérique HEC-RAS de la plaine des Moustiques indiquant la profondeur des inondations en divers points. Cette analyse est en effet nécessaire pour la seconde phase du projet. De la même manière, un plan de développement pour l'organisme de gestion sera nécessaire afin de définir les détails de la maintenance du projet une fois l'implémentation terminée.

Background

Projectgroep voor Technische Ontwikkelings Samenwerking (PROTOS), a non-governmental organization based in Gent, Belgium, is dedicated to improving water management in developing countries. They have teamed with Organisation du Développement Rural Intégré du Nord-Ouest (ODRINO) and L'Union Évangélique Baptiste d'Haïti (UEBH), a non-governmental organization based in Poste Metier, Haiti, to execute an irrigation program in the watershed of the Rivière des Moustiques in the Northwest of Haiti. As part of this program, the team of Mark Siegenthaler and Herrera Environmental Consultants has been contracted to conduct a flooding and drainage study of the Plaine des Moustiques.

The Rivière des Moustiques drainage basin, located in rural northwest Haiti, drains a 222 square kilometer (km²) semi-arid drainage basin comprising a portion of northwest Haiti west of Port de Paix, see Figure 1. The Plaine des Moustiques is an alluvial distributary fan roughly consisting of the lower river between the mouth at the Baie des Moustiques, and the Route 151 highway crossing about 3 kilometers upstream of the mouth, as shown in Figure 2. The floodplain comprising Rivière des Moustiques has historically been a rich agricultural area, known for its high quality plantains, and producing a wide variety of crops. Irrigation and drainage canals were constructed throughout the Plaine des Moustiques in the 1950s to sustain approximately 1000 hectares (10 km²) of farmland. However, in recent years, repeated and prolonged flooding has killed crops, filled canals with sediment and destroyed the arability of large portions of the floodplain. As a consequence subsistence farming within the basin has become increasingly difficult, even impossible in many areas, due to a paucity of farmable land and inadequate drainage and irrigation infrastructure.

This report provides detailed documentation of the proposed project, findings from the site visit, and presents conceptual designs for proposed drainage and irrigation improvements.

Contexte

Projectgroep voor Technische Ontwikkelings Samenwerking (PROTOS), une agence non-gouvernementale basée à Gent, en Belgique, s'est donné pour mission d'améliorer la gestion de l'eau dans les pays en voie de développement. PROTOS s'est associé avec l'Organisation du Développement Rural Intégré du Nord-Ouest (ODRINO) et l'Union Évangélique Baptiste d'Haïti (UEBH), une organisation non-gouvernementale établie à Poste Métier, en Haïti, afin de réaliser un programme d'irrigation dans le bassin versant de la Rivière des Moustiques, dans le département du Nord-Ouest d'Haïti. Dans le cadre de ce programme, l'équipe de Mark Siegenthaler et Herrera Environmental Consultants ont été engagés afin de réaliser une étude sur les moyens de lutte contre les inondations dans la plaine des Moustiques.

Le bassin hydrographique de la Rivière des Moustiques, situé dans le nord-ouest d'Haïti, draine une zone semi-aride de 222 kilomètres carrés comprenant la partie ouest de la ville de Port-de-Paix (voir la Figure 1). La plaine des Moustiques est un cône alluvial comprenant approximativement le cours inférieur de la rivière, entre l'embouchure de la Baie des Moustiques et la Route 151 qui traverse la zone à environ 3 kilomètres en amont, comme illustré à la Figure 2. Dans les années 1950, des canaux d'irrigation et de drainage ont été construits dans la plaine des Moustiques afin d'alimenter environ 1,000 hectares (10 km²) de terres arables. Ces dernières années, toutefois, des inondations répétées et prolongées ont détruit les cultures, rempli les canaux de sédiments et rendu impropres à la culture de vastes portions de la plaine inondable. L'agriculture de subsistance est devenue de plus en plus difficile dans le bassin, voire même impossible dans de nombreuses zones, en particulier à cause de la pénurie de terres arables et de l'inefficacité des infrastructures de drainage et d'irrigation.

Ce rapport fournit une documentation détaillée du projet, présente les résultats des études menées sur le terrain et propose enfin des scénarii alternatifs pour améliorer le drainage et l'irrigation de la plaine.

Project Objectives

This study analyzes the causes and extent of flooding in the Plaine des Moustiques, and presents design alternatives and recommendations for flooding and drainage improvements. The main objectives of the drainage study are to:

- Conduct field investigations to collect physical, process, and social data necessary to develop concept design alternatives
- Develop solutions to alleviate intermittent flooding and restore irrigation, including a management structure for operations and maintenance
- Evaluate the solutions based on factors including flood control benefit and risk, agricultural benefit, ecological impact, cost, maintenance, and sustainability
- Develop conceptual design drawings for the preferred solutions
- Develop and document project findings, design recommendations, future study needs, and conclusions. This report will provide a foundation for subsequent funding requests to complete the design and construction of the recommended solutions.

Objectifs du Projet

Cette étude analyse les causes et l'ampleur des inondations dans la plaine des Moustiques et présente des alternatives ainsi que des recommandations pour améliorer le drainage et réduire l'impact des inondations. Les principaux objectifs de l'étude de drainage consistent à:

- Réaliser des enquêtes sur le terrain afin de recueillir les données physiques et sociales ainsi que des informations sur les processus nécessaires au développement d'alternatives techniques
- Développer des solutions pour réduire l'impact des inondations et restaurer l'irrigation, y compris une structure de gestion pour l'exploitation et la maintenance des solutions proposées
- Évaluer les solutions en se basant sur divers facteurs parmi lesquels les bénéfices et les risques liés au contrôle des crues, les avantages agricoles, l'impact écologique, le coût, la maintenance et la durabilité
- Développer des scénarii d'aménagement pour les solutions proposées
- Développer et documenter les résultats du projet, les recommandations techniques, les besoins futurs en matière d'études et les conclusions. Ce rapport servira de base pour les levées de fonds futures afin de mener à bien des solutions proposées.

Methodology

A summary of methods used for this project are outlined below. Detailed methods and findings are presented in the appendices that are included in this final report.

Preliminary investigations prior to visiting the site were used to produce the following information:

1. Delineated Rivière des Moustiques drainage basin. Delineated and determined areas of sub-basins. Delineated the Plaine des Moustiques and calculated the plain area.
2. Developed georeferenced GIS maps of the Plaine des Moustiques from 2m MapInfo or Arcgis files. Obtained meteorological data for major storm events. Obtained old and recent storm data from the Haitian meteorological agency, and from other sources. Developed a design storm consistent with local climate.
3. Obtained geologic maps of the drainage basin. Characterized the hydro-geology of sub-basins.
4. Investigated research on sediment budgets of similar basins from Haitian and other regional sources.
5. Coordinated with ODRINO Haitian staff to delineate the plain's present land use and crop yields, historic land use, and locations of sediment deposition.
6. Instructed and coordinated ODRINO Haitian staff to obtain anecdotal information from local residents regarding flood inundation depth, inundation frequency, length of inundation, areal extent of inundation, and inundation impacts.
7. Developed preliminary alternative concepts for flood control and irrigation reclamation within the Plaine des Moustiques. Applied an integrated water management approach.

During the first site visit, the following was accomplished:

1. Obtained the physical characteristics (geomorphology, hydrology, hydrography, soils, vegetation distribution, habitat distribution) of the Plaine des Moustiques within the Rivière des Moustiques river watershed.

Méthodologie

Les méthodes utilisées pour ce projet sont présentées ci-dessous. Le détail des méthodes ainsi que les résultats sont décrits dans les annexes fournies à la fin de ce rapport final.

Avant les visites sur le terrain, des études préliminaires ont été utilisées pour produire les informations suivantes:

1. Délimitation du bassin versant de la Rivière des Moustiques. Délimitation des sous-bassins. Délimitation de la plaine des moustiques et calcul de la superficie.
2. Développement de cartes orthophoto géoréférencées de la plaine des Moustiques à partir de fichiers MapInfo 2m ou Arcgis. Recueil de données météorologiques pour les principales tempêtes. Recueil d'informations météorologiques anciennes et récentes sur les tempêtes auprès de l'observatoire météorologique haïtien et d'autres sources développement d'un modèle météorologique adapté au climat local.
3. Recueil de cartes géologiques du bassin hydrographique. Caractérisation de l'hydrogéologie des sous-bassins.
4. Investigation des dépôts de sédiment de bassins similaires auprès de sources haïtiennes et régionales.
5. Coordination avec l'équipe haïtienne de l'ODRINO afin de définir l'utilisation des sols, le rendement des cultures, l'utilisation historique des sols et les lieux de sédimentation.
6. Coordination avec l'équipe haïtienne de l'ODRINO afin d'obtenir auprès des résidents locaux des informations sur la profondeur, la fréquence, la longueur, l'étendue et l'impact des inondations.
7. Développement d'alternatives préliminaires pour le contrôle des crues et la mise en valeur des terres irriguées dans la plaine des Moustiques Application d'une approche de gestion de l'eau intégrée.

Lors de la première visite sur le terrain, les initiatives suivantes ont été menées à bien:

1. Obtention des caractéristiques physiques (géomorphologie, hydrologie, hydrographie, sols, distribution de la végétation et de l'habitat) de la plaine des Moustiques au sein du bassin versant de la Rivière des Moustiques.

2. Performed supplemental mapping within the Plaine des Moustiques to supplement existing GIS information. Cross-sections of Rivière des Moustiques were taken from the head of Altida Canal approximately 500 meters upstream of the Route 151 bridge to the head of the Glaci Canal, located about 1,200 meters downstream of the Route 151 bridge. A detailed topographic survey was performed of a portion of the Plaine des Moustiques, from Rivière des Moustiques about 600 meters downstream of the Route 151 bridge to the saddle south of La Saline (saline plate) coinciding with the route of the proposed La Saline diversion canal. Cross sections across the river valley were taken using decimeter accuracy level GPS. Canal routes and floodplain features were located from traverses using 3-meter accuracy level GPS.
3. Conducted soil sampling in the Plaine de Moustiques. Dug bore holes to several feet depth, sufficient to identify soil type, historic and present soil conditions, seasonal water table, and sedimentation quantities.
4. Conducted watershed and basin ground truthing and reconnaissance to verify and map channel migration zones, potential debris flow hazards, historic channels, and evolution of river beds in the plain.
5. Conducted an existing conditions assessment to determine the operability of existing canals and to map locations of existing canal sedimentation blockages.
6. Assessed sedimentation rates within the floodplain.
7. Based on the data collected solutions were proposed that included restoration, construction, and land management activities. The financial feasibility, the sustainability and the maintenance level required to control the flood waters of the plain were also evaluated.
8. Performed field reconnaissance of the locations of the proposed solutions. Conducted preliminary assessment of physical feasibility of preliminary design concepts.
9. Identified land constraints and land ownership diversity.
10. Collected information from the local population about their perception of how to improve the plain and how they would contribute to that effort.

2. Réalisation de cartes supplémentaires de la plaine des Moustiques afin de compléter les informations SIG disponibles. Réalisation de coupes transversales de la Rivière des Moustiques depuis l'extrémité du canal Altida, à environ 500 mètres en amont du pont de la Route 151, jusqu'à l'extrémité du canal Glaci, situé à environ 1 200 mètres en aval du même pont. Une étude topographique détaillée a été réalisée sur une portion de la plaine des Moustiques, depuis la rivière, à environ 600 mètres en aval du pont de la Route 151, jusqu'à l'ensellement situé au sud de La Saline (plateau de La Saline), correspondant au tracé proposé du canal de dérivation de La Saline. Les coupes transversales de la vallée ont été réalisées avec un GPS au décimètre de précision. Le tracé des canaux et les points stratégiques tels que les dalots, ponts, etc. de la zone inondable ont été localisés par des traverses utilisant une précision de 3 mètres au GPS.
3. Échantillonnage des sols de la plaine des Moustique à l'aide de trous de sonde de plusieurs pieds, suffisamment profonds pour identifier le type de sol, les conditions passées et présentes, la nappe phréatique saisonnière et les quantités de sédiments.
4. Réalisation d'une reconnaissance et d'un contrôle au sol du bassin versant afin de vérifier et tracer les zones de migration du canal et de définir les risques de débordement de débris, les canaux historiques ainsi que l'évolution des lits dans la plaine.
5. Réalisation d'une évaluation des conditions existantes afin de déterminer le bon fonctionnement des canaux et de définir l'emplacement des obstructions.
6. Évaluation du taux de sédimentation dans la zone inondable.
7. En se basant sur les informations collectées, des solutions ont été proposées englobant des activités de restauration, de construction et de gestion des terres la faisabilité financière, le durabilité et le niveau de maintenance nécessaire pour contrôler les eaux de crues dans la plaine ont également été étudiés.
8. Reconnaissance sur le terrain de l'emplacement des solutions proposées. Réalisation d'une évaluation préliminaire de la faisabilité des scénarii d'aménagement.
9. Identification des contraintes et de la diversité foncière.
10. Réalisation d'un sondage d'opinion auprès de la population locale pour savoir comment améliorer les conditions dans la plaine et évaluer sa contribution.

Alternative Development, Evaluation and Report Preparation Following Site Visit

Following the first site visit, the data was summarized and a design report prepared. A second trip to the project area was made to confirm initial findings and present our findings. A PowerPoint presentation was assembled and presented to interested groups (Irrigation District representatives, water users, agricultural extension agents and other interested parties) on two occasions. An executive summary and draft report were prepared and provided to PROTOS and ODRINO/UEBH along with presenting the PowerPoint presentation summarizing the study's results. The draft report included the following components:

1. Detailed analysis of the project area conditions.
2. Results of the community survey of farmers in the Plaine des Moustiques.
3. A phased list of recommended solutions along with 35% complete design development drawings and mapped locations of engineered structures.
4. Prepared engineer's cost estimate for recommended solutions in consultation with ODRINO including the cost of materials, equipment, construction and operation and maintenance costs.
5. Identified the agricultural benefits of each phase of the recommended project solutions.
6. Analyzed future study needs and recommendations.
7. Prepared the final report of study methodology, results and conclusions.

Développement, Évaluation et Préparation d'un Rapport Alternatifs Suivant la Visite sur le Terrain

Après la visite initiale sur le terrain, les données ont été résumées et un premier rapport préparé. Une seconde visite sur le terrain a été effectuée afin de confirmer les résultats initiaux et de les présenter. Une présentation PowerPoint a été préparée puis présentée aux parties intéressées (représentants du district d'irrigation, usagers de l'eau, agents de développement agricole et autres) à deux reprises. Un résumé exécutif et un avant-projet de rapport ont été fournis à PROTOS et à l'ODRINO/UEBH, ainsi qu'une présentation PowerPoint résumant les résultats de l'étude. L'avant-projet de rapport comprenait les points suivants:

1. Une analyse détaillée des conditions dans la zone du projet.
2. Le résultat des enquêtes auprès des agriculteurs de la plaine des Moustiques.
3. Une liste de solutions divisées en plusieurs phases avec dessins d'aménagement complets à 35 pourcent et emplacement sur carte des ouvrages.
4. Une estimation des coûts préparée en consultation avec l'ODRINO par un ingénieur pour les solutions recommandées, y compris des matériaux, des équipements, de la construction et les coûts de fonctionnement et de maintenance.
5. L'identification des avantages agricoles pour chaque phase des solutions recommandées.
6. L'analyse des besoins d'étude et recommandations futures.
7. La préparation de la méthodologie, des résultats et des conclusions du rapport final.

Site Conditions

This section describes the historic and existing conditions found within the Rivière des Moustiques drainage basin.

Watershed and Hydrology

The Rivière des Moustiques drainage basin, located in rural northwest Haiti, drains a 222 square kilometer (km²) semi-arid drainage basin comprising a portion of northwest Haiti west of Port de Paix (Figure 1). The mainstem Rivière des Moustiques begins in the high mountains of the southeastern tip of the basin and flows steeply toward the northwest. Several steep tributaries join the mainstem in this upper reach of the river. The mainstem continues north into the Lower subbasin, where it begins to flatten out and flow through relatively wide floodplain valleys. Rivière des Moustiques maintains a distinct channel at approximately 0.4 percent that conveys low and bankfull flows all the way to the outlet at the southern end of Baie des Moustiques. The Baie des Moustiques ultimately drains to the Atlantic Ocean (Figure 2).

Although several drainage canals exist in the northern part of the Lower subbasin, most are undersized and receive little or no maintenance and as a result, this area is very poorly drained. During severe storms, the entire valley can flood with 1 to 2 meters of water and can remain inundated for up to 1 month. According to anecdotal information gathered during the January 2007 site visit, flooding of this magnitude occurred as recently as November of 2006. These drainage problems make farming in these areas very difficult since the long inundation periods kill crops and prevent harvesting of existing resources.

Weather and Flooding

Rainfall is produced primarily by the moist north and east trade winds slanting across the mountainous eastern part of Hispaniola. As a result, much of the country lies in the rainshadow of the Dominican Republic. Rainfall is generally greatest in the highlands and on northeastern facing slopes. Summer rainfall usually occurs as thunderstorms, which deliver intense bursts of rainfall that last for a short time, but can cause flooding in the basin (see photo 34, Appendix B).

Haiti lies in a hurricane zone, but being on the lee side of the mountains is less exposed to the full force of these storms than the Dominican Republic. The two paths of maximum hurricane frequency pass to the north and to the south of Hispaniola (Weil et al. 1973). Hurricanes occur typically between late summer and early fall and tend to do the greatest damage in the southern part of the country. The most devastating hurricane in recent times, in terms of lives lost, was Hurricane Flora in October 1963. With wind speeds of up to 180 miles per hour (mph), severe damage resulted mostly in the south and number of deaths reached approximately 5,000. Table 1 provides a summary of dates, wind speeds, loss of life, and damage caused by 11 hurricanes,

Conditions du Site

Cette section décrit les conditions historiques et actuelles du bassin versant de la Rivière des Moustiques.

Bassin Versant et Hydrologie

Le bassin hydrographique de la Rivière des Moustiques, situé dans le nord-ouest d'Haïti, draine une zone semi-aride de 222 kilomètres carrés comprenant la partie ouest de la ville de Port-de-Paix (voir la Figure 1). Le cours principal de la Rivière des Moustiques prend sa source dans les hautes montagnes de la pointe sud-est du bassin et coule en pente raide vers le nord-ouest. Plusieurs affluents escarpés rejoignent le cours principal de la rivière en amont. Le cours principal continue vers le nord dans le sous-bassin-versant inférieur, où il commence à perdre de sa déclivité, et traverse des plaines relativement larges. La Rivière des Moustiques maintient un canal distinct à approximativement 0.4 pourcent qui amène les débits en-dessous et au niveau des berges jusqu'à l'embouchure située à l'extrémité sud de la Baie des Moustiques. La Rivière des Moustiques débouche finalement dans l'océan Atlantique (voir la Figure 2).

Bien qu'il existe plusieurs canaux de drainage dans la partie septentrionale du sous-bassin-versant inférieur, la plupart sont de trop petite taille et reçoivent peu ou aucune maintenance. Cette zone est donc très mal drainée. Lors des violentes tempêtes, toute la vallée peut se retrouver sous 1 à 2 mètres d'eau et peut rester inondée jusqu'à un mois. Selon les informations recueillies lors de la visite sur le terrain en janvier 2007, la dernière inondation de cette importance s'est produite en novembre 2006. Ces problèmes de drainage rendent l'agriculture particulièrement difficile dans cette zone, car les longues périodes d'inondation détruisent les cultures et empêchent la récolte des ressources épargnées.

Climat et Inondations

Les pluies proviennent principalement des alizés nord et est qui traversent en diagonale la partie montagneuse de l'est d'Hispaniola. Une grande partie du pays se trouve donc dans l'ombre de la pluie de la République Dominicaine. La pluviométrie est généralement plus importante dans les régions montagneuses et les versants faisant face au nord-est. En été, les précipitations se présentent généralement sous la forme d'orages, qui éclatent en rapides mais violentes averses qui peuvent provoquer l'inondation du bassin (voir la photo 34, Annexe B).

Haïti se trouve dans le bassin des ouragans, mais étant donné sa situation sous le vent de la chaîne montagneuse, il est moins exposé à la violence des vents que la République Dominicaine. Les deux trajectoires de fréquence maximum des ouragans passent au nord et au sud d'Hispaniola (Weil et al. 1973). La saison des ouragans se situe entre la fin de l'été et le début de l'automne et frappe généralement davantage le sud du pays. L'ouragan Flora, en octobre 1963, est le plus meurtrier qu'ait connu l'île ces dernières années. Avec des vents atteignant 290 km/h, il a provoqué d'importants dégâts, en particulier dans le sud, et fait approximativement 5,000 victimes. Le Tableau 1 présente un résumé des ouragans ayant frappé Haïti depuis l'ouragan Hazel en 1954,

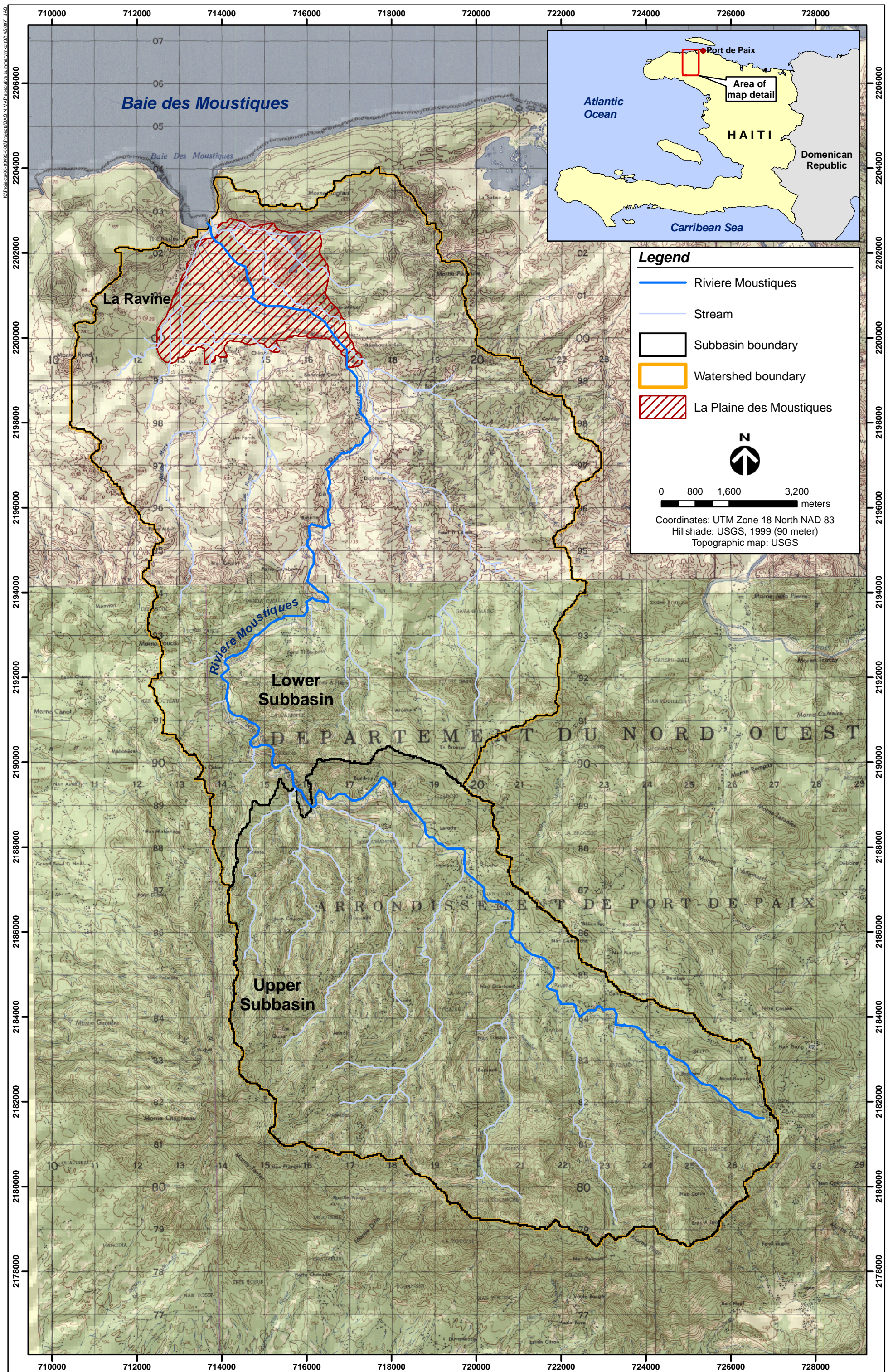


Figure 1. Project basin map.

Figure 1. Carte du projet de reservoir.

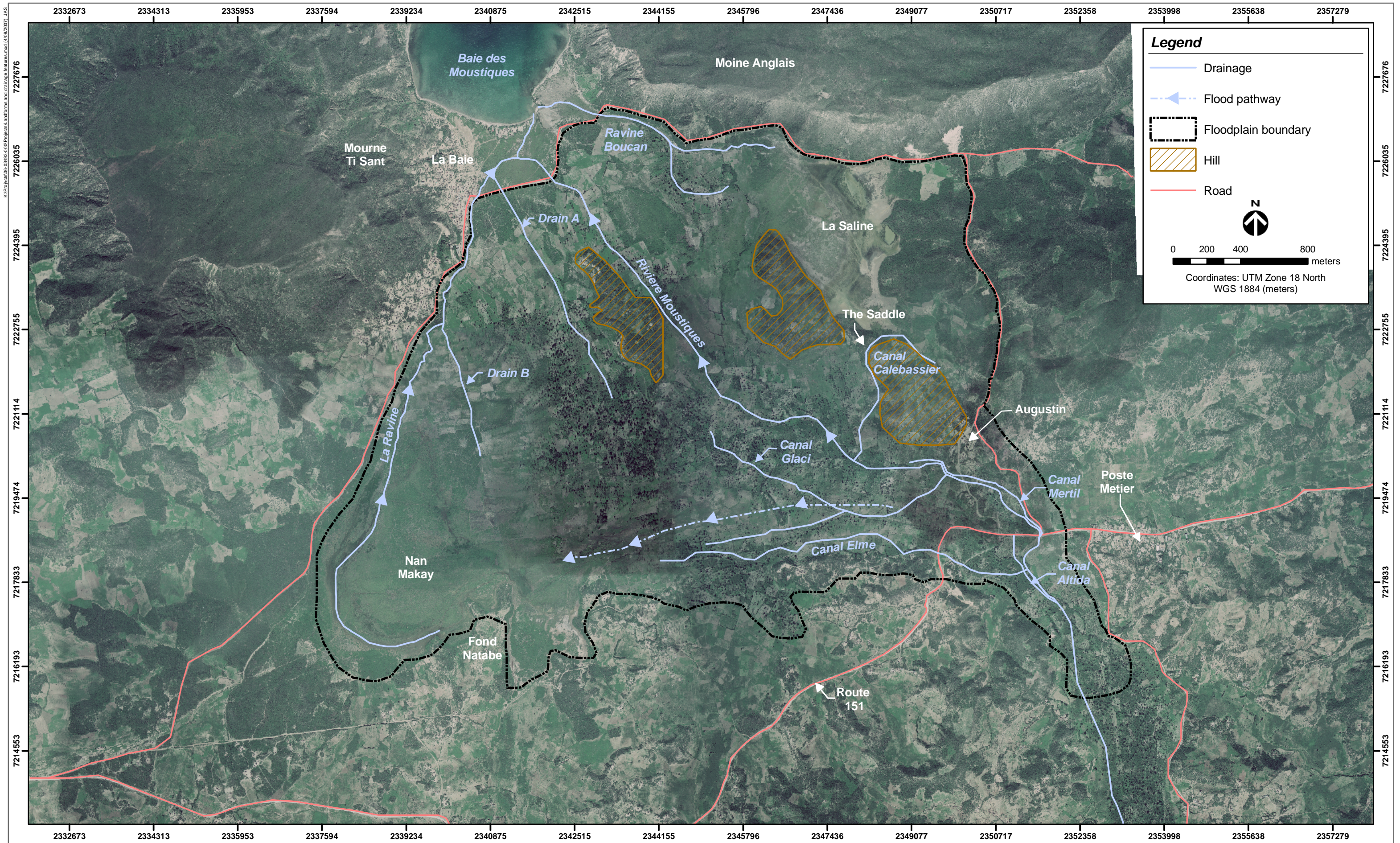


Figure 2. Landforms and water drainage features.

Figure 2. Topographie et systemes d'evacuation.

starting with Hurricane Hazel in 1954. While published information on the timing and volume of rainfall associated with these hurricanes was not found, anecdotal information gathered during the January 2007 site visit indicates that Hurricane Hazel dumped nearly 508 millimeters (20 inches) of rainfall during one day.

Table 1. Summary of hurricane information since 1954.

Hurricane Name	Date	Wind	Deaths	Damage
Jeanne	17-Sep-04	113 mph	1,500	Devastating flooding and mudslides in Gonaïves and northern Haiti
Ivan	10-Sep-04	116 mph	3	Passed south of Haiti, but heavy rains caused flooding particularly in southern Haiti
Lili	27-Sep-02	Hurricane force subsided to tropical storm over Haiti	12	Severe flooding particularly in southern Haiti
Georges	22-Sep-98	120 mph	150–500	Severe flooding and loss of life in Haiti
Emily	22-Sep-87	120 mph	n.a.	Damage in Haiti
Allen	5-Aug-80	140–160 mph	220	\$400 million of damage, principally in the south of Haiti
Inez	29-Sep-66	140 mph	750	\$20 million of damage in Haiti
Cleo	24-Aug-64	150 mph	192	\$17 million of damage, principally in the south of Haiti
Flora	3-Oct-63	145–180 mph	5,000	Extensive damage in the south of Haiti
Ella	1-Sep-58	110 mph	30	Damage in the south of Haiti
Hazel	11-Oct-54	120–125 mph	400–1,000	Extensive damage in the south of Haiti

Source: Excerpted from website: <<http://www.oreworld.org/laprise.htm>> on February 16, 2007.

The Moustiques plain has been subject to extended inundations caused by flooding and possibly exasperated by exceptionally high tides in the Baie des Moustiques. The area that has been most prone to flood inundations is located downstream of the road between Port-de-Paix and Jean Rabel, but does include areas upstream of Route 151 to the inlet of Canal Altida. Inhabitants of the Plaine des Moustiques indicate that in more recent years there have been major inundations in the coastal area but believe they are caused by floods and not the sea.

Geomorphology

The mountains defining the Rivière des Moustiques drainage basin are part of the Massif du Nord range, which begins in the southern side of the Nord-Ouest region and slants to the southeast into Dominican Republic (Figure 1). Many smaller mountain chains spin off of this main formation in all directions (Weil et al. 1973). Mountain elevations within the basin range vary roughly between 460 meters (1,500 feet) and 1,030 meters (3,375 feet). Slopes in this area are up to 50 percent, with an average of approximately 15 percent across the subbasin.

avec les dates, la force des vents, le nombre de victimes et les dégâts provoqués. Bien qu'il n'ait pas été possible de trouver de données sur la durée et le volume des précipitations pour ces ouragans, les informations recueillies lors de la visite sur le terrain en janvier 2007 indiquent qu'il est tombé jusqu'à 508 millimètres de pluie en une seule journée lors du passage de l'ouragan Hazel.

Tableau 1. Résumé des ouragans ayant frappé Haïti depuis 1954.

Nom de l'Ouragan	Date	Vent	Victimes	Dégâts
Jeanne	17 Sept. 04	181 km/h	1,500	Inondations et coulées de boues dévastatrices aux Gonaïves et dans le nord.
Ivan	10 Sept. 04	186 km/h	3	Passé au sud d'Haïti, mais de violentes pluies ont provoquées d'importantes inondations, en particulier dans le sud.
Lili	27 Sept. 02	L'ouragan s'est transformé en tempête tropicale au-dessus d'Haïti	12	Importantes inondations, en particulier dans le sud.
Georges	22 Sept. 98	192 km/h	150-500	Importantes inondations et nombreuses victimes.
Emily	22 Sept. 87	192 km/h	s/o	Dégâts.
Allen	5 Août 80	225-255 km/h	220	400 millions de dollars de dégâts, principalement dans le sud.
Inez	29 Sept. 66	225 km/h	750	20 millions de dollars de dégâts.
Cleo	24 Août 64	240 km/h	192	17 millions de dollars de dégâts, principalement dans le sud.
Flora	03 Oct. 63	232-288 km/h	5,000	Importants dégâts dans le sud.
Ella	01 Sept. 58	176 km/h	30	Dégâts dans le sud.
Hazel	11 Oct. 54	192-200 km/h	400-1,000	Importants dégâts dans le sud.

Source: extrait du site internet <<http://www.oreworld.org/laprise.htm>> le 16 Février 2007.

La plaine des Moustiques est régulièrement sujette à de longues inondations provoquées par les eaux de crues et aggravées par des marées exceptionnellement hautes dans la Baie des Moustiques. La zone la plus touchée se situe en aval de la route reliant Port-de-Paix à Jean Rabel, mais ne comprend pas les zones se trouvant en amont de la Route 151 jusqu'à la prise d'ouvrage du canal Altida. Les habitants de la plaine des Moustiques ont été témoin d'importantes inondations de la zone côtière ces dernières années, inondations qu'ils attribuent aux crues et non aux marées.

Géomorphologie

Les montagnes qui délimitent le bassin versant de la Rivière des Moustiques font partie du Massif du Nord, qui commence du côté sud de la région du Nord-Ouest et descend vers le sud-est en direction de la République Dominicaine. De nombreuses petites chaînes de montagnes se détachent de cette formation principale dans toutes les directions (Weil et al. 1973). L'altitude des montagnes dans le bassin varie approximativement de 460 mètres (1,500 pieds) à 1,030 mètres (3,375 pieds). Les pentes atteignent un degré de 50 pourcent, avec une moyenne d'environ 15 pourcent dans le sous-bassin-versant.

