

GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE MOUSTIQUES

Visite du terrain – Septembre/Octobre 2005

Version 5 – (21/01/2007)



TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	1
INTRODUCTION.....	3
GESTION DES RESSOURCES EN EAU	5
Introduction	5
Sources et prises	5
Disponibilité en eau.....	6
Besoins en eau	6
Tour d'eau	7
Développement.....	7
Barrages.....	8
Prises	8
Réservoir	9
Périmètres irrigués en amont.....	9
Parcelles	9
Eaux souterraines	10
Gestion intégrée.....	10
Conclusions	11
Recommandations	11
HYDROMETRIE	12
Introduction	12
Gestion de l'eau par temps de crue	12
Gestion de l'eau par temps sec	12
Réalisation d'études hydrologiques	12
Plan synoptique	13
Situation actuelle.....	13
Limnimétrie	13
Pluviométrie	13
Station limnimétrique.....	13
Site.....	13
Instrumentation.....	13
Constructions hydrométriques.....	13
Type.....	13
Site.....	13
Station(s) pluviométrique(s).....	13
Type.....	13
Site.....	13
Conclusions	13
Recommandations	13
DRAINAGE	13
Analyse préliminaire	13
Irrigation.....	13
Drainage	13
La rivière Moustiques.....	13
Inondations	13
Hydrométrie	13
Etudes antérieures	13
Conclusions	13

Recommandations	13
SIG ET MODELISATION	13
Introduction	13
Données	13
SNRE	13
UTSIG	13
PNUD	13
Autres	13
Systèmes d'information géographique	13
Cartographie	13
Analyse	13
Modèles numériques	13
Gestion de l'eau	13
Drainage	13
Conclusions	13
Recommandations	13

INTRODUCTION

Protos, en collaboration avec UEBH-ODRINO, conduit un programme d'appui à la production agricole dans le bassin versant de la rivière Moustiques en Haïti. Ce programme prévoit la réhabilitation des prises d'un nombre de périmètres irrigués, la construction d'un barrage souterrain, la réhabilitation des drains dans la plaine et le reboisement de la partie supérieure du bassin versant. Le bassin versant de la rivière Moustiques et les interventions par Protos sont situés sur les figures 1 et 2 ci-dessous.

La visite du terrain a eu lieu pendant la fin de Septembre et le début d'Octobre 2005 et a duré quatre semaines. Pendant la première et la quatrième semaine, un nombre de services publics et quelques bibliothèques à Port-au-Prince ont été visités. Pendant la deuxième et la troisième semaine, le bassin versant de la rivière Moustiques a été exploré.

Le but principal de la visite était l'évaluation des possibilités pour introduire la modélisation numérique en appui des activités de Protos.

Ce rapport contient 4 chapitres indépendants qui discutent les observations regardant la gestion des ressources en eau, les besoins en hydrométrie, l'étude de drainage et les possibilités pour l'utilisation des systèmes d'information géographique et des modèles numériques.



Figure 1: Situation du bassin versant de la Rivière Moustiques

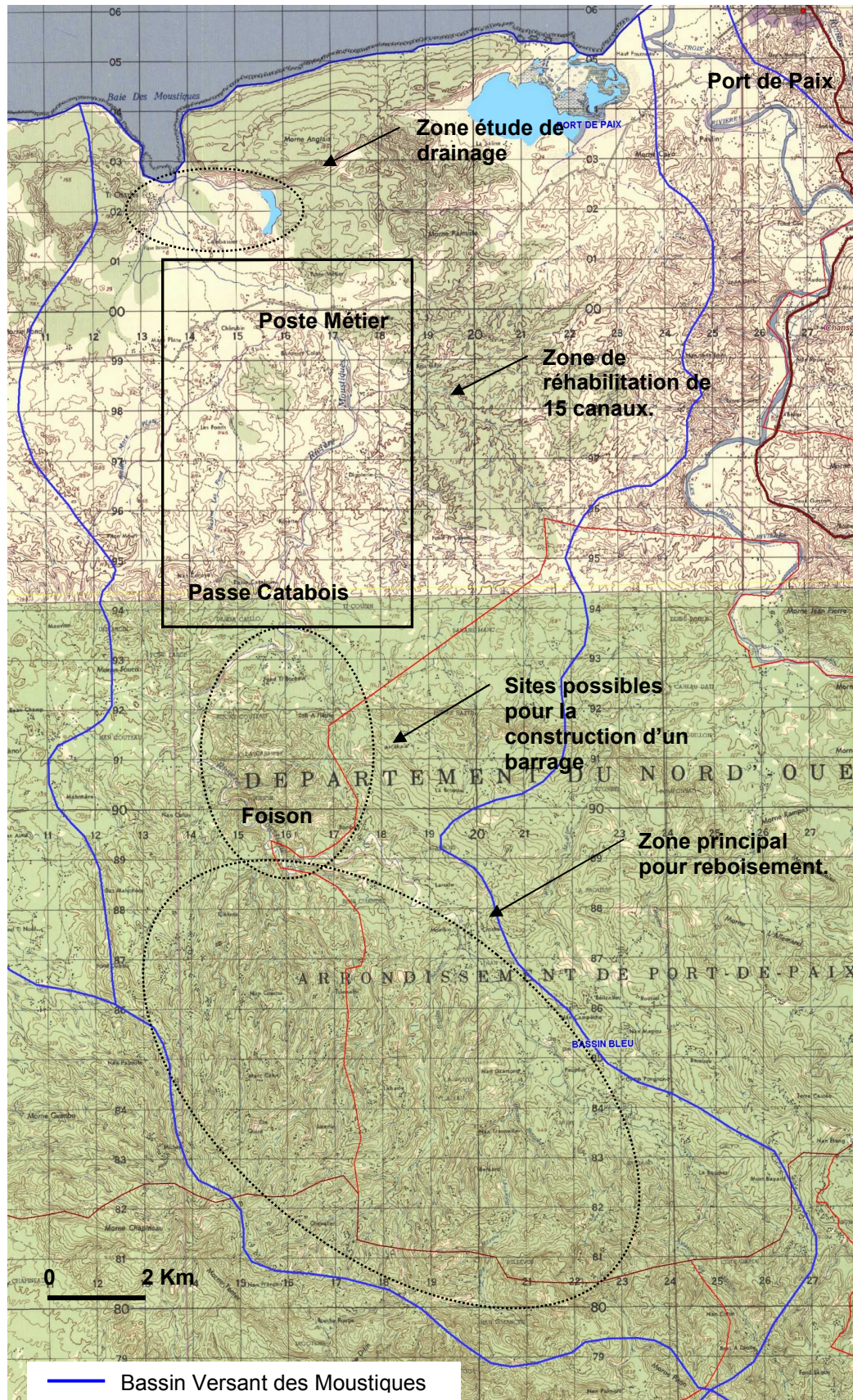


Figure 2: Interventions par Protos

GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Introduction

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) concerne toutes les ressources en eau et les besoins de tous les usagers dans le bassin versant entier. Les usages les plus importants dans le bassin versant de la rivière Moustiques sont le captage et la distribution des eaux souterraines pour l’approvisionnement en eau potable et la dérivation des eaux superficielles pour l’irrigation. Comme les systèmes d’approvisionnement en eau potable semblent fonctionner de façon satisfaisante, l’attention a surtout été dirigée vers l’application des eaux superficielles pour les besoins agricoles.

La gestion de l’eau a déjà été étudiée par Nader (2001) et GEDER (2003). Les analyses présentées dans leurs rapports, sont toujours valables et ne seront pas reprises ici. Certaines interventions recommandées dans ces rapports (par exemple l’organisation d’une association d’irrigants et la reconstruction ou le renforcement des prises d’un nombre de périmètres irrigués) étaient déjà en train de réalisation pendant notre visite et d’autres (étude de drainage, construction d’un barrage) étaient en voie de préparation. Au cours de quelques années, la situation s’est donc déjà améliorée comparée à celle rencontrée par Nader et GEDER et cette amélioration continuera sans doute pendant les années suivantes.

Sources et prises

Jusqu’à présent, il n’existe aucun plan du bassin versant entier. Pour faciliter la gestion de l’eau, il est nécessaire de rédiger au moins un plan synoptique montrant les limites du bassin versant, le tracé de la rivière et la position des sources et des périmètres irrigués (prise et délimitation). A ce fin, toutes les prises et quelques sources (la source principale en amont de Foison et une source intermédiaire, dite Cléan) ont été visitées et leurs coordonnées ont été enregistrées à l’aide d’un appareil GPS portable (marge d’erreur quelques dizaines de mètres). A partir de la source principale, les périmètres suivants ont été rencontrés (de l’amont vers l’aval):

Nom	Rive
Bas Mapou (prise temporairement (?) hors service)	Gauche
Brunette-Mombin (prise détruite)	Gauche
Ti Mari Brinette	Droite
Brinette	Gauche
Bas Falese	Droite
Gros Roche (prise détruite)	Droite
Dernière Passe (prise détruite)	Gauche
Cléan (prise détruite)	Droite
Nalus	Droite
Istomène (prise détruite)	Droite
Jeannette	Gauche
Iniel	Droite
Tètène	Droite
Saint-Juste	Droite
Eldieu	Gauche
Arius	Gauche
Saint-Luc	Droite
Cédieu	Gauche

Menousa	Gauche
Charité	Droite
Soulevé	Gauche
Ilercé	Droite
Zapotte	Gauche
Cadette	Gauche
Dukens	Droite
Ducamel (partie sud de Cadette, prise à construire)	Gauche
Délicier	Gauche
Mère des Enfants	Droite
Jean Bole	Gauche
Alcina	Gauche
Dorvé	Gauche
Saintilien	Droite
Altida	Gauche
Elmé	Gauche
Mertil	Droite
Glacis	Gauche
Olty	Droite
Prise provisoire périmètre Mertil	Droite
Prise provisoire périmètre Elmé	Gauche
Moncine	Gauche
Prise provisoire périmètre Mertil	Droite
Prise provisoire périmètre Elmé	Gauche
Pépé	Droite
Man Cireus	Droite
Facile	Gauche
Ti Maulice	?