The lowlands are located within the Plaine du Nord (Northern Plain), which is bordered by the Atlantic Ocean to the north and the Massif du Nord to the south. The topography in the Lower subbasin is dominated by gently sloping planes and valleys, with elevations ranging between approximately 460 meters at the boundary with the Upper subbasin and sea level at the basin outlet at Baie des Moustiques. Slopes in this area range between approximately 0 and 43 percent (near the Upper subbasin boundary), with an average slope of approximately 5 percent across the subbasin. Although the subbasin average slope is relatively high, the northern part of the Lower subbasin is completely flat.

Topographic cross-sections of the the Plaine des Moustiques reveal a very distinctive convex form in which the highest elevations are closest to the Rivière des Moustiques and Canal Glaci (Figure 3). The lateral gradient of the floodplain can be as high as 1 percent, equal or greater than the gradient of the Lower Moustiques River which tends to be about 0.5 percent. The decrease in elevation moving away from the river is a result of aggradation of the river bed and its adjacent banks. Suspended sediment settles out from overbank flows with the greatest concentrations close the source – the river and decreasing exponentially away from the river through diffusion.

A large depressional area, Nan Makày is a vast wetland complex located in the west portion of the floodplain (Figure 2). It contains slopes <1 percent which causes water to impound and settle out fines. In portions of the year (October through December), the areas can be characterized as a shallow lake which evaporates during the drier months, uncovering a patchy network of mudflats and salt-tolerant vegetation mats.

Rivière des Moustiques and Floodplain Hydraulics

An analysis of Rivière des Moustiques began at the Canal Altida diversion structure and extended approximately 1,500 meters downstream, below Canal Glaci. This reach of river starts with free flowing sections dominated with gravel bottoms then eventually transitioning to stagnant sections that are predominantly composed of silt bottoms. This stagnant section below Canal Glaci is also known as the “plug” or section of river that has filled up with sediment and vegetation debris. Beyond this area, the river is further diverted in irrigations canals and disperses into a wetland area with no discernable channel.

Rivière des Moustiques channel widths ranged from 18.3 to 4.9 meters with an average top width of approximately 9 meters. Depths in the surveyed reach range from 1.0 meter to 4.1 meters and averaged at 2.3 meters. Bank full flows were calculated by hand using Manning’s equation for open channel flow and ranged between 2.85 m³/s and 56.5 m³/s (100 and 2,000 cfs). It was determined, based on both capacity and location within the study reach that the average bankfull flow is approximately 28 cms (1,000 cfs).

The average channel bed slope within the study reach was 0.5 percent (Figure 4). A noticeable shift in the channel bed occurs below Canal Glaci (~ 700 meters below the bridge) where the channel slope becomes negative. A negative slope refers to a rising channel bed elevation,

La plaine, appelée Plaine du Nord, est bordée par l'Océan Atlantique au nord et le Massif du Nord au sud. La topographie du sous-bassin-versant inférieur est dominée par des plateaux et des vallées en pente douce, avec des élévations allant d'environ 460 mètres à la limite avec le sous-bassin-versant supérieur au niveau de la mer à l'embouchure de la Baie des Moustiques. Les pentes de cette zone varient d'approximativement 0 à 43 pourcent (près de la limite avec le sous-bassin-versant supérieur), avec environ 5 pourcent en moyenne dans le sous-bassin-versant. Bien que l'inclinaison moyenne du sous-bassin-versant soit relativement élevée, la partie nord du sous-bassin-versant inférieur est complètement plate.

Les coupes transversales topographiques de la Plaine des Moustiques montrent une forme convexe dont les points les plus élevés sont les plus proches de la Rivière des Moustiques et du canal Glaci (voir la Figure 3). L'inclinaison latérale de la zone d'inondation peut atteindre 1 pourcent, un chiffre égal ou supérieur à l'inclinaison longitudinale d'approximativement 0.5 pourcent du cours inférieur de la Rivière des Moustiques. Cette diminution de l'élévation en s'éloignant de la rivière est le résultat de la sédimentation du lit de la rivière et de ses berges. Lors des crues, les sédiments en suspension se déposent sur les berges (ou de part et d'autre du lit de la rivière) avec un important gradient décroissant de dépôts de l'origine du débordement à la partie en aval.

Nan Makà est une importante dépression marécageuse située dans la partie ouest de la zone inondable (voir la Figure 2). Elle comporte des inclinaisons inférieures à 1 pourcent qui retiennent l'eau et lui permettent de se déposer. D'octobre à décembre, la zone semble un lac peu profond qui s'évapore durant les mois plus chauds, découvrant un ensemble bigarré de zones boueuses et de tapis de végétation halophile.

Hydraulique de la Rivière des Moustiques et de la Plaine Inondable

Une analyse de la Rivière des Moustiques a été réalisée depuis l'ouvrage de dérivation du canal Altida jusqu'à environ 1,500 mètres en aval, sous le canal Glaci. Cette étendue de rivière commence par des sections à fluidité élevée dominées par des fonds couverts de graviers qui se transforment finalement en sections stagnantes sur fonds limoneux. Ce marigot situé sous le canal Glaci s'est créé suite à l'accumulation de sédiments et de débris qui obstruent le lit et forment un « bouchon » stoppant l'écoulement. Au-delà de cette zone, la rivière est une nouvelle fois détournée dans des canaux d'irrigation et se jette dans la zone humide sans suivre de cours particulier.

La largeur du canal de la Rivière de Moustiques varie de 18.3 à 4.9 mètres avec une largeur maximale moyenne d'approximativement 9 mètres. La profondeur de la section étudiée varie de 1 à 4.1 mètres, avec une moyenne de 2.3 mètres. Les débits en gueule de la rivière ont été calculés manuellement en utilisant l'équation de Manning pour le débit de canal ouvert et varient de 2.85 m³/s à 56.5 m³/s (100 et 2,000 cfs). En se basant à la fois sur la capacité et le point de mesure dans la section étudiée, le débit en gueule moyen a été établi à environ 28 cm (1,000 cfs).

L'inclinaison moyenne du lit de la rivière dans la section étudiée est de 0.5 pourcent (voir la Figure 4). Un changement notable dans le lit de la rivière se produit sous le canal Glaci (~700 mètres en aval du pont) où l'inclinaison du canal devient négative. Une inclinaison négative se traduit par une élévation du lit de la rivière,

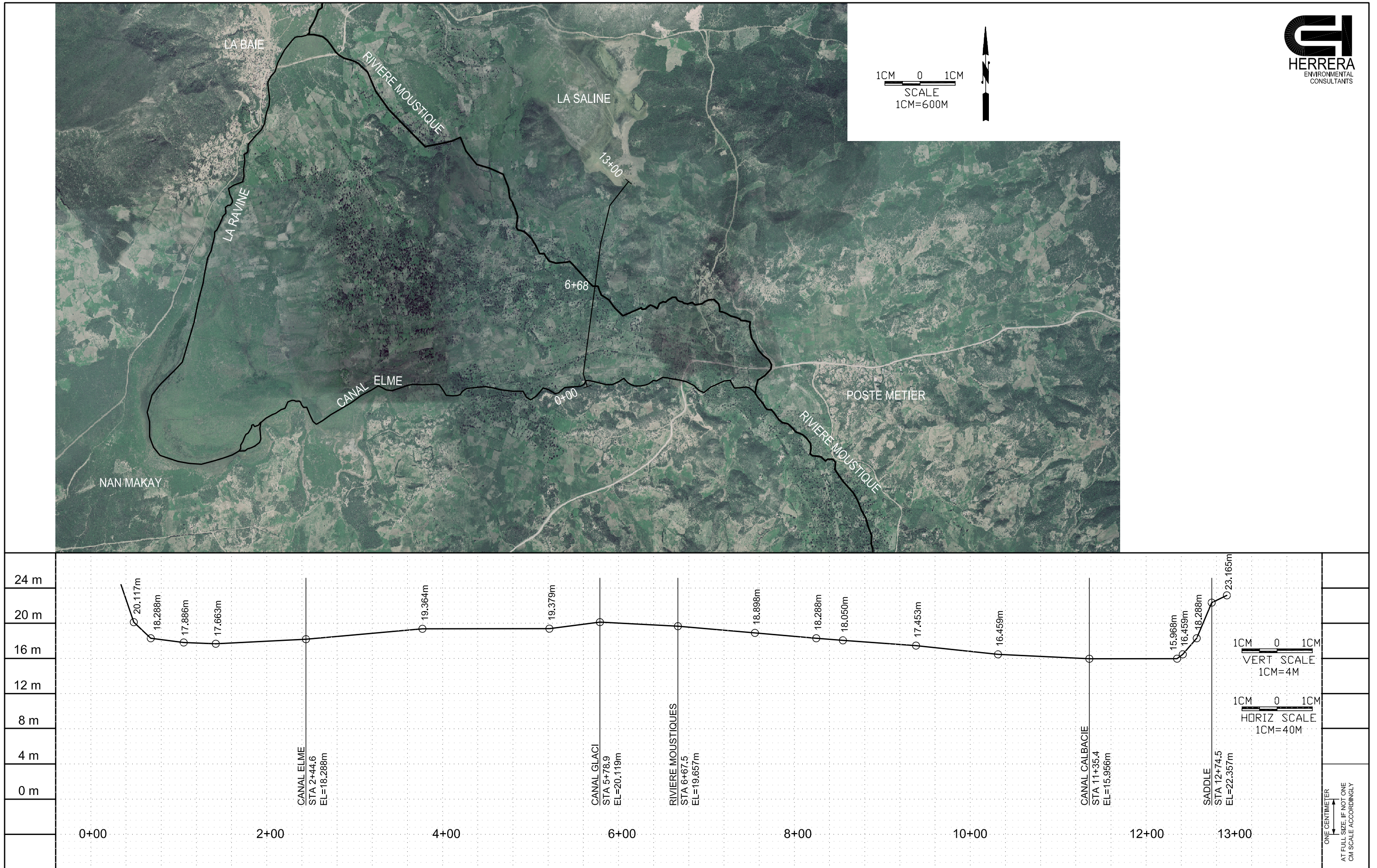
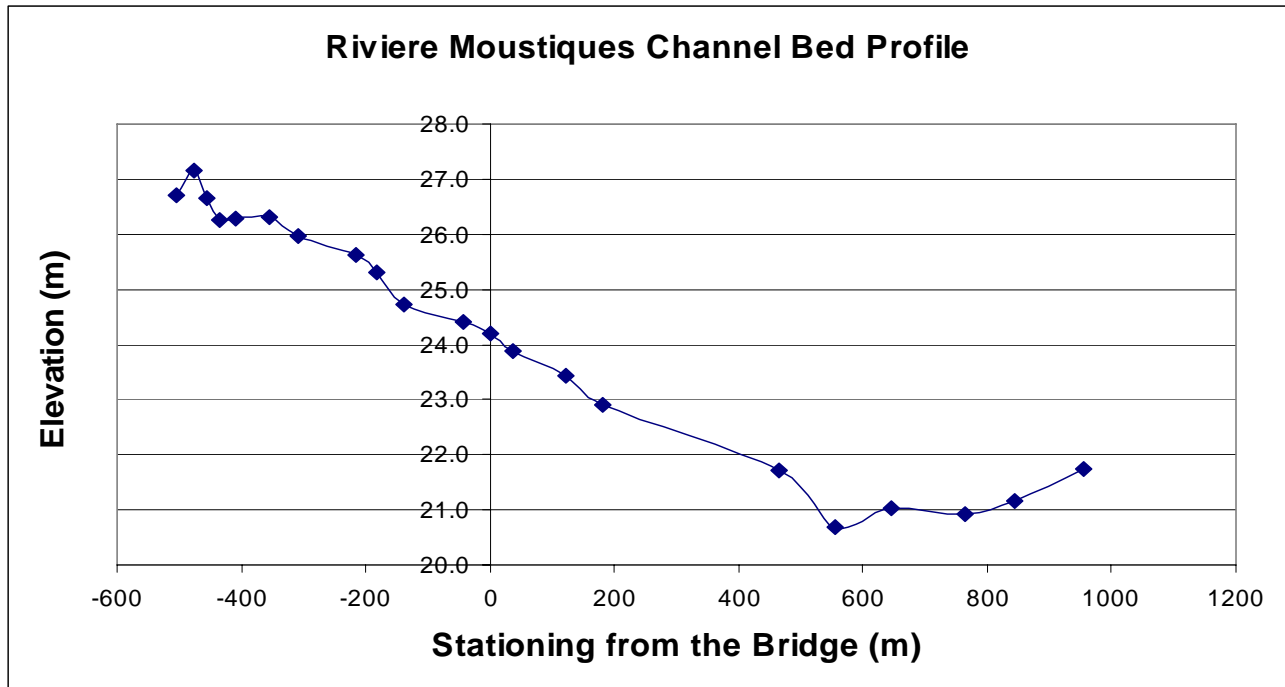


Figure 3. La Plaine Des Moustiques cross-section.
La Plaine Des Moustiques en section transversale.

P:\proj\2006\05-03493-000\Draft Cad\CAD Figures\Figure 3a_mrdwg
 Plot Date: 6/23/2007 1:36 PM Cad User: Todd Prescott
 Plot Style: Tbherrera.ctb Plotter: ecb06e PDF



Note: The zero stationing point is located at the Route 151 bridge.

Figure 4. Rivière des Moustiques channel bed profile.

Figure 4. La Rivière des Moustiques en profil.

which causes water to be impounded. This impounding slows down river velocities resulting in a substantial increase of sediment deposition. This section of river also corresponds to what was previously described to as the “plug” in Rivière des Moustiques. This is a section of river with minimal flow. In addition, large amounts of vegetative matter are clogging the entire channel width.

Floodplain extents and preferential flow paths were identified using a HEC-GeoRAS model as described in Appendix E. The model output involved simulating three different storm events which produced a range of flows. This modeling applies to only over bankfull events. The peak flow of each event (as described below) was plotted in Figure 5.

- 25 mm (1 inch) of rain falling over a period of 1 hour; peak flow of 120 m³/s
- 51 mm (2 inches) of rain falling over 1 hour; peak flow of 254 m³/s and
- 508 mm (20 inches) of rain falling over a period of 6 hours; peak flow of 1355 m³/s.

The preliminary results of the first two flows, 120 m³/s and 254 m³/s indicates a preferential flood flow pathway along Canal Elmé toward Nan Makày and exiting via the Ravine. The flood flows initially follows the Rivière des Moustiques channel alignment until Route 151 where the flows make an abrupt turn west northwest. This also explains the occurrence of a narrow band of denuded land running parallel to Canal Elmé and Glaci. This area north of Route 151, shows visible scour, very few standing trees, a lack of gardens, and presence of salt-tolerant vegetation (see photo 8, Appendix B). It is believed that the physical force of water rushing through here causes these conditions. When an even greater flow is modeled (1,355 m³/s), which is representative of a hurricane event, the entire channel of Rivière des Moustiques in addition to the Canal Elmé corridor is engaged in conveying flood flows. Lastly, during the 120 m³/s and 254 m³/s flood events, the shading for both events end suddenly along the Rivière des Moustiques alignment. This is the location of the blocked section of river. This blockage forces the river to find a less resistive pathway which is provided along Canal Elmé and Nan Makày. It should be noted that the figure suggests that at lower flows, no water is conveyed down the lower section of Rivière des Moustiques. However this is not the case, rather more water is flowing towards Nan Makày than towards the lower section of Rivière des Moustiques.

This distribution of flood flows in the Plaine des Moustiques is further explained by Figure 6 which describes the direction of a majority of overbank flood flows during a variety of events. As this figure shows, flood events up to 200 m³/s result in up to 90 percent of overbank flow water to head towards Nan Makày. Only during extreme events, such as a hurricane, is there a 50/50 split between the amount of water flow toward Nan Makày and the lower Rivière des Moustiques corridor.

The preference of the flood flows toward Nan Makày is mainly caused by the river blockage due to the aggradation of the Rivière des Moustiques stream bed. This is setting the case for an

ce qui provoque la retenue de l'eau. Cela entraîne un ralentissement du débit et donc une augmentation considérable de la sédimentation. Cette section de la rivière correspond également à ce qui a été précédemment appelé le « bouchon » de la Rivière des Moustiques. C'est celle dont le débit est le plus faible. Par ailleurs, d'importantes quantités de matières végétales bloquent toute la largeur du canal.

La zone d'expansion de crue et les chemins préférentiels de l'eau ont été identifiés à l'aide d'un modèle HEC-GeoRAS, tel que décrit à l'Annexe E. Trois différentes tempêtes ont été simulées pour produire une série de débits. Cette modélisation ne s'applique qu'aux crues au-dessus des berges. Le débit de pointe de chaque événement (tel que décrit ci-dessous) est détaillé à la Figure 5.

- 25 mm (1 pouce) de précipitations pendant une heure; débit de pointe de $120 \text{ m}^3/\text{s}$
- 51 mm (2 pouces) de précipitations pendant une heure; débit de pointe de $254 \text{ m}^3/\text{s}$
- 508 mm (20 pouces) de précipitations pendant 6 heures; débit de pointe de $1\,355 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les résultats préliminaires des deux premiers débits, $120 \text{ m}^3/\text{s}$ et $254 \text{ m}^3/\text{s}$, indiquent un chemin préférentiel de l'eau le long du canal Elmé vers Nan Makày, débouchant via la Ravine. Les débits de crue suivent d'abord l'alignement du lit de la Rivière des Moustiques jusqu'à la Route 151, où ils tournent brusquement vers l'ouest nord-ouest. Cela explique également la présence d'une étroite bande de terre dénudée parallèle aux canaux Elmé et Glaci. On note un certain niveau d'érosion dans cette zone située au nord de la Route 151, peu d'arbres, aucun jardin et une végétation halophile (voir la photo 8, Annexe B). On attribue ces conditions à la force de l'eau qui y coule lors des crues. Lorsque l'on modélise un débit de crue encore plus important ($1,355 \text{ m}^3/\text{s}$), ce qui correspond à un ouragan, tout le canal de la Rivière des Moustiques, en plus du couloir du canal Elmé, sert au passage des eaux de crue. Enfin, les débits de crue de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ et $254 \text{ m}^3/\text{s}$ changent brusquement de direction le long de l'alignement de la Rivière des Moustiques et se dirigent vers le sud-ouest, comme l'illustre le jeu de couleurs de la Figure 5. C'est l'emplacement exact de la section bloquée de la rivière. Ce « bouchon » force cette dernière à trouver un chemin offrant moins de résistance, qu'elle trouve le long des canaux Elmé et Nan Makày. Ces chiffres pourraient laisser croire qu'en cas de débits inférieurs, aucune eau de crue ne passe dans la section inférieure de la Rivière des Moustiques. Ce n'est toutefois pas le cas. En effet, davantage d'eau coule vers Nan Makày puis dans la section inférieure de la rivière.

La distribution des eaux de crue dans la plaine des Moustiques est expliquée dans le détail à la Figure 6, qui décrit la direction de la plupart des débits de crue au-dessus des berges lors de divers événements. Quarante-vingt-dix pourcent des débits de crue au-dessus des berges coulent en direction de Nan Makày lors de crues d'un débit allant jusqu'à $200 \text{ m}^3/\text{s}$. C'est uniquement lors des événements extrêmes, comme les ouragans, que la quantité totale des eaux de crue se divise en deux, 50 pourcent vers Nan Makày et 50 pourcent vers le couloir de la Rivière des Moustiques.

L'écoulement préférentiel des eaux de crue vers Nan Makày s'explique principalement par le blocage de la Rivière des Moustiques, qui résulte de la sédimentation de son lit. Les conditions idéales sont ici réunies

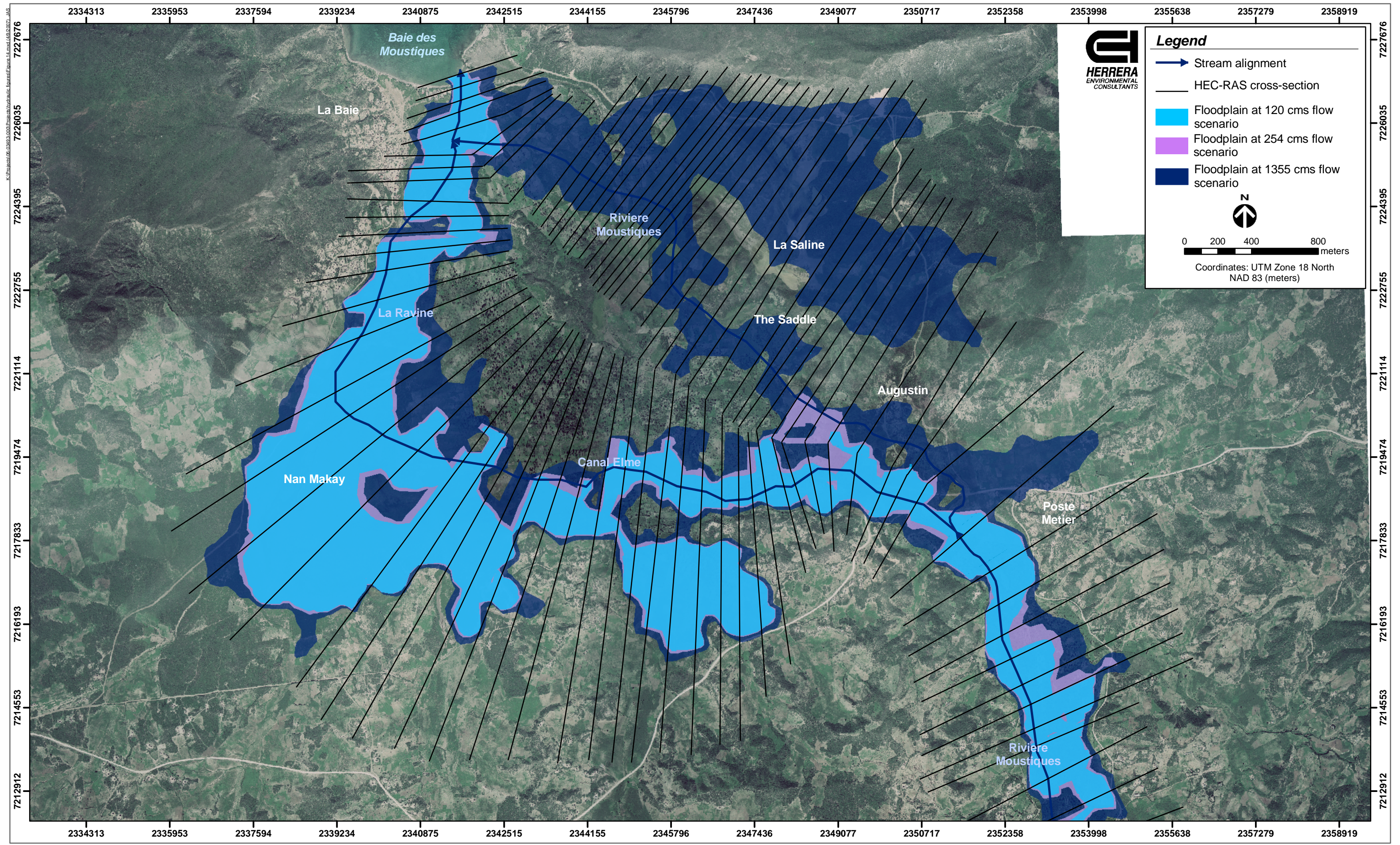


Figure 5. La Plaine des Moustiques floodplain delineated from HEC-GeoRAS model results.
 Figure 5. Le floodplain de la Moustiques de plaine cree par des resultats du modele d'ordinateur de HEC-GeoRAS.

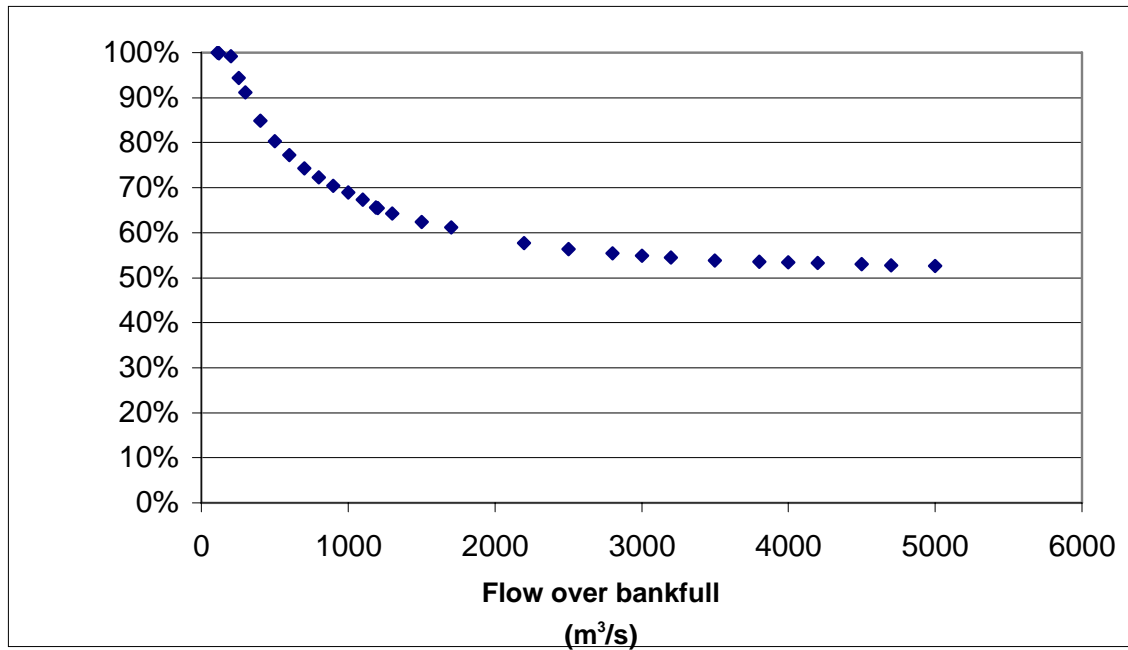


Figure 6. The distribution of overbank flows heading toward Nan Makày versus the lower section of Rivière des Moustiques based on the HEC-GeoRAS results.

Figure 6. Distribution d'écoulement d'overbank vers Nan Makay contre l'écoulement dans le canal de la Rivière des Moustiques.

avulsion. An avulsion is an abrupt change in the course of a stream. The new alignment of this avulsion is evident in Figure 5 where it will follow the Canal Elmé alignment. Even though this avulsion has yet to happen, there is physical evidence (a scour trough) that is setting the stage for this to occur.

Soils

The Plaine de Nord was historically a key part of the French colonial plantation economy, with rich soils that were formed partly by wind abrasion and partly by alluvial deposition (Weil et al. 1973). Today, nearly complete deforestation and poor farming practices have caused devastating erosion and loss of farmable topsoil throughout the basin.

Field observations made during the January 2007 site visit indicate that the predominant soil types in the basin are silts and clays. A typical 2 meter soil boring in active crop lands would exhibit 15 to 40 centimeters of silt in the A horizon followed by a red to brown clay underlying it. Since the clay layer is fairly shallow, farmers prefer to plant plantains in the clay as it has better water retention properties. Soil borings also indicate there is no O horizon meaning no organic matter in the soil. This is likely due to the frequent floods washing out any deposited organic matter.

The A horizon grain size gets coarser to that of a fine sand next to larger canals and the Rivière des Moustiques. This is representative of recent alluvial deposits. Low elevations areas within the floodplain, especially the mud flats in La Saline and Nan Makây contain a high percentages of clays mixed with silt in the surface horizon. Roughly 10 centimeters below, blue clay is the predominant material. The Upper sub-basin contains sandier soils, as evidenced in the massive eroding faces of sandy bluffs in the mountains.

For purposes of estimating rainfall runoff parameters, the soils are considered to have relatively high runoff potential due to the dominance of silts and clays and the lack of organic matter.

Vegetation

Most of Haiti, including the Rivière des Moustiques drainage basin, had extensive forest coverage until as late as the 1980s. Haiti's past, as regards to agriculture and deforestation, is as follows: 1700 to 1750 – sugar production; 1750 to 1800 – coffee production (systematic destruction of plains and forests); 1800 to 1850 – equilibrium re-established with local farming during early national period; 1850 to 1900 – cutting of tropical hardwoods; and 1900 to present – demographic pressure has led to the over-exploitation of trees for fuel and construction material (<<http://www.unesco.org/csi/pub/papers/papers24.htm#2>>).

In recent decades, the forests have been almost completely removed, with less than 2 percent of the original forest remaining in the entire country today. More recently, the vegetation across the

pour un brusque changement de lit. Le nouvel alignement de ce changement de lit est évident à la Figure 5, où il suit l'alignement du canal Elmé. Même si ce changement de lit ne s'est pas encore produit, des indices physiques (des traces d'érosion) semblent indiquer que cela finira par arriver.

Sols

La plaine du Nord était autrefois un élément clé de l'économie de plantation française grâce à ses sols riches créés en partie par l'abrasion du vent et en partie par les dépôts alluvionnaires (Weil et al. 1973). Aujourd'hui, la déforestation presque totale de la zone et des pratiques agricoles mal adaptées ont entraîné une grave érosion et la disparition de la couche arable dans tout le bassin.

Les observations réalisées sur le terrain en janvier 2007 indiquent que le sol du bassin est principalement composé de limons et d'argiles. Une carotte de 2 mètres extraite d'une zone de culture active montrerait une couche de 15 à 40 centimètres de limon suivie d'une couche d'argile variant du rouge au marron. Étant donné que la couche d'argile est peu profonde, les agriculteurs l'utilisent pour la culture du plantain et profitent ainsi de ses propriétés de rétention d'eau. Les échantillonnages montrent également qu'il n'y a pas d'horizon O, et donc aucune matière organique dans le sol. Cela s'explique par les fréquentes inondations qui nettoient toute matière organique déposée.

Les grains de l'horizon A deviennent plus gros qu'un grain de sable fin à proximité des canaux les plus larges et de la Rivière des Moustiques. Cela est représentatif de dépôts alluvionnaires récents. Les zones de faible élévation de la plaine inondable, en particulier les zones boueuses de La Saline et de Nan Makày, contiennent un pourcentage élevé d'argiles et de limons dans l'horizon de surface. Environ 10 centimètres en dessous, l'argile bleu est la matière prédominante. Le sous-bassin-versant supérieur contient des sols plus sableux, comme en témoignent les importantes faces d'érosion des pics sablonneux dans les montagnes.

La dominance des limons et des argiles et l'absence de matières organiques laisse penser que les sols ont un coefficient de ruissellement des pluies relativement élevé.

Végétation

La plus grande partie du territoire haïtien, y compris le bassin versant de la plaine des Moustiques, disposait d'un manteau forestier important jusqu'à la fin des années 1980. L'histoire d'Haïti, en termes d'agriculture et de déforestation, peut être divisée comme suit: de 1700 à 1750 – production sucrière; de 1750 à 1800 – production de café (destruction systématique des plaines et des forêts); de 1800 à 1850 – équilibre retrouvé grâce à l'agriculture locale au début de la république; de 1850 à 1900 – abattage des bois durs tropicaux; de 1900 à nos jours – la pression démographique entraîne la surexploitation des arbres comme combustible et bois de construction (<<http://www.unesco.org/csi/pub/papers/papers24.htm#2>>).

Dans la deuxième moitié du 20^e siècle, les forêts ont été presque entièrement détruites, avec moins de 2 pourcent du manteau forestier original restant aujourd'hui dans tout le pays.

basin is more highly variable based on the local climate. The Plaine de Nord is generally characterized by patches of desert-type vegetation with wide open fields of grass; and with trees located along the banks of the river, canals and within banana tree plantations.

The vegetation across the basin is highly variable with local climates. The Plaine des Moustiques generally consists of patches of desert-type vegetation (cactus/shrub) (Photo 6, Appendix B), wide, open fields of grass; wetland areas comprised of sedges and succulent species, trees found along the banks of the rivers and canals, and within banana tree plantations throughout. The desert vegetation occurs on hillslopes and ridges and consists of cactus (e.g., pikon rouge), bayawon (mesquite, *Pithecellobium saman*), and dry grass species. At the toe of the valley slope, there is a dramatic transition to floodplain vegetation. In general, the floodplain contains a dense array of gardens that contain multiple species in planted plots. A productive garden (Photo 20, Appendix B) will contain a few fruit-bearing trees such as mango and coconut, followed by plantain plantings and corn. In the understory, beans, potatoes, manioc, and onions in any combination are planted. Unproductive gardens (Photos 14-16, Appendix B), whether too wet or dry, contain few trees and visibly stressed plants. Usually more grazing (cattle, sheep, goats) takes place on these farms; therefore more grass-type species are the dominant species. Areas adjacent to Rivière des Moustiques or canals contain plantings up to the edge or into the edge of the drainage bank. In other areas, thick stands of wozo (*Arundo donax*, a non-native aggressive tall sugar cane-like grass species), bayawon, and nim (*Azadirachta indica*) line the banks. Riparian areas also contain a larger distribution of trees than the remainder of the floodplain. In some sections of the floodplain where drainage is an issue, conditions become saline and the landscape is dominated by succulent salt-tolerant vegetation predominantly zèb-à-Crabe (*Batis maritima*) or turtleweed.

Land Use

The floodplain comprising the Plaine des Moustiques has historically been a rich agricultural area, known for its high quality plantains, and producing a wide variety of crops. During the 1940s and 1950s, most of the floodplain was farmed. This included portions of what is currently called Nan Makày, a large wetland complex. The areas supported a wide array of crops which included plantains, corn, dry grown rice, manioc, sweet potatoes, citrus trees, and mangoes. Flooding during this period still occurred, but a majority of flows were conveyed by Rivière des Moustiques to Baie des Moustiques. Nan Makày was the lowest elevation portion of the plain, but a series of well-maintained drain ditches to the Ravine decreased the duration of flooding which allowed Nan Makày to be farmed.

Most farms within the Plaine des Moustiques have traditionally been farmed by their owners and most farms are small (less than 1 karo which is equal to 1.27 hectares) (Herrera Community Survey 2007). A recent survey of residents in the Plaine des Moustiques found that 65 percent of farmers queried have owned their land for 10 years or more. Twelve percent have owned and farmed their land for more than 40 years.

La Plaine du Nord se caractérise globalement par des parcelles de végétation désertique, de vastes étendues herbeuses et de quelques arbres le long des berges de la rivière et des canaux, avec des plantations de bananiers.

La végétation du bassin est particulièrement dépendante des climats locaux. La plaine des Moustiques se caractérise globalement par des parcelles de végétation désertique (cactus/arbustes) (Photo 6, Annexe B), de grandes étendues herbeuses, des zones humides composées de laïches, de carex et d'espèces de succulentes, et de quelques arbres le long des berges de la rivière et des canaux, avec des plantations de bananiers un peu partout. La végétation de type désertique se trouve surtout sur les flancs et les crêtes des montagnes et consiste principalement en espèces de cactus (pikon rouge), bayawon (prosopis, *Pithecellobium saman*) et d'espèces d'herbes sèches. En arrivant dans la vallée, la végétation change radicalement. En règle générale, la zone inondable comporte de nombreux jardins contenant un grand nombre d'espèces en pot. Un jardin vivrier (Photo 20, Annexe B) contiendra quelques arbres fruitiers, comme des manguiers ou des cocotiers, des plantains, du maïs et des haricots, du manioc et des oignons comme végétation de sous-étage. Les jardins non vivriers (Photos 14-16, Annexe B), qu'ils soient trop secs ou trop humides, contiennent peu d'arbres et quelques plantes stressées. On y pratique également le pâturage (bétail, moutons, chèvres) et l'on y trouve donc de nombreuses espèces d'herbes. Les plantations des zones adjacentes à la Rivière des Moustiques ou des canaux viennent jusqu'à la berge, voire jusqu'au drain des canaux. Dans d'autres zones, d'épais bosquets de wozo (*Arundo donax*, une espèce d'herbe haute agressive et exotique de type canne à sucre), de bayawon et de nim (*Azadirachta indica*) tapissent les berges. La distribution des arbres est également plus importante dans les zones riveraines que dans le reste de la plaine inondable. Dans certaines parties de la zone inondable où le drainage pose problème, les conditions deviennent salines et le paysage est dominé par une végétation de succulentes halophiles, en particulier des batales (*Batis maritima*).

Utilisation des Sols

La plaine inondable constituant la plaine des Moustiques était autrefois une zone agricole riche, notamment réputée pour ses bananes plantain, produisant un grand éventail de cultures. Dans les années 1940 et 1950, la quasi-totalité de la plaine inondable était cultivée. Cette zone comprenait également ce qu'on appelle aujourd'hui couramment Nan Makày, une vaste zone humide. On y produisait entre autres des bananes plantain, du maïs, du riz en culture sèche, du manioc, des patates douces, des agrumes et des mangues. La région était déjà frappée par d'importantes inondations à l'époque, mais les débits de crue étaient transportés par la Rivière des Moustiques jusqu'à la baie éponyme. Nan Makày était la partie la moins élevée de la plaine, mais une série de fossés de drainage bien entretenus écoulait l'eau vers la Ravine, réduisant ainsi la durée des inondations et permettant à la zone de Nan Makày d'être cultivée.

La plupart des fermes de la plaine des Moustiques sont cultivées par leurs propriétaires et sont généralement de petite taille avec moins de 1 karo (1,27 hectares) (Herrera Community Survey 2007). Selon une récente étude menée auprès des habitants de la plaine des Moustiques, 65 pourcent des agriculteurs interrogés possèdent leurs terres depuis 10 ans ou plus. Douze pourcent sont propriétaires de leurs terres et les cultivent depuis plus de 40 ans.

Property within the floodplain is privately held. Parcels were surveyed with four rocks (with the surveyor's initials) indicating the property corners. Land is either purchased or passed down through an inheritance. People who do not own the land either rent it outright or are contracted in a 50/50 partnership with the owner based on the crop proceeds.

Figure 7 shows the existing condition of agricultural lands within the Plaine des Moustiques. High quality productive agricultural land comprises only 296 hectares (28 percent) of the plain. Marginally productive lands make up 291 hectares (28 percent) of the plain. The remainder of land in the Plaine des Moustiques is cactus scrub (148 hectares or 14 percent), wetland (103 hectares or 19.6 percent), mudflats (89 hectares or 10 percent) and area denuded by flood scour (16 hectares or 1.5 percent). Existing conditions indicate that agricultural productivity in the Plaine des Moustiques has significantly lowered from its historic productivity observed during the 1950s.

Roads within the Rivière des Moustiques drainage basin are unpaved and buildings are small and found in scattered compounds. Impervious area (paved or overly compacted area that prevents water from infiltrating) is estimated to cover less than 2 percent of the total basin area.

Drainage and Irrigation

Drainage channels and irrigation canals were constructed throughout the Plaine des Moustiques in the 1950s to provide water to local farmlands. Reportedly irrigation and drainage canals were built by the Ministry of Agriculture, probably in 1956. There were six primary drains, named drain A, B, C, D, E, and F. It should be noted that only two of these drains (A and B in Figure 2) were located during the site reconnaissance. These drains were about 1 meter wide. Drain A extended from the Facile perimeter towards the ocean. After the construction of a new road across the plain, the drain was cut and redirected towards the Ravine located close to the eastern edge of the plain and likely a historic river channel). Drain B extended between the Glaci perimeter and the same ravine. Drains C, D, E, and F were in an area identified as a "pond" which is now characterized by marsh vegetation. These drains all ran into the Ravine, in different places, which then carried the waters to the sea. The purpose of the drains was to provide an outlet to discharge rainwater and to manage irrigation water (PROTOS Moustiquev1 November 2005).

After the death of a key agricultural leader ("Rosie"), in charge of drain maintenance in approximately 1989, the drains were no longer cleaned out. Their depth diminished and they no longer functioned adequately. This led to the abandonment of certain areas that had previously been cultivated (for example, rice growing in the "pond" area) and the diminishing of harvests within irrigated lands.

It is reported that there used to be a pond in the Plain des Moustiques where people fished. It isn't clear what caused the disappearance of this pond but reasons include evaporation, sedimentation, and possibly intentional drainage for agricultural purposes (PROTOS Moustiquev1 November 2005).

Les propriétés de la zone inondable sont privées. Les parcelles sont délimitées par quatre pierres situées aux quatre coins, portant les initiales du géomètre ayant effectué les levées. Les propriétés sont soit achetées, soit transmises en héritage. Par ailleurs, soit ceux qui ne possèdent aucune terre la loue directement au propriétaire, soit ils s'associent avec ce dernier à 50/50 sur le montant des récoltes.

La Figure 7 montre les conditions actuelles des terres agricoles dans la plaine des Moustiques. Les terres arables productives et de qualité ne représentent que 296 hectares, soit 29 pourcent de la plaine. Les terres marginalement productives constituent 28 pourcent de la plaine avec 291 hectares. Le reste des terres de la plaine des Moustiques se divisent en broussailles xérophiles (148 hectares ou 14 pourcent), en zones humides (103 hectares ou 19.6 pourcent), en zones boueuses (89 hectares ou 10 pourcent) et en zones dénudées par l'érosion des crues (16 hectares ou 1.5 pourcent). Les conditions actuelles indiquent que la productivité agricole de la plaine des Moustiques a fortement diminuée par rapport aux conditions observées dans les années 1950.

Les routes qui traversent le bassin versant de la Rivière des Moustiques sont non pavées et les bâtiments petits et dispersés. On estime que les zones imperméables (c'est-à-dire les zones pavées ou compactée qui ne laissent pas filtrer l'eau) couvrent moins de 2 pourcent de la superficie totale du bassin.

Drainage et Irrigation

C'est dans les années 1950 que des canaux de drainage et d'irrigation ont été construits dans la plaine des Moustiques afin d'alimenter en eau les terres arables. Ces canaux auraient été construits par le Ministère de l'Agriculture en 1956 et il y en aurait eu 6 à l'origine, appelés canaux A, B, C, D, E, et F. Il est à noter que seuls deux de ces canaux (A et B, voir la Figure 2) ont été localisés lors de la reconnaissance du site. Ces canaux faisaient environ 1 mètre de large. Le canal A s'étendait du périmètre de Facile jusqu'à l'océan. Après la construction d'une nouvelle route traversant la plaine, celui-ci a été coupé et dévié vers la Ravine située près de la limite est de la plaine, probablement un ancien lit de rivière. Le canal B s'étendait du périmètre de Glaci jusqu'à la même ravine. Les canaux C, D, E, et F se trouvaient dans une zone identifiée comme la « marre », aujourd'hui une zone marécageuse. Tous ces canaux se jettent à différents endroits de la Ravine, qui transporte ensuite l'eau jusqu'à la mer. Ceux-ci avaient pour objectif de canaliser les eaux de pluies et de gérer les eaux d'irrigation (PROTOS Moustique v1 Novembre 2005).

Après le décès, vers 1989, d'un important leader agricole en charge de la maintenance des canaux (« Rosie »), ceux-ci n'ont plus été nettoyés. Leur profondeur a diminué et ils ne fonctionnent plus correctement. Cela a conduit à l'abandon de certaines zones auparavant cultivées (comme la culture du riz dans la zone dite de « la marre ») et à la diminution des récoltes dans les terres irriguées.

Selon les habitants de la plaine des Moustiques, celle-ci aurait abrité un étang ou les gens allaient pêcher. Les causes exactes de sa disparition n'ont pas été identifiées mais cela peut s'expliquer par l'évaporation, la sédimentation ou son assèchement volontaire à des fins agricoles (PROTOS Moustique v1 Novembre 2005).

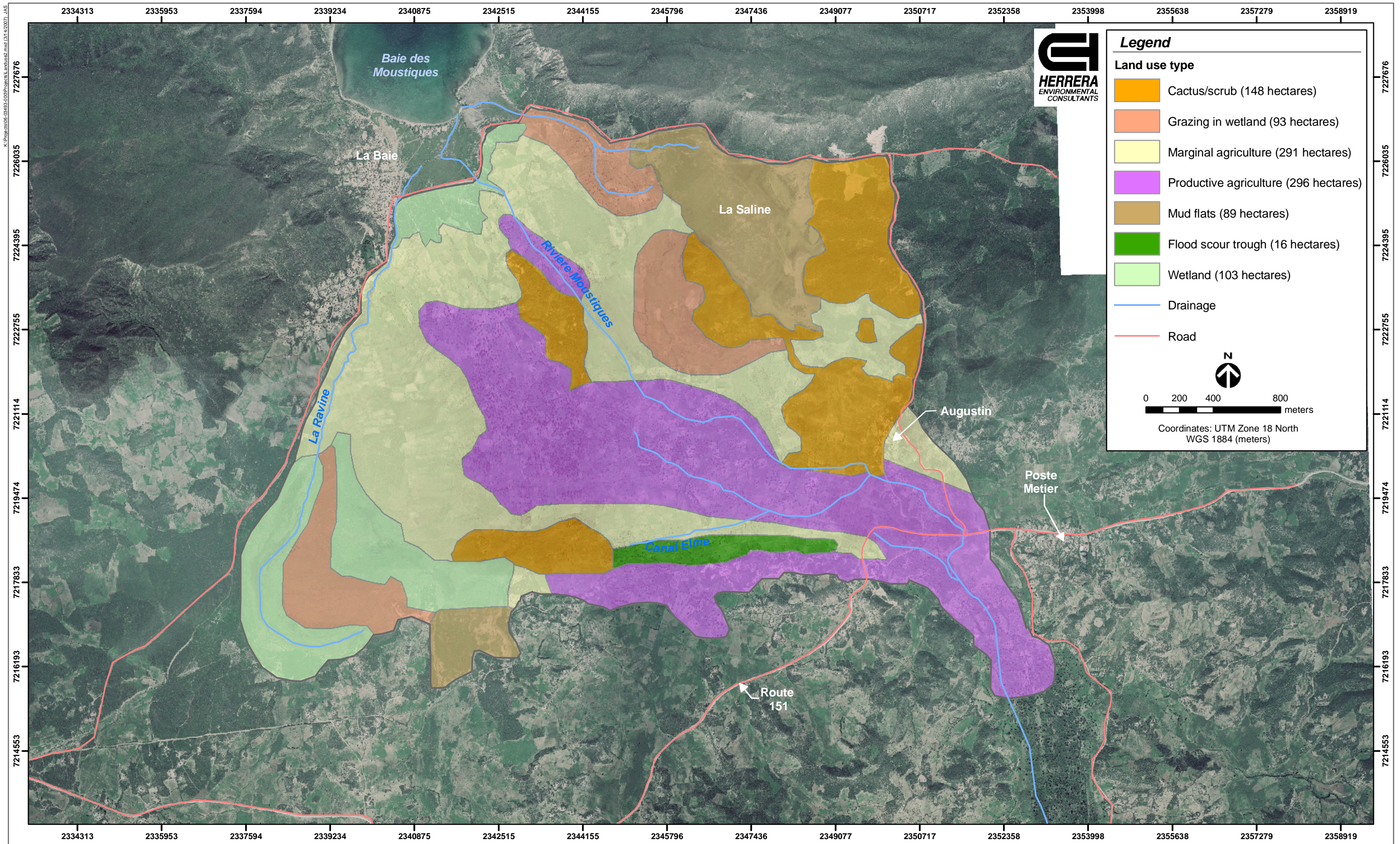


Figure 7. Current land use in La Plaine des Moustiques.

Figure 7. Exploitation actuelle du terrain de La Plaine des Moustiques.

In recent years, repeated and prolonged flooding has killed crops, filled canals with sediment, and destroyed the arability of large portions of the floodplain. As a consequence subsistence farming within the basin has become increasingly difficult, even impossible in many areas, due to a paucity of farmable land and inadequate drainage and irrigation infrastructure.

Community Perception

In conjunction with the field investigation of the Plaine des Moustiques, a Perception and Land Use Survey and Questionnaire was prepared. The interviews were conducted by the ODRINO agronomists and staff over a period of 4 weeks from January 22 through February 9, 2007. Land owners and farmers from nine canals within the Moustiques watershed were sought out to respond to the survey questions. Fifty respondents were obtained from the following canals: Elmé, Mertil, Facil, Glaci, Altida, Mancireis, Olty, Pepe, and Monsine.

The farmers and owners unanimously agreed that work was needed in the canals to clean out the system and to improve drainage for increased agricultural productivity as shown in Figure 8. Figure 9 indicates there was consensus that the farmers should work together as a community in cooperation with the irrigation associations, the government, and Non-Government Organizations (NGOs) to perform the work. Although some respondents had the financial means to contribute money towards the work, the majority of the farmers were willing to volunteer and donate labor to perform the work, as shown in Figures 10 through 11.

The proposed design concepts and improvements incorporate the attitudes and responses collected in the survey. A copy of the Perceptions and Land Use Survey and tabulated responses to the survey questions are included in Appendix D of this report.

Ces dernières années, des inondations répétées et prolongées ont détruit les cultures, rempli les canaux de sédiments et rendu impropres à la culture de vastes portions de la plaine inondable. L'agriculture de subsistance est devenue de plus en plus difficile dans le bassin, voire même impossible dans de nombreuses zones, en particulier à cause de la pénurie de terres arables et de l'inefficacité des infrastructures de drainage et d'irrigation.

Enquête Auprès de la Population

Parallèlement aux études menées sur le terrain dans la plaine des Moustiques, un questionnaire et une enquête d'opinion sur l'utilisation des sols ont été préparés. L'enquête a été réalisée par les équipes et les agronomes de l'ODRINO sur 4 semaines, du 22 janvier au 9 février 2007. Les propriétaires et agriculteurs utilisant 9 canaux situés dans le bassin versant de Moustique ont été interrogés. Cinquante riverains des canaux Elmé, Mertil, Facil, Glaci, Altida, Mancireis, Olty, Pépé, et Monsine ont participé.

Les agriculteurs et propriétaires ont unanimement reconnu qu'il était nécessaire de travailler dans les canaux afin de nettoyer le réseau, rendre le drainage plus efficace et donc améliorer la productivité agricole tel qu'indiqué à la Figure 8. La Figure 9 montre qu'il y a eu consensus autour d'un travail en coopération entre la communauté locale d'agriculteurs et de propriétaires et les associations d'irrigation, le gouvernement et les ONG. Bien que peu de personnes aient indiqué avoir les moyens de soutenir le projet financièrement, la majorité des agriculteurs se sont montrés disposés à travailler pour le projet, comme l'illustrent les Figures 10 et 11.

Les solutions et améliorations proposés intègrent les attitudes adoptées et les réponses données lors de l'étude. Une copie de l'enquête d'opinion sur l'utilisation des sols ainsi que les réponses présentées sous forme de tableau sont présentées dans l'Annexe D de ce rapport.

What work needs to be done?

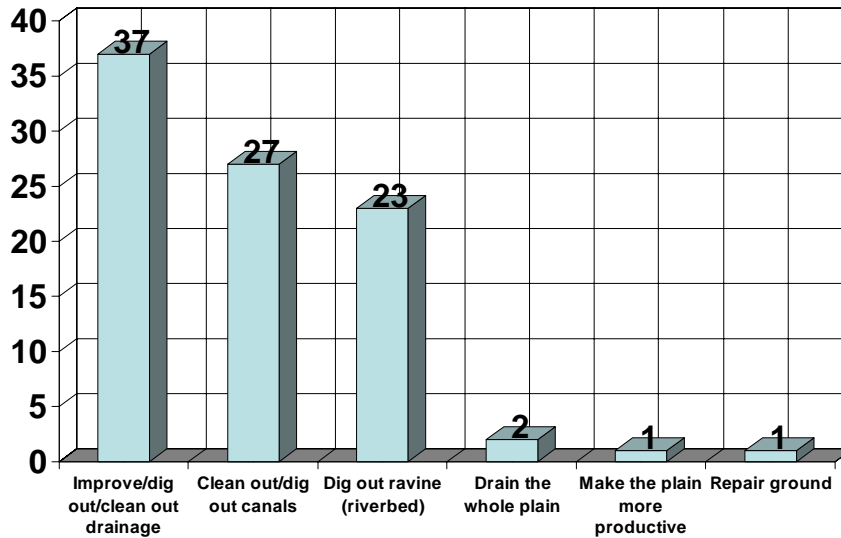
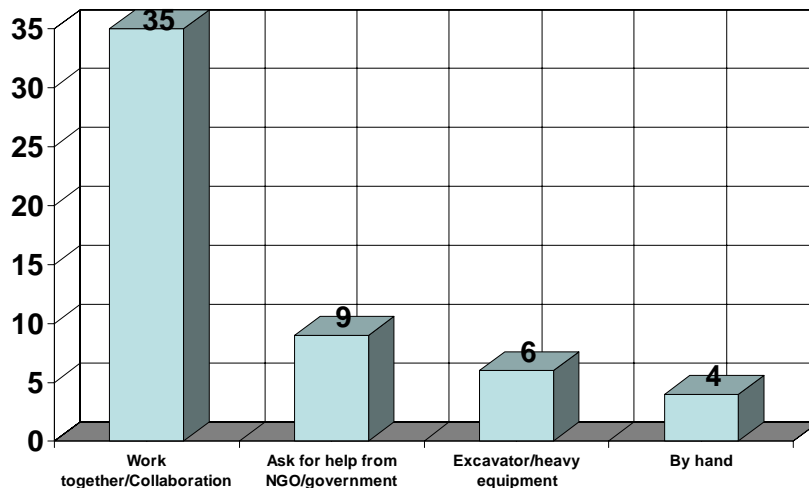


Figure 8. Community understanding of project needs

Figure 8. Arrangement de la communauté des besoins de project

What would it take to do the work?



Other responses:

- Participation of the committee
- Drain the water into Rivière Moustiques
- Dialog and invitation
- Organize the planters into combites and NGOs
- Cooperation of assoc of irrigators and ODRINO

Figure 9. What is needed for successful implementation

Figure 9. Ce qui es nécessaire pour l'exécution réussie

What would you contribute?

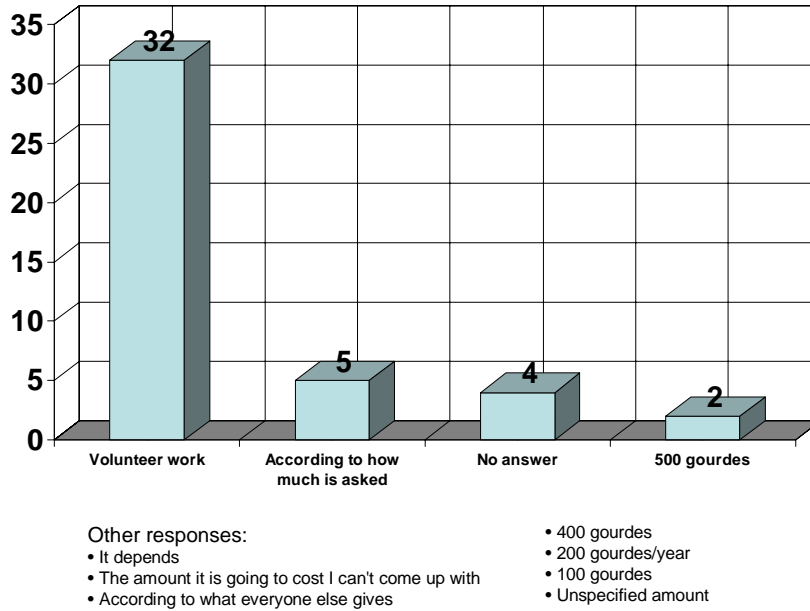


Figure 10. What people were willing to contribute
 Figure 10. Les contributions des personnes

How many days per week would you volunteer?

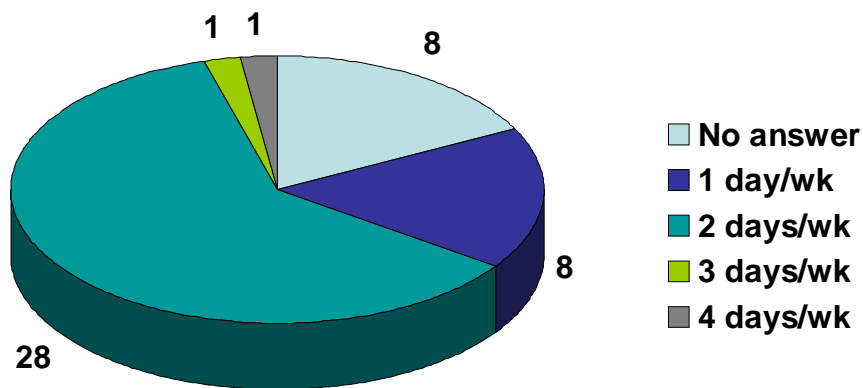


Figure 11. Willingness to Volunteer
 Figure 11. Volonté d'offrir

Project Design

The project design has been divided into two phases (Figure 12). Phase 1 design elements are recommendations that will help minimize adverse flood impacts and improve drainage in the Plaines des Moustiques in the short-term. This will result in the immediate increase of crop yield in productive and marginal gardens within the Plaines des Moustiques. Phase 2 design elements offer guidance for the long-term management of the Plaines des Moustiques. The key emphasis in this phase is the reclamation of unproductive lands and becoming better stewards of the land.

Phase 1 Concepts

- Diversion structures for five existing canals
- The Saline diversion canal
- Elmé and Altida culvert replacement
- Drainage channel clearing and dredging
- Access road and river crossings.

The general concept is to control water flow into Canal Elmé, Altida, Glaci, Mertile, and Calebassier and divert any excess water in Rivière des Moustiques to La Saline via a high flow diversion channel. The uncontrolled flow of water through these canals have resulted in excessively wet conditions in Nan Makày causing the wetland area to expand and create less than desirable planting conditions. Sufficient data has been collected to identify the location of headwork structures, but additional survey information will be necessary for any channel excavation and relocation activities.

Canal Elmé Diversion

Canal Elmé begins approximately 200 meters upstream of the Rivière des Moustiques Route 151 bridge. The location of this diversion within the Plaine des Moustiques occurs at a point where the valley wall begins to expand to the east and west. Canal Elmé flows west southwest toward Nan Makày and is one of the primary canals in the Plaine des Moustiques that support between 250 to 300 families. The location of the canal which hugs the southwest valley wall also corresponds to the main pathway of flood flows during the wet season. Due to the large elevation differential (~24 meters over a distance of 3,050 meters) between Rivière des Moustiques and the beginning of Nan Makày, this is a preferred flood water pathway. Evidence of this is supported by large amounts of flotsam mounded at the base of trees and shrubs and even suspended in tree branches up to 1-2 meters high along this canal alignment. A critical flood pathway for mid to bankfull flows occurs at the Canal Elmé diversion. During these flows, approximately half the flow from Rivière des Moustiques is diverted into this canal. This results in large scale flooding and the die off of food crops (mostly plantains). Even during lower flows, farmers complain of too much water entering this canal which furthers the saturation of soil and creates inhospitable growing conditions.

Conception du Projet

La conception du projet a été divisée en deux phases (voir la Figure 12). La Phase 1 consiste en recommandations techniques permettant de réduire l'impact des crues et d'améliorer le drainage dans la plaine des Moustiques à court terme. Cela se traduira par une augmentation immédiate du rendement des cultures dans les jardins vivriers et marginalement vivriers de la plaine des Moustiques. La Phase 2 consiste en une série de conseils pour la gestion à long terme de la plaine des Moustiques. Elle vise essentiellement à mettre en valeur les terres improductives et à apprendre à mieux gérer les terres.

Concepts de la Phase 1

- Ouvrages de dérivation pour cinq canaux existants
- Canal de dérivation de la Saline
- Remplacement des dalots des canaux Elmé et Altida
- Nettoyage et dragage des canaux
- Routes d'accès et points de franchissement de la rivière.

Le concept général repose sur le contrôle des débits dans les canaux Elmé, Altida, Glaci, Mertil, et Calebassier et sur la canalisation des eaux de crue de la Rivière des Moustiques vers La Saline grâce à un canal de dérivation des débits de crue. L'écoulement incontrôlé des eaux de crue dans ces canaux a entraîné des conditions excessivement humides à Nan Makày, provoquant l'expansion de la zone humide et créant des conditions de culture précaires. Suffisamment d'informations ont été recueillies pour identifier l'emplacement des ouvrages de dérivation mais davantage de données seront nécessaires pour toute excavation ou déplacement de canal.

Dérivation du Canal Elmé

Le canal Elmé commence à environ 200 mètre en amont du pont entre la Route 151 et la Rivière des Moustiques. Cette dérivation se situe à un point où les murs de la vallée commencent à s'écarter vers l'est et l'ouest. Le canal Elmé coule vers l'ouest sud-ouest en direction de Nan Makày. C'est l'un des principaux canaux de la plaine des Moustiques, qui fait vivre entre 250 et 300 familles. La situation du canal, qui longe le mur sud-ouest de la vallée, correspond également au principal chemin naturel des eaux de crue pendant la saison des pluies. Cela s'explique principalement par l'important différentiel d'élévation (environ 24 mètres sur une distance de 3,050 mètres) entre la Rivière des Moustiques et le début de Nan Makày, en témoignent les grandes quantités de déchets accumulés au pied des arbres et des arbustes et même suspendues dans les branches jusqu'à 1 ou 2 mètres dans l'alignement du canal. On trouve également, au niveau de la dérivation du canal Elmé, un important chemin naturel de l'eau pour les débits en-dessous et au niveau des berges. Lors de ce type de crues, environ la moitié du débit de la Rivière des Moustiques est déviée dans ce canal. Cela entraîne d'importantes inondations et la destruction des cultures (en particulier des plantains). Même lors des débits moins importants, les agriculteurs se plaignent que trop d'eau emprunte le canal, ce qui se traduit par la saturation des sols et la création d'un milieu impropre à la culture.

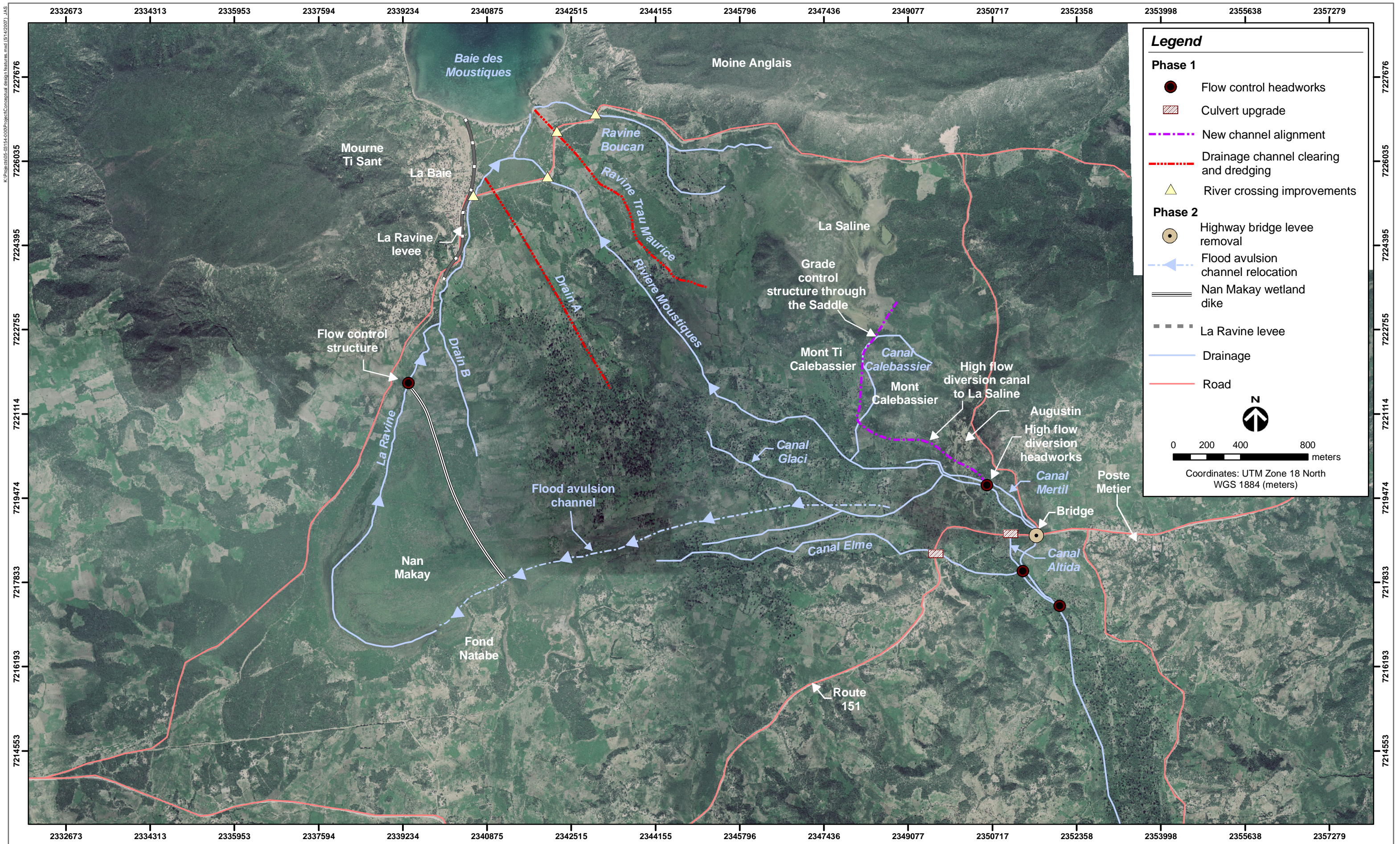


Figure 12. Conceptual design elements.
Figure 12. Elements du design conceptuel.

In order to control the release of water to the canal and prevent higher flows from entering, we propose to install an inlet control structure in the current location of the canal diversion. Currently, there are gabion baskets (1 meter x 1 meter x 2 meters) piled three high and filled with angular rock that armor the banks of Canal Elmé and Rivière des Moustiques (Photo 31, Appendix B). The baskets also line the channel bottom to prevent scour. A concrete check dam (rock filled gabion basket grouted with concrete) with stainless steel batter board slides occurs in the section of Rivière des Moustiques; however, no such control structures exist in Elmé.

The proposed inlet control structure is a box culvert with a flow control gate that can be operated during low and high flow events. Plan, profile, and section views of the flow control structures are presented in Appendix D, Drawings D-1 and D-2. The design incorporates several elements.

- The concrete box culvert (2.4 meters x 2.4 meters x 3 meters, 8 feet x 8 feet x 10 feet) is sized to limit the amount of flow entering the irrigation canal. The entrance to the canal and the Rivière des Moustiques will be armored with gabion baskets to block high flows from flooding the canal.
- The flow control gate allows for high flow control. Steel H-piles will be embedded to a depth of 3 meters (10 feet) at the entrance of the irrigation canal (one H-pile on each bank of the canal, and one in the center of the canal). A steel sheet will ride inside the H-pile channels, acting as a gate. The two gates will be raised and lowered with manual cranks on davit cranes that are welded to the outside of the H-piles. When closed, the gate will block all flow from entering the irrigation canal.
- Flashboards (10 centimeters, 4-inches high) allow for low flow control. The boards will be inserted in the H-pile channels and sit on the channel bottom, acting as a weir.
- The existing gabion baskets on both sides of the canal will be used to support this structure. Additional gabions will be used to anchor the structure in place and protect upstream and downstream sections of the canal bottom from scour.

The canal has an average slope of 1 percent and is very effective in conveying flows; therefore it will not be necessary to line the channel with concrete to improve conveyance. This design is intended to address bankfull or below bankfull flows and will not control any over bank flows.

Canal Altida Diversion

Canal Altida occurs approximately 300 meters upstream of Canal Elmé and ends just northwest of the Route 151 culvert. This is a smaller canal system that supports less than 100 families. Severe amounts of sediment deposition occur in the channel (0.1 to 0.4 meters). The invert elevation of the channel is substantially higher than that of Rivière des Moustiques and will only

Afin de contrôler l'écoulement d'eau dans le canal et éviter que les crues plus importantes ne l'empruntent, nous proposons d'installer une prise d'ouvrage à l'emplacement actuel de la dérivation. Ce sont actuellement des gabions (1 x 1 x 2 mètres) empilés trois par trois et remplis de pierres angulaires qui renforcent les berges du canal Elmé et de la Rivière des Moustiques (Photo 31, Annexe B). Des paniers ont également été placés au fond du canal afin d'éviter l'érosion. Il existe déjà un barrage de contrôle composé de gabions jointés au ciment avec des vannes en acier inoxydable dans la Rivière des Moustiques, mais pas au niveau du canal Elmé.