Un nombre de prises a été détruite par des ouragans (surtout « Jeanne », mais aussi quelques autres). La prise de Bas Mapou a été rendue inutile par l’approfondissement de la rivière dans le cadre de l’amélioration de la route voisine par CARE.

Disponibilité en eau

Pour améliorer la gestion de l’eau à court terme, on a surtout besoin de connaître l’écoulement de la rivière par temps sec, c’est-à-dire la quantité d’eau disponible en cas de limitation.

En aval des sources principales, il existe encore plusieurs sources secondaires. Un nombre de ces sources ont été captées pour l’approvisionnement en eau potable. D’autres (e.a. la source Cléan) contribuent toujours à l’écoulement de la rivière. ODRINO est déjà en train d’inventorier ces sources et d’estimer leurs débits. A cause de la présence des sources secondaires, la quantité d’eau disponible par temps sec pourrait augmenter vers l’aval, malgré la présence d’un nombre de périmètres irrigués en amont.

A présent, il n’existe que quelques observations ponctuelles du débit de la rivière, réalisées par des consultants ou le SNRE. En vue de faciliter des observations en continu, la réalisation d’une construction hydrométrique est recommandée. L’endroit optimal doit être déterminé à partir de la position des sources et des prises (voir chapitre Hydrométrie).

Besoins en eau

Les caractéristiques (position de la prise, limites, surface, cultures, nombre d’irrigants, ...) des périmètres intermédiaires (Ilercé jusqu’à Glacis) ont déjà été étudiées en détail par GEDER

(2003). Il est souhaitable de collecter le même genre de données portant sur les autres périmètres. Pour les périmètres en aval de Glacis, cette collecte pourrait être intégrée dans l'étude de drainage prévue (voir chapitre Drainage). Pour les périmètres en amont de Ilercé, une action supplémentaire sera nécessaire. Dans le cadre de l'organisation d'une association d'irrigants, ODRINO a déjà obtenu quelques informations des comités d'irrigation. La visite des prises, a indiqué qu'il faut interpréter ces informations avec prudence. Certains comités sont responsables d'un périmètre dont la prise a été détruite il y a longtemps (15 ans pour le cas de Gros Roche). Quoique le comité d'irrigation existe toujours, le périmètre n'est plus irrigué, en attendant la reconstruction de la prise.

Les besoins en eau actuels peuvent être calculés à base de données climatologiques et des caractéristiques des périmètres irrigués. Des calculs de ce genre sont déjà disponibles pour les périmètres intermédiaires (GEDER, 2003). Il est souhaitable de faire des calculs similaires pour les autres périmètres. Probablement, les animateurs d'ODRINO pourraient faire ces calculs eux-mêmes, en utilisant les exemples complétés par GEDER et les manuels fournis par CICDA.

Tour d'eau

Depuis la chute de Duvalier, il n'existe plus de tour d'eau parmi les périmètres irrigués. Les différents comités d'irrigation choisissent eux-mêmes les temps d'irrigation. Quand la disponibilité en eau est limitée, ils font des arrangements informels avec les représentants des périmètres voisins. Les contacts avec les représentants des périmètres plus éloignés sont plutôt rares.

Pendant la visite du terrain, ODRINO était déjà en train d'installer une association d'irrigants qui regroupe des représentants de tous les périmètres. Quelques activités de formation avaient déjà eu lieu, mais la nouvelle association ne jouait pas encore un rôle régulateur.

Le manque d'un nombre de données (profondeur et capacité en eau des sols, profondeur des racines des différentes cultures, ...) ainsi qu l'occurrence d'inondations rend la rédaction d'un tour d'eau fixe (comme dans les régions arides) très difficile.

L'absence de vannes d'admission en amont des canaux d'irrigation permet l'eau de la rivière d'entrer dans les périmètres d'une façon non contrôlée par temps de crue. Pendant les grandes crues, des vannes d'admission ne suffisent plus pour arrêter l'eau et un nombre de jardins est complètement inondé. La quantité d'eau appliquée au cours de ces inondations est difficile à estimer. Par conséquent, les techniques traditionnelles pour établir un calendrier d'irrigation (basé sur les caractéristiques des sols, l'évapotranspiration et la pluie) ne s'appliquent pas sans modification.

Développement

Pour planifier le développement du bassin versant et la gestion de l'eau à long terme, on a besoin de connaître le bilan hydrique du bassin versant (disponibilité en eau moyenne) et la surface des terres irrigables (besoins en eau potentiels). Des études de ce genre ont déjà été faites à plusieurs occasions (FAO, PNUD, FAC-DARNDR, Tractébel).

La plupart des études antérieures mentionnent l'absence de données fiables par rapport à l'écoulement de la rivière Moustiques. Cette situation continue toujours et la collecte de ce genre de données est donc fortement recommandée (voir chapitre Hydrométrie).

Les études antérieures indiquent qu'une grande portion de la pluie s'écoule vers la mer et est donc perdue du point de vue agricole. Pour augmenter la quantité d'eau disponible pour l'irrigation, il sera donc nécessaire de construire autant de facilités de rétention que possible.

Barrages

Le projet Protos-ODRINO en voie de réalisation prévoit la construction d'un barrage dite souterrain dans les environs de Tête Vache. Les dessins préliminaires indiquent qu'il ne s'agit pas d'un barrage souterrain (« subsurface dam »), mais plutôt d'un barrage de sédimentation (« sand storage dam »).

Des spécifications techniques pour le dimensionnement et la construction d'un tel barrage peuvent être retrouvées dans le nouveau manuel réalisé dans le cadre du projet REAL ("Rehydrating the Earth in Arid Lands. Systems research on small groundwater retaining structures under local management in arid and semi-arid areas of East Africa", 2005), auquel Protos a participé.

Les dessins préliminaires montrent un barrage équipé d'un déversoir plutôt étroit (un tiers de la largeur de la crête) en un tuyau de vidange, équipé d'un robinet. Le manuel REAL recommande la construction d'un déversoir aussi large que possible, en vue de faciliter le passage des crues et de minimaliser les risques d'inondation en amont. Si le seul but du barrage est la création d'une réserve d'eau dans les sédiments entassés en amont du barrage, un élargissement du déversoir est recommandé. Si, par contre, on espère créer des nouveaux jardins sur les rives en amont du barrage, un déversoir étroit pourrait offrir des avantages, en dirigeant l'eau vers le centre du lit par temps sec. Néanmoins, la possibilité existe que ces nouveaux jardins seront détruits complètement par les grandes crues. En plus, la présence de cultures en amont du barrage pourrait créer des conflits concernant la gestion de la réserve d'eau en cas de limitation. Pour satisfaire aux besoins des cultures en amont, il faudrait toujours maintenir un niveau minimal de la nappe phréatique en amont du barrage. Pour contribuer aux besoins des cultures en aval du barrage, il faudrait vider graduellement la réserve d'eau à l'aide du tuyau de vidange. Ceci causera une baisse de la nappe phréatique en amont du barrage et pourrait mettre en danger les cultures en amont du barrage.

Pendant la visite du terrain, deux autres sites intéressants ont été visités. Le premier se trouve à Nan Chansolme et offre la possibilité de construire un deuxième barrage sur une petite ravine. Le deuxième site se trouve à Nan Pont. Ici, la construction d'un barrage accompagné d'un canal d'irrigation permettrait d'irriguer un nombre de champs à présent non irrigués. Le canal d'irrigation a déjà été creusé par les agriculteurs eux-mêmes. Malheureusement, ils manquent les moyens pour réaliser le barrage.

Prises

Le projet Protos-ODRINO en voie de réalisation prévoit aussi la reconstruction ou le renforcement d'un nombre de prises à l'aide de gabions. Pendant la visite du terrain, la prise de Mertil avait déjà été remplacée et deux autres prises (Alcina/Dorvé et Saintilien(?)) étaient en voie de construction.