La prise d'ouvrage proposée est un ponceau rectangulaire avec vanne de réglage du débit pouvant être manœuvrée quel que soit le débit. Le plan ainsi que les vues de profil et en coupe des ouvrages de contrôle du débit sont présentés aux dessins D-1 et D-2 de l'Annexe D. La proposition intègre plusieurs éléments.

- Le dalot en béton (2.4 x 2.4 x 3 mètres) sera conçu d'une taille suffisante pour limiter la quantité d'eau empruntant le canal d'irrigation. L'entrée dans le canal et la Rivière des Moustiques sera amorcée par des gabions qui éviteront que les crues importantes n'inondent le canal.
- La vanne de réglage du débit permettra de contrôler les débits importants. Des pieux en H en acier seront enfoncés à une profondeur de 3 mètres (10 pieds) à l'entrée du canal d'irrigation (un de chaque côté et un au milieu). Une plaque en acier passera entre les pieux en H et servira de vanne. Les deux vannes se soulèveront et s'abaisseront manuellement à l'aide de manivelles montées sur des davieres soudés sur l'extérieur des pieux en H. Une fois fermées, les vannes éviteront que l'eau ne pénètre dans le canal.
- Les hausses (de 10 cm, 4 pouces de haut) permettront le contrôle des débits faibles. Elles seront insérées dans le canal formé par les pieux en H, reposeront sur le fond du canal et serviront de déversoir.
- Les gabions existants de chaque côté du canal seront utilisés pour soutenir l'ouvrage. Des gabions supplémentaires seront utilisés pour maintenir l'ouvrage en place et protéger le canal de l'érosion en amont et en aval de l'ouvrage.

L'inclinaison moyenne du canal étant de 1 pourcent, il ne sera pas nécessaire d'en recouvrir le fond avec du béton pour augmenter son adduction. Cet ouvrage vise à bloquer les débits en-dessous et au niveau des berges et ne permettra pas de contrôler les débits de crue au-dessus des berges.

Dérivation du Canal Altida

Le canal Altida commence à environ 300 mètres en amont du canal Elmé et se termine juste au nord-ouest du dalot de la Route 151. Il s'agit d'un système plus petit qui ne fait vivre que 100 familles. De 0.1 à 0.4 mètres de sédiments s'y sont déposés. Le niveau du radier du canal est beaucoup plus élevé que celui de la Rivière des Moustiques. Il ne reçoit donc de l'eau que lors

receive water during mid-bank or higher discharges (Photo 1-2, Appendix B). Similar to Canal Elmé, this canal acts as a flood conductor during higher flows and contributes to the overall volume of water that flows toward Nan Makày. Besides contributing to flooding in the southwest, this canal also exhibits some deficiencies. Based on the Hydrologic and Hydraulic Analysis Report, there are portions of this canal that contain negative slopes. This would explain the large deposits of sediment within the channel. In addition, the position of the entrance in relation to Rivière des Moustiques creates a constriction that causes water to backup and likely exacerbates localized flooding.

The headworks installed at Canal Altida will be similar to the inlet control structure at Canal Elmé. Plan, profile, and section views of typical flow control structures are presented in Appendix D, Drawings D-1 and D-2. It will control low flows and shunt bankfull or below flows. The entrance of this canal is unarmored therefore gabion baskets would be needed to secure the box culvert. In addition, in order to maintain positive slope throughout the canal, it may be necessary to relocate the entrance further upstream or lower the elevation of the channel bottom. Since this canal generally sits high, creating a new entrance upstream may be a better option to reduce the amount of material that will need to be excavated. However, some sections of the canal that are substantially higher will have to be excavated.

Similar diversion structures as described at Canal Elmé and Altida should be installed at the entrances of Canal Glaci, Calebassier, and Mertil. This will help control the distribution of water within the Plaine des Moustiques.

High Flow Diversion Canal to La Saline

As described previously, Canal Elmé, Altida, and Glaci contribute vast amounts of water to the southwest section of the Plaine des Moustiques. This supports the wetland complex known as Nan Makày and is possibly leading to the expansion of this area. La Saline, a salt crusted mud flat northeast of the Plaine des Moustique provides an opportunity for dispersing large quantities flood water. Dispersing more of the flows to La Saline will decrease the amount of water that enters Nan Makày and lessen the intensity of flooding along canal in the southwest (Elmé and Glaci). Currently, Canal Calebassier flows along the northwest valley wall and flows through a section of a ridge called the “saddle”. It supplies water to a few farmers on the north side of the ridge in an area within close proximity to the town of Augustine.

We propose to construct a high flow diversion channel that will divert mid to bankfull flows in Rivière des Moustiques to La Saline. This high flow channel will follow the approximate alignment of Canal Calebassie. The channel length will be approximately 800 meters long and consist of a trapezoidal section with depth 1.5 meters and a bottom width of 1.2 meters with 2.5H:1V side wall slopes. A plan and profile of the high flow diversion channel is presented in Appendix D, Drawing D-4, 1 and 2. Several design elements will be included with this channel. First, the high flow diversion canal headworks inlet structure will be comprised of a long-crested ogee weir with grade control structures upstream and downstream of the diversion to prevent channel bed scour (see Appendix D, Drawing D-3, Detail 1). The banks of both Rivière des

des débits de crue au niveau ou au-dessus des berges (Photos 1-2, Annexe B). Similaire au canal Elmé, le canal Altida canalise les eaux de crue lors des débits de crue importants et contribue au volume global de l'eau se déversant vers Nan Makày. Outre le fait qu'il contribue aux inondations dans le sud-ouest, ce canal montre certaines insuffisances. Selon le rapport d'analyse hydrologique et hydraulique, certaines sections de ce canal présentent une inclinaison négative. Cela expliquerait les importants dépôts de sédiments qui s'y trouvent. Par ailleurs, la situation de l'entrée du canal par rapport à la Rivière des Moustiques crée un étranglement qui refoule l'eau et aggrave probablement les inondations localisées.

Les ouvrages de dérivation installés au canal Altida seront similaires à la prise d'ouvrage du canal Elmé. Le plan ainsi que les vues de profil et en coupe des ouvrages de contrôle du débit sont présentés aux dessins D-1 et D-2 de l'Annexe D. Ils permettront de contrôler les débits de crue faibles et de détourner les débits au niveau des berges ou en-dessous. Comme l'entrée du canal n'est pas protégée, des gabions seront nécessaires pour renforcer le dalot. Par ailleurs, il sera peut-être nécessaire de déplacer l'entrée du canal plus en amont ou de creuser le fond du canal afin de maintenir une inclinaison moyenne positive. Comme ce canal se trouve plutôt en hauteur, une nouvelle entrée en amont sera peut-être la meilleure option afin de réduire la quantité de matériaux à excaver. Certaines sections du canal beaucoup plus élevées devront néanmoins être excavées.

Des ouvrages de diversion similaires à ceux décrits pour les canaux Elmé et Altida seront construits aux entrées des canaux Glaci, Calebassier, et Mertil. Cela permettra de contrôler la distribution de l'eau dans toute la plaine des Moustiques.

Canal de Dérivation des Débits de Crue vers La Saline

Comme décrit plus haut, les canaux Elmé, Altida, et Glaci transportent de grandes quantités d'eau vers la partie sud-ouest de la plaine des Moustiques. Cela alimente la zone humide de Nan Makày et contribue sans doute à son expansion. La Saline, une vaste étendue boueuse située au nord-est de la plaine des Moustiques, offre le lieu idéal où disperser de grandes quantités d'eaux de crue. Canaliser davantage d'eau vers La Saline permettra de réduire les quantités d'eau qui arrivent à Nan Makày ainsi que l'intensité des inondations le long des canaux au sud-ouest (Elmé et Glaci). Actuellement, le canal Calebassier coule le long du mur nord-ouest de la vallée et traverse l'ensellement entre le Mont Calebassier et le Ti Mont Calebassier. Il alimente en eau quelques agriculteurs situés du côté nord de la chaîne, dans une zone proche de la ville d'Augustine.

Nous proposons de construire un canal de dérivation des débits de crue qui détournera les débits en-dessous et au niveau des berges de la Rivière des Moustiques vers La Saline. Ce nouveau canal suivra approximativement le tracé du canal Calebassier. Il fera environ 800 mètres de long et consistera en une section trapézoïdale d'une profondeur de 1.5 mètres, d'une largeur au fond de 1.2 mètres, avec une inclinaison des bords de 2.5:1. Le plan et le profil du canal de dérivation des débits de crue sont présentés aux dessins D-4, 1 et 2 de l'Annexe D. Le canal nécessitera plusieurs ouvrages. La structure de l'ouvrage de prise du canal de dérivation des débits de crue sera constituée d'un long déversoir en doucine renforcé par une série de brises charge (canal en escalier en aval de la prise) pour lutter contre l'érosion (voir le dessin D-3, détail 1 de l'Annexe D). Les berges de la Rivière des Moustiques

Moustiques and the entrance of the high flow channel will be armored with gabions to protect the diversions structural integrity. This channel will be designed to convey 8 to 28 m³/s (300 to 1,000 cfs). Since there is sufficient slope (~1 percent), it is anticipated that the channel will be unlined along most of the alignment except in portions through the saddle where there is a significant drop in grade (9.1 meters over a 70 meter distance). In those areas, a series of grade control structure every 15 meters in combination with bed armoring, will be installed to prevent erosion of the channel bed throughout this grade drop (see Appendix D, Drawing D-3, Section B).

In future phases, consideration should be given to collecting some of the water in small reservoirs to benefit the local farm community on the north side of the saddle. It may also be possible to expand farming areas to include lowland marsh areas such as Nan Makay where marsh rice (deep water rice strains also called floating rice) may be cultivated. In addition, water dispersed in La Saline in combination with planting a variety of deep rooting vegetation species, could be used to reduce the salinity, restore the area's biological productivity, and convert in the area to arable land.

Canal Culvert Upgrades

The four concrete box culverts at Canal Elmé and Canal Altida along Route 151 are both undersized. Large amounts of sediment deposition have occurred at the upstream entrance of the culverts which is evidence that water is being impounded during high flows. This results in additional localized flooding. We recommend that a large culvert be installed to prevent impounding. It should be noted that Route 151 also acts as a berm that further intensifies localized flooding. The road in any case will have to be re-graded for a length of up to 150 meters in order to allow it to ramp up at the location of a new larger culvert.

Drainage Canal Clearing and Dredging

To improve the ability of the floodplain to drain following a flood, both Canal A and Ravine Trou Maurice should be dredged to a depth of 0.5 meter and widened to a minimum width of 1 meter for approximately 1,500 meters of length each. Side canals that drain to either of these drainages will need to be regularly maintained. It is understood that this will be the responsibility of the local irrigation districts. No action is recommended for Canal B until additional information can be collected concerning possible adverse impacts to the town of La Baie. Since the town is downstream of Canal B, any modification to improve drainage may increase the intensity of floods.

Access Road and River Crossing

A new access road along the north side of Mount Calebassier will be necessary in order to get construction equipment to the saddle. The approximate length of roadway will be 1,000 meters. Over time, this roadway could be extended over the saddle and along the ridge south of Mount

et les bords de l'entrée du canal seront renforcés par des gabions afin de protéger l'intégrité structurelle de la dérivation. Le canal sera conçu pour un débit de 8 à 28 m³/s (300 à 1,000 cfs). Étant donné que la pente est suffisante (~1 pourcent), on pense que le canal ne nécessitera aucun revêtement, sauf au travers de l'ensellement ou l'on note une importante chute de niveau (9.1 mètres sur une distance de 70 mètres). Des barrages en escalier seront construits tous les 15 mètres dans cette section et le lit du canal sera renforcé pour éviter l'érosion (voir le dessin D-3, Section B, Annexe D).

Lors des futures phases, il pourra être envisagé de construire de petits réservoirs d'eau pour la communauté d'agriculteurs vivant de l'autre côté de l'ensellement. Il pourra également être possible d'augmenter la surface agricole en y ajoutant la zone marécageuse de Nan Makày pour y cultiver du riz sauvage (comme les espèces de riz flottant). Enfin, l'eau dispersée dans La Saline, associée à la plantation de différentes espèces à système racinaire profond, pourrait être utilisée pour réduire la salinité de la zone, restaurer sa productivité biologique et, à terme, sa fertilité.

Amélioration des Dalots

Les quatre dalots en béton des canaux Elmé et Altida à l'intersection avec la Route 151 sont trop petits. D'importantes quantités de sédiments se sont déposées à l'entrée des dalots situés en amont, ce qui témoigne de la retenue d'eau lors des grosses crues. Cela provoque par ailleurs d'autres inondations localisées. Nous recommandons donc l'installation d'un grand dalot afin d'éviter la retenue d'eau. Il est également noté que la Route 151 fonctionne comme un accotement qui intensifie les inondations localisées. La route devra dans tous les cas être remise à niveau sur environ 150 mètres de manière à ce qu'elle puisse passer au-dessus du nouveau dalot.

Nettoyage et Dragage des Canaux

Afin d'améliorer la capacité de la zone inondable à s'assécher après une crue, le canal A et la ravine Trou Maurice devront être dragués sur une profondeur de 0.5 mètres et élargis à au moins 1 mètre sur une distance d'environ 1,500 mètres. Les canaux latéraux devront aussi être régulièrement entretenus. Il est entendu que cela sera de la responsabilité des districts d'irrigation locaux. Aucune action n'est recommandée pour le canal B tant que des informations détaillées n'auront pas été collectées concernant les impacts négatifs possibles sur la ville de La Baie. Étant donné que celle-ci se trouve en aval du canal B, toute modification visant à améliorer le drainage pourrait accroître l'intensité des crues.

Routes d'Accès et Points de Franchissement de la Rivière

Une nouvelle route d'accès le long du versant nord du Mont Calebassier sera nécessaire pour transporter les équipements jusqu'à l'ensellement. La nouvelle chaussée fera approximativement 1,000 mètres. À terme, elle pourra être prolongée jusqu'à l'autre côté de l'ensellement et le long de la crête au sud du Mont

Calebassier. As the agricultural productivity of the Plaine des Moustiques increases, this new roadway could prove to be an important corridor to La Baie as well as the transportation corridor to Port-de-Paix.

To improve access to La Baie from Poste Metier, it is proposed that four concrete fords be constructed where drainages from La Saline and the Plaine des Moustiques occur along the beach road to La Baie. This would dramatically improve the transport of goods and services to this area. An improved river crossing would also be an asset to people traveling by foot as the existing mud ridden crossing greatly hampers foot traffic.

Phase 2 Concepts

- Management of floodway avulsion channel
- Nan Makày wetland dike
- Bridge and levee study/relocation
- Ravine levee
- Riparian Restoration
- Watershed Reforestation
- Flood warning response program.

There currently is not enough information available to fully address some of the Phase 2 design concepts, therefore additional survey information and hydraulic modeling will be required to fully assess these options. Together the Phase 2 design concepts provide solutions for river migration issues, methods to achieve large scale watershed reclamation, riparian restoration, basin reforestation and a flood warning response program.

Highway Bridge Levee Relocation

It is currently believed that the Route 151 Rivière des Moustiques Bridge, in conjunction with the levees on both banks upstream of the bridge, is responsible for the large accumulations of sediment in the box culverts. Currently, one of three box culverts is totally filled, with the second partially filled (Photo 26, Appendix B). During flood conditions, the bridge acts as a constriction which causes water velocities to decrease allowing some sediment to be deposited at the upstream end. Removal of the levees will result in additional over bank flow allowing sediment to be deposited onto the floodplain rather than in front of the bridge. A hydraulic analysis would need to be conducted to properly determine the direct effect of the levees and sediment deposition in front of the bridge.

Floodway Avulsion Channel Relocation

This concept alternative recognizes the geomorphic processes occurring in the Rivière des Moustiques and its floodplain (i.e., the Plaine des Moustiques), principally the fact that the current river is situated well above its floodplain. Currently the primary pathway for conveying

Calebassier. À mesure de l'augmentation de la productivité de la plaine des Moustiques, cette nouvelle voie pourrait devenir un axe essentiel vers la ville de La Baie et le principal axe de transport vers Port-de-Paix.

Pour améliorer l'accès à La Baie depuis Poste Métier, nous proposons enfin la construction de quatre gués en béton aux intersections entre la route côtière de La Baie et les zones d'écoulement des eaux de La Saline et de la plaine des Moustiques. Cela permettrait d'améliorer considérablement le transport des marchandises et des services dans cette zone. Ces gués seraient enfin très pratiques pour le trafic à pied, celui-ci étant actuellement particulièrement pénible.

Concepts de la Phase 2

- Gestion du chemin naturel de l'eau
- Digue de la zone humide de Nan Makày
- Étude/déplacement du pont et de la levée
- Levée de la Ravine
- Restauration de la ripisylve
- Reforestation du bassin versant
- Programme d'alerte/de réponse aux inondations.

À l'heure actuelle, nous ne disposons pas de toutes les informations requises pour apporter des solutions complètes à certains points de la Phase 2, des études et des modélisations hydrauliques complémentaires seront donc nécessaires. Dans l'ensemble toutefois, les solutions proposées abordent les problèmes de migration de la rivière, les méthodes de mise en valeur des terres à grande échelle, la restauration de la ripisylve, la reforestation du bassin et la création d'un programme d'alerte/de réponse en cas d'inondation.

Déplacement de la Levée du Pont

On pense que le pont de la Route 151 sur la Rivière des Moustiques est, avec les levées sur les deux berges en amont du pont, à l'origine de l'importante sédimentation dans les dalots. Actuellement, l'un des trois dalots est entièrement rempli et un autre l'est partiellement (Photo 26, Annexe B). Lors des crues, le pont fonctionne comme un étranglement qui ralentit la vitesse de l'eau et augmente donc le dépôt de sédiments en amont. La suppression des levées entraînera une augmentation des débits de crue au-dessus des berges, ce qui permettra aux sédiments de se déposer dans la plaine plutôt qu'en amont du pont. Une analyse hydraulique devra être réalisée afin de déterminer avec exactitude l'impact direct des levées et de la sédimentation en amont du pont.

Déplacement du Chemin Naturel de l'Eau

Ce scénario d'aménagement prend en compte le processus d'évolution géomorphique de la Rivière des Moustiques et de sa plaine inondable (la plaine des Moustiques), notamment le fait que le cours actuel de la rivière est situé bien au-dessus de sa plaine. Actuellement, le principal chemin de débordement

flood flows extends from Rivière des Moustiques near Route 151 to the west along the southern margin of the Plaine des Moustiques into the Nan Makày wetland which drains into the Ravine and out to Baie des Moustiques. Both local farmers and the geomorphic evidence (e.g., sedimentation patterns, scour paths) indicate that this floodway has become more pronounced in recent years and likely reflects a historic trend.

Sediment supply to the Rivière des Moustiques has likely increased by at least an order of magnitude since the 1950s as a result of deforestation and intensive agriculture within the Rivière des Moustiques watershed. The majority of this material is transported down to the Plaine des Moustiques due to the relatively steep gradient and confined valley of the Rivière des Moustiques. The Rivière des Moustiques valley undergoes a significant expansion in the vicinity of Route 151, going from about 200 to 300 meters in width near the inlet of Canal Altida to over 500 meters at Route 151, then to over 1,000 meters wide about 300 meters downstream (NW) of Route 151. In this same area, the river gradient decreases significantly.

Much of the sediment load moving down the Rivière des Moustiques is sand and silt carried in suspension during high flows. When flows overtop the river's banks, flow velocities diminish rapidly and suspended sediments, particularly the coarser particles such as sand, settle out onto the floodplain. This process naturally builds up the elevation of the floodplain closest to the source of sediment, the river. The result is a convex valley cross-section with the river located at the apex. In the lower Rivière des Moustiques, this process has been exaggerated in the last 50 years by the increased sediment supply and historic management to constrain the channel. The result is a dramatic topographic difference across the Plaine des Moustiques in which the largest hydraulic gradients extend perpendicular and not parallel to the river. This process is setting the stage for a dramatic change in the river's course, referred to as an avulsion. An avulsion occurs when a river finds a more advantageous pathway (steeper gradient and lower frictional resistance) across its valley.

This situation presently exists on the floodplain along Canal Elmé. Over bank flows beginning in the vicinity of the inlet to Canal Altida and extending down to the Route 151 bridge, are routed westward across the floodplain to Nan Makày. In the relatively open fields north of Canal Elmé (600 to 1,200 meters west of Route 151) where there is relatively little frictional resistance and the highest gradient, these flows are actually scouring the floodplain, not depositing sediment. This is typical of conditions prior to an avulsion occurring. Further west, these flood flows gradually spread out and slow down to deposit their sediment. The flows form large areas of standing water that can persist for weeks or months. The Nan Makày acts like a large detention basin that meters outflow to the Ravine. The large size (hydraulic geometry) of the Ravine (greater than 2 times that of the lower Rivière des Moustiques) and local testimony that the channel has been increasing in size, all reflect the increase in the amount of water moving through this floodway.

Construction of a channel similar in size to the current Rivière des Moustiques at the Route 151 bridge, including construction of a new bridge at the Elmé crossing, will provide a proactive means of conveying floods with the least damage. These activities will improve drainage and manage long-term sedimentation within the Plaine des Moustiques. This channel would be excavated and its banks planted with fruit trees that can tolerate periodic inundation and

s'étend de la Rivière des Moustiques, près de la Route 151, vers l'ouest le long de la limite sud de la plaine des Moustiques et jusqu'à la zone humide de Nan Makày qui s'écoule ensuite dans la Ravine puis dans la Baie des Moustiques. Tant les témoignages des agriculteurs que les signes géomorphiques (motifs de sédimentation, affouillements, etc.) indiquent que ce chemin de débordement s'est davantage prononcé ces dernières années, ce qui semble refléter une tendance historique.

Résultat de la déforestation et de l'agriculture intensive dans le bassin versant de la rivière des Moustiques, la quantité de sédiments se déversant dans la rivière s'est considérablement accrue depuis les années 1950. De plus, étant donné l'inclinaison relativement forte de la vallée et son aspect confiné, une grande partie de ces sédiments est transportée dans la plaine des Moustiques. La vallée connaît donc une expansion importante à proximité de la Route 151, passant de 200-300 mètres de large près de la prise d'ouvrage du canal Altida à plus de 500 mètres au niveau de la route puis à plus de 1,000 mètres de large à environ 300 mètres en aval (NW) de la route. Sur cette même portion, l'inclinaison de la rivière se réduit de manière importante.

Le débit solide de la Rivière des Moustiques consiste essentiellement en sables et en limons en suspension dans l'eau lors des grandes crues. Lorsque celles-ci dépassent les berges, la vitesse d'écoulement diminue rapidement et les sédiments en suspension, en particulier les particules les plus grosses, se déposent dans la plaine. Ce processus élève naturellement le niveau de la plaine inondable au plus près de la source des sédiments, c'est-à-dire la rivière. Il en résulte une vallée de forme convexe avec la rivière à son sommet. Dans le cours inférieur de la Rivière des Moustiques, ce processus s'est accentué ces 50 dernières années avec l'augmentation de la quantité de sédiments et les efforts déployés pour contrôler la rivière. Cela a créé une différence topographique spectaculaire dans la plaine des Moustiques, où le gradient hydraulique le plus important s'étend en perpendiculaire et non en parallèle à la rivière. Ce processus annonce un changement important du cours, lorsque la rivière trouve un chemin naturel plus avantageux (plus incliné avec moins de résistance par frottement) dans sa vallée.

Cette situation est déjà en train de se produire le long du canal Elmé. Les débits de crue au-dessus des berges entre la prise d'ouvrage du canal Altida et le pont de la Route 151 s'écoulent en direction de l'ouest en traversant la plaine vers Nan Makày. Dans les champs relativement ouverts situés au nord du canal Elmé (de 600 à 1,200 mètres à l'ouest de la Route 151), où le terrain offre peu de résistance et où l'inclinaison est la plus élevée, les débits de crue creusent la plaine sans déposer de sédiments. Il s'agit des conditions typiques annonçant un changement de cours. Plus à l'ouest, ces débits de crue se dispersent et ralentissent pour déposer leurs sédiments. Ils forment de grandes étendues d'eau stagnante pouvant parfois durer plusieurs semaines, voire plusieurs mois. La zone de Nan Makày fonctionne comme un grand bassin de retenue qui filtre les écoulements vers la Ravine. La surface importante (géométrie hydraulique) de la Ravine (plus de deux fois supérieure à celle du cours inférieur de la Rivière des Moustiques) et les témoignages relatifs à l'élargissement du canal reflètent l'augmentation de la quantité d'eau empruntant ce chemin.

Outre l'édification d'un nouveau pont à l'intersection d'Elmé, la construction d'un canal d'une taille identique à celui de la Rivière des Moustiques au niveau du pont sur la Route 151 permettra de canaliser les crues et de minimiser leurs dégâts. Ces travaux amélioreront par ailleurs le drainage et, à long terme, permettront de contrôler la sédimentation dans la plaine des Moustiques. Au bord du nouveau canal seront plantés des arbres fruitiers pouvant tolérer des périodes d'inondations et

sedimentation. These trees will also help to stabilize the banks of the new channel. Initially, this channel can serve as a secondary flood relief channel to the current main stem channel, but will be managed with the assumption that it could become the main stem river in the near future. This managed approach to accommodating the natural processes already occurring will diminish economic and social losses that will result when the avulsion occurs and the community is unprepared. The managed approach can also improve the productivity of existing gardens by providing better flood conveyance and drainage as well as build up new land that will be more productive for gardens, similar to the productive gardens currently situated on relatively high ground close to the present main stem channel.

Nan Makày Wetland Dike

The Nan Makày area represents a low point in the floodplain; the creation of a dike to impound floodwater would increase sedimentation and flood storage. Increased sedimentation over time could improve the productivity of the area. Preliminarily, the earthen dike would be 1 meter high and extend along the eastern extend of the Nan Makày wetland. A flow control structure will be built within the Ravine at the northwest edge of the dike. This will regulate flows within the impounded section and offer some protection to downstream areas, which includes the town of La Baie.

The Ravine and La Baie Levee

Additional water diverted to the western portion so of the floodplain will adversely affect flooding issues in the town of La Baie and the adjacent roadway. Any plans to manage an avulsion channel would have to protect downstream existing infrastructure or relocate it. The town currently gets inundated by two floods annually with water heights approaching 1.5 meters. In addition, flood peaks are quick, lasting only a few hours, but can occur as many as five times in one storm event. This is based on observation from Pat Hamilton, who lives in a mission in the town of La Baie.

Basin Reforestation and Riparian Restoration

One of the biggest problems facing Haiti's water supply and ecological health is the lack of a forested watershed. It is highly recommended that a watershed scale reforestation project be implemented to protect mountain side slopes from erosion.

We also recommend creating intact riparian buffers adjacent to all waterways within the Plaine des Moustiques to help buffer farmland from high water flows. It is recommended that a riparian restoration plan be developed that would include an implementation plan for planting a 10 meter buffer of trees, shrubs and herbs to restore riparian functions on either side of all major waterways.

A forested buffer will increase floodplain roughness to reduce the energy of flood flows, it will protect and stabilize stream and canal banks, and block to some degree flood material from

de sédimentation. Ils serviront également à en stabiliser les berges. Ce canal servira tout d'abord d'effluent de crue secondaire du canal principal mais sera géré en supposant qu'il puisse devenir le cours principal de la rivière dans un avenir proche. Cette approche de gestion proactive des processus naturels déjà en cours diminuera les impacts économiques et sociaux d'un changement de lit de la rivière si la communauté n'est pas préparée. Cette approche gérée peut également permettre d'augmenter la productivité des jardins existants, en améliorant l'adduction et le drainage des eaux de crues, et de mettre en valeur de nouvelles terres au rendement supérieur pour les jardins, comme ceux qui se trouvent actuellement dans une zone relativement élevée près du cours principal de la rivière.

Digue de la Zone Humide de Nan Makày

La zone de Nan Makày représentant un point bas dans la plaine inondable, la construction d'une digue visant à retenir les eaux de crue augmentera la sédimentation et le stockage de l'eau. À terme, l'augmentation de la sédimentation améliorera la productivité de la zone. La digue en terre fera 1 mètre de haut et longera la limite est de la zone humide de Nan Makày. Un ouvrage de régularisation du débit sera construit dans la Ravine sur le bord nord-ouest de la digue. Il permettra de contrôler les crues dans la partie close et offrira un certain de niveau de protection pour les zones situées en aval, dont la ville de La Baie.

Levée de la Ravine et de La Baie

Les eaux de crues déviées vers la partie ouest de la plaine inondable aggraveront probablement les problèmes d'inondation que connaissent la ville de La Baie et la route voisine. Tout projet de gestion du chemin naturel de l'eau devra prendre en compte la protection des infrastructures existantes en aval ou proposer leur déplacement. La ville est actuellement inondée deux fois par an, avec des crues pouvant atteindre 1.5 mètre de haut. Selon le témoignage de Pat Hamilton, qui vit dans une mission à La Baie, les pics d'inondation sont rapides, quelques heures seulement, mais peuvent se produire jusqu'à cinq reprises au cours d'une même tempête.

Reforestation du Bassin et Restauration de la Ripisylve

L'un des principaux problèmes auxquels doit faire face la plaine des Moustiques en termes d'adduction d'eau et de santé écologique est l'absence d'un bassin versant forestier. Afin d'éviter l'érosion excessive des montagnes, un projet de reforestation à l'échelle du bassin versant est fortement recommandé.

Nous proposons également de créer des zones tampon de 10 mètres de large de chaque côté des principaux cours d'eau de la plaine des Moustiques afin de restaurer les fonctions rivulaires et de protéger les zones cultivées en cas de crues importantes.

En accroissant la rugosité de la plaine inondable, ces zones tampon constituées d'herbes, d'arbres et d'arbustes permettront de réduire l'énergie des débits de crue, de protéger et de stabiliser le cours et les berges des canaux et, dans une certaine mesure, d'éviter que les débris transportés par les crues

entering canals and streams. Currently, large floods will take down plantain tree trunks (2 to 4 meters tall) and transport them downstream until blockages form. A riparian buffer of fruit-bearing trees will act as a barrier to prevent some of this large debris from entering the water ways. Fruit-bearing trees such as avocado, bread fruit (lam veritab), coconuts, mango, citrus, dates, palms “Renie”, guava, and sour-sop (to name a few) would be suitable for planting. Another advantage of fruit-bearing tree is that they are less susceptible to being cut down for timber or charcoal purposes since they are a food source and commodity.

Flood Warning/Response Program

There is currently no flood warning/flood response program in the Rivière des Moustiques drainage basin. As flooding has resulted in loss of life, and will likely continue to do so, a flood warning program should be initiated. A simple network of alarms and sirens in heavily flood-prone areas could be extremely effective in waking people, and in giving people sufficient time to evacuate themselves and their animals before a flood wave strikes. Responsible persons in the upper basin and along the river could be linked by cell phone or by sounding a string of alarms.

Agricultural Benefits of the Project

The community survey of 50 farmers in the Plaine des Moustiques found that for the majority of farmers floodwaters from major storm events inundated their crops for one or more months (57 percent). After a flooding event 31 percent of farmers were unable to work their croplands for 3 months or more. Twenty-nine percent have to wait 2 to 3 months and another 29 percent are prevented from working for 1 to 2 months. These events occur, on average, each year for 29 percent of farmers and at least once in 5 years for 69 percent of farmers. When such flood events occur, farmers unanimously complain that the flood kills the plants in their gardens. In addition, over 86 percent of those surveyed complained that crops not destroyed in the flood did not grow well after flooding. These results indicate that agricultural damage from flooding is frequent, pervasive, and has largely resulted from the long periods of flood inundation following storm events. It is expected that solutions to restore agricultural productivity by better managing drainage would therefore alleviate the frequency and severity of flooding of the productive agricultural areas and would also increase the potential for agriculture in areas currently not farmed.

Farm sizes in the Plaine des Moustiques vary from 0.08 to 3 karos (0.1 to 3.8 hectares) but most are between 0.25 and 0.5 karos (0.32 to 0.64 hectares). About 1,000 plantain trees can be grown on 0.5 karo which produce approximately \$3,000 Haitian dollars (\$600 US) worth of plantains per year. Assuming that the proposed drainage improvements can reduce the frequency of crop killing floods to one in 20 years for those farmers now experiencing them every 5 years or more, income for those farmers would be increased by a minimum of \$4,000 per hectare over the 20-year period and could be significantly higher, especially among farmers with fields that flood annually.

ne pénètrent dans les canaux. En effet, il arrive régulièrement que des troncs de plantains de 2 à 4 mètres de long soient transportés par les crues jusqu'à bloquer les canaux en aval. Une ripisylve constituée d'arbres fruitiers fonctionnera comme une barrière et évitera que cela ne se produise. Des avocats, des arbres à pain, des cocotiers, des manguiers, des citrus, des dattiers, des palmiers roñier, des goyaviers, et des corossoliers sont, entre autres, recommandés pour ces plantations. Un autre avantage des arbres fruitiers est qu'ils sont moins susceptibles d'être abattus pour faire du bois de construction ou du charbon car ils sont une source de nourriture et de denrées pour la communauté.

Programme d'Alerte/de Réponse aux Inondations

Il n'existe actuellement aucun programme d'alerte/de réponse aux inondations dans le bassin versant de la Rivière des Moustiques. Étant donné que les inondations ont déjà fait des victimes, et qu'elles en feront probablement d'autres, un plan d'alerte aux inondations devra être mis en place. Un simple réseau d'alarmes et de sirènes dans les zones à risque élevé pourrait s'avérer très efficace pour réveiller les habitants et leur donner suffisamment de temps pour évacuer la zone avec leurs animaux avant l'arrivée de l'onde de crue. Des responsables pourraient être désignés dans le bassin supérieur et le long de la rivière et donner l'alarme par téléphone portable ou à l'aide de sirènes.