Des spécifications techniques pour le dimensionnement et la construction de petits ouvrages en gabions peuvent être retrouvées dans le manuel « Small dams and weirs in earth and gabion materials » (FAO, 2001). Un des annexes de ce manuel décrit la construction d'un nombre de petits barrages en gabions dans la Ravine Durée à Gonaives. Si la possibilité existe, il serait sans doute utile de visiter ces ouvrages et de prendre connaissance des expériences des maîtres d'ouvrages.

Comme les prises étaient encore en voie de construction, il n'est pas encore possible de les évaluer. Néanmoins, il semble que les efforts seront exclusivement dirigés vers le renforcement du seuil. Il serait utile de prévoir la possibilité d'installer une vanne d'admission (ou de remplacer les vannes endommagées) et d'évaluer la possibilité de revêtir la tête du canal pour le stabiliser et le protéger d'érosion et d'effondrement.

Il semble que toutes les nouvelles prises seront construites au même endroit que les prises existantes. Probablement, la position des prises existantes est le résultat d'un nombre de

coïncidences (position des terres du premier irrigant, déplacement suite à endommagement par des ouragans, ...). La possibilité existe donc que cette position n'est pas optimale et un déplacement permettrait peut-être d'irriguer une surface plus grande ou de servir des terres à présent irrigués à partir d'une prise très éloignée.

Réservoir

Aux environs de Foison, en face de la prise de Bas Mapou, il existe un réservoir abandonné au sommet d'une colline, près de la rivière. Ce réservoir a été construit par les habitants de la région avec l'aide financière de World Vision. On avait l'intention de le remplir par temps de crue, à l'aide d'une pompe installée dans la rivière. Par temps sec, l'eau stockée dans le réservoir serait utilisée pour l'irrigation des périmètres autour du réservoir. Malheureusement, après la complétion du réservoir, on a constaté que la pompe n'était pas capable de lever l'eau de la rivière jusqu'au niveau du réservoir. Le réservoir n'a donc jamais rendu service. Aujourd'hui, le réservoir n'est plus maintenu et posséderait déjà plusieurs fissures, selon les habitants.

Périmètres irrigués en amont

La gestion de l'eau à l'intérieur des périmètres intermédiaires et en aval a déjà été décrite par Nader (2001) et GEDER (2003). Leurs rapports suggèrent que les manques d'eau en aval sont partiellement causés par un gaspillage en amont. Pour évaluer la possibilité de gaspillage, les représentants d'un nombre de périmètres en amont (Brunette-Mombin, Ti Mari Brinette, Iniel et Saint-Juste) ont été interrogés concernant leurs pratiques d'irrigation.

La fréquence d'irrigation dépend de la pluie et de la culture. Certaines cultures (choux, tomates, haricots) reçoivent une irrigation après quelques jours sans pluie. D'autres cultures (banane, canne à sucre, manioc), ne sont irriguées qu'après une quinzaine de jours sans pluie. Certains irrigants observent la condition des plantes pour évaluer la nécessité d'une irrigation. Les irrigations prennent 1 ou 2 jours par irrigant. La quantité d'eau appliquée n'est pas connue. Les irrigants regardent l'humidité du sol pour estimer les besoins en eau: ils continuent à irriguer jusqu'à ce que l'eau ne s'infilte plus et s'écoule vers la rivière. La plupart des périmètres ne possèdent pas de canaux de drainage. Il existe peu d'information concernant la profondeur du sol ou des racines.

Les informations reçues des irrigants indiquent une pauvre efficacité d'irrigation, mais pas de gaspillage flagrant. Confrontés avec les accusations de gaspillage, les irrigants nient décidément. Ils ajoutent que de temps en temps les sources principales se tarissent, tandis que les sources secondaires ne se tarissent pas. De ces temps-là, les irrigants des périmètres intermédiaires reçoivent plus d'eau que eux. Si il n'en reste plus rien en aval, ce sont les périmètres intermédiaires qui en utilisent trop.

Parcelles

L'application de l'eau au niveau des parcelles individuelles est souvent peu efficace. Les irrigants placent des obstructions dans les canaux d'irrigation et coupent des brèches dans les digues des canaux. Ensuite, ils permettent l'eau de couler à travers le champ d'une façon peu contrôlée. Ils se contentent de creuser des petits fossés pour diriger l'eau vers les plantes.

Certains irrigants creusent des petits trous autour des bananiers. Par temps d'irrigation, ils dirigent l'eau vers ces trous et le laissent infiltrer aux environs immédiats des bananiers.

Dans le jardin de démonstration d'ODRINO, les animateurs ont implémenté un carreautage élaboré. Le jardin est divisé en plusieurs sections à l'aide de petites digues. Pendant une irrigation, l'eau est dirigée vers les différentes sections, une à une. Quoique le jardin se trouve

sur une pente, les petites digues entourant les sections du jardin diminuent le ruissellement et améliorent l'infiltration.

Eaux souterraines

A présent, toutes les terres irriguées sont irriguées en utilisant des eaux superficielles. Autrefois, quelques terres près de la route de Port-de-Paix à Jean Rabel étaient irriguées en utilisant des eaux souterraines. Il y avait un puits et une pompe opérée à l'aide d'un générateur. Il y a longtemps, le propriétaire (« Madame Georges ») s'est émigré vers les Etats-Unis. La pompe et le générateur ont été enlevés et le réduit ou ils étaient installés s'est effondré. Pendant la visite du terrain, le sol de ce réduit a été retrouvé. L'ancien puits est toujours visible, mais complètement bouché. A présent, ces terres sont cultivées par un membre de l'organisation « Tèt Kole ». Par manque d'eau, il ne peut pas irriguer ses cultures. Comme il voudrait bien le faire, il a sollicité l'assistance de Protos-ODRINO pour remettre le puits en service.

Gestion intégrée

La GIRE peut être défini comme « la gestion simultanée de toutes les ressources en eau dans un (sous-)bassin versant, en considérant toutes les fonctions de l'eau et les besoins de tous les usagers, présents et futurs ».

L'implémentation d'une gestion conformément à ces principes demande une bonne connaissance des ressources, des enjeux et des conséquences à long terme des différents usages. La rédaction d'un plan de gestion intégrée élaborée demande donc un certain niveau d'éducation, d'administration et de financement ainsi que beaucoup de patience. Malheureusement, la plupart de ces éléments ne sont pas disponibles dans une région défavorisée, caractérisée par des besoins élémentaires urgents comme l'eau potable et la nourriture. Inévitablement, un grand nombre des interventions dans une telle région seront des interventions locales dirigées vers la satisfaction des besoins les plus urgents d'un nombre limité d'usagers. Ceci semble être le cas dans le bassin versant de la rivière Moustiques.

Certaines interventions (par exemple la création d'une association d'irrigants) sont en accord avec les principes de la GIRE, tandis que d'autres (par exemple la destruction de la prise de Bas Mapou au cours des travaux routiers) ne le sont certainement pas. En plus, il y a aussi des interventions qui sont plus difficile à évaluer: elles produisent sans doute des résultats bénéficiers à court terme, mais peut-être une approche plus structurée aurait permis d'augmenter les résultats à long terme. Considérons par exemple le renforcement d'un nombre de prises aux endroits des prises existantes. Les nouvelles prises seront sans doute une grande amélioration pour les irrigants de ces périmètres. Une application stricte de l'approche GIRE demanderait une étude préliminaire de la topographie et de la pédologie pour évaluer la possibilité d'optimiser le nombre et la position des prises et d'irriguer une surface plus grande ou de minimaliser les pertes de transport à l'intérieur de certains périmètres, ainsi que les conséquences pour les périmètres voisins. La collecte des données nécessaires pour compléter une telle étude sera coûteux en durera longtemps. En plus, le déplacement d'un nombre de prises pourrait aussi causer des problèmes sociaux et pourrait provoquer beaucoup de résistance de la part des irrigants à présent favorisés. Entre-temps, rien ne se passera et la condition des prises existantes continuera à détériorer. Dans ce cas-ci, il est clair qu'une application dogmatique des principes GIRE causerait un immobilisme total. De l'autre côté, une multitude d'interventions non structurées pourrait hypothéquer irréversiblement les possibilités de développement à long terme. La solution la plus pragmatique serait la rédaction d'un plan directeur pour le développement à long terme, en parallèle avec l'implémentation immédiate d'un nombre limité d'interventions d'urgence à haut rendement et faible risque.

Conclusions

Dans le bassin versant de la rivière Moustiques, il manque encore un grand nombre de données nécessaires pour améliorer la gestion de l'eau, tel que la disponibilité en eau et les besoins en eau.

A présent, la gestion de l'eau ne se fait pas toujours conformément aux principes de la GIRE. Dans le contexte des besoins urgents évidents, ceci est facile à comprendre. Il semble que la GIRE a déjà été acceptée par ODRINO et certaines initiatives (association d'irrigants, jardin de démonstration) sont déjà en voie d'implémentation. Ces initiatives méritent un support prolongé. Comme l'implémentation de la GIRE est un processus lent, une approche pragmatique qui essaye de réconcilier la satisfaction des besoins immédiats et la réalisation d'un développement durable sera nécessaire.

Recommandations

A court terme:

- Renforcement des initiatives existantes (association d'irrigants, jardin de démonstration)
- Rédaction d'un plan synoptique du bassin versant
- Evaluation de la disponibilité en eau (voir aussi chapitre Hydrométrie)
- Calcul des besoins en eau de tous les périmètres irrigués
- Optimalisation du barrage de sédimentation en fonction des objectifs et des expériences existantes (Ravine Durée à Gonaïves)
- Restauration de l'ancien puits de madame Georges

A long terme:

- Rédaction d'un plan directeur GIRE pour le bassin versant entier
- Optimalisation de toutes les prises
- Construction de barrages additionnels

HYDROMETRIE

Introduction

Afin de pouvoir gérer les ressources en eau dans le bassin versant de la rivière Moustiques, il faut connaître le comportement hydrologique de ce bassin versant. Ce comportement peut être étudié à l'aide d'observations hydrométriques. L'endroit, le type et la fréquence des observations et la transmission, le traitement et la publication des données doivent être choisis en fonction des objectifs et des moyens disponibles. Avant d'exécuter des observations hydrométriques, il faut donc d'abord clairement établir les objectifs envisagés. Pour le bassin versant de la rivière Moustiques, ces objectifs pourraient comprendre la gestion de l'eau par temps de crue, la gestion de l'eau par temps sec et la réalisation d'études hydrologiques.

Gestion de l'eau par temps de crue

Cet objectif nécessite la connaissance de l'évolution du débit de la rivière pendant une crue entière, c'est à dire l'hydrogramme. Le débit maximal est nécessaire pour le dimensionnement d'ouvrages de franchissement (dalot, pont) tandis que le volume total est nécessaire pour le dimensionnement d'ouvrages de stockage (réservoirs en amont, zones d'inondation en aval). Comme les crues passent très vite et les débits maximaux ne se produisent que pendant quelques heures, il faudra faire des observations de haute fréquence avec des enregistrements automatiques en continu ou aux moins horaires. Ce genre d'information est traditionnellement obtenu à l'aide d'une station limnimétrique, gérée par un service hydrologique. Afin d'obtenir des observations aussi représentatives des conditions moyennes du bassin versant que possible, il est préférable de choisir un site qui se trouve autant vers l'aval que possible. L'endroit idéal se trouve en aval des grandes ravines, mais en amont des réservoirs projetés et des zones inondables. Après leur collecte, les données feront l'objet d'une analyse statistique, ce qui nécessite la disponibilité d'au moins une dizaine d'années d'observations.

Gestion de l'eau par temps sec

Cet objectif nécessite l'observation du débit de la rivière par temps sec. La connaissance de ce débit permettra de mieux organiser la distribution de l'eau disponible parmi les utilisateurs (périmètres irrigués). Comme le débit par temps sec ne varie que très lentement, des observations journalières et un enregistrement manuel, par exemple chaque matin, suffiront. Ce genre d'information est souvent obtenu à l'aide d'une construction hydrométrique (déversoir, canal jaugeur), gérée par une association des utilisateurs. L'site idéal se trouve en aval des sources importantes, mais en amont des utilisateurs importants. Pour que les observations puissent être utilisées immédiatement, il est important de réduire le traitement des données jusqu'au minimum (observation directe du débit ou conversion de niveau en débit à l'aide d'un tableau simple). Dans ce cas là, les observations pourront être utilisées, dès leur commencement.

Réalisation d'études hydrologiques

Les études hydrologiques s'occupent des relations entre les conditions météorologiques ou climatologiques dans le bassin versant et le débit de la rivière. Pour réaliser des études pareilles, il ne suffit pas de observer le débit de la rivière. Il faut au moins connaître l'intensité de la pluie dans le bassin versant en amont du site où le débit est observé. Comme le bassin versant de la rivière Moustiques est caractérisé par de grandes variations temporelles et spatiales de la précipitation, il faudra donc installer à des endroits stratégiques plusieurs pluviomètres avec un enregistrement automatique au moins horaire. Souvent, la connaissance

de l'évapotranspiration est aussi nécessaire. Si des valeurs représentatifs ne sont pas disponibles, il faudra aussi faire un nombre d'observations météorologiques (température, humidité, vitesse du vent, rayonnement solaire, ...) afin de pouvoir calculer l'évapotranspiration. Selon la nature de l'étude et des méthodes utilisées, on aura besoin d'observations simultanées pendant quelques crues de durée limitée ou pendant plusieurs années consécutives. Souvent, on a aussi besoin de connaître les conditions météorologiques pendant la période précédent la période étudiée.

Plan synoptique

Les endroits des observations hydrométriques doivent être choisis en fonction de plusieurs éléments. Pour faciliter le choix, il serait souhaitable de rédiger un plan synoptique contenant les limites du bassin versant, les limites des sous-bassins versants, le tracé de la rivière, les tracés des ravines, les sources, les prises des périmètres irrigués, les constructions hydrauliques (pont, dalot, barrages, ...) existants ou projetés et les sites des stations limnimétriques et pluviométriques abandonnées ou opérationnelles.

Situation actuelle

Limnimétrie

Il y a longtemps, une station limnimétrique a été construite près de Tête Vache (probablement par la FAO en 1966). La station se trouvait sur une petite construction en béton et maçonnerie auprès de la rive gauche. Au centre et en dessus de cette base, on avait installé un puits d'observation (tuyau en acier de plusieurs mètres de hauteur), contenant un flotteur à l'intérieur. Au sommet de ce tuyau, se trouvait un limnigraphe. Celui-ci enregistrait de façon continue la position du flotteur sur une feuille de papier tournante. A l'extérieur on avait attachée une échelle limnimétrique pour faciliter des observations supplémentaires par un observateur humain. Après une période de fonctionnement de durée inconnue, la station a été abandonnée. En 1998 elle a été remise en service par la SNRE. Par manque de moyens, la SNRE a discontinué le suivi et l'entretien en 2002. Ensuite, l'ouragan «Jeanne» a complètement détruit la station en septembre 2004. Aujourd'hui, il ne reste que la base brisée et une section de tuyau plié. Il est impossible de reprendre les observations à cet endroit sans construire une nouvelle station.

Afin de convertir les observations de niveau en débits, on a besoin d'une «courbe de tarage». Une telle courbe décrit la relation entre le niveau et le débit correspondant. Elle est normalement établie à l'aide de quelques mesures de débit à plusieurs niveaux. Le débit est souvent calculé à base de la section transversale (déterminée à l'aide de mesures topographiques) et la distribution de vitesse (observée à l'aide d'un moulinet). Chaque fois que la section transversale se modifie (érosion ou sédimentation pendant des crues ou des ouragans), la courbe de tarage doit être mise à jour. La courbe de tarage originelle de la station de Tête vache n'est plus disponible et la façon de laquelle elle a été construite n'est plus connue. La courbe de tarage pour la période 1998-2002 n'a jamais été achevée: les données et les calculs préliminaires ont été perdues au cours des troubles.

Deux séries d'observations sont encore disponibles aujourd'hui: les débits journaliers pour la période mars 1966 - octobre 1966 et les niveaux enregistrées trois fois par jour à l'aide de l'échelle limnimétrique par un observateur dans la période mai 1998 – mars 2002. Ces données semblent peu utilisables: la première série est très vieille et très courte, tandis que la deuxième ne vaut presque rien par manque de connaissance de la cote du zéro du limnimètre et de la courbe de tarage.

Pluviométrie

Il existe un nombre d'observations pluviométriques, obtenues à plusieurs sites. Dans le meilleur cas, il s'agit de données journalières de plusieurs années consécutives. Souvent, on ne possède que des totaux hebdomadaires ou mensuels. Les données sont collectées par des volontaires appartenant à plusieurs ONG. Les sites n'ont pas été visités et la qualité des instruments n'est pas connue. Quoique les données disponibles donnent déjà une bonne impression générale de la pluviométrie, elles ne suffiront pas pour la réalisation d'études hydrologiques détaillées.

Station limnimétrique

En ce qui concerne la (ré)construction d'une station limnimétrique, il existe plusieurs possibilités par rapport au site ainsi que par rapport à l'instrumentation.

Site

Un bon site pour la construction d'une station limnimétrique devrait offrir:

- une section transversale fixe (berges rocheuses ou revêtues)
- un lit stable avec peu de sédimentation ou érosion
- aucune obstruction en aval (minimalisation de refoulement)
- une section droite et régulière en amont (minimalisation de turbulence)
- une bonne accessibilité (par temps sec et par temps de crue)
- possibilité de mesurer la distribution de vitesse (par temps sec et par temps de crue)

Il est clair qu'il ne sera pas facile de trouver un site qui satisfait à toutes ces conditions.

Deux sites ont été visités et évalués en présence de la SNRE: l'ancien site de la station limnimétrique à Tête Vache et un site alternatif à La Rivière, en amont du premier. Plus tard, un troisième site a été visité en présence de ODRINO. Il s'agit d'un «barrage d'essai», à présent sans fonction spécifique, directement en amont du deuxième site.