Avantages Agricoles du Projet

L'étude menée auprès de 50 agriculteurs de la plaine des Moustiques montre que, pour la majorité d'entre eux, des crues provoquées par des tempêtes ont inondé leurs cultures pendant un ou plusieurs mois (57 pourcent). Après une inondation, 31 pourcent des agriculteurs ne peuvent pas travailler dans leurs champs pendant 3 mois ou plus. Vingt-neuf pourcent d'entre eux doivent attendre entre 2 et 3 mois et encore 29 pourcent ne peuvent pas travailler entre 1 et 2 mois. De tels événements se produisent en moyenne chaque année pour 29 pourcent des agriculteurs et au moins une fois tous les 5 ans pour 69 pourcent d'entre eux. Pendant ces inondations, les agriculteurs se plaignent unanimement que leurs propres jardins ont été détruits. Par ailleurs, plus de 86 pourcent des agriculteurs interrogés ont indiqué que les cultures non détruites pendant l'inondation voyaient postérieurement leur croissance ralentie. Ces résultats montrent que les dégâts provoqués par les inondations sur les cultures sont fréquents, généralisés et résultent principalement des longues périodes de stagnation de l'eau dans les cultures après les tempêtes. Il est attendu que les solutions visant à restaurer la productivité agricole en contrôlant le drainage de manière plus efficace permettront de réduire la fréquence et la gravité des inondations des zones arables et d'accroître le potentiel agricole des zones non encore cultivées.

Les fermes de la plaine des Moustiques varient de 0.08 à 3 karos (de 0.1 à 3.8 hectares) mais la plupart font entre 0.25 et 0.5 karos (de 0.32 à 0.64 hectares). Approximativement 1,000 plantains peuvent être plantés sur un demi-karo, soit une production annuelle moyenne d'environ 3,000 dollars haïtiens (450 euros). En supposant que les mesures proposées permettent de réduire la fréquence des crues dévastatrices à une fois tous les 20 ans pour ceux des agriculteurs dont les cultures sont actuellement détruites une fois tous les 5 ans ou plus, les revenus augmenteraient au minimum de 4,000 dollars par hectare sur la période de 20 ans, et pourraient être bien supérieurs, en particulier chez les agriculteurs dont les champs sont inondés tous les ans.

We estimate that by implementing the Phase 1 concepts described in this report, agricultural productivity within the Plaine des Moustiques could increase from 296 hectares to 587 hectares by making the currently marginal agricultural gardens (291 hectares) more productive. This would increase lands that could support productive gardens (gardens capable of producing fruit-bearing trees such as mango and coconut, plantains and corn with beans, potatoes, manioc, and onions in the understory) to 57 percent of the plain (more than double current conditions (see Figure 13). This would occur because gardens located on marginally productive lands would realize improved drainage. This would allow for more optimum growing conditions for a greater diversity of food producing species. In addition the recommended improvements would lessen the frequency of crop destroying flood events.

The improvements identified for Phase 2 will also impart significant agricultural benefits by increasing the potential for agricultural productivity within Nan Makày (103 hectares) and La Saline (80 hectares). These areas are currently used for limited animal grazing and are not viable for crop production. By improving drainage and restoring soil fertility in these areas an additional 183 hectares could be used for increased agricultural production in the long term for a total increase of 474 hectares over the existing 296 hectares of productive gardens. This would be a 160 percent increase in potentially productive agricultural lands over current conditions within the Plaine des Moustiques.

Project Costs

Project costs were developed for both the Phase 1 and Phase 2 project elements and are shown in 2007 US dollars without escalation. The project elements were developed to identify the project administration, construction, design development, and construction support costs.

Table 2 shows a summary of the Phase 1 and Phase 2 project elements. For this level of design and assessment, a 30 percent contingency has been assumed and is shown as a subtotal for the construction, design development, and construction support project elements.

Project Administration

The project administration costs have been assumed to be 8 to 10 percent of the construction cost. The costs include contract management for both the design and construction phases of the project. Depending on funding requirements, up to an additional 5 percent could be required.

Construction Costs

The construction costs have been developed in a bid tab format using a bottom up calculation method. A bottom up calculation method identifies local labor, equipment, and material costs and then uses a production rate to generate a work activity unit cost. This method of calculation

On estime qu'en implémentant les propositions de la Phase 1 décrites dans ce rapport, la productivité agricole de la plaine des Moustiques pourrait passer de 296 à 587 hectares, en particulier grâce à l'augmentation de la production des jardins cultivés, qui représentent 291 hectares. Cela augmenterait la superficie des terres pouvant accueillir des jardins cultivés (c'est-à-dire capables de produire des arbres fruitiers tels que des manguiers, des cocotiers ou des plantains, avec du maïs, des haricots, du manioc et des oignons comme végétation de sous-étage) de 57 pourcent, soit le double de la production actuelle (voir la Figure 13). Cela s'explique par le fait que les jardins situés sur des terres peu productives profiteraient de l'amélioration du drainage. Cela se traduirait par des conditions de culture optimisées pour une plus grande diversité d'espèces vivrières. Par ailleurs, les améliorations recommandées réduiraient également la fréquence des crues dévastatrices.

Les améliorations identifiées à la Phase 2 auront également un impact considérable sur la production agricole, notamment en augmentant le potentiel agricole des zones de Nan Makày (103 hectares) et de La Saline (80 hectares). Celles-ci sont actuellement utilisées comme pâturages et ne sont pas viables pour la culture. En améliorant le drainage et en restaurant la fertilité du sol dans ces zones, 183 hectares supplémentaires pourraient être utilisés afin d'accroître la production agricole à long terme, pour un total de 474 hectares sur les 296 hectares de jardins cultivés. Cela aboutirait à une augmentation totale de 160 pourcent des terres potentiellement arables par rapport aux conditions actuelles de la plaine des Moustiques.

Coûts du Projet

Les coûts du projet ont été développés pour les différents éléments des phases 1 et 2 et sont donnés en dollars américains de 2007. Les chiffres indiqués se divisent en coût d'administration, de construction, de développement et de soutien technique pour chaque élément.

Le tableau 2 offre un résumé des éléments des phases 1 et 2. Pour ce niveau de développement et d'évaluation, une contingence de 30 pourcent a été prévue et est indiquée en tant que sous-total pour les éléments de construction, de développement et de soutien technique.

Administration du Projet

On prévoit que les coûts d'administration du projet représenteront entre huit et dix pour cent du coût de construction. Ceux-ci comprennent la gestion des contrats pour les phases de développement et de construction du projet. Selon les conditions de financement, cinq pour cent supplémentaires pourront être nécessaires.

Coûts de Construction

Les coûts de construction ont été développés sous la forme d'un enregistrement des offres en utilisant une méthode de calcul ascendante. Cette méthode fonctionne en identifiant les coûts de main d'œuvre locale, d'équipements et de matériaux puis en utilisant un taux de production pour générer un coût unitaire d'activité. Elle permet également

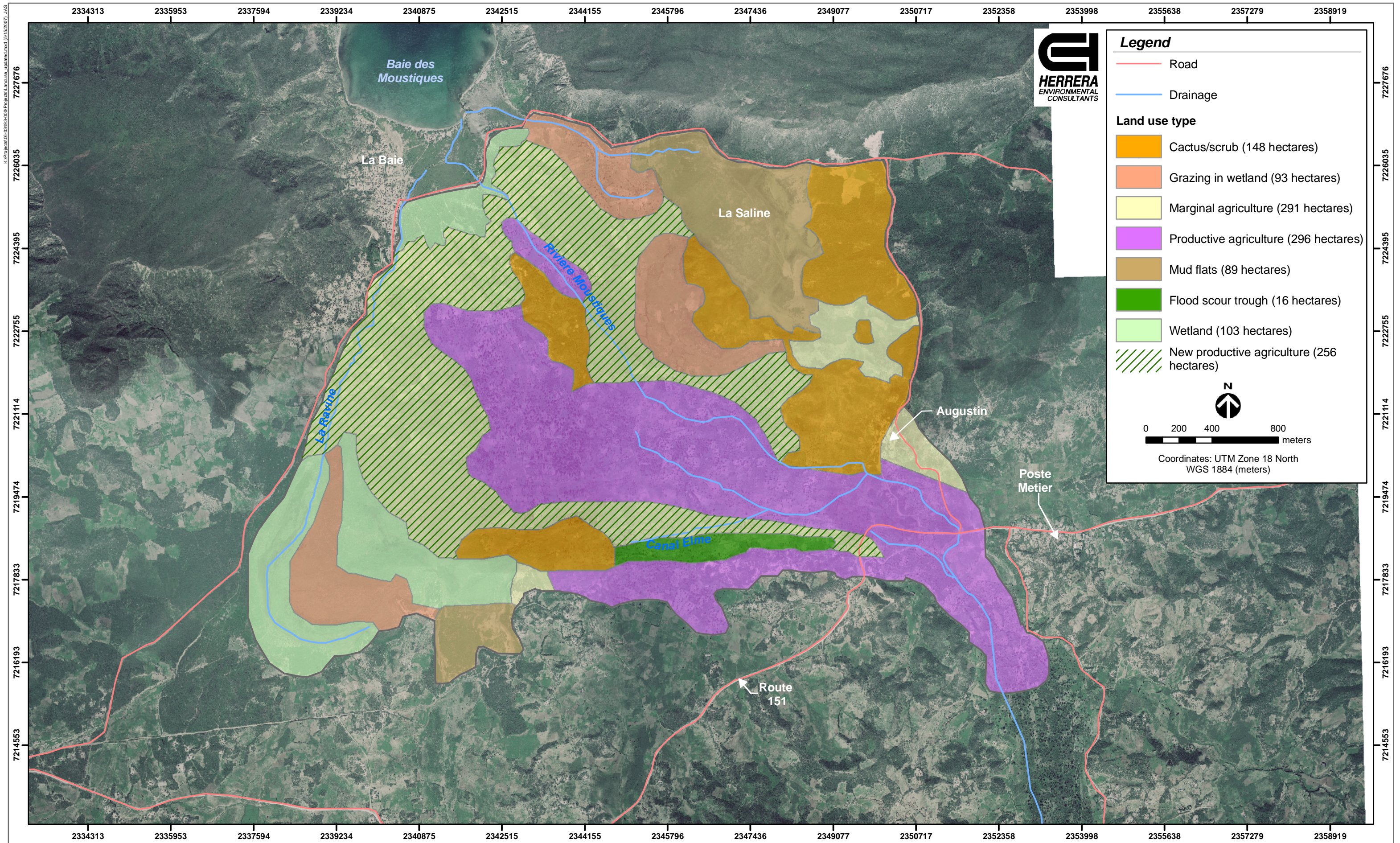


Figure 13a. Proposed net increase in agricultural productivity for Phase 1.
 Figure 13a. Augmentation nette proposee de la productivite agricole pour la phase 1.

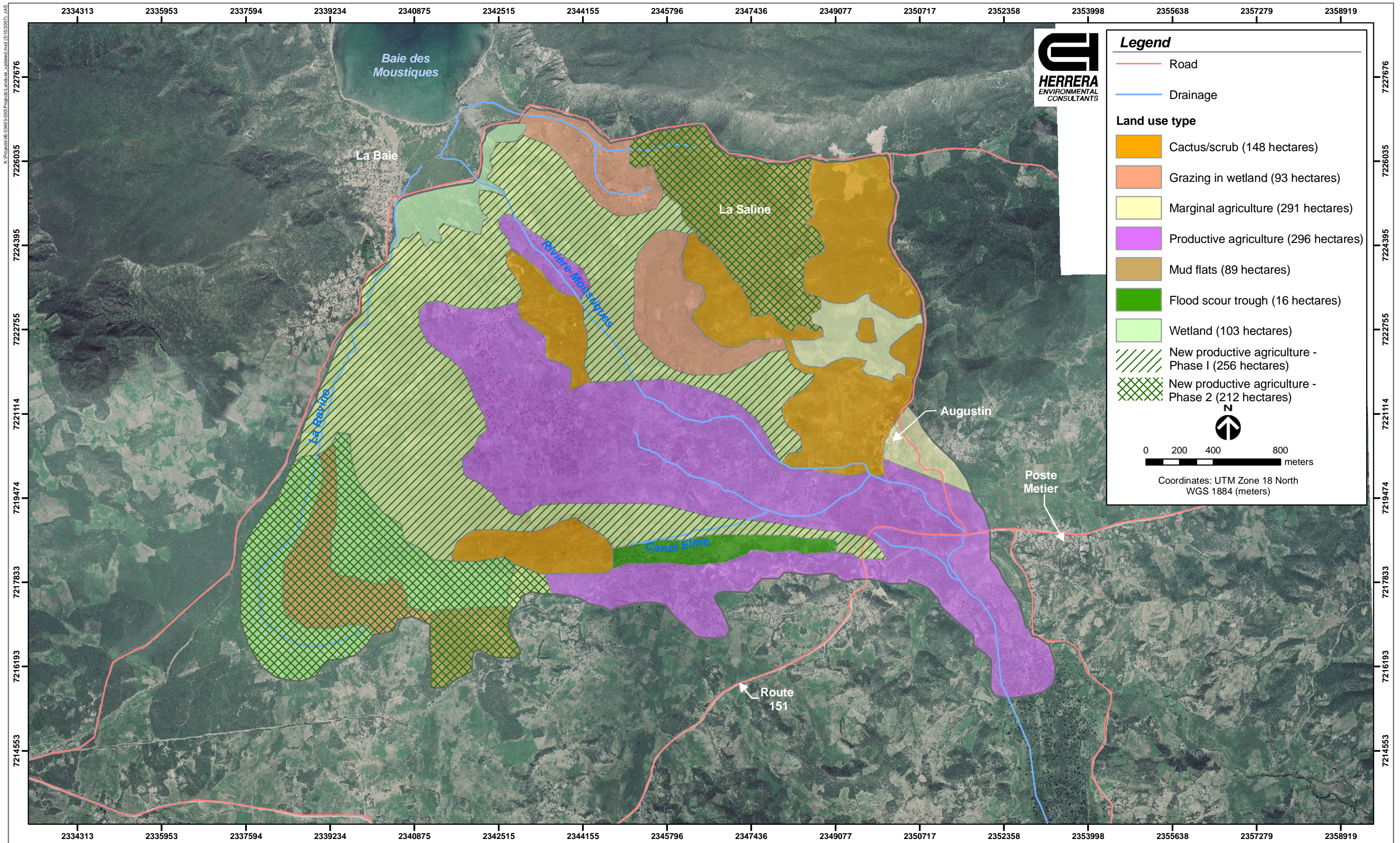


Figure 13b. Proposed net increase in agricultural productivity for Phase 2.
 Figure 13b. Augmentation nette proposée de la productivité agricole pour la phase 2.

Table 2. Engineering estimate of probable project cost.

Item	Description	Quantity	Units	Unit Price	Component Price	Total Price
Administration						
1	Project Administration	1	EA	\$440,000		\$440,000
	<i>Contingency</i>	30%				\$132,000
	Administration + Contingency					\$572,000
Construction						
2	Mobilization	1	EA	\$754,000		\$754,000
3	TESC	1	LS	\$5,000		\$5,000
4	Drainage Channel Clearing and Dredging	1	EA	\$415,600		\$415,600
5	Elmé and Altida Canal Headworks	2	EA	\$44,402		\$88,804
6	Sediment basin	2	EA	\$7,000		\$14,000
7	Rivière des Moustiques Gabion Grade control Structures	4	EA	\$19,360		\$77,440
8	Glaci Canal Realignment	1	EA	\$57,000		\$57,000
9	Glaci Canal Headworks	1	EA	\$10,737		\$10,737
10	Temporary Access Road Improvement/Grading	1,000	M	\$63.60		\$63,600
11	High Flow Diversion Headworks and Ogee weir	1	EA	\$188,750		\$188,750
12	High Flow Channel Construction	1	EA	\$1,648,450		\$1,648,450
13	High Flow Chanel Grade Control Type A (Gabion)	15	EA	\$12,360.00		\$185,400
14	High Flow Chanel Grade Control Type B (Boulder)	15	EA	\$4,560.00		\$68,400
15	High Flow Chanel Grade Concrete Water Crossing	3	EA	\$26,360.00		\$79,080
16	Altida and Elmé Culvert Replacements	2	LS	\$31,560.00		\$63,120
17	Altida and Elmé Road Regrading	2	LS	\$20,000.00		\$40,000
18	Riparian Restoration	1	EA	\$55,000		\$55,000
19	Avulsion Channel - Phase 2	1	LS	\$1,216,237.00		\$1,216,237
20	Bridge Levee Removal - Phase 2	3,000	M ³	\$7.00		\$21,000
21	Reforestation - Phase 2	50	Hectare	\$3,500.00		\$175,000
	Construction Subtotal					\$5,226,618
	<i>Construction Contingency</i>	30%				\$1,567,985
	Construction + Contingency					\$6,794,603

Tableau 2. Procédé détaillé des coûts probables du projet.

Élément	Description	Quantité	Unités	Prix Unitaire USD	Prix du Composant	Coût Total USD
Administration						
1	Administration du Projet	1	Chacun	\$440,000		\$440,000
<i>Contingence</i>		30%				\$132,000
Administration + Contingence						\$572,000
Construction						
2	Mobilisation	1	Chacun	\$754,000		\$754,000
3	Plan de Contrôle de l'Érosion/de la Sédimentation (TESK)	1	SF	\$5,000		\$5,000
4	Nettoyage et Dragage des Canaux de Drainage	1	Chacun	\$415,600		\$415,600
5	Ouvrages de Dérivation d'Elmé et d'Altida	2	Chacun	\$44,402		\$88,804
6	Bassin de Sédimentation	2	Chacun	\$7,000		\$14,000
7	Barrages en Escalier sur la Rivière des Moustiques	4	Chacun	\$19,360		\$77,440
8	Réalignement du Canal Glaci	1	Chacun	\$57,000		\$57,000
9	Ouvrages de Dérivation du Canal Glaci	1	Chacun	\$10,737		\$10,737
10	Amélioration/Nivelage de la Route d'Accès Temporaire	1,000	M	\$63.60		\$63,600
11	Ouvrage de Dérivation des Débits de Crue et déversoir en Doucine	1	Chacun	\$188,750		\$188,750
12	Construction du Canal de Dérivation des Débits de Crue	1	Chacun	\$1,648,450		\$1,648,450
13	Structure en Escalier de Type A du Canal de Dérivation des Débits de Crue (Gabions)	15	Chacun	\$12,360.00		\$185,400
14	Structure en Escalier de Type B du Canal de Dérivation des Débits de Crue (Blocs Rocheux)	15	Chacun	\$4,560.00		\$68,400
15	Gué en Béton de la Structure en Escalier du Canal de Dérivation des Débits de Crue	3	Chacun	\$26,360.00		\$79,080
16	Remplacement des Dalots des Canaux Elmé et Altida	2	SF	\$31,560.00		\$63,120
17	Mise à Niveau de la Route d'Altida et d'Elmé	2	SF	\$20,000.00		\$40,000
18	Restauration de la Ripisylve	1	Chacun	\$55,000		\$55,000
19	Déplacement du Lit de la Rivière – Phase 2	1	SF	\$1,216,237.00		\$1,216,237
20	Suppression de la Levée du Pont – Phase 2	3,000	m ³	\$7.00		\$21,000
21	Reforestation - Phase 2	50	Hectare	\$3,500.00		\$175,000
Sous-total de la Construction						\$5,226,618
<i>Contingence de la Construction</i>		30%				\$1,567,985
Construction + Contingence						\$6,794,603

Table 2 (continued). Engineering estimate of probable project cost.

Item	Description	Quantity	Units	Unit Price	Component Price	Total Price
Engineering and Design Development						
1	Survey and Lidar	1	LS	\$293,000.00		\$293,000
2	Hydrology Study	1	LS	\$17,600.00		\$17,600
3	Hydraulic Study	1	LS	\$23,200.00		\$23,200
4	Design Development					
5	Specifications	8	EA	\$2,000.00		\$16,000
6	Drawings	1	LS	\$114,000.00		\$114,000
7	Cost Estimate	1	LS	\$5,000.00		\$5,000
8	Socio Economic Analysis	1	LS	\$40,000.00		\$40,000
9	Basin Reforestation Plan	1	LS	\$40,000.00		\$40,000
10	Flood Warning/Response Program	1	LS	\$40,000.00		\$40,000
11	Management and O&M plan	1	LS	\$40,000.00		\$40,000
Engineering Subtotal						\$628,800
<i>Engineering Contingency</i>		30%				\$188,640
Engineering + Contingency						\$817,440
Construction Support						
1	Bidding Support	1	LS	\$5,000.00		\$5,000
2	Engineering Support During Construction	1	LS	\$290,000.00		\$290,000
3	Contract Closeout	1	LS	\$10,000.00	\$10,000.00	
Construction Support Subtotal						\$295,000
<i>Construction Management Contingency</i>		30%				\$88,500
Construction + Contingency						\$383,500
Subtotal Construction, Engineering and Construction Oversight						\$6,590,418
Subtotal Contingency						\$1,977,125
Total Project Costs including Contingency						\$8,567,543

Tableau 2 (suite). Procédé détaillé des coûts probables du projet.

Élément	Description	Quantité	Unités	Prix Unitaire USD	Prix du Composant	Coût Total USD
Développement Conceptuel et d'Ingénierie						
1	Étude et Lidar	1	SF	\$293,000.00		\$293,000
2	Étude Hydrologique	1	SF	\$17,600.00		\$17,600
3	Étude Hydraulique	1	SF	\$23,200.00		\$23,200
4	Développement Conceptuel					
5	Spécifications	8	Chacun	\$2,000.00		\$16,000
6	Dessins	1	SF	\$114,000.00		\$114,000
7	Estimation des Coûts	1	SF	\$5,000.00		\$5,000
8	Analyse Socio-économique	1	SF	\$40,000.00		\$40,000
9	Plan de Reforestation du Bassin	1	SF	\$40,000.00		\$40,000
10	Programme d'Alerte/de Réponse aux Inondations	1	SF	\$40,000.00		\$40,000
11	Plan de Gestion, d'Exploitation et de Maintenance	1	SF	\$40,000.00		\$40,000
Sous-total d'Ingénierie						\$628,800
<i>Contingence d'Ingénierie</i>						30%
Ingénierie + Contingence						\$188,640
Ingénierie + Contingence						\$817,440
Construction Support						
1	Appel d'Offres	1	SF	\$5,000.00		\$5,000
2	Soutien Technique lors de la Construction	1	SF	\$290,000.00		\$290,000
3	Clôture du Contrat	1	SF	\$10,000.00	\$10,000.00	
Sous-total du Soutien Technique						\$295,000
<i>Contingence de Gestion de la Construction</i>						30%
Construction + Contingence						\$88,500
Construction + Contingence						\$383,500
Sous-total Construction, Ingénierie et Supervision de la Construction						\$6,590,418
Sous-total Contingence						\$1,977,125
Coût Total du Projet avec Contingence						\$8,567,543

more accurately identifies actual costs when site conditions are unique or when material and labor costs are driven by local availability. The local material, labor, and equipment unit costs were obtained from in-country ODRINO staff. Bid tab unit costs were then calculated using production rates obtained by ODRINO staff from other projects using similar installation methods.

The construction costs have been broken out to show mobilization and discrete work tasks. Each work task is a summary of the specific work activities necessary to complete that task.

Mobilization is typically assumed to be 5 percent to 10 percent of the overall construction cost. For this project, it will be necessary to procure construction equipment that is not available locally. Because of this, the construction mobilization costs are closer to 15 percent of the total construction cost prior to applying contingency costs.

The discrete work tasks have been organized chronologically for implementation. The work tasks include a breakdown of all the task sub tasks with associated unit costs. Where applicable the work tasks have been rolled up and summarized to show unitized costs.

Engineering and Design Development

The engineering and design development necessary to assess and refine the proposed project elements includes acquisition of LiDAR data for the lower project basin (estimated at \$175,000), refined hydrologic and hydraulic modeling based on the LiDAR data, a socio economic study, development of a basin reforestation plan, a flood warning/response plan, and a drainage system operations and maintenance plan. Following development of the plans, contract design drawings would be prepared. Design Development is estimated at approximately 5 percent of the construction cost.

Construction Support

Construction support includes engineering support from the project surveyors and engineers for up to 10 weeks during construction. It is assumed that two engineers and one surveyor would be on-site for 10 weeks. Survey support would be provided by local staff.

Project Implementation Considerations

Construction Methods

La Saline Canal

The alignment of the La Saline Canal should follow the toes of the hillsides where possible, so that spoil can be stockpiled along the side of the canal without filling the floodplain or impacting productive land. In constructing the canal along such an alignment, an economical construction method that would minimize land disturbance can be realized using a long reach excavator

d'identifier plus précisément les coûts réels lorsque les conditions du site sont uniques ou lorsque les coûts de main d'œuvre ou des matières premières sont fixés par la disponibilité locale. Les coûts unitaires des matières premières, de la main d'œuvre et des équipements sur place ont été fournis par l'ODRINO. Les coûts unitaires d'enregistrement des offres ont ensuite été calculés à l'aide d'un taux de production fourni par l'ODRINO sur la base d'autres projets utilisant des méthodes d'installation similaires.

Les coûts de construction ont été détaillés pour indiquer la mobilisation et les tâches de travail isolées. Chaque tâche de travail est un résumé des activités spécifiques nécessaires à la réalisation de la tâche.

On évalue en général la mobilisation à entre cinq et dix pour cent du coût total de la construction. Pour ce projet, du matériel de construction non disponible sur place sera nécessaire. C'est la raison pour laquelle les coûts de mobilisation sont plus proches de 15 pourcent du coût total de la construction avant application des coûts de contingence.

Les tâches de travail isolées ont été organisées de façon chronologique pour la mise en œuvre. Les tâches de travail comprennent une ventilation de toutes les sous-tâches avec leurs coûts unitaires associés. Lorsque possible, les tâches de travail ont été agrégées et résumées pour afficher des coûts unifiés.

Développement Conceptuel et d'Ingénierie

Le développement conceptuel et d'ingénierie nécessaire à l'évaluation et au perfectionnement des éléments du projet requiert l'acquisition de données LiDAR sur le bassin inférieur (estimées à 175,000 dollars), un modèle hydrologique et hydraulique basé sur ces données, une étude socio-économique ainsi que le développement de plans de reforestation du bassin, d'alerte/de réponse aux inondations et de maintenance et d'exploitation du réseau de drainage. Les dessins conceptuels seront préparés une fois ces plans terminés. Le développement conceptuel est estimé à environ 5 pourcent du coût de construction.

Soutien Technique

Le soutien technique comprend la présence de deux ingénieurs et d'un géomètre sur le terrain pendant 10 semaines. L'assistance pour l'étude sera fournie localement.

Considérations sur la Mise en Œuvre du Projet

Méthodes de Construction

Canal de La Saline

Il est prévu que le canal de La Saline passe à flanc de coteau lorsque possible, de manière à pouvoir remblayer le bord du canal sans conséquences néfastes sur la plaine inondable ou les zones arables. Pour la construction de ce canal, une méthode économique et à l'impact réduit consiste à utiliser une excavatrice à longue portée

capable of reaching across the canal excavation and placing the soil on the opposite bank along the toe of the hill. The excavator should have a short reach stick for heavy materials and a long reach stick for placement of material and for excavation in swampy areas where it may be dangerous for workers. In areas of unstable side slopes and high groundwater table, trench boxes, dewatering, and other safety measures will be required whenever workers enter excavations.

Diversion Structures

ODRINO has extensive experience in the construction of gabion weir structures, and cyclopaean dams consisting of large angular boulders embedded in concrete. Both of these techniques are well suited to the region and to the experience of the local work force, and are expected to function hydraulically as desired. Construction of these types of structures has the added benefit of being labor intensive without requiring substantial equipment.

Operation and Maintenance

Unless there is substantial improvement in the upper Rivière des Moustiques drainage basin resulting in significant reduction in sediment yield, the concurrent processes of very large floods and large depositions of sediment will continue after the project proposed herein is completed. Sediment deposition will continue to be greatest along the main stem of Rivière des Moustiques, along the main distribution canals, and wherever obstructions or substantial flattening of a floodway occurs. Therefore, the entire system will continue to require periodic maintenance excavations, similar to the maintenance excavations that have historically been performed.

The structures proposed herein will also require maintenance. Diversion structures should be maintained free of debris and vegetation. Culverts will require periodic cleaning, and may require maintenance of scour protection features. The bottom slope and relative smoothness of earth-lined canals should be maintained. Side slopes should be kept free of rill erosion. Vegetation on canal and riverbanks should be controlled to maintain channel conveyance capacity and reduce channel hydraulic roughness. Canal and river banks should be inspected for the potential of soil piping as well. Where signs of soil piping or rill erosion occur along the river and canal banks, streambank protection such as quarry rock blankets or vegetative mats such as rousou should be placed.

capable d'atteindre la tranchée du canal et de déposer la terre du côté situé à flanc de coteau. Cette excavatrice devra comporter un bras court pour les matériaux lourds ainsi qu'un bras long pour le remblayage et l'excavation dans les zones marécageuses où le travail peut être dangereux pour les travailleurs. Dans les zones de coteaux instables et au niveau des nappes phréatiques peu profondes, des coffrages, des dispositifs d'assèchement du terrain ainsi que d'autres mesures de sécurité seront mises en place.

Ouvrages de Dérivation

L'ODRINO possède une solide expérience dans la construction de déversoirs en gabions et de barrages cyclopéens constitués de gros blocs rocheux angulaires coulés dans du béton. Ces deux techniques sont parfaitement adaptées à la région et au savoir-faire de la main d'œuvre locale et offriront les résultats hydrauliques souhaités. La construction de ce type d'ouvrage offre enfin l'avantage de nécessiter une main d'œuvre importante sans équipements lourds.

Exploitation et Maintenance

Sauf importante amélioration du bassin versant au niveau du cours supérieur de la Rivière des Moustiques et aboutissant à une réduction sensible de la sédimentation, les processus simultanés d'inondation et de sédimentation se poursuivront après l'achèvement du projet. C'est le long du cours principal de la rivière et des principaux canaux d'irrigation ainsi qu'au niveau des obstructions et des zones particulièrement planes que la sédimentation sera la plus importante. Il est donc essentiel que tout le réseau soit régulièrement entretenu et creusé, comme cela se faisait déjà par le passé.

Les structures proposées dans le présent rapport devront également être entretenues. La végétation et les débris devront être dégagés des ouvrages de dérivation. Les dalots devront être régulièrement nettoyés, de même que les structures de protection contre l'érosion. Il est essentiel que la pente du fond et la régularité relative des canaux recouverts de terre soient maintenues. Les bords des canaux devront être contrôlés pour vérifier qu'ils ne présentent pas de griffes d'érosion. La végétation sur les berges des canaux et de la rivière devra être surveillée afin de conserver la capacité d'adduction et réduire la rugosité hydraulique. Il faudra enfin vérifier que les berges des canaux et de la rivière ne présentent pas non plus de renards. En cas de renards ou de griffes d'érosion, des couvertures en pierres de carrière ou des tapis végétaux, comme le *rousou*, devront être installés.

Additional Studies and Data Required

This report presents a recommended course of action to provide agricultural reclamation in the Plaine des Moustiques. Designs for the structural elements provided are not complete. Development of final design plans and specifications should be based upon additional studies of basin flooding and sedimentation. Additional topographic information is also needed. A LiDAR survey of the floodplain is strongly recommended.

A detailed analysis of the agricultural and economic benefits of the project should be completed based upon a risk analysis of flooding and a more detailed HEC-RAS floodplain model showing flood depths in various locations of the Plaine des Moustiques. This analysis is required as a first step in the next design phase of the project.

Lastly, fundamental to the success of any project is a locally developed and managed long term operation and maintenance plan.

The following is a chronological list of the recommended project elements to reclaim the agricultural productivity in the Plaine des Moustiques.

Phase 1 Work

Immediate Work

- Irrigation Census – The Association Irrigation Rivière des Moustiques (AIRM) is a nationally recognized association providing guidance and oversight of irrigation activities within the Plaine des Moustiques. In order to better understand the cost benefit of implementing structural controls, a census identifying irrigation users, irrigation extent, and affected area, and current and future yield is critical. This census should be completed by the AIRM.
- AIRM Irrigation Management Plan – Fundamental to the success of any project is a locally developed and managed long term operation and maintenance plan. The recent formation of the AIRM is the first step in developing a long term management structure for the Plaine des Moustiques. Continued development of the maintenance fee structure, enforcement, and organizational structure is critical to the project success.
- Climate and River Gage Installation – Installation, data collection and data reduction of climate and river stage data is essential in refining the hydrologic model that will be used to develop the hydraulic model needed

Études et Données Supplémentaires Requises

Ce rapport recommande une ligne de conduite visant à mettre en valeur les terres de la plaine des Moustiques. La conception des éléments structurels proposés n'est pas terminée. Le développement des plans et du cahier des charges définitifs devra reposer sur des études complémentaires des principes d'inondation et de sédimentation du bassin. Des informations topographiques supplémentaires seront également nécessaires. Il est également fortement conseillé de réaliser une étude LiDAR de la zone inondable.

Une analyse détaillée des avantages économiques et agricoles du projet devra également être réalisée par rapport à l'analyse des risques d'inondation, ainsi qu'un modèle numérique HEC-RAS de la plaine des Moustiques indiquant la profondeur des inondations en divers points. Cette analyse est en effet nécessaire pour la seconde phase du projet.

Enfin, il est essentiel pour la réussite du projet qu'un plan d'exploitation et de maintenance à long terme du réseau soit développé au niveau local.

Suit une liste chronologique des éléments du projet visant à restaurer la productivité agricole de la plaine des Moustiques.