L'ancien site se trouve directement en amont du barrage des prises Eldieu et Saint-Juste. Il n'est pas clair si ce barrage existait déjà au temps de la construction de l'ancienne station limnimétrique. En tout cas, aujourd'hui la présence du barrage complique l'observation du débit par temps sec. A cause de la perméabilité du barrage et la variabilité de la hauteur du seuil (qui est rehaussée de temps en temps afin de irriguer les périmètres Eldieu ou Saint-Juste), il n'existe plus de relation unique entre le niveau et le débit de la rivière. Ceci empêche la détermination d'une courbe de tarage pour les débits par temps sec. Pendant les grandes crues, le seuil se trouvera toujours au niveau le plus bas et le problème ne se posera plus. Si le but principal des observations est l'enregistrement des grandes crues, la présence du barrage ne posera probablement pas de problèmes insurmontables. Si, par contre, la station doit aussi produire des débits fiables par temps sec, l'utilisation de ce site ne semble plus possible.

Le deuxième site est une gorge étroite et profonde. Le niveau de l'eau dans cette gorge est contrôlé par la présence d'un seuil naturel en gravier en aval de la gorge. Si la hauteur de ce seuil change après chaque crue, le deuxième site sera probablement pire que le premier: le changement de la hauteur du seuil naturel influencera la courbe de tarage par temps sec mais aussi par temps de crue. Si, par contre, le lit de la rivière ne change pas beaucoup ou peut être stabilisé grâce à quelques interventions simples (enterrement de quelques gabions dans le lit de la rivière), le deuxième site semble préférable.

Le troisième site consiste d'un barrage irrégulier en béton, en amont du deuxième site. Ce site pourrait être utilisé à condition que le lit de la rivière en amont du barrage ne change pas trop vite et ne surmonte pas la crête du barrage et que la gorge en aval du barrage (deuxième site)

ne cause pas de refoulement par temps de crue. Le barrage lui même pourrait être transformé en construction hydrométrique approximatif (voir section suivante).

Il faut souligner que tous les sites n'ont été visités que par temps sec. Avant de faire un choix de site, il faut absolument visiter les sites par temps de crue pour évaluer l'accessibilité et les conditions hydrauliques (turbulence, refoulement).

En choisissant un site, il faut aussi tenir compte de la position et de la hauteur du réservoir d'accumulation projeté. Probablement ce réservoir sera réalisé à un endroit entre le premier et le deuxième site. Si la hauteur du réservoir est limitée et le réservoir n'influence pas le site en amont, ce site est à préférer. Si le réservoir sera tellement haut qu'il causera un refoulement jusqu'au site en amont, il sera très difficile de construire une courbe de tarage unique pour ce site. Dans ce cas là, le site en aval est à préférer, mais les débits observés à cet endroit seront influencés par la présence du réservoir.

Instrumentation

L'opération de la station limnimétrique exige l'observation en continu du niveau de la rivière. Afin de construire la courbe de tarage, il faudra aussi observer le débit correspondant à plusieurs niveaux.

Niveau

Jusqu'à présent, l'observation et l'enregistrement du niveau se faisaient à l'aide d'un limnigraphe classique. Comme la SNRE tient encore quelques limnigraphes en réserve, il serait possible de construire une nouvelle station limnimétrique semblable à l'ancienne. Pour éviter que le puits d'observation serait emporté par la rivière comme son prédécesseur, il faudrait utiliser une construction plus solide et donc plus chère. Néanmoins, il ne faut pas exagérer les risques d'emportement: l'ancienne construction n'a été emportée qu'après presque 40 ans de service et par des courants très exceptionnels.

Avantages:

- technologie simple et familière
- aucun besoin d'électricité

Désavantages:

- puits d'observation très haut, vulnérable à l'emportement
- traitement manuel des graphes analogues



Figure 3: limnimètre (principe pression hydrostatique)

Une solution alternative serait l'utilisation d'un instrument qui mesure la pression hydrostatique (à l'aide de la déformation d'une membrane céramique). Souvent il s'agit d'un cylindre métallique de quelques dizaines de centimètres de longueur et quelques centimètres de diamètre, suspendu dans la rivière sous le niveau minimal. L'installation d'un instrument pareil ne demande qu'un petit puits d'observation, pour fixation et protection. A l'aide d'un câble flexible enterré, l'instrument peut être connecté à un enregistreur digital installé a un autre endroit (au dessus du niveau maximal de la rivière).

Avantages:

- puits d'observation plus simple
- traitement informatisé des valeurs digitales

Désavantages:

- besoin d'électricité (batterie, panneau solaire)

Débit

Afin de calculer le débit correspondant à un certain niveau, il faut mesurer la section transversale et la distribution de vitesse. L'observation de la distribution de vitesse à l'aide d'un moulinet, pratiquée par la SNRE aujourd'hui, nécessite la traversée de la rivière. Par manque de pont ou de passerelle, les observations se font à gué ou à l'aide d'un petit bateau. Selon les résidents et la SNRE, le niveau de la rivière aux sites visités peut monter plusieurs mètres par temps de crue et selon ODRINO les vitesses peuvent atteindre plusieurs mètres par seconde pendant ces événements. Dans des conditions pareilles, il semble impossible d'observer la distribution de vitesse en utilisant un moulinet. La construction d'une passerelle à travers la rivière ne semble pas faisable. La configuration des deux sites ne permet que la construction d'une passerelle à un niveau inférieur au niveau maximal de la rivière. Une passerelle permanente (en béton) sera probablement emportée par les grandes crues, tandis que une construction temporaire (en bois) serait probablement trop dangereuse à utiliser. Il n'est pas clair comment la courbe de tarage originelle a été construite: à l'aide d'autres méthodes pour mesurer de la vitesse (flotteur, traceur, ...) ou par extrapolation?



Figure 4: vélocimètre (principe Doppler acoustique)

Une solution alternative serait l'utilisation d'un instrument du type «Doppler ultrasonique» pour observer la vitesse par temps de crue. Ces instruments mesurent la vitesse de petites particules suspendues en observant la modification de la fréquence d'un signal ultrasonique renvoyée par un objet mouvant (effet Doppler). Il en existe plusieurs types: certains instruments mesurent la vitesse moyenne dans une section transversale entière, d'autres

mesurent la vitesse à un endroit particulier d'une section transversale. Les instruments qui mesurent la vitesse moyenne ne peuvent être utilisés que dans des petites rivières. Pour des rivières plus grandes, il faut observer la distribution de vitesse en mesurant la vitesse locale à plusieurs endroits. Certains instruments doivent être suspendus dans le courant, d'autres peuvent être installés à un endroit fixe (lit ou rive). Les instruments suspendus et mobiles peuvent enregistrer la distribution de vitesse dans une section transversale entière, mais posent les mêmes limitations que les moulinets: ils seront difficiles à utiliser par temps de crue extrême. Les instruments à position fixe ne peuvent mesurer que la distribution de vitesse horizontale (instrument sur la rive) ou verticale (instrument sur le lit), mais n'ont pas besoin de manipulation pendant une crue. En installant quelques instruments en parallèle sur le lit on pourrait observer la distribution de vitesse le long de quelques verticales. Ceci devrait donner une approximation de la distribution de vitesse dans la section transversale. Pour éviter que les instruments soient emportés par le courant, il faut les attacher à un piédestal lourd enterré dans le lit de la rivière. Pour éviter que les instruments soient endommagés par des cailloux lourds, transportés près du lit, ou enterrés par le sédiment, il faut les installer à quelque distance du lit. Si l'installation d'un piédestal n'est pas possible, on pourrait installer quelques instruments sur la rive, à plusieurs niveaux. Ceci entraîne un grand désavantage: les instruments installés sur la rive ne fonctionneront que quand le niveau de la rivière dépasse le niveau de l'instrument. Par conséquent, les instruments les plus hauts ne fonctionneront que très brièvement.

Avantages:

- utilisation par temps de crue

Désavantages:

- besoin d'électricité
- distribution de vitesse approximative
- vulnérables à l'emportement et l'endommagement

Certains vélocimètres sont aussi capables de mesurer le niveau de l'eau. Ces instruments offrent l'avantage qu'on peut les installer à un endroit autre que le site limnimétrique lui-même. Afin de construire la courbe de tarage du site limnimétrique, il suffit de choisir un site où le débit correspond à celui du site limnimétrique et de synchroniser les enregistreurs.

Constructions hydrométriques

On peut aussi observer le débit d'une rivière à l'aide d'une construction hydrométrique. A cause des sections transversales irrégulières et des grandes fluctuations (plusieurs mètres) du niveau de la rivière Moustiques, il ne semble pas faisable d'installer une construction hydrométrique capable de mesurer les débits par temps de crue. Néanmoins, il serait utile d'installer une telle construction pour observer les débits par temps sec.

Il existe un grand nombre de constructions hydrométriques. Pour les observations du débit dans les cours d'eau naturels, les déversoirs et les canaux jaugeurs sont les plus utilisés. Certains types (par exemple le déversoir à paroi mince, le déversoir à crête épaisse et le canal jaugeur à col allongé) offrent l'avantage que la relation entre le niveau en amont de la construction et le débit peut être calculée à base des dimensions de la construction. Il n'y a donc pas besoin de construire une courbe de tarage. Pour certaines autres constructions, on peut trouver la courbe de tarage correspondant à des dimensions type dans la littérature. Certaines constructions existantes peuvent aussi être converties en construction hydrométrique. Dans ce cas là, il faudra d'abord établir la courbe de tarage de la même façon que pour les stations limnimétriques.

Type

Déversoir à paroi mince

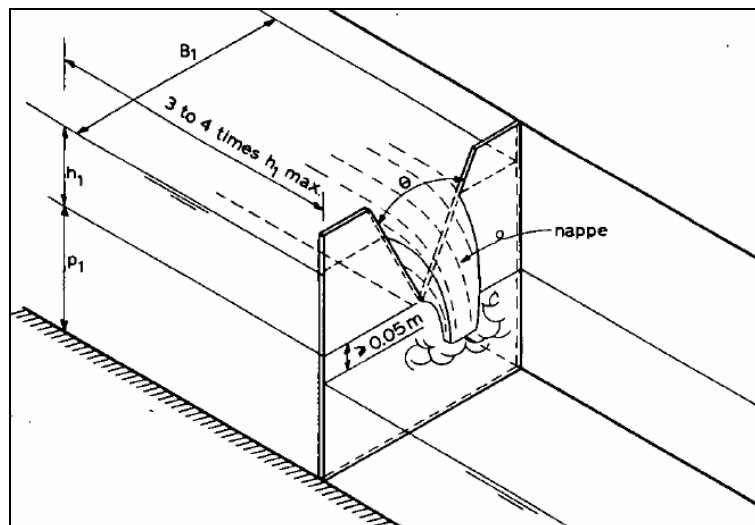


Figure 5: déversoir à paroi mince

Un déversoir à paroi mince consiste d'une tôle d'acier avec une incision. Le débit est calculé à l'aide des dimensions de l'incision et le niveau (h_1) en amont du déversoir. Plusieurs types de crête (rectangulaire, trapézoïdale, triangulaire, demi-circulaire, ...) peuvent être utilisées. Afin de pouvoir enregistrer des débits très faibles, une crête triangulaire est à préférer. Pour un bon fonctionnement, la crête doit rester à quelque distance (p_1) du lit et le niveau en aval du déversoir doit rester au moins 5 cm en dessous de la crête. Un déversoir à paroi mince est très facile à construire. Malheureusement, il est aussi très susceptible à des obstructions par des objets flottants et peut causer une accumulation de sédiment en amont. La sédimentation peut être limitée en enlevant le déversoir de temps en temps. A cause des risques de sédimentation et d'obstruction, un déversoir à paroi mince n'est pas approprié à des observations à long terme dans des cours d'eau naturel. Néanmoins, on pourrait l'utiliser pour des observations occasionnelles de durée limitée.

Déversoir à crête épaisse

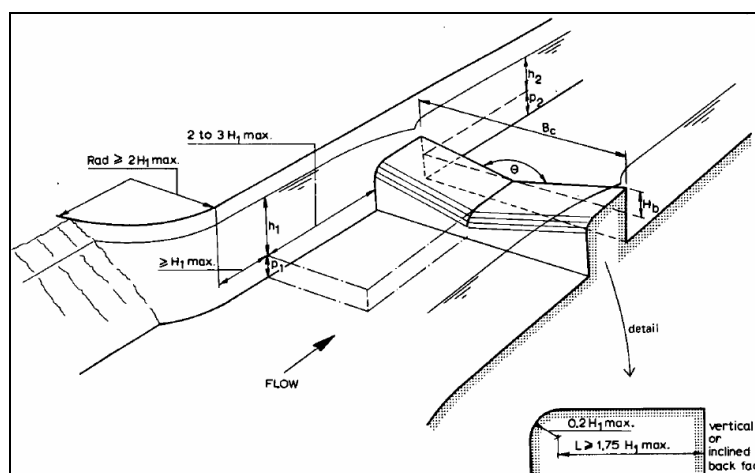


Figure 6: déversoir à crête épaisse

Un déversoir à crête épaisse consiste d'un canal régulier (en béton ou en maçonnerie) équipé d'un seuil régulier en béton. Le débit est calculé à l'aide des dimensions du seuil et le niveau (h_1) en amont du déversoir. Plusieurs types de crête (rectangulaire, trapézoïdale, triangulaire, demi-circulaire, ...) peuvent être utilisées. Afin de pouvoir enregistrer des débits très faibles, une crête triangulaire est à préférer. Pour un bon fonctionnement, la crête doit rester à quelque distance (p_1) du lit et l'écoulement en amont du déversoir doit rester du type fluvial ($Fr < 1$). Le niveau en aval du déversoir ne peut pas dépasser une fraction du niveau en amont (limite modulaire 0.8-0.95). Un déversoir en crête large est facile à construire. Il est moins susceptible à des obstructions par des objets flottants, mais peut toujours causer une accumulation de sédiment en amont.

Canal jaugeur à col allongé

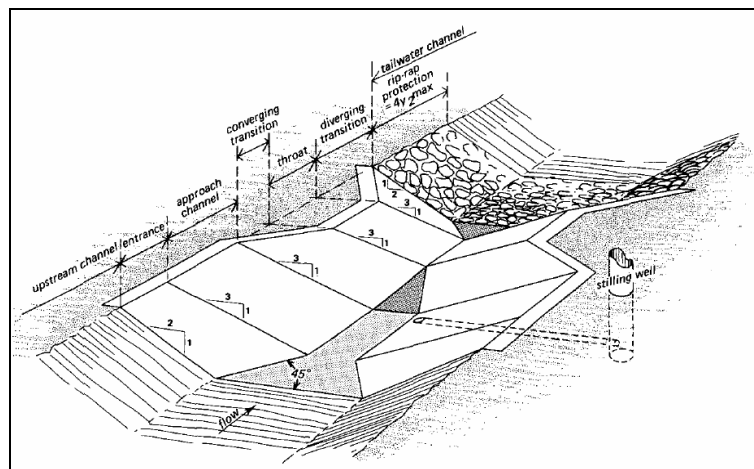


Figure 7: canal jaugeur à col allongé

Un canal jaugeur consiste d'une diminution de la section transversale causée par une constriction des rives et/ou une élévation du lit. La section diminuée s'appelle le col. On peut distinguer un grand nombre de types selon la section et la longueur du col. Selon le type, le débit est calculé à l'aide des dimensions du canal et le niveau en amont du col ou les niveaux dans le col et en aval du col. Afin de pouvoir enregistrer des débits très faibles un col triangulaire est à préférer. Un canal à col allongé ne nécessite qu'une seule observation du niveau (en amont). Pour un bon fonctionnement, l'écoulement en amont du déversoir doit rester du type fluvial ($Fr < 0.5$), mais une élévation du lit n'est pas nécessaire. Le niveau en aval du col ne peut pas dépasser une fraction du niveau en amont (limite modulaire 0.7-0.95). Un canal jaugeur est toujours plutôt facile à construire. La susceptibilité aux obstructions est comparable à celle d'un déversoir à crête épaisse. Le risque de sédimentation peut être limitée en éliminant l'élévation du lit optionnel.

Site

Les sites pour l'installation des constructions hydrométriques doivent être choisis à l'aide d'un plan synoptique en tenant compte des limitations des structures énumérées ci-dessus. Pendant les visites du terrain, quelques constructions existantes qui pourraient être converties en structure hydrométrique ont été observées.

Barrages en gabions

On pourrait facilement installer un déversoir à paroi mince dans la porte de certains barrages aménagés par ODRINO. Comme il s'agit de barrages perméables en gabions, il fallait d'abord couvrir le barrage d'un matériel imperméable (feuille en plastique?).

Barrage en béton

On pourrait améliorer le barrage d'essai à La Rivière (troisième site limnimétrique) pour faciliter des observations par temps sec. Il suffirait de transformer la crête horizontale en V (sans mettre en danger l'intégrité structurelle du barrage !). Comme le résultat sera un barrage à crête atypique, il faudra établir la courbe de tarage par mesure. Si on décide d'installer un site limnimétrique à cet endroit, la courbe de tarage du barrage fera partie de la courbe de tarage de la station limnimétrique. Comme déjà remarqué dans la section limnimétrie, l'utilisation du barrage n'est faisable qu'à condition que le lit de la rivière en amont du barrage ne change pas trop vite et ne surmonte pas la crête du barrage.