Travaux de la Phase 1

Travail Immédiat

- Recensement d'irrigation – L'Association Irrigation Rivière des Moustiques (AIRM) est une association reconnue à l'échelon national offrant des services d'expertise-conseil et de supervision des activités d'irrigation dans la plaine des Moustiques. Afin de mieux comprendre les coûts-bénéfices des mesures de contrôle structurel proposées, il est essentiel qu'une étude soit réalisée pour identifier les utilisateurs du réseau d'irrigation, la portée de l'irrigation, les zones concernées ainsi que le rendement actuel et futur. Ce recensement devra être réalisé le plus tôt possible par l'AIRM.
- Plan de gestion du réseau d'irrigation de l'AIRM – Il est essentiel pour la réussite du projet qu'un plan d'exploitation et de maintenance à long terme du réseau soit développé au niveau local. La création récente de l'AIRM est la première étape pour le développement d'une structure de gestion de la plaine des Moustiques sur le long terme. Le développement continu d'une structure de gestion des frais de maintenance et son application sont également cruciaux.
- Climat et hydrométrie de la rivière – La collecte et la réduction des données climatiques et hydrométriques sont essentielles afin d'affiner le modèle hydrologique qui sera utilisé pour développer le modèle hydraulique

to design the high flow bypass channel to La Saline as well as the avulsion channel to La Ravine. Weather stations and up to 10 river gauging stations are being installed.

- Riviere des Moustiques Channel Dredging – Completing the current dredging activities of the Rivière des Moustiques will improve irrigation supply and floodplain drainage. This is the first step in showing an immediate drainage improvement, developing community support, and engaging support of the AIRM.
- Diversion Structure Gate Installation – Four high flow diversion gates (Canal Elmé and Canal Altida, Glaci, and Mertile) are recommended to be installed. The diversion structures should be built with local labor skills and technology. The diversion gates would limit high flows up to bankfull from entering the floodplain. It should be noted that diversion structures become ineffective during overland (very large) flow events when the entire floodplain is inundated, as the flood waters flow around the submerged structures. This work could be performed with local labor, skill, and materials.

Near Term Work

- Light Detection and Ranging (LiDAR) Survey – LiDAR survey is strongly recommended in order to accurately and effectively map the La Plaine watershed. The use of LiDAR has evolved into one of the most accurate, reliable and cost effective mapping systems currently available. Using LiDAR and digital imaging technology allows large area topographic surveys to be completed significantly faster and at a reduced cost compared to traditional survey methods. LIDAR has revolutionized the acquisition of digital elevation data for large scale mapping applications. LIDAR systems collect positional (x,y) and elevation (z) data at pre-defined intervals. The resulting LIDAR data is a very dense network of elevation postings. The accuracy of LIDAR data is a function of flying height, laser beam diameter (system dependent), the quality of the GPS/IMU data, and post-processing procedures. Accuracies of $\pm 15\text{cm}$ (horizontally) and $\pm 15\text{cm}$ (vertically) can be achieved. Accuracies better than 7cm (vertically). In order to plan, develop, design and construct irrigation, drainage improvements, detailed survey is necessary. The cost of obtaining the LiDAR data is expensive but it will allow the focusing of labor and materials to more efficiently focus construction efforts and keep the farmers in the field rather than in the ditches.
- Refined Floodplain Model – Initial review and preliminary modeling of the irrigation and drainage canals in the northern part of the Lower

nécessaire à la conception de l'effluent de crue de La Saline et du canal de débordement de la Ravine. Des stations météorologiques et jusqu'à 10 stations hydrométriques sont en cours d'installation.

- Dragage du canal de la Rivière des Moustiques – L'achèvement du dragage actuel de la Rivière des Moustiques améliorera l'irrigation et le drainage de la plaine inondable. Il s'agit de la première étape pour améliorer rapidement le drainage, développer le soutien de la communauté et renforcer la participation de l'AIRM.
- Construction des ouvrages de dérivation – Nous recommandons la construction de quatre ouvrages de dérivation des débits de crue (canaux Elmé, Altida, Glaci, et Mertil). Ils devront être construits avec le savoir-faire, les matériaux et les technologies disponibles sur place. Ils éviteront que les débits de crue en-dessous et au niveau des berges n'inondent la plaine. Il est à noter que les ouvrages de dérivation deviennent inefficaces lors des crues importantes inondant toute la plaine, car l'eau s'écoule autour des ouvrages immergés.

Travail à Très Court Terme

- Étude de détection et de télémétrie par la lumière (LiDAR) – Une étude LiDAR est fortement recommandée afin de cartographier avec exactitude le bassin versant de la plaine des Moustiques. Les observations au LiDAR sont devenues l'un des systèmes de cartographie les plus fiables, précis et rentables actuellement disponibles. Les données LiDAR et l'imagerie numérique permettent de réaliser l'analyse topographique de zones étendues beaucoup plus rapidement et à un moindre coût que les techniques traditionnelles. Cette technologie a révolutionné l'acquisition de données d'altitude numériques pour les applications cartographiques à grande échelle. Elle consiste à collecter des données de position (x,y) et d'altitude (z) à des intervalles prédéfinis. Il en résulte une représentation graphique très dense des données d'altitude. La précision des données LiDAR dépend de la hauteur de vol, du diamètre du rayon laser (dépendant du système), de la qualité des données GPS/IMU et des procédures de post-traitement. Une précision de ± 15 cm (horizontalement) et de ± 15 cm (verticalement) peut être obtenue. Une précision verticale supérieure à 7 cm est nécessaire afin de planifier, développer, concevoir et construire les projets proposés. Le coût d'obtention des données LiDAR est élevé mais ces dernières permettent d'allouer plus efficacement et plus précisément le travail et les matériaux à l'effort de construction et de maintenir les agriculteurs dans les champs plutôt que dans les fossés.
- Modèle affiné de la plaine inondable – L'observation initiale et la modélisation préliminaire des canaux d'irrigation et de drainage dans la partie nord du sous-bassin-versant inférieur

subbasin indicate that most are undersized and, as a result, the area is very poorly drained. During severe storms, the entire valley can flood with 1 to 2 meters of water and can remain inundated for up to 1 to 3 months. These drainage problems make farming in these areas very difficult since the long inundation periods kill crops and prevent harvesting of existing resources. The modeling performed to date has been developed without specific local hydrologic data and course hydraulic data. In order to accurately size and design diversion channel and locate drainage channels, refined hydrologic and hydraulic modeling must be performed. Currently climate and river gage data instrumentation is being installed so that local data can be collected. Basin hydrology and one dimensional modeling must be refined and rerun in order to accurately size and locate irrigation and drainage structures.

- Culvert Replacement (4) – The concrete box culverts at Canal Elmé and Canal Altida where they cross Route 151 are both undersized. The height of the culverts is too small, and conveyance constriction has resulted in flooding and shoaling on the upstream sides of the culverts. These will be replaced with larger box culverts, with increased height and width. The affected length of highway will be about 50 to 100 meters on each side of the crossings to accommodate the raised culverts. The bottom elevations of the culverts will remain unchanged. Rock-filled gabions will provide grade erosion control upstream and downstream of the culverts.
- Equipment Procurement – The scope and magnitude of earthwork to be performed and maintained will require the support of mechanized equipment. Hand labor to complete the required diversion and avulsion channel is neither practical nor safe. Furthermore, allocation of farming resources (diverted from agricultural production) for river diversion significantly impacts the ability of the local community to focus on food production for periods ranging form 3 to 6 months at a time. Use of a long reach excavator would preclude the need for up to 10 crews of 10 people at a time. Additionally, a long reach excavator could be used to provide maintenance dredging minimizing the need of laborers from working in the channel and canals where conditions are unsafe. Additional support consisting of a backhoe, loader and dump truck would be highly recommended.
- High Flow Channel to La Saline – A major problem in the Plaine des Moustiques is the presence of too much water in the floodplain during bankfull flow and overbank flow flood events, exceeding the ability of the floodplain to convey those flood waters to Baie des Moustiques in an expedient time. Control of flows into the Elmé, Altida and Glaci canals may potentially exacerbate the flows down the main channel of Rivière des Moustiques. La Saline, a salt crusted mud flat north of the saddle

ont montré que la plupart d'entre eux sont trop petits et que la zone est donc très mal drainée. Lors des grosses tempêtes, toute la vallée peut se retrouver sous 1 à 2 mètres d'eau et peut rester inondée jusqu'à 3 mois. Ces problèmes de drainage rendent l'agriculture particulièrement difficile dans cette zone, car les longues périodes d'inondation détruisent les cultures et empêchent la récolte des ressources épargnées. Le modèle réalisé jusqu'à maintenant a été développé sans informations hydrologiques et hydrauliques spécifiques à la zone. Afin de concevoir et situer précisément les canaux de dérivation et de drainage ainsi que les diverses structures associées, un modèle hydrologique et hydraulique affiné doit être réalisé. Des stations météorologiques et hydrométriques sont actuellement en cours d'installation afin de collecter les informations nécessaires.

- Remplacement des dalots (4) – Les dalots en béton des canaux Elmé et Altida à l'intersection avec la Route 151 sont trop petits, ce qui provoque l'étranglement de l'adduction et entraîne l'inondation et la création de hauts-fonds en amont. Ceux-ci seront remplacés par des dalots plus larges et plus hauts. La chaussée sera modifiée de 50 à 100 mètres de chaque côté de l'intersection afin de pouvoir loger les nouveaux dalots. L'élévation du fond des dalots restera inchangée. Des gabions serviront enfin à réduire l'érosion en amont et en aval des dalots.
- Mobilisation des équipements – L'étendue et l'ampleur des travaux à réaliser et entretenir requièrent des équipements lourds mécanisés. Creuser manuellement les canaux de dérivation et de débordement n'est ni pratique, ni sûr. Par ailleurs, l'affectation des ressources agricoles (détournées de leur vocation productrice) aux travaux de dérivation de la rivière réduit considérablement la capacité de la communauté locale à se concentrer sur l'effort de production agricole pendant des périodes de 3 à 6 mois à la fois. L'utilisation d'une excavatrice à longue portée évite de recourir jusqu'à 10 équipes de 10 personnes à la fois. Ce type d'engin peut ensuite être utilisé pour le dragage d'entretien, évitant ainsi aux personnes affectées à la maintenance de travailler à l'intérieur des canaux où les conditions sont potentiellement dangereuses. L'acquisition d'une pelle rétrocaveuse, d'un chargeur et d'un camion à benne est également fortement recommandée.
- Canal de dérivation des débits de crue vers La Saline – L'un des principaux problèmes de la plaine des Moustiques est lié à l'excès d'eau dans la zone inondable lors des crues au ras et au-dessus des berges, qui dépassent la capacité de la plaine à amener ces eaux de crue dans la Baie des Moustiques en un temps suffisamment court. Le contrôle des débits dans les canaux Elmé, Altida, et Glaci peut potentiellement aggraver les débits dans le cours principal de la Rivière des Moustiques. La Saline, une plaine de boue salée située au nord de l'ensellement

between Mont Calebassier and Ti Mont Calebassier, provides a place to discharge large quantities of flood water without inundating farmland. A trapezoidal channel is proposed, approximately 800 meters in length, 3 meters wide at the bottom, 2 to 2.5 meters deep with 2.5H:1V sideslopes. The channel will generally be sloped to match the valley floor, and hug the hillsides at the toe of Mont Calebassier. The channel will be cut through the Calebassier saddle, where the channel will reach a maximum depth of about 3.5 meters. The canal may be lined with concrete to maximize conveyance and channel stability. The existing Canal Calebassier will be relocated or reconnected to the La Saline Diversion Canal, so that irrigation to the Denizard area can continue.

Phase 2 Project Tasks

- Moustiques Watershed Plan and Master Plan for La Plaine – It can not be emphasized enough, a watershed and sub-basin plan for La Plaine must be developed in order to effectively manage sediment reduction, flooding, drainage and irrigation. The key to understanding and managing the resources of the Plaine des Moustiques is the use of a graphical interface system (S.I.G).
- Avulsion Channel – The convex shape of the Plaine des Moustiques is the result of continuing aggradation of the river bed and its adjacent banks from massive sediment loads being transported from the upper watershed. Over time, the natural progression of the river channel is to avulse or switch course as the resistance due to an ever increasing bed elevation becomes too great. It has been estimated that the bed elevation is increasing by 0.15 meters per year. The alignment of a new avulsion channel is currently exhibited during over bank floods where a majority of flood water follows the pathway of Canal Elmé and Glaci to Nan Makày and then exits via the Ravine (Figure E-3). This channel will eventually switch course and should be managed and planned for to protect agricultural infrastructure and lives.

The preferred location of the new channel would be located between Canal Elmé and Glaci as denoted in Figure E-4. The channel form and shape would be based on historic photos and analysis to determine optimum dimensions. It would be designed to allow for low flow conveyance as well as handle the much larger flows that occur on the floodplain. The implementation of this design approach would be carried out in different phases. The first phase would primarily involve channel excavation and the planting of riparian vegetation along its bank to prevent erosion and help stabilize soil. It is anticipated the annual floods

entre le Mont Calebassier et le Ti Mont Calebassier, offre le site idéal ou déverser de grandes quantités d'eaux de crue sans inonder de terres arables. La proposition consiste en un canal trapézoïdal d'environ 800 mètres de long, de 3 mètres de large au fond et de 2 à 2.5 mètres de profondeur avec une inclinaison des bords de 2.5:1. Le canal sera conçu de manière à suivre la pente naturelle de la vallée et à serrer les flancs du Mont Calebassier à sa base. Il sera creusé dans l'ensellement où il atteindra une profondeur maximum d'approximativement 3.5 mètres. Il pourra enfin être recouvert de béton afin de maximiser l'adduction d'eau et d'améliorer sa stabilité. Le canal Calebassier existant sera déplacé ou reconnecté au canal de dérivation de La Saline de manière à ce que l'irrigation de la zone de Denizard ne soit pas interrompue.

Tâches de la Phase 2 du Projet

- Plan du bassin versant des Moustiques et schéma directeur pour la plaine – Nous n'insisterons jamais assez sur la nécessité d'un plan du bassin versant et du sous-bassin-versant de la plaine des Moustiques afin d'en contrôler efficacement la sédimentation, les crues, le drainage et de l'irrigation. La clé pour comprendre et gérer les ressources de la plaine des Moustiques réside dans l'utilisation d'un système d'interface graphique (SIG).
- Déplacement du lit de la rivière – La forme convexe de la plaine de Moustiques est le résultat du dépôt successif de sédiments provenant de l'amont du bassin versant sur le lit mineur et majeur de la rivière. Avec le temps, l'évolution naturelle de la rivière est de changer de cours à mesure que s'accroît la résistance offerte par un lit en constante élévation. On estime en effet que ce dernier s'élève de 0.15 mètres par an. L'alignement d'un nouveau lit est actuellement visible lors des inondations au-dessus des berges, lorsque la plupart des eaux de crues suivent le chemin des canaux Elmé et Glaci vers Nan Makày puis sortent via la Ravine (voir la Figure E-3). Ce canal finira par changer de cours et doit donc être surveillé et étudié de manière à protéger des vies et les infrastructures agricoles.

L'emplacement idéal du nouveau lit se situe entre les canaux Elmé et Glaci, comme indiqué sur la Figure E-4. Des photos et une analyse du terrain serviront à définir une forme et des dimensions optimum. Il sera conçu pour permettre l'adduction des petites crues ainsi que celles plus importantes qui frappent la région. La mise en œuvre de cette approche se fera en deux parties. La première consistera à creuser le canal et à planter une végétation rivulaire sur ses berges afin de réduire l'érosion et stabiliser le sol. On prévoit que les inondations annuelles

will use this channel as the primary conveyance route, therefore it will be possible to evaluate whether the channel design is adequate. The second phase would involve abandoning the current Rivière des Moustiques channel and diverting water to the new avulsion channel. Careful analysis would be carried out to see if an additional irrigation canal would be needed to supplement portions of the floodplain adversely affected by this diversion.

- Nan Makày Dike and Outlet structure – Inundation of the Nan Makày wetland is the result of the excessive flows that discharge westward from Rivière des Moustiques in the reach between the existing Canal Elmé and Canal Glaci diversions. This phenomenon is expected to continue and may increase. Ponding of the Nan Makày wetland can be made to serve useful purposes as flood storage and as a shoaling basin. A one-meter high dike along the northern boundary of the wetland is recommended together with a flow control structure within the Ravine at the northwest edge of the wetland. The preliminary concept for the flow control structure is a box culvert with H-pile guide rails. The box culvert height will extend from the channel bottom of the Ravine to the top of the wetland dike. Manually placed batter boards will provide flow control, and flood relief to the low area along the Ravine downstream of the wetland.
- The Ravine Levee – Flows from the avulsion of Rivière des Moustiques toward Nan Makày will require channel improvements along the Ravine to the Baie des Moustiques. A detailed topographic and hydraulic analysis is recommended for the consideration of a levee and channel improvements to protect the town of La Baie.
- Bridge Modification/Relocation Assessment Study – The existing Rivière des Moustiques bridge under Route 151 has filled in with sediment, reducing its conveyance capacity by nearly half. Overbank flooding has increased, as suggested by anecdotal descriptions of flooding over Route 151. Preliminary investigation suggests that removal of the existing right bank levee may result in increased flows through the channel during large floods. The possible result of this restoration of flow through the channel is to scour out the shoaled material, increasing the conveyance capacity of the bridge, and reducing the overbank flooding upstream of the bridge and over Route 151. This is to be further modeled to determine whether levee removal will be effective before recommendations are finalized.
- Basin Flow Augmentation Study – Flow augmentation to maintain a base irrigation flow to the Plaine des Moustiques should be reviewed and included in a basin management plan. Flow augmentation may take the

utiliseront ce nouveau lit comme voie d'adduction primaire, ce qui rend possible d'évaluer si sa conception est adéquate ou non. La deuxième partie consistera à abandonner le canal actuel de la Rivière des Moustiques et à dévier l'eau vers le nouveau lit. Une étude approfondie devra être réalisée afin de savoir si un canal d'irrigation supplémentaire sera nécessaire pour alimenter en eau les parties de la plaine inondable touchées par cette dérivation.

- Digue et ouvrage de vidange de Nan Makày – L'inondation de la zone humide de Nan Makày est le résultat de crues excessives qui se déchargent à l'ouest de la Rivière des Moustiques, dans l'étendue qui sépare les ouvrages de dérivation des canaux Elmé et Glaci. On s'attend à ce que ce phénomène se poursuive, voire même qu'il s'accroisse avec le temps. Il serait utile de creuser le fond de la zone humide de Nan Makày afin d'accueillir les eaux de crues et de servir de bassin de sédimentation. La construction d'une digue d'un mètre de haut à la limite nord de la zone humide est recommandée, de même qu'un ouvrage de régularisation du débit dans la Ravine, à la limite nord-ouest de la zone humide. Le concept préliminaire pour cet ouvrage consistera en un ponceau rectangulaire avec guides sur pieux en H. Le ponceau s'élèvera du fond du canal de la Ravine jusqu'au niveau supérieur de la digue. Des chevalets seront disposés manuellement afin de contrôler le débit et soulager les crues dans la partie de la zone humide située en aval de la Ravine.
- Levée de la Ravine – Le déplacement du lit naturel de la Rivière des Moustiques vers Nan Makày nécessitera l'amélioration du canal le long de la Ravine jusqu'à la Baie des Moustiques. La réalisation d'une étude topographique et hydraulique est recommandée pour déterminer dans quelle mesure la levée et le canal doivent être améliorés afin de protéger la ville de La Baie.
- Étude d'évaluation de la modification/du déplacement du pont – Le pont existant sous la Route 151 s'est rempli de sédiments et sa capacité d'adduction a été réduite de moitié. Les inondations au-dessus des berges ont augmenté, comme l'illustrent les descriptions anecdotiques d'inondations sur la Route 151. Les études préliminaires montrent que la suppression de la levée située sur la rive droite de la Rivière des Moustiques pourrait augmenter le débit dans le canal lors des crues importantes. La restauration du débit dans le canal pourrait permettre d'évacuer les sédiments accumulés, d'accroître la capacité d'adduction du pont et donc de réduire les inondations au-dessus des berges en amont et sur la Route 151. Des études de modélisation plus poussées devront être réalisées afin de déterminer si la suppression de la levée sera effectuée avant la finalisation des recommandations.
- Étude d'augmentation du débit du bassin – L'augmentation du débit, qui permet de maintenir un débit d'irrigation de base dans la plaine des Moustiques, doit être analysée et intégrée au plan de gestion du bassin. Cette augmentation peut prendre

form of groundwater augmentation via production wells in-basin or cross basin surface water flows. Regardless of the source, all developed designs should consider augmentation coordination and constraints.

Flood Warning/Response Program

There is currently no flood warning/flood response program in the Rivière des Moustiques drainage basin. As flooding has resulted in loss of life, and will likely continue to do so, a flood warning program should be initiated. A simple network of alarms and sirens in heavily flood-prone areas could be extremely effective in waking people, and in giving people sufficient time to evacuate themselves and their animals before a flood wave strikes. Responsible persons in the upper basin and along the river could be linked by cell phone or by sounding a string of alarms.

ENGLISH

la forme d'une exploitation des eaux souterraines via des puits de production ou de captage des eaux de surface. Quelle que soit la source, toute proposition d'aménagement doit prendre en compte la coordination et les contraintes de cette augmentation.

Programme d'Alerte/de Réponse aux Inondations

Il n'existe actuellement aucun programme d'alerte/de réponse aux inondations dans le bassin versant de la Rivière des Moustiques. Étant donné que les inondations ont déjà fait des victimes, et qu'elles en feront probablement d'autres, un plan d'alerte aux inondations devra être mis en place. Un simple réseau d'alarmes et de sirènes dans les zones à risque élevé pourrait s'avérer très efficace pour réveiller les habitants et leur donner suffisamment de temps pour évacuer la zone avec leurs animaux avant l'arrivée de l'onde de crue. Des responsables pourraient être désignés dans le bassin supérieur et le long de la rivière et donner l'alarme par téléphone portable ou à l'aide de sirènes.

Engineering Estimate of Probable Construction Cost (in 2007 US dollars).

Item	Description	Quantity	Units	Unit Price	Component Price	Total Price	Comment
Administration							
1	Project Administration						
	<i>Contract Administration</i>	1	EA		\$325,000	\$325,000	office 5%, organization 8-10%; assume average of 10%
	a <i>Phase 1</i>	1	EA	\$250,000			
	b <i>Phase 2</i>	1	EA	\$75,000			
	<i>Administration Contingency</i>	20%				\$65,000	
	Administration + Contingency					\$390,000	
Construction							
PHASE 1 CONSTRUCTION							
<i>Immediate Work</i>							
1	Riviere des Moustiques Channel Dredging	2,000	M	\$3		\$5,676	10 crews; 10 people per crew; \$23.65/day per crew; 100 M every 12 days
2	Elmé, Altida, Glaci, Calbaci, Mertil Canal Headworks	5	EA	\$34,302		\$171,510	
3	Sediment basin	2	EA	\$3,000		\$6,000	
4	Moustique Gabion Grade control Structures	4	EA	\$12,960.00		\$51,840	Upstream and downstream of Altida and Elmé. 8 gabions x 2 rows x 2 layers
5	Glaci Canal Headworks	1	EA	\$10,737		\$10,737	
<i>Near Term Work</i>							
1	Mobilization and Procurement	1	EA	\$754,000		\$754,000	
2	TESC	1	LS	\$5,000		\$5,000	
3	Drainage Channel Clearing and Dredging	1	EA	\$67,500		\$67,500	
4	Temporary Access Road Improvement/Grading	1,000	M	\$63.60		\$63,600	Assumes 6 meter wide road prism.
5	High Flow Diversion Headworks and Ogee weir	1	Ea	\$188,750		\$188,750	
6	High Flow Channel Construction	1	EA	\$534,850		\$534,850	
7	High Flow Channel Grade Control Type A (Gabion)	15	EA	\$8,360.00		\$125,400	
8	High Flow Channel Grade Control Type B (Boulder)	10	EA	\$4,560.00		\$45,600	
9	High Flow Channel Grade Concrete Water Crossing	3	EA	\$26,360.00		\$79,080	
10	Altida and Elmé Culvert Replacements	4	LS	\$23,560.00		\$94,240	5 meters wide by 2 meters tall concrete box culvert
11	Altida and Elmé Road Regrading	2	LS	\$20,000.00		\$40,000	100 meters long, 8 meters wide, 1 meter raise
12	Riparian Restoration	1	EA	\$55,000		\$55,000	

Procédé Détaillé des Coûts Probables de Construction (en Dollars Américains de 2007).

Élément	Description	Quantité	Unités	Prix Unitaire (USD)	Prix du Composant	Coût Total (USD)	Commentaire
Administration							
1	Administration du Projet						
	Administration du Contrat	1	Chacun		\$325,000	\$325,000	bureau 5 %, organisation 8-10 %, moyenne prévue de 10 %
a	Phase 1	1	Chacun	\$250,000			
b	Phase 2	1	Chacun	\$75,000			
Contingence de l'Administration		20%				\$65,000	
Administration + Contingence						\$390,000	
Construction							
PHASE 1 CONSTRUCTION							
<i>Travail Immédiat</i>							
1	Dragage du Lit de la Rivière des Moustiques	2,000	M	\$3		\$5,676	10 équipes, 10 personnes par équipe, 23.65 USD par jour et par équipe, 100 m tous les 12 jours
2	Ouvrages de Dérivation des Canaux Elmé, Altida, Glaci, Calbaci et Mertil	5	Chacun	\$34,302		\$171,510	
3	Bassin de Sédimentation	2	Chacun	\$3,000		\$6,000	
4	Structures en Escalier de la Rivière des Moustiques (Gabions)	4	Chacun	\$12,960.00		\$51,840	En amont et en aval d'Altida et d'Elmé. 8 gabions x 2 rangées x 2 niveaux
5	Ouvrage de Dérivation du Canal Glaci	1	Chacun	\$10,737		\$10,737	
<i>Travail à Très Court Terme</i>							
1	Mobilisation et Approvisionnement	1	Chacun	\$754,000		\$754,000	
2	Plan de Contrôle de l'Érosion/de la Sédimentation (TESC)	1	SF	\$5,000		\$5,000	
3	Nettoyage et Dragage des Canaux de Drainage	1	Chacun	\$67,500		\$67,500	
4	Amélioration/Nivelage de la Route d'Accès Temporaire	1,000	M	\$63.60		\$63,600	Prisme routier estimé à 6 m de large
5	Ouvrage de Dérivation des Débits de Crue et Déversoir en Doucine	1	Chacun	\$188,750		\$188,750	
6	Construction du Canal de Dérivation des Débits de Crue	1	Chacun	\$534,850		\$534,850	
7	Structure en Escalier de Type A du Canal de Dérivation des Débits de Crue (Gabions)	15	Chacun	\$8,360.00		\$125,400	
8	Structure en Escalier de Type B du Canal de Dérivation des Débits de Crue (Blocs Rocheux)	10	Chacun	\$4,560.00		\$45,600	
9	Gué en Béton de la Structure en Escalier du Canal de Dérivation des Débits de Crue	3	Chacun	\$26,360.00		\$79,080	
10	Remplacement des Dalots des Canaux Elmé et Altida	4	SF	\$23,560.00		\$94,240	Dalots en béton de 5 de large et de 2 m de haut
11	Mise à Niveau de la Route d'Altida et d'Elmé	2	SF	\$20,000.00		\$40,000	100 m de long, 8 m de large et 1 m d'élévation
12	Restauration de la Ripisylve	1	Chacun	\$55,000		\$55,000	

Engineering Estimate of Probable Construction Cost (in 2007 US dollars) (continued).

Item	Description	Quantity	Units	Unit Price	Component Price	Total Price	Comment
PHASE 2 CONSTRUCTION							
1	Avulsion Channel - Phase 2	1	LS	\$733,737.00		\$733,737	2,500 meters long to wetland
2	Bridge Levee Removal - Phase 2	3,000	M ³	\$7.00		\$21,000	
3	Reforestation - Phase 2	50	Hectare	\$3,500.00		\$175,000	5,000 meters (Moustiques + high flow diversion) x 100 meters wide
Construction Subtotal						\$3,228,520	
Construction Contingency		25%				\$807,130	
Construction + Contingency						\$4,035,650	

ENGLI

Procédé Détaillé des Coûts Probables de Construction (en Dollars Américains de 2007) (suite).

Élément	Description	Quantité	Unités	Prix Unitaire (USD)	Prix du Composant	Coût Total (USD)	Commentaire
PHASE 2 CONSTRUCTION							
1	Déplacement du lit de la rivière – Phase 2	1	LS	\$733,737.00		\$733,737	2,500 m de long jusqu'à la zone marécageuse
2	Suppression de la levée du pont – Phase 2	3,000	M ³	\$7.00		\$21,000	
3	Reforestation - Phase 2	50	Hectare	\$3,500.00		\$175,000	5,000 m (Moustiques + dérivation des débits de crue) x 100 m de large
Sous-total de la Construction						\$3,228,520	
<i>Contingence de la Construction</i>		25%				\$807,130	
Construction + Contingence						\$4,035,650	

Francis

APPENDIX A

Survey and Topography

Survey and Topography

Methodology

Terrestrial and GPS surveys were conducted to provide detailed information of key project elements within La Plaine des Moustiques (Figure A-1). These were combined with a 1965 KLM Aerocarto topographic map showing the canal system as it existed then to create proximally rectified photo-topographic maps of the project area. LiDAR 2-meter and 5-meter contour maps provided by PROTOS were similarly combined with the supplemental field survey data to create more detailed mapping of specific project areas.

GPS control and topographic survey data was collected in WGS84 ellipsoid latitudes and longitudes and converted to UTM Zone 18 North coordinates. Mapping products were produced using the UTM Zone 18 North coordinates. Vertical elevations were converted to the Carib 97 geoid. Attempts were made to fit the observed ellipsoid elevations to several geoid models; however, none of the vertical datums tried appeared to correlate well with observed sea level elevations. Therefore, Carib 97 was selected because it is commonly utilized in the region, and has been used for other ODRINO projects.

GPS surveys were conducted using a Trimble 5700 R7 as a base station, and a Trimble 5800 R8 as a rover. Both are L1/L2 GPS units. Control for the mapping was performed using static and rapid static GPS. Permanent concrete and reinforcing steel monuments were constructed at various locations in the floodplain and along the hillsides above the floodplain to provide survey control for subsequent terrestrial and GPS topographic surveys. A total of 13 control monuments were created. Five monuments were surveyed using static GPS, as listed in Table A.1. Two monuments (Monuments 51 and 53) were selected to provide panel point locations for satellite photographs, as these were locations that could be accurately determined in the satellite photographs. Monument 51, a nail located in the center of the lid of the west water reservoir in Poste Metier, was selected as the fixed control point for GPS positioning. All GPS coordinates are referenced to the fixed position of Monument 51 as differential vectors determined using Trimble post-processing software. Coordinates of the control monuments are given in Table A.1.

A detailed topographic survey was performed of a portion of “La Plaine des Moustiques”, from Rivière des Moustiques about 600m downstream of the Route 151 bridge to the saddle south of La Saline (saline plate) using a 3-second Topcon GTS-223 total station. This survey followed the route of the proposed La Saline diversion canal, for the purpose of defining an alignment, and establishing grades.

Cross sections of Rivière des Moustiques using an automatic level were taken from the head of Altida Canal approximately 500 meters upstream of the Route 151 bridge to the head of the Glasi Canal located about 1200 meters downstream of the Route 151 bridge. Baseline elevations and

alignment were tied to control monuments by a total station traverse. Twenty-three cross sections were measured using three-wire stadia. The data provided channel hydraulic geometry input for preliminary HEC-RAS modeling of the channel.

Table A.1. Ellipsoid and geoid elevations for control monuments.

Point No.	UTM Zone 18 N Coordinates (ft.)		Ellipsoidal Height (ft.)	Carib 97 Geoid Ht. (ft.)	Carib 97 Orthometric Ht. (ft.)
	Northing	Easting			
51	7218464.59	2353116.12	62.839	-108.83	171.68
52	7220005.29	2350967.01	39.010	-109.19	148.20
53	7218614.44	2351608.90	-17.184	-108.87	91.69
54	7222099.81	2348536.37	78.596	-109.66	188.26
101	7217973.22	2351468.57	-15.713	-108.73	93.02

Detailed topographic surveys were conducted at the Elmé Diversion and the Route 151 bridge. These were performed using radial and traverse methods with baseline ties to the control monuments. The surveys were made with the Topcon GTS-223 total station.

Reconnaissance traverses of La Plaine des Moustiques using handheld GPS (L1 only) were made to locate canals, the Rivière des Moustiques in the lower reaches of the floodplain, and to locate features of interest.

A detailed topographic survey was performed of a portion of “La Plaine des Moustiques” from Rivière des Moustique about 600m downstream of the Route 151 bridge to the saddle south of La Saline (saline plate) coinciding with the route of the proposed La Saline diversion canal. Cross sections across the river valley were taken using decimeter accuracy level GPS. Canal routes and floodplain features were located from traverses using 3-meter accuracy level GPS.

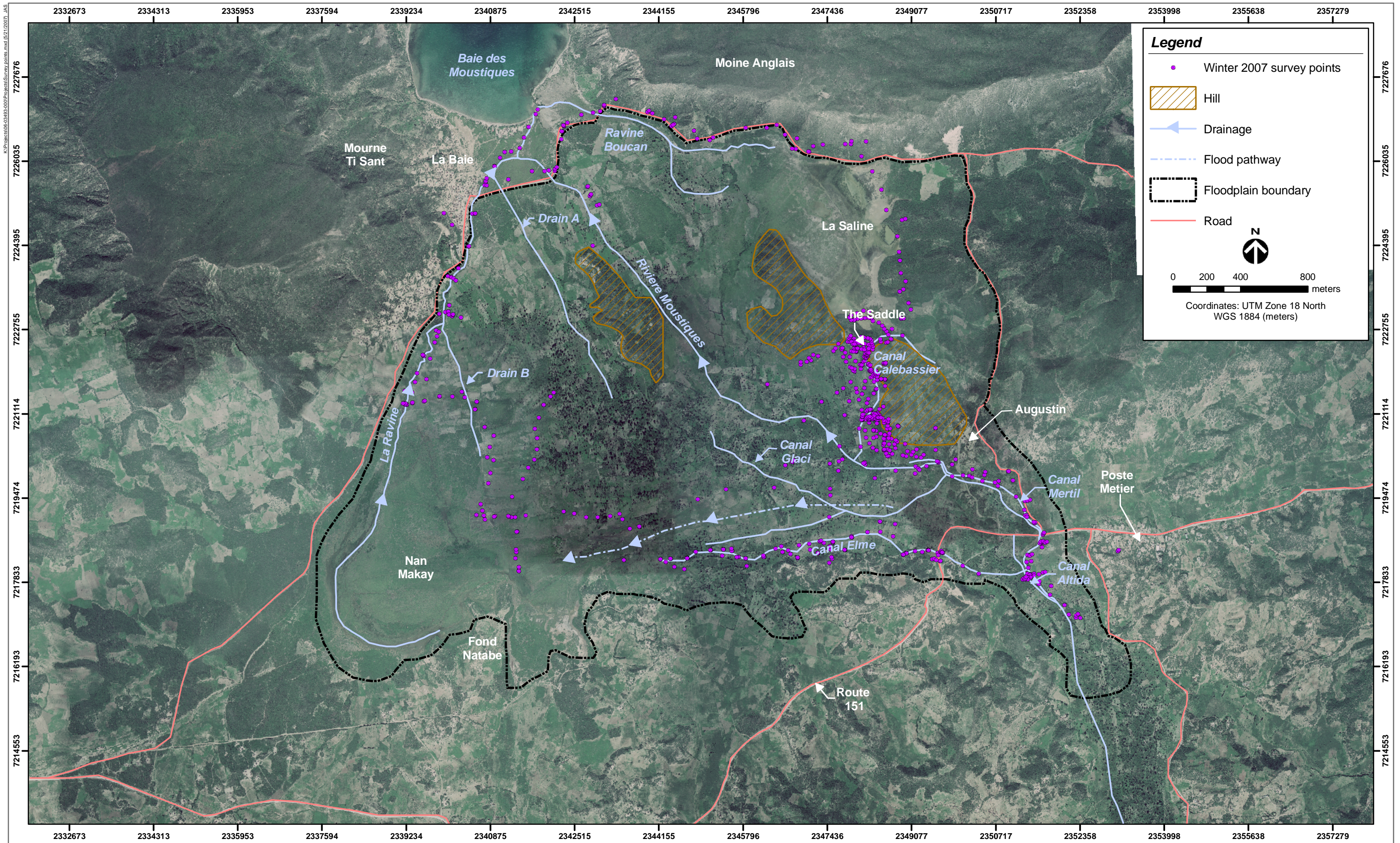


Figure A-1. Survey points.

Figure A-1. Ampleur des données topographiques.

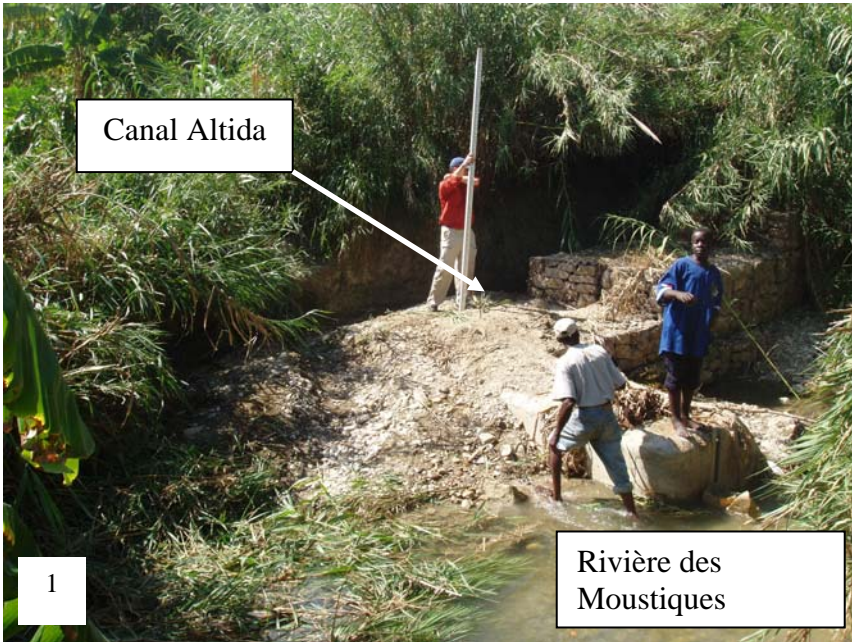
APPENDIX B

Photographic Documentation

**Flood Control and Drainage Project
in La Plaine des Moustiques
Photographic Log**

Photo Number	Photo Description
1	Canal Altida diversion
2	Canal Altida diversion close up
3	Canal Altida
4	Canal Altida culvert
5	Canal Calbacie
6	Cactus/Shrub vegetation by the "Saddle"
7	Canal Elmé Culvert
8	Flood Pathway to Nan Makay
9	Flood Pathway to Nan Makay
10	Canal Glasi
11	La Ravine
12	La Ravine at the town of Baie des Moustiques
13	La Saline
14	Marginal agricultural lands
15	Marginal agricultural lands with grazing.
16	Marginal agricultural lands
17	Nan Makay mud flats
18	Nan Makay wetland area
19	Nan Makay wetland area
20	Productive agricultural lands
21	Rivière des Moustiques - Route 151 bridge
22	Rivière des Moustiques
23	Rivière des Moustiques - on the lower floodplain
24	Rivière des Moustiques flowing into Baie des Moustiques
25	Rivière des Moustiques

Photo Number	Photo Description
26	Rivière des Moustiques bridge showing filled portions of the two box culverts
27	Control structure on Rivière des Moustiques (TYP)
28	Erosion on Route 151 at Canal Elmé culvert
29	Canal Diversion to side canal (TYP)
30	Drainage Ditch to La Ravine
31	Canal Elmé diversion
32	Flotsdam on vegetation in Nan Makay
33	Floodwater mark on house along Canal Elmé



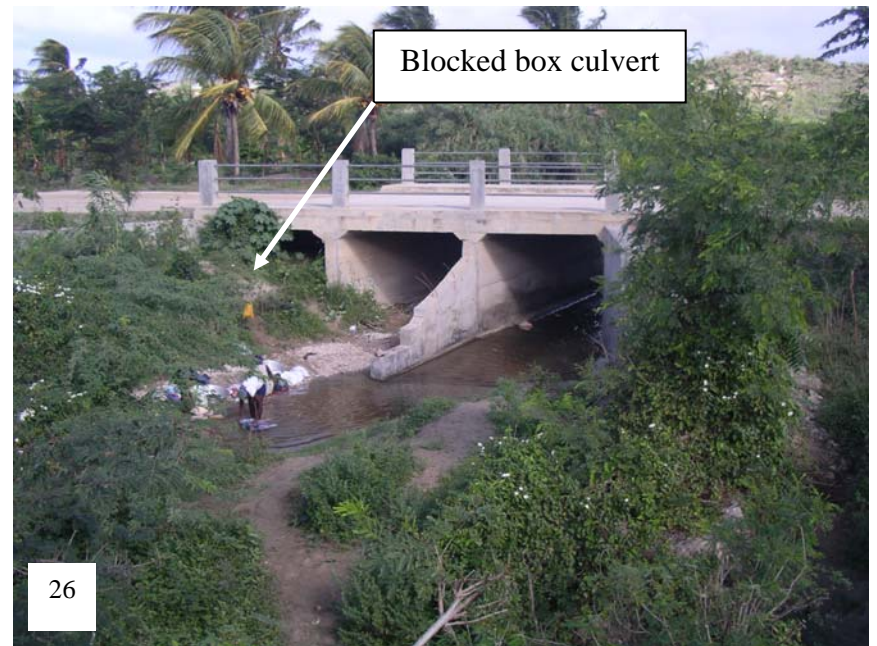


















33

APPENDIX C

Public Perception Surveys

Public Perception Surveys

Information from the local population was collected about their perception of the plain, how it could be improved and how they would manage La Plaines des Moustiques given suggested alternatives. Following is a list of the questions asked in the survey.

La Plaine des Moustiques Perception and Land Use Survey

1. Do you think that work needs to be done in the plain? (yes or no)
2. If yes what work?
3. How can the work be done?
4. Are you ok to give money for the work? (yes or no)
5. If yes how much?
6. If you don't have money how do you want to participate?
 - a. A day of work?
 - b. If a day of work, how many days each week?
7. Are you satisfied with the canal they are developing? What suggestions do you have?
8. Is it your land there(in the plain) that you work on? Basically do you own the land
9. If not, who owns it? More like what sort of arrangement do you have with the land.
 - a. Family
 - b. Sharecrop
 - c. I think this is inherit
 - d. Other
10. How much land do you work? Since when?
11. What kind of work do you do on the land?
 - a. Gardening/planting
 - b. Livestock

- c. Planting and livestock
 - d. Nothing
12. What crops do you plant the most of?
 13. How is your harvest? Good or Bad?
 14. When do you harvest?
 15. What do you have to do to supplement the harvest?
 16. Do you tried other crops?
 17. How often does it flood?
 - a. More than 100 times a year
 - b. 50 to 100 times per year
 - c. 10 to 50 times per year
 - d. 5 to 10 times per year
 - e. 1 to 5 times per year
 - f. Less than one time a year
 18. What kind of problems do you have with flooding
 19. What do you do after flooding to find a solution to the problems?
 20. How long do the floods last?
 21. After the flood how long can you not work because the ground is too wet?
 22. Do the plant grow well after flooding?
 23. Is it always difficult to work the land after flooding? (yes or no)
 24. What do you do then?
 25. Do you have another garden you can work if there isn't a flood?

Last name, first name

Canal

Where he/she lives

La Plaine des Moustiques Perception and Land Use Survey

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Do you think there needs to be work done in the plain?	If yes what work?	What do you think the work could do?	Are you ok to give money for the work?	If yes how much?	If you don't have money how do you want to participate? A day of work? If a day of work, how many days each week?	Are you satisfied with the canal they are developing? What suggestions do you have?	Is it your land there (in the plain) that you work on? Basically do you own the land?	If not, who owns it? More like what sort of arrangement do you have with the land.	How much land do you work? Since when?	What kind of work do you do on the land?	What crops do you plant the most of?	How is your harvest? Good or Bad?	When do you harvest?	What do you have to do to supplement the harvest?	Do you tried other crops?	How often does it flood?	What kind of problems do you have with flooding	What do you do after flooding to find a solution to the problems?	How long do the floods last?	After the flood how long can you not work because the ground is too wet?	Do the plants grow well after flooding?	Is it always difficult to work the land after flooding?	What do you do then?	Do you have another garden you can work if there isn't a flood?
Canal Elmé																									
1	Yes	Make the plain more productive	By hand and excavator	Yes	What I can give isn't a drop in the bucket but I'll contribute	_	No, don't have anyone from La Baie on the direction committee	No	Halves	.25 caro plus since six years	Crops	Millet, corn, plantain	Some year good, some bad	6 years	Redo canal so it can irrigate all the places it used to	No	1-5 years	It wrecks the canals that used to irrigate, other people grow more animals	Floods are usually go so we can get a little water into our gardens	1-2 weeks	No	Yes where the water sits; no where it doesn't	_	Yes	Yes
2	Yes	Dig out ravine (riverbed), canals, and drains	Get together to ask help from NGOs and the government	No	_	1 day's work	No, because there is no maintenance	Yes	Rent	1/2 karo	Crops	Plantain	Bad	Since 2002	Dig drains	Millet, peas	1-5 years	Wrecks gardens	Redo gardens, try to make drains	2 months	Yes, if there is water	Yes	Yes	Pay money to redo gardens, do community volunteer work days	_
3	Yes	Drainage	Groups working, NGOs, government	Yes	500 haitien gourdes	_	Yes, make more structure so we can better work together	Yes	_	1 karo 1/2, since 15 years	Crops	Plantain	Bad	Since 14 years	More water, drainage, technical help	Corn, peas	1-5 years	Wrecks gardens, water stands in the gardens	Make drains for getting rid of the water	5 hours	3-4 months	No	Yes	Pay by the day	_
4	Yes	Dig out ravine (riverbed), canals, and drains	Community participation, NGOs, government	No	_	1 day per week	No, each person is supposed to give a day a week for cleanout	Yes	_	1/4 te since 15 years	Crops	Millet, corn, plantain	Bad	Since 10		Yes	1_5 Years	Wrecks gardens	Nothing	1-3 weeks	2 months	Yes	Yes	Cut weeds, hoe plow, dig out canals	Yes
5	Yes	Dig out ravine (riverbed), canals, and drains	Collaboration of all the planters	No	Volunteer work	3 days	Yes, do the rest of the canals and the drainage	Yes	_	1/4 te since 17 years	Crops	Plantain	Bad	Since 17 years	Clean out the river and drain the ravine	Yes	1_5 Years	Wrecks gardens, kills the plants	Redo gardens when land is dry	1-2 months	2-4 months	No	Yes	Redo land, hoe plow	Yes
6	Yes	Drainage and clean out canals	Help and participation of the planters	No	Volunteer work	2 days	No, not all the canals are functioning and ???	Yes	_	1/2 k te	Crops	Plantain	Bad	Since 6 years	Drainage and good canal	Yes	1_5 years	Destroys the plants and gardens and plugs up the canal	Do a little repair work by digging some canals	4-5 months	3 months	No	Yes	The ground is hard and that makes it difficult	Yes
7	Yes	Drainage and clean out canals	Help and participation of the planters	No	_	2 days per week	No, drain the river	Yes	_	1/2 ka since 25 years	Crops	Plantain	Bad	Since 12 years	Drainage and good canal	No	< lane	Destroys the plants and gardens and plugs up the canal	Wait til the land is dry	1-2 months	2-3 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
8	Yes	Drainage and clean out canals	Community participation, NGOs, government	No	Volunteer work	2 days per week	No, because all the canals aren't finished yet	Yes	_	1/4 since 20 years	Crops	Plantain	Bad	Since 1991	Drainage and good canal	Yes	1-5 years	Wrecks gardens, kills the plants	Nothing	1-2 months	2-3 months	No	No	Yes, hoe plow	Yes
9	Yes	Clean out canals and drains	Community participation	No	Volunteer work	2 days per week	No, clean out the river and drain it	No	Rent	1/2 ka since 15 years	Crops	Plantain	Bad	Since 11 years	Bon travail nan rivye a	Yes	1-5 years	Wrecks gardens, kills the plants	Wait til the land is dry	1-2 months	2-3 months	No	Yes	Hoe plow, cut weeds	Yes
10	Yes	Clean out canals and drains	By working together	No	Volunteer work	2 days per week	No, drainage and make the canals	No	Inheritance	1/4 te	Crops	Plantain	Bad	Since 92	Clean out canals and drainage	Yes	1- 5 years	Wrecks gardens, kills the plants	Nothing, wait until land is dry	1-2 months	2-3 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
11	Yes	Drainage and clean out canals	By working together	No	Volunteer work	2 days	No, drain the river and clean out the irrigation canals	Yes	_	1/4 since 15 years	Crops	Plantain	Bad	Since 8 years	Drainage	Yes	1-5 years	Wrecks gardens, kills the plants	Nothing, wait until land is dry	1-2 months	2-3 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
12	Yes	Drainage and clean out canals	By working together	No	Volunteer work	2 days	No, clean out the river and clean out the irrigation canals	No	Rent	1 Karo te since 30 years	Crops	Plantain	Bad	Since 10 years	Clean out canals and drainage	Yes	1-5 years	Wrecks gardens, kills the plants	Nothing, wait until land is dry	1-2 months	1-2 months	No	Yes	Prepare the land	Yes
13	Yes	Drainage and clean out canals	Participation of all the planters	No	Volunteer work	2 days	No, clean out the river and make canals	Yes	_	2 karo since 30 years	Crops	Plantain	Bad	Since 8 years	Clean out canals and drainage	Yes	1-5 years	Wrecks gardens, kills the plants	Nothing, wait until land is dry	1-2 months	2-3 months	No	Yes	Redo the land	Yes
14	Yes	Drainage and clean out canals	Participation of all the planters	No	Volunteer work	2 days	No, drainage and make canals	Yes	_	3/4 te since 20 years	Crops	Plantain	Bad	Since 8 years	Drainage and clean out river	Yes	1-5 years	Kills plants	Nothing, wait until land is dry	1-2 months	1-2months	No	Yes	Prepare te	Yes
15	Yes	Drainage and clean out canals	Put our hands together	No	Volunteer work	2 days	No, clean out the river and make canal diversion structures	Yes	_	3/4 since 20	Crops	Plantain	Bad	Since 8 years	Drainage and clean out river	Yes	1- 5 years	Wrecks gardens, kills the plants	Wait til the land is dry	1-2 months	1-2 months	No	Yes	Prepare te	Yes

La Plaine des Moustiques Perception and Land Use Survey

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Do you think there needs to be work done in the plain?	If yes what work?	What do you think the work could do?	Are you ok to give money for the work?	If yes how much?	If you don't have money how do you want to participate? A day of work? If a day of work, how many days each week?	Are you satisfied with the canal they are developing? What suggestions do you have?	Is it your land there (in the plain) that you work on? Basically do you own the land?	If not, who owns it? More like what sort of arrangement do you have with the land.	How much land do you work? Since when?	What kind of work do you do on the land?	What crops do you plant the most of?	How is your harvest? Good or Bad?	When do you harvest?	What do you have to do to supplement the harvest?	Do you tried other crops?	How often does it flood?	What kind of problems do you have with flooding	What do you do after flooding to find a solution to the problems?	How long do the floods last?	After the flood how long can you not work because the ground is too wet?	Do the plants grow well after flooding?	Is it always difficult to work the land after flooding?	What do you do then?	Do you have another garden you can work if there isn't a flood?
Canal Mertil																									
16	Yes	Open the ravine (riverbed) back up drains	Heavy equipment	Yes	100 goud	1 day per week	Head of the canal and drains need digging out	No	Halves	1/4 te since 9 years	Crops	Plantain	Bad	Since 2000	Resolve problems of flooding and irrigation	Yes	1-5 years	Kills the gardens that are planted	Do a little drainage to get rid of the water	4-5 hours de temps	3 months	No	Yes	Recut the weeds down for planting	Yes
17	Yes	Open the ravine (riverbed) back up drains	Participation of all the users	No	Volunteer work	2 days per week	No, I would like to see the other canals done	Yes	-	Since 1987	Crops	Plantain	Bad	Since 10 years	Drainage and clean out river	Yes	1-5 years	Destroys all the gardens	Tried to unplug some places but it didn't work	3 months	3-4 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
18	Yes	Dig out ravine (riverbed), canals, and drains	Planters and the government	No		-	Yes	Yes	-	7/100 since 40 years	Crops	Plantain	Bad	10-15 years	Make canals	Yes	1-5 years	Wrecks the gardens that are planted and the canal intake structures	Hoe plow	1 hour de tan	15- 30 days	Yes	No	Clean the garden and redo	-
19	Yes	Drainage and clean out canals	Everybody	Yes	400 goud	No	Yes	Yes	-	1/4 te since 22 years	Crops	Plantain	Bad	15 years	Drainage and clean out river	Yes	< 1 year	Wrecks gardens, kills the plants	Can't do anything about it until it is dry	1-3 months	1-4 months	Yes	Yes	Hoe plow, cut weeds	Yes
20	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Teams of planters	No	Volunteer work	4 jou/semee	Yes	No	Halves	1/4 te since 2 years	Crops	Plantain	-	-	-		1-5 years	Wrecks gardens	Redo garden	1 hour de tan	15 days	No	No	Cut down the weeds	Yes
21	Yes	Dig out ravine (riverbed), canals, and drains	Organize the planters into combites and NGOs	No	Volunteer work	2 days per week	No, redo the committee with a syndicate	Yes	-	1/4 since 20 years	Crops	Plantain	Bad	After 2004	Technical help	Yes	5-10 years	Kraze jaden, pet bet	Redo garden, get rid of the waste	1-2 days	After 1 month	No	Yes	Redo garden	
Canal Facil																									
22	Yes	Drainage, dig drains	Heavy equipment for digging out the riverbed	No	Volunteer work	1 day per week	Yes	No	Rent	1/2 karo depi 2 years	Crops and animals	Plantain, corn	Not too good	Since I started working the land	Improve agricultural conditions and drain the land	No	< 1 year	Wrecks garden	Drain my little garden	-	3 weeks	No	Yes	Let the water finish	No
23	Yes	Repare te	-	Yes	200 goud per year	-	No, I am not familiar with the committee of direction	No	Rent	1/3 karo	Crops	Plantain	Floods wrecked them	Since the river has been plugged up	-	-	< 1 year	Wrecks garden	Dig drains all through the gardens	Maybe 3 weeks	2-3 months or more	No	Yes	Work somewhere else	Yes
24	Yes	Drainage	Drainage by hand, heavy equipment, participation	Yes	It depends	-	No, because they aren't cleaned out they aren't good	Yes	-	2 kawo since 1920	Crops	Plantain and charlote	Bad	5-10 years	Dig out the ravine or drain it	Yes	1-5 years	Plugs up the river and kills the garden	Clean it out	2 days	When it's dry	Yes	Yes	Waiting until we can cut down the weeds	Chou, karot
25	Yes	Drain the whole plain	By working together	Yes	The amount it is going to cost I can't come up with	1 day per week	No, we/you don't give the committee the means	No	Rent	1/3 te since 3 years	Crops	Corn, plantain, peas, coconut tree	Sometimes good or bad	Post hurricane Jeanne	Clean out river and drain garden areas	No, the land won't do it	1-5 years	Gardens dies and it carries the plants away	Don't have a solution	1 week or more	2-4 months	Yes	Yes	Do without work	-
Canal Glaci																									
26	Yes	Drainage and clean out canals	Collaboration of all the planters	Yes	500 goud	-	No, drainage and cleaning out the river	Yes	-	1 karo ,since 40 years	Crops	Plantain	Bad	Since 15 years	Drainage and clean out river	Yes	1-5 years	Wreck garden, kill the plants	-	1 month	1-2 month	No	Yes	Hoe plow	Yes
27	Yes	Drainage and clean out canals	Community participation and NGOs	No	Volunteer work	-	No, drainage, cleaning out the river and making canals	Yes	-	1/2 ka te, since 5 years	Crops	Plantain	Bad	Since 5 years	Drainage and clean out river	Yes	1-5 years	Wreck garden, kill the plants	-	1 month	1-2 month	No	Yes	Hoe plow, redo the land	Yes
28	Yes	Drainage and clean out canals	Working together with other people	No	Volunteer work	2 days per week	No	Yes	-	1 karo ,since 10 years	Crops	Plantain	Bad	Since 7 years	Get the water in order and clean out drains	Yes	1-5 years	Wreck garden, kill the plants	Nothing	1 month	1-2 month	No	Yes	Hoe plow	Yes
29	Yes	Drainage and clean out canals	Community participation	No	Volunteer work	2 days per week	No, drainage and cleaning out the river	No	Inheritance	1/8 karo since 2 years	Crops	Plantain	Bad	Since 2 years	Drainage and clean out river	Yes	1-5 years	Kills plants in the garden	Nothing	1-2 month	2-3 month	No	Yes	Hoe plow	Yes
30	Yes	Drainage and clean out canals	Community participation	No	Volunteer work	2 days per week	No, drainage and cleaning out the river	Yes	-	3 karo, since 40 years	Crops	Plantain	Bad	Since 10 years	Clean canals and drains	Yes	1-5 years	Kills plants in the garden	Wait for the water to dry up	1-2 month	1-3 month	No	Yes	Hoe plow	Yes
31	Yes	Drainage and clean out canals	Community participation	No	Volunteer work	2 days per week	No, clean out the river and make canals	Yes	-	1 karo since 20 years	Crops	Plantain	Bad	Since 16 years	Clean canals and drains	Yes	< 1 year	Kills plants in the garden	Dig drainage canals	1-2 month	2-3 month	No	Yes	Prepare the land	Yes

La Plaine des Moustiques Perception and Land Use Survey

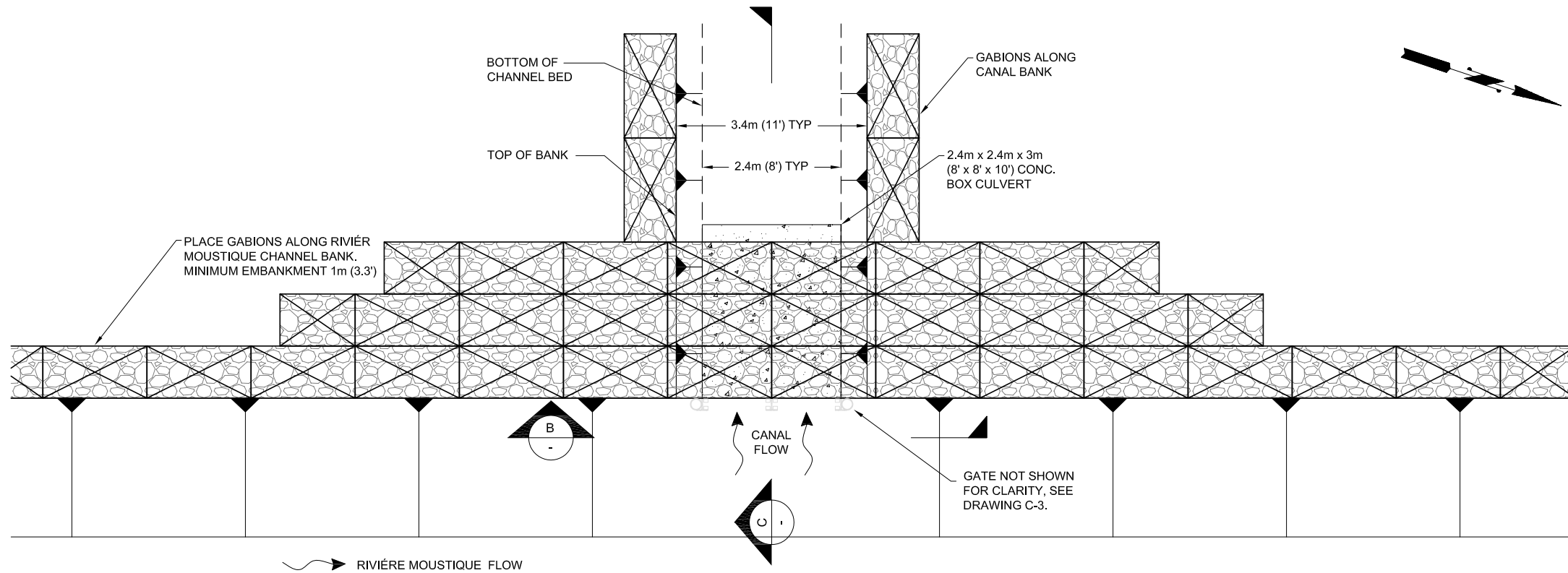
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Do you think there needs to be work done in the plain?	If yes what work?	What do you think the work could do?	Are you ok to give money for the work?	If yes how much?	If you don't have money how do you want to participate? A day of work? If a day of work, how many days each week?	Are you satisfied with the canal they are developing? What suggestions do you have?	Is it your land there (in the plain) that you work on? Basically do you own the land?	If not, who owns it? More like what sort of arrangement do you have with the land.	How much land do you work? Since when?	What kind of work do you do on the land?	What crops do you plant the most of?	How is your harvest? Good or Bad?	When do you harvest?	What do you have to do to supplement the harvest?	Do you try other crops?	How often does it flood?	What kind of problems do you have with flooding?	What do you do after flooding to find a solution to the problems?	How long do the floods last?	After the flood how long can you not work because the ground is too wet?	Do the plants grow well after flooding?	Is it always difficult to work the land after flooding?	What do you do then?	Do you have another garden you can work if there isn't a flood?
Canal Altida																									
32	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Participation of the committee	No	Volunteer work	2 days per week	No, do the drainage and make the rest of the canals	Yes	-	1/8 karo since 10 years	Crops	Plantain	Bad	Since 15 years	Drainage, clean out river and make good irrigation canal	Yes	1-5 years	Kills the garden	Nothing	2 days	1 month	No	Yes	Hoe plow, cut weeds	Yes
33	Yes	-	Drain the water into Riviere Moustiques	No	Volunteer work	2 days per week	Yes, they need to make the drains drain	Yes	-	1.5 karo since 43 years	Crops	Plantain	Bad	Since 10 years	Clean out river and drains	Yes	1-5 years	Kills animals, destroys the garden	Dig drains	2 months	3 months	No	Yes	Dig drains	Yes
34	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Hand labor and an excavator	No	Volunteer work	-	Yes, the committee of the association doesn't have the means to function	Yes	-	1/4 karo	Crops	Plantain	Bad	Since 3 years	Drain the ravine and land	No	1-5 years	Land becomes a lagoon	Nothing	Several days	3-4 months	No	Yes	Let the land dry out	Yes
Canal Mancireis																									
35	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Community participation and other people/ organizations	No	Volunteer work	2 days per week	No, redo the rest of the canals, drain the river and organize a syndicate	No	Halves	1/8 karo since 12 years	Crops	Plantain	Bad	Since 10 years	Drainage, clean out canals, and make irrigation diversion dam	Yes	1-5 years	Destroys plants that are in the garden	Nothing	1-2 months	1-3 months	No	Yes	Hoe plow, cut weeds	Yes
36	Yes	Dig out the riverbed and make drains	-	No	Volunteer work	2 days per week	No	Inheritance	1/4 karo since 15 years	Crops	Plantain	Bad	Since 14 years	Clean canals and drains	-	1-5 years	Destroys plants that are in the garden	Nothing	15 days	1 month	No	Yes	Hoe plow	Yes	
37	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Community participation	No	Volunteer work	2 days per week	No, drainage and redo the rest of the canals	Yes	-	1/4 karo since 11 years	Crops	Plantain	Bad	Since 15 years	Drain ravine and make irrigation canal diversion dam	Yes	< 1 year	Destroys garden	Nothing	1 month	1-2 months	No	Yes	Hoe plow, cut weeds	Yes
38	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Community participation	No	Volunteer work	1 day per week	No, repair the canals and clean out the river	Yes	-	1/2 karo since 5 years	Crops	Plantain	Bad	Since 10 years	Drainage and make irrigation canals	Yes	< 1 year	Kills plants	Redo the land	2-3 months	2-4 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
39	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Participation of the whole community	No	Volunteer work	2 days per week	No, clean the river and fix the canals	Yes	-	2 karo since 32 years	Crops	Plantain	Bad	Since 9 years	Drainage, clean out canals, and make irrigation diversion dam	Yes	< 1 year	Kills plants	Nothing	2-3 months	2-4 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
Canal Olty																									
40	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Participation of the whole community	No	Volunteer work	2 days per week	No, dig out the river and make the canal intake structures	Yes	-	3/4 karo, 15 years	Crops	Plantain	Bad	Since 16 years	Clean canals and drains	Yes	< 1 year	Kills plants	Prepare land	2-3 months	2-5 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
41	Yes	Drainage in the plain	Dialog and invitation	No	Volunteer work	1 day per week	No, make a canal committee in La Baie	Yes	-	1/4 karo, anpil t	Crops	Plantain	Bad	Since a long time	Drain the plain and clean out the river	No	< 1 year	Kills garden	Nothing	1-3 weeks	1-2 months	No	Yes	Drain the gardens	Yes
42	Yes	Dig out the riverbed and make drains	With heavy equipment	Yes	According to how much is asked	-	Yes, show the committee where to submit projects	Yes	-	1/2 karo, 12 years	Crops and animals	Plantain, mais	Bad	-	Open drains and ravines and put in a lake	No	1-5 years	Kills the whole garden	Nothing	1-3 weeks	1-2 months	No	Yes	Koupe bwa chabon, travay anpeyan	Yes