Puits de pompage

Au pied du réservoir abandonné de Foison (construit à l'aide de World Vision), se trouve un puits de pompage, également abandonné, dans l'ancien lit de la rivière. Ce puits de pompage pourrait probablement être converti en déversoir à crête épaisse ou en canal jaugeur à col allongé. A présent, la rivière continue toujours à utiliser la dérivation «provisoire», faite pour faciliter la construction du puits. Ceci permettrait de facilement transformer le puits en structure hydrométrique. Après la transformation, il fallait retourner la rivière à son ancien lit. Probablement, ceci nécessitera la construction de deux dalots pour traverser la route. Si les frais de construction des dalots sont plus élevés que ceux d'une construction hydrométrique, l'utilisation de l'ancien puits ne vaut pas la peine. Comme la construction hydrométrique ne doit fonctionner que par temps sec, on pourrait peut-être aussi implémenter une solution alternative. Ceci nécessite la construction de deux petits dalots sous la route ainsi qu'un barrage (en gabions) à travers la dérivation. Par temps sec, le barrage à travers la dérivation causera la rivière de passer par les dalots, l'ancien lit et la construction hydrométrique. Par temps de crue, la capacité limitée du dalot en amont causera l'eau en amont du dalot et du barrage de monter au dessus de la crête du barrage et de reprendre son cours par la dérivation. Probablement, le barrage pourrait aussi servir de nouvelle prise pour le périmètre irrigué Bas Mapou, dont l'ancienne prise a été rendue inutile par le dragage de la dérivation par CARE. Avant de entreprendre une intervention pareille, il fallait faire une étude topographique détaillée du site pour éviter des inondations fréquentes de la route.

Station(s) pluviométrique(s)

Type

Pour la réalisation d'études hydrologiques d'un bassin versant de taille limitée (comme celui de la rivière Moustiques) on aura besoin de données pluviométriques de haute fréquence (au moins horaires) pour mieux décrire la distribution temporelle de la pluie. Ces données peuvent être collectées à l'aide d'un pluviomètre à auget basculeur auto-enregistreur.

Les observations pluviométriques journaliers qui se font déjà doivent certainement continuer parce qu'elles permettent d'étudier la distribution spatiale de la pluie dans le bassin versant entier.

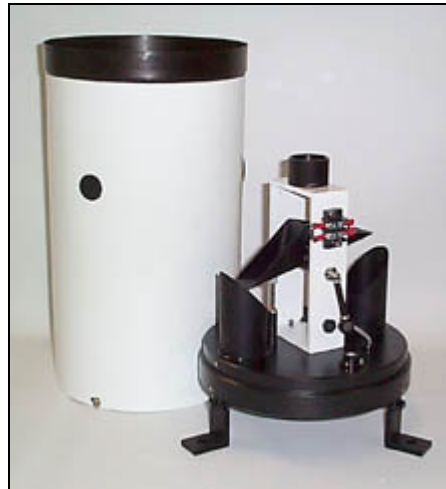


Figure 8: pluviomètre (principe auget basculeur)

Site

Afin d'établir une relation entre la pluie et le débit observé à la station limnimétrique, il faudra installer au moins un pluviomètre auto-enregistreur en amont de la station limnimétrique. Probablement, il sera le plus facile d'ajouter ce pluviomètre à un site pluviométrique existant.

En plus, il serait souhaitable d'analyser les positions des pluviomètres existants (à l'aide du plan synoptique) et d'améliorer leur distribution à travers le bassin versant si possible.

Conclusions

Afin d'améliorer la gestion de l'eau, il faut connaître la quantité d'eau disponible (par temps sec) ou à évacuer (par temps de crue). Pour faciliter des études hydrologiques, il faut aussi connaître la quantité de pluie. A présent, il n'existe presque plus d'infrastructure hydrométrique dans le bassin versant de la rivière Moustiques. Les informations disponibles, ne permettent pas de réaliser les objectifs énumérés ci-dessus.

Recommandations

Selon les objectifs envisagés, les interventions suivantes sont recommandées:

- rédaction d'un plan synoptique (en tout cas)
- réhabilitation ou remplacement de la station limnimétrique (gestion de l'eau par temps de crue)
- installation d'au moins une construction hydrométrique (gestion de l'eau par temps sec)
- installation d'au moins un pluviomètre auto-enregistreur (réalisation d'études hydrologiques)

DRAINAGE

Analyse préliminaire

La zone qui fera l'objet de l'étude de drainage a été visitée deux fois. La première visite a eu lieu le 30/09/05 (toute la journée) et la deuxième le 4/10/05 (demi journée). La première visite avait pour but d'identifier les prises des périmètres irrigués, les drains primaires et l'embouchure de la rivière Moustiques. La seconde visite avait pour but d'identifier l'influence du passage des grandes crues (zones inondées et voies d'écoulement).

Irrigation

A partir de la route entre Port-de-Paix et Jean Rabel, les prises suivantes ont été rencontrées (de l'amont vers l'aval):

Nom	Rive
Mertil	Droite
Glacis	Gauche
Olty	Droite
Prise provisoire périmètre Mertil	Droite
Prise provisoire périmètre Elmé	Gauche
Moncine	Gauche
Prise provisoire périmètre Mertil	Droite
Prise provisoire périmètre Elmé	Gauche
Pépé	Droite
Man Cireus	Droite
Facile	Gauche
Ti Maulice	?

Les coordonnées de ces prises (sauf Ti Maulice) ont été enregistrées à l'aide d'un appareil GPS portable (marge d'erreur quelques dizaines de mètres). Il existe aussi une prise «Major». Il s'agirait d'une prise secondaire du périmètre Glacis.

Les périmètres Mertil et Glacis faisaient partie de l'étude de GEDER. Au cours de cette étude, les tracés des canaux d'irrigation, les contours et la superficie ont été déterminés. Pour les autres périmètres, cette information n'est pas encore disponible.

Les prises provisoires ont été construites à cause de la présence d'obstructions dans la rivière et les canaux, qui empêchent le captage d'eau d'irrigation à partir de la prise primaire. Les prises provisoires existent depuis 3 ou parfois plus de 5 ans.

Drainage

Selon notre guide (fils d'un employé décédé de la DDA, autrefois responsable de l'entretien des drains), les drains ont été construits par le ministère de l'agriculture, probablement en 1956. Il y avait 6 drains primaires, appelés drain A, B, C, D, E et F. Ces drains avaient environ 1 mètre de largeur. Le drain A s'étendait du périmètre Facile vers la mer. Après la construction d'une nouvelle route à travers la plaine, ce drain a été coupé et ensuite dérivé vers une ravine qui se trouve près de la limite occidentale de la plaine (ancien lit de la rivière?). Le drain B s'étendait entre le périmètre Glacis et cette même ravine. Les drains C, D, E et F se trouvaient dans la zone dite «étang». Ces drains aboutissaient tous à une seule ravine, mais à des endroits différents, qui emportait les eaux vers la mer. Cette ravine n'a pas été visitée. Probablement, il s'agit d'une ravine qui aboutissait à son tour à la ravine à laquelle

aboutissent les drains A et B. Quelques coordonnées (e.a. l'exutoire des drains A et B) ont été enregistrées, mais il n'était pas possible de tracer tous les drains et de visiter tous les exutoires (terrain très étendue, accès difficile, pluie, ...).

La fonction principale des drains n'a pas pu être identifiée. Probablement, les drains avaient plusieurs fonctions: évacuation des eaux pluviales, évacuation des eaux souterraines salines et évacuation des eaux d'irrigation excédentaires.

Depuis la mort du responsable de la DDA (il y a 16 ans, après une maladie de 2 ans), les drains n'ont plus été curés. Leur profondeur a diminué et ils ne fonctionnent plus suffisamment. Ceci a entraîné l'abandon de certaines zones autrefois cultivées (par exemple la riziculture dans la zone étang) et la diminution des récoltes dans les périmètres irrigués. Il n'est pas clair si la détérioration des drains est le résultat d'un processus graduel (effondrement lente des berges sous l'influence de la pluie, déposition de sédiment apporté par les eaux d'irrigation ...), ou plutôt de quelques événements exceptionnels (inondation par temps de crue).

Il y a longtemps, il y avait un étang dans la plaine des Moustiques. La grand-mère d'un des employés de ODRINO se souvient encore de cet étang. Apparemment, la pêche y était bonne. Il n'est pas clair ce qui a causé la disparition de cet étang: évaporation, sédimentation, drainage par exprès pour des fins agricoles, ...

La rivière Moustiques

Dans la plaine, le lit de la rivière Moustiques devient de plus en plus étroit et contient de nombreuses obstructions (arbres mortes, végétation vivante, sédiment, ...) qui empêchent le passage de l'eau. L'absence d'eau pendant la saison sèche permet le développement de végétation dans le lit de la rivière. Ce problème existe depuis plus de 30 ans et nécessite l'enlèvement périodique de toute végétation du lit et des berges. Pendant la visite, une équipe de paysans était en train de nettoyer une section de la rivière eux-mêmes. Selon certains paysans, la sédimentation sévère du lit de la rivière a commencé avec le passage du cyclone Hazel. Le passage du cyclone Jeanne a encore aggravé la situation. Il y a deux ans, la section de la rivière entre la dernière prise provisoire et la prise Facile a été curée avec l'aide de World Vision. A partir de la prise Facile, l'équipe a curé le canal Facile au lieu de la branche vers Ti Maulice, considéré comme le lit de la rivière par les paysans. A certains endroits, la largeur de la rivière est limitée à moins d'un mètre. Ceci rend la distinction entre rivière et canaux d'irrigation très difficile.