La Plaine des Moustiques Perception and Land Use Survey

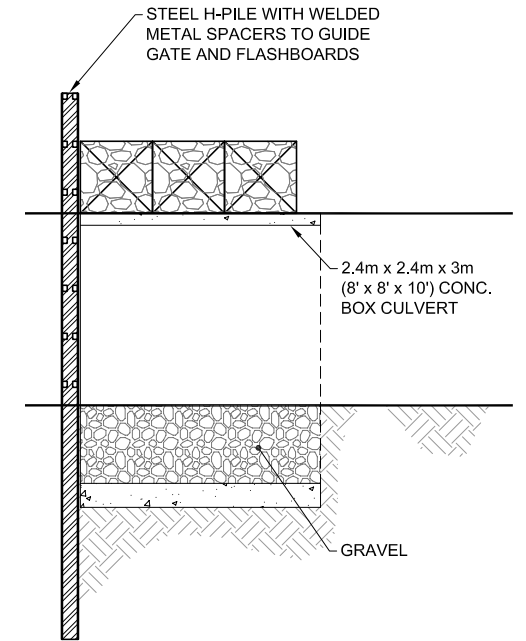
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Do you think there needs to be work done in the plain?	If yes what work?	What do you think the work could do?	Are you ok to give money for the work?	If yes how much?	If you don't have money how do you want to participate? A day of work? If a day of work, how many days each week?	Are you satisfied with the canal they are developing? What suggestions do you have?	Is it your land there (in the plain) that you work on? Basically do you own the land?	If not, who owns it? More like what sort of arrangement do you have with the land.	How much land do you work? Since when?	What kind of work do you do on the land?	What crops do you plant the most of?	How is your harvest? Good or Bad?	When do you harvest?	What do you have to do to supplement the harvest?	Do you try other crops?	How often does it flood?	What kind of problems do you have with flooding	What do you do after flooding to find a solution to the problems?	How long do the floods last?	After the flood how long can you not work because the ground is too wet?	Do the plants grow well after flooding?	Is it always difficult to work the land after flooding?	What do you do then?	Do you have another garden you can work if there isn't a flood?
Canal Pepe																									
43	Yes	Work on drainage to give the water a way out	Cooperation of association of irrigators and ODRINO	Non	Jounen travay	1 jou/semen	Yes, help the canal committees	No	Halves	1/4 karo, 2years	Crops	Plantain	-	-	Redig drains and drain the ravine	No	1-5 years	Kills garden	Nothing	1-2 weeks	2-4 months	No	Yes	The land stays unworked	-
44	Yes	Clean out river and canals	Outside help and community participation	Non	Jounen travay	2 jou/semen	No, clean out the canals	Yes	-	1/2 karo, 9 years	Crops	Plantain	Bad	10-15 years	Drainage	Yes	1-5 years	Destroys garden	Nothing	2 months	5-6 months	No	Yes	The land stays unworked	Yes
45	Yes	Clean out river and canals	Everybody should put their hands together	No	Jounen travay	2 jou/semen	No, clean out and drain the river	Yes	-	1/4 karo since 10 years	Crops	Plantain	Bad	Since 10 years	Clean canals and drains	Yes	< 1 year	Kills garden	Nothing, wait for land to dry	1-2 month	1-2 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
Canal Monsine																									
46	Yes	Dig out the riverbed and make drains	-	Yes	According to how much is asked	-	Yes	Yes	Inheritance	1/8 karo, since 6 years	Crops	Plantain, maniok	Bad	Since 3 years	Reopen the ravine to give the water a place to go	No	< 1 year	Kills garden	Nothing	2-3 days	1-2 months	No	Yes	Let the land dry out	Yes
47	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Community participation	No	According to how much is asked	2 jou/semen	No, after drainage all the canals need redigging	Yes	-	1 karo since 47 years	Crops	Plantain	Bad	Since 15 years	Clean canals and drains	-	< 1 year	Kills garden	Dig some canals	2-3 months	3-4 months	No	Yes	Redo the land and hoe plow	Yes
48	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Participation of all the planters	No	According to how much is asked	2 jou/semen	No	No	Halves	1/4 karo	Crops	Plantain	Bad	Since 16 years	Clean canals and do drainage	Yes	< 1 year	Kills garden	Wait until land dries	2-3 months	2-4 months	No	Yes	Hoe plow or let the land dry out	Yes
49	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Bulldozer, heavy equipment, some hand work	Yes	According to what everyone else gives	-	Yes	Yes	Inheritance	1/4 karo since 10 years	Crops	Plantain	Li konn bon le pa gen inodasyon	Since the ravine in the land was dry	Redig the ravine	No	1-5 years	Gardens can't produce	We can't do anything	1-2 weeks	1-3 months	No	Yes	Hoe plow	Yes
50	Yes	Dig out the riverbed and make drains	Help and community participation	No	According to how much is asked	2 jou/semen	No, dig the canal out and get the committee organized	Yes	-	1/2 karo	Crops and animals	Plantain	Bad	Since 7-10 years	Drain canal and river	Yes	1-5 years	Destroys garden	Prepare land for planting	2 months	2-3 months	No	Yes	We leave the land unworked	Yes
										Karo is 3.14 acres															

APPENDIX D

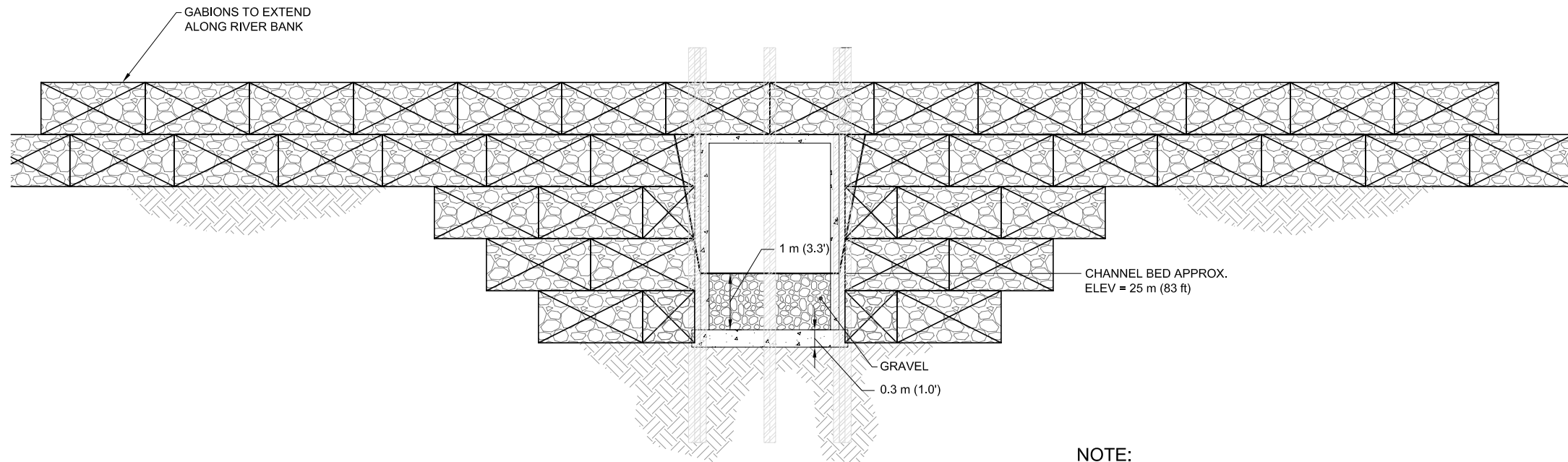
Conceptual Drawings



CANAL ELMÉ PLAN
 SCALE: 1/4" = 1'
 1cm = 0.48 m



CANAL ELMÉ SECTION
 SCALE: 1/4" = 1'
 1cm = 0.48 m



CANAL ELMÉ SECTION
 SCALE: 1/4" = 1'
 1cm = 0.48 m

NOTE:

1. GATE NOT SHOWN FOR CLARITY, SEE DRAWING C-3.
2. HEADWORKS AT ALTIDA ARE SIMILAR IN DESIGN.

Path: C:\proj\2006\06-03493-000\Draft\Cad\CAD Figures\D1 and D2.dwg
 Plot Date: 5/23/2007 1:28 PM
 Plot Style Table: Herrera.ctb
 Cad User: Todd Prescott
 Plotter: Adobe PDF

No.	REVISION	BY	APP'D	DATE



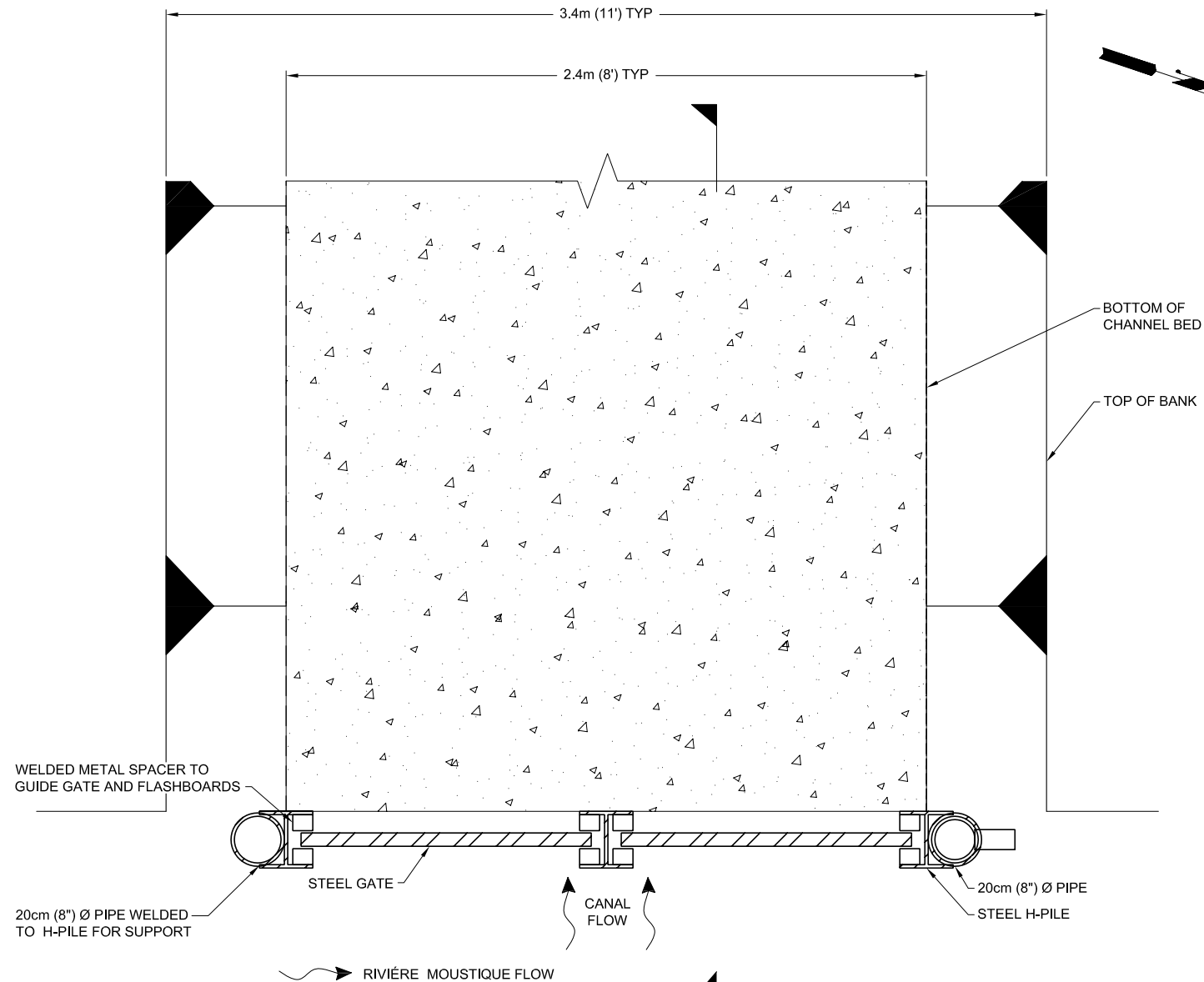
2200 Sixth Avenue
 Suite 1100
 Seattle, Washington
 98121-1820
 206-441-9080
 206-441-9108 FAX
<http://www.herrerainc.com>

DESIGNED:	H MACHEL	DRAWN:	H MACHEL
DESIGNED:	M SPILLANE	CHECKED:	-
DESIGNED:	-	APPROVED:	-
SCALE:	AS NOTED		

HAITI
FLOW CONTROL STRUCTURE
AT IRRIGATION CANALS

CANAL HEADWORKS PLAN AND SECTIONS

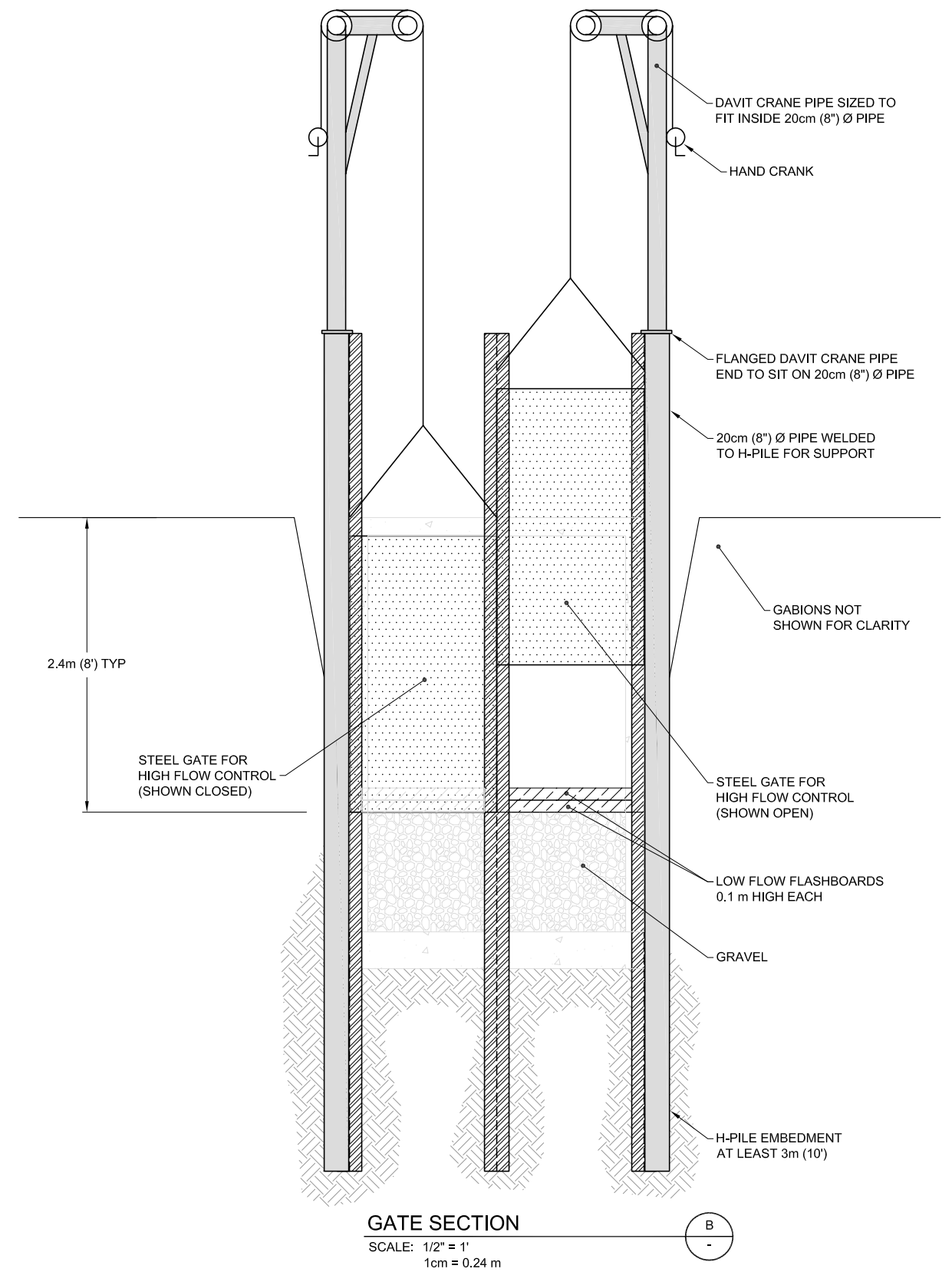
DATE:	MARCH 2007
PROJECT NO.:	06-03493-000
DRAWING NO.:	D-1
SHEET NO.:	1 OF 4



GATE PLAN
 SCALE: 1" = 1'
 1cm = 0.12 m

NOTE:

1. GABIONS NOT SHOWN FOR CLARITY, SEE DRAWING C-2.
2. HEADWORKS AT ALTIDA ARE SIMILAR IN DESIGN.



GATE SECTION
 SCALE: 1/2" = 1'
 1cm = 0.24 m

© 2007 Herrera Environmental Consultants, Inc. All rights reserved.

ONE INCH
 AT FULL SIZE, IF NOT ONE
 INCH SCALE ACCORDINGLY

Path: C:\proj\2006\06-03493-000\Draft\Cad\Cad Figures\D1 and D2.dwg
 Plot Date: 5/23/2007 1:29 PM
 Cad User: Todd Prescott

No.	REVISION	BY	APP'D	DATE

HERRERA
 ENVIRONMENTAL
 CONSULTANTS

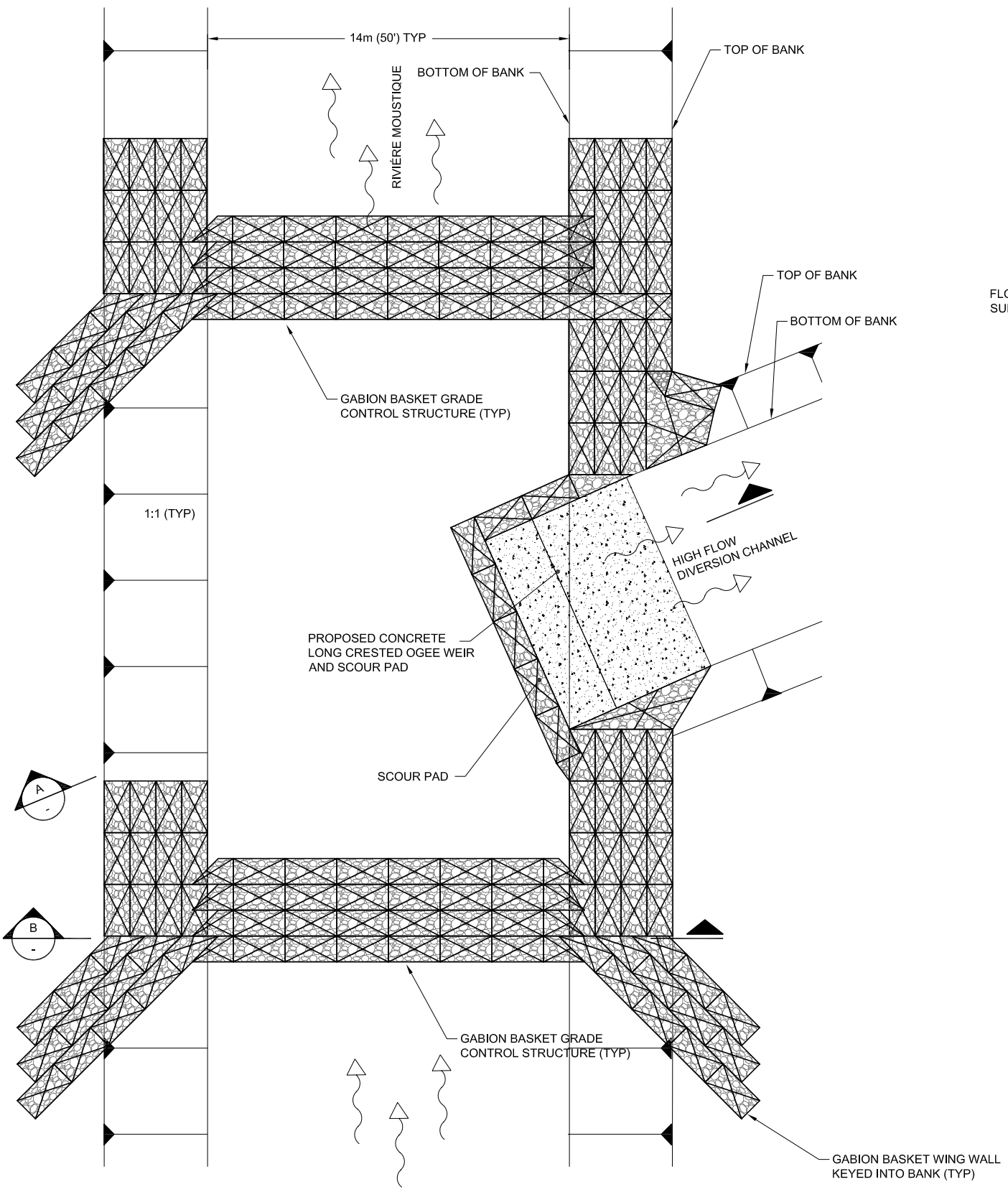
2200 Sixth Avenue
 Suite 1100
 Seattle, Washington
 98121-1820
 206-441-9080
 206-441-9108 FAX
<http://www.herrerainc.com>

DESIGNED: H MACKEL	DRAWN: H MACKEL
DESIGNED: -	DRAWN: -
DESIGNED: -	CHECKED: -
SCALE: AS NOTED	APPROVED: -

HAITI
 FLOW CONTROL STRUCTURE
 AT IRRIGATION CANALS

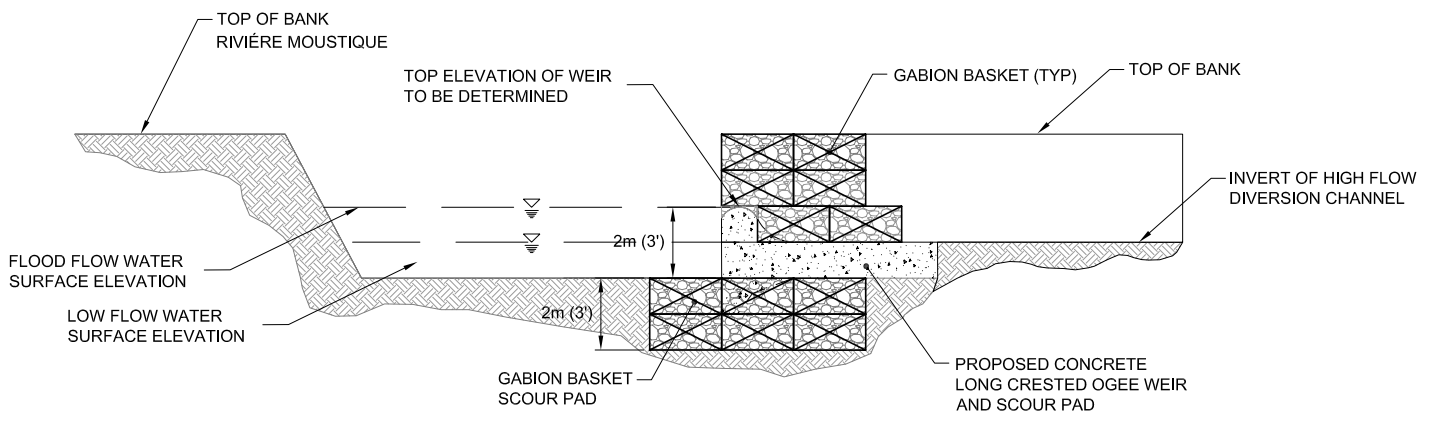
GATE PLAN AND SECTION

DATE: MARCH 2007
PROJECT NO: 06-03493-000
DRAWING NO: D-2
SHEET NO: 2 OF 4



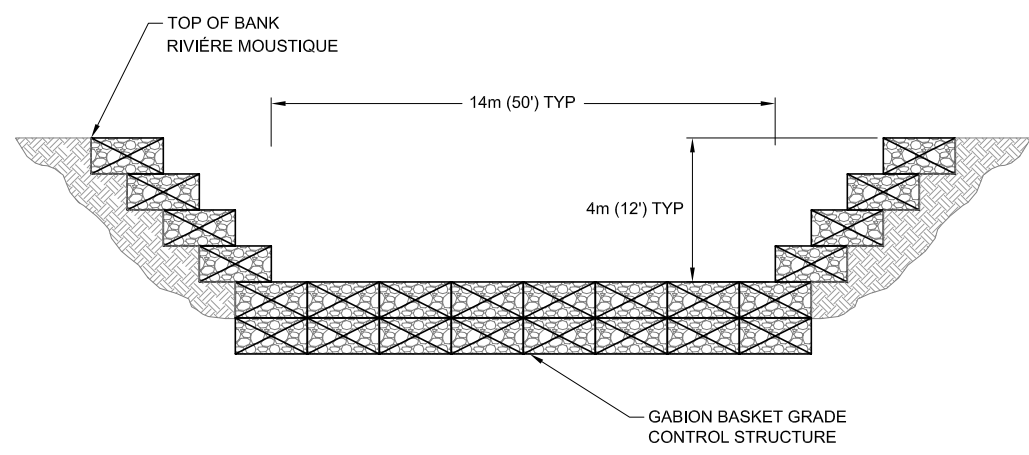
PLAN - RIVIÈRE MOUSTIQUE HIGH FLOW DIVERSION HEADWORKS
SCALE: 1/8" = 1'

1



SECTION - LONG CRESTED OGEE WEIR
SCALE: 1/8" = 1'

A



SECTION - GRADE CONTROL STRUCTURE TYPICAL
SCALE: 1/8" = 1'

B



© 2007 Herrera Environmental Consultants, Inc. All rights reserved.

ONE INCH
AT FULL SIZE, IF NOT ONE
INCH SCALE ACCORDINGLY

Path: C:\proj\2006\06-03493-00\Draft\Cad\CAD Figures\03.dwg
Plot Date: 5/23/2007 1:32 PM
Plot Style Table: Herrera.ctb
Cad User: Todd Prescott
Printer: Adobe PDF

No.	REVISION	BY	APP'D	DATE



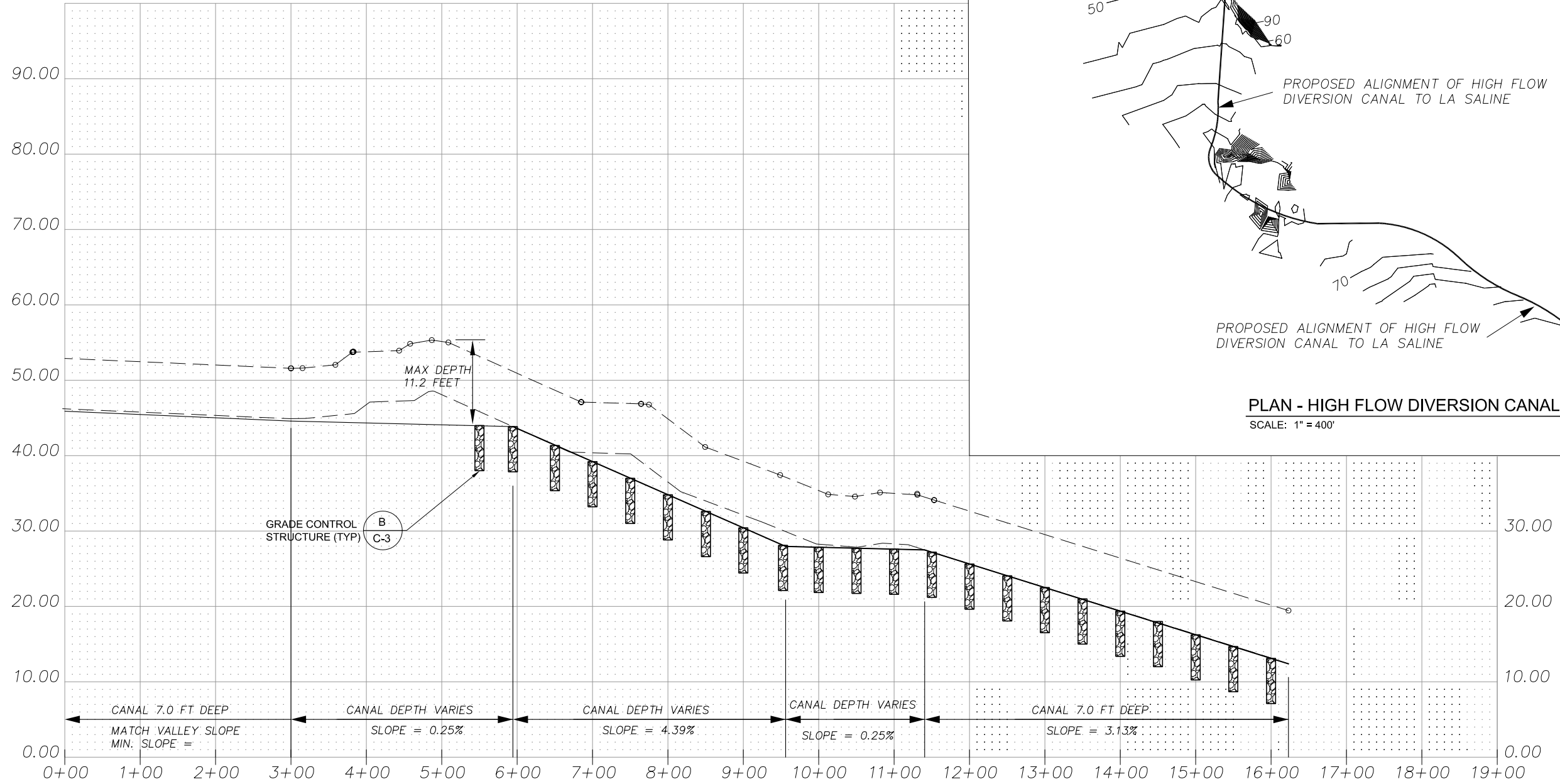
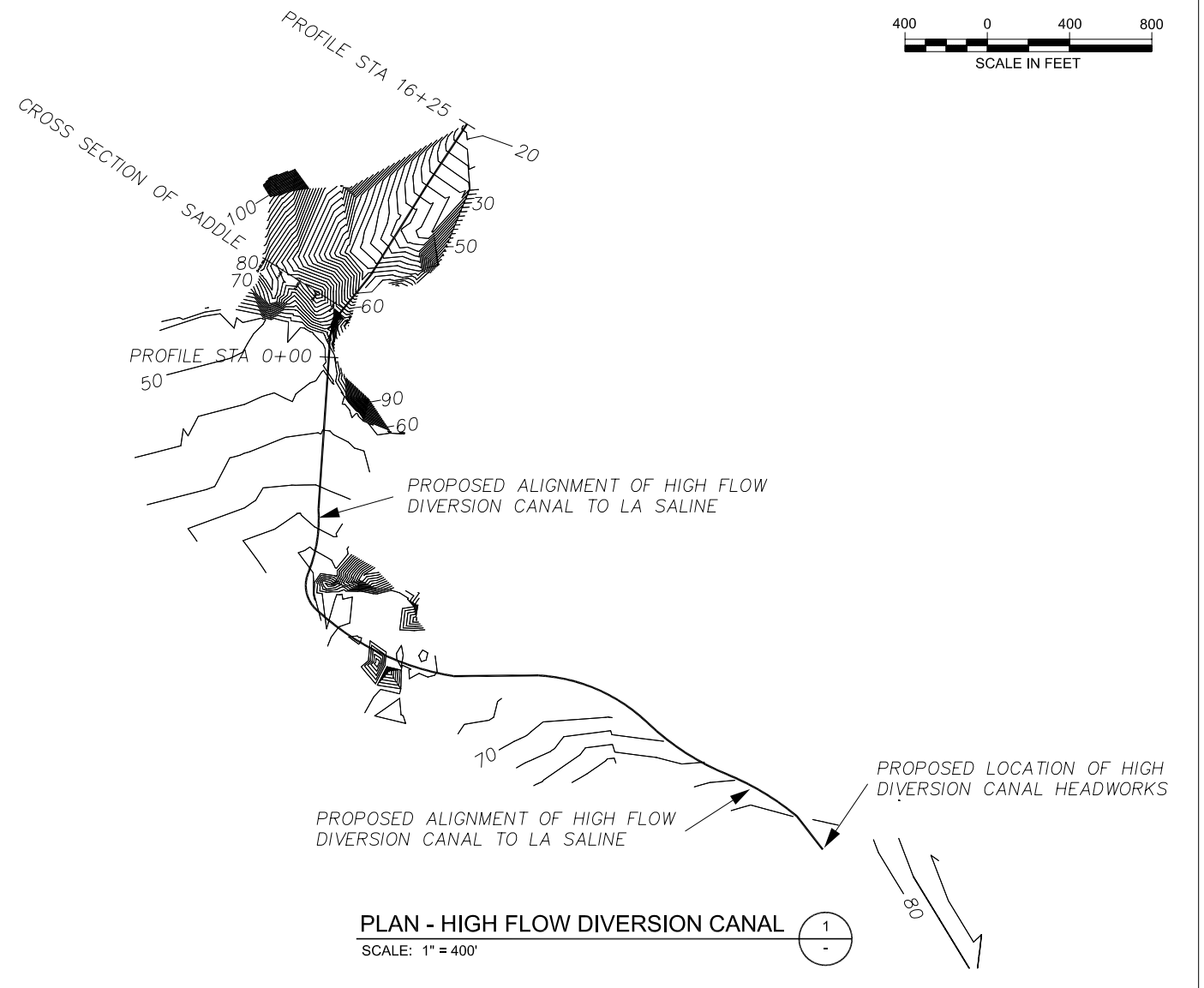
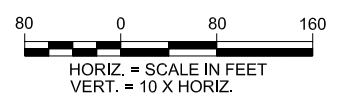
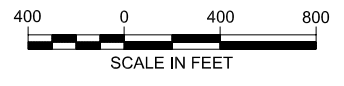
2200 Sixth Avenue
Suite 1100
Seattle, Washington
98121-1820
206-441-9080
206-441-9108 FAX
<http://www.herrerainc.com>

DESIGNED: M RUEBEL	DRAWN: M RUEBEL
DESIGNED: M SPILLANE	DRAWN: -
DESIGNED: -	CHECKED: -
SCALE: AS NOTED	APPROVED: -

HAITI
HIGH FLOW DIVERSION HEADWORKS
AT HIGH FLOW DIVERSION CANAL

HIGH FLOW DIVERSION HEADWORKS

DATE: MARCH 2007
PROJECT NO: 06-03493-000
DRAWING NO: D-3
SHEET NO: 3 OF 4



© 2007 Herrera Environmental Consultants, Inc. All rights reserved.

ONE INCH
AT FULL SIZE, IF NOT ONE
INCH SCALE ACCORDINGLY

Path: C:\proj\2006\06-03493-000\Draft\Cad\CAD Figures\04.dwg
Plot Date: 5/23/2007 1:33 PM
Cad User: Todd Prescott
Plot Style Table: Herrera.ctb

No.	REVISION	BY	APP'D	DATE

HERRERA
ENVIRONMENTAL
CONSULTANTS

2200 Sixth Avenue
Suite 1100
Seattle, Washington
98121-1820
206-441-9080
206-441-9108 FAX
<http://www.herrerainc.com>

DESIGNED: M SIEGENTHALLER	DRAWN: M RUEBEL
DESIGNED: -	DRAWN: -
DESIGNED: -	CHECKED: -
DESIGNED: -	CHECKED: -
SCALE: AS NOTED	APPROVED: -

HAITI
HIGH FLOW DIVERSION CANAL
PLAN AND PROFILE

CANAL HEADWORKS PLAN AND SECTIONS

DATE: MARCH 2007
PROJECT NO: 06-03493-000
DRAWING NO: D-4
SHEET NO: 4 OF 4

APPENDIX E

Hydrologic and Hydraulic Analysis Report

The contents of this appendix are provided
as a separate PDF file