Selon certains paysans (dont la représentativité est inconnue), les problèmes causés par les obstructions de la rivière sont plus importants que ceux causés par la détérioration des drains. Selon eux, le curage de la rivière est plus urgent que le curage des drains.

Dans la baie, deux embouchures peuvent être observées: celle dite «principale» à l'est et celle dite «secondaire» à l'ouest. Pendant les périodes pluvieuses, l'embouchure principale a un écoulement permanent. Pendant les saisons sèches, la rivière se tarit et il n'y a plus d'écoulement à l'embouchure. L'embouchure secondaire n'a un écoulement que par temps de crue.

Inondations

De temps en temps, des inondations étendues se produisent dans la plaine des Moustiques. Ces inondations sont causées par des crues d'origine amont et peut-être aussi par des marées exceptionnelles d'origine aval.

Dans la plaine des Moustiques, l'eau apportée par les grandes crues, ne peut plus être transportée dans le lit de la rivière. Ceci cause des débordements et l'inondation de grandes parties de la plaine. Les grandes inondations se produisent surtout en aval de la route entre Port-de-Paix et Jean Rabel, mais les périmètres irrigués en amont de la route sont aussi

affectés. En cas d'un événement très exceptionnel (par exemple cyclone Jeanne), certaines sections de la route sont inondées et impassables. Un agriculteur du périmètre Moncine a rapporté que ce périmètre est rarement affecté par les inondations. Selon lui, les eaux de crues peuvent passer autour du périmètre sans causer des dégâts dans le périmètre.

Selon l'étude de Tractebel sur la région de Trois Rivières (p33), «... le sel provient des phénomènes de submersion temporaire par les eaux de la mer. En effet, la région est soumise annuellement aux grandes tempêtes des cyclones tropicaux. Ceux-ci provoquent des marées exceptionnelles qui remontent dans la plaine inférieure. Tout aménagement devra tenir compte de ceci». Selon les habitants des maisons près de la plage, les marées hautes et basses se produisent 2 fois par jour et l'amplitude est plutôt limitée (estimée à environ 1 m par SNRE). Quoiqu'il était près de marée haute, la mer n'inondait aucune partie de la plaine. Selon les habitants, la mer envahit des portions de la plaine par l'embouchure secondaire 1 ou 2 fois par trimestre. Comme cette fréquence correspond à celle des crues et l'embouchure secondaire ne fonctionne que par temps de crue, on peut s'imaginer que le passage d'une crue érode l'embouchure secondaire d'une telle façon que la mer peut y entrer pendant un temps limitée. Les habitants confirment que des inondations se produisent près de la côte. Selon eux, ces inondations sont causées par les crues et non par la mer. Les inondations causent des dégâts aux maisons et tuent beaucoup de bétail.

Hydrométrie

Les observations hydrométriques ne se font pas dans la plaine des Moustiques. Le débit de la rivière, la position de la nappe phréatique et la hauteur des marées ne sont pas connus.

Etudes antérieures

La bibliothèque de la PNUD à Port-au-Prince contient deux publications qui peuvent être utiles dans le cadre de l'étude de drainage:

- «Enquêtes sur les terres et les eaux dans la plaine des Gonaïves et le département du Nord-Ouest» (FAO, FAO/SF : 45/HAI-3, 1969);
- «Développement et gestion des ressources en eau, Vol I Région Nord-Ouest» (PNUD, HAI/86/003, 198?)

La première publication contient de nombreuses données portant sur la plaine des Moustiques (pédologie, nappe phréatique, salinité, ...) ainsi que une carte des sols et une carte des terres irrigables à l'échelle 1/25.000. La deuxième contient une carte hydrogéologique (à l'échelle 1/250.000 donc peu utilisable).

Il existe aux moins deux études qui discutent la possibilité de développer la plaine des Moustiques:

- «Possibilités d'irrigation et du développement agricole dans la plaine des Moustiques (Nord-Ouest); transfert des eaux des Trois Rivières; autres possibilités de production agricole» (Fontaine J.M, FAC-DARNDR, 1977)
- «Project d'intensification agricole dans la région de Trois Rivières» (Tractebel, 2003)

Probablement les Annexes de l'étude de Tractebel contiennent des renseignements utiles. Selon le responsable de la bibliothèque de la BID à Port-au-Prince, cette étude n'est pas disponible dans cette bibliothèque.

Apparemment, il existe aussi une étude pédologique très ancienne (R. Pahaut, Pédologie, bulletin de la Société Belge de pédologie, 1966/1 p82).

Conclusions

Le «Programme d'appui à la production agricole en Haïti», accepté par la commission Européenne, prévoit une étude de drainage décrite ainsi: «*La partie la plus basse du bassin*

versant comprend une vaste plaine qui n'est pas mise en valeur faute d'infrastructure d'irrigation et de drainage. En effet, d'importants travaux de drainage s'avèrent nécessaires pour une éventuelle mise en valeur de cette zone. Dans le cadre de ce projet, on prévoit la collecte des données disponibles sur le sujet ainsi qu'une étude de faisabilité des travaux de drainage du point de vue technique, économique et organisationnelle. Les termes de référence de cette étude seront élaborés par l'équipe du projet, de concert avec l'association d'irrigants et la DDA. Une équipe de consultants sera engagé pour effectuer l'étude». La zone d'étude est indiquée sur la figure 1 (tirée du même programme).

La visite du terrain a révélée que la situation dans la zone d'étude est plus compliquée que envisagée. Il n'existe pas seulement des problèmes de drainage, mais aussi des problèmes d'irrigation, d'obstruction de la rivière et d'inondation de la plaine. Il faudra non seulement évaluer la possibilité d'exécuter des travaux pour la mise en valeur des terres à présent non productives, mais aussi pour la réhabilitation de la rivière et des périmètres irrigués existants. La solution idéale serait de agrandir la zone d'étude pour inclure certains périmètres existants (par exemple ceux à partir du périmètre Elmée) et de élargir l'étude de drainage vers une étude intégrée avec des volets supplémentaires portant sur l'irrigation, le curage de la rivière Moustiques et la gestion des eaux de crues. Une étude pareille pourrait mener à la rédaction d'un plan directeur pour le développement et la gestion intégrée de la plaine des Moustiques. Malheureusement, une telle approche entraînera sans doute des coûts augmentés qui pourraient dépasser le budget disponible.

La recherche documentaire a révélée que plusieurs études antérieures se sont déjà occupées des possibilités de développement dans la plaine des Moustiques. Afin d'éviter de répéter un travail existant, il faudrait prendre connaissance de leur contenu et de leurs conclusions *avant* de finaliser les termes de référence d'une nouvelle étude.

Finalement, il paraît qu'il manque encore beaucoup de renseignements élémentaires (tracés des canaux et des drains, superficie des périmètres, cause de la salinité, fonction principale des drains, zones inondables, voies d'écoulement des crues, ...). Ceci empêche la délimitation de la zone d'étude et la formulation d'objectifs très spécifiques.

Recommandations

Afin de surmonter les difficultés énumérées ci-dessus, il paraît souhaitable de réaliser l'étude envisagée en deux étapes. Une première étape générale (étude d'orientation), suivi d'une deuxième étape plus spécifique (étude de faisabilité).

L'étude d'orientation devrait s'occuper de tous les systèmes de gestion d'eau dans la plaine entière. Elle devrait analyser l'information présente dans les études antérieures, produire une cartographie de base (rivière, ravines, canaux, drains, périmètres irrigués, zones inondables, voies d'écoulement, nappe phréatique, terres cultivables, ...) et interroger la population sur l'histoire de la région, les problèmes existants et leurs causes (abandon des terres cultivées à cause de manque d'eau, salinité élevée, manque de main d'oeuvre, ...), les besoins (curage de la rivière, retour de la riziculture,...) et les priorités. Une telle étude pourrait se réaliser en quelques mois à un coût bas (à l'aide d'un GPS portable, MNT, SIG, ...). Cette étude d'orientation permettra de mieux comprendre la situation actuelle et rédiger des termes de références plus spécifiques pour l'étude de faisabilité (zone d'étude, aspects à étudier, résultats attendus, ...).

Le contenu de l'étude de faisabilité proprement dit dépendra des résultats de l'étude d'orientation. Selon les besoins, les priorités et le budget disponible, elle peut s'occuper de la recherche d'une solution à court terme pour des problèmes locaux très urgent ou de la rédaction d'un plan directeur pour le développement de la plaine à long terme.

SIG ET MODELISATION

Introduction

Généralement, une étude de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) se déroule en plusieurs étapes (« Code van Goede Praktijk voor duurzaam lokaal waterbeleid », Aminal):

1. Organisation
2. Identification des objectifs
3. Inventaire des données disponibles
4. Diagnose de la situation actuelle
5. Evaluation d'un nombre de scénarios d'aménagement
6. Choix du scénario, identification des priorités et planification

Certaines étapes peuvent bénéficier de l'utilisation d'outils sophistiqués comme les systèmes d'information géographique (SIG) et la modélisation numérique. Les SIG sont surtout utiles pendant l'étape 3. Souvent, ils peuvent aussi contribuer aux étapes 4 et 5. La modélisation numérique est parfois appliquée au cours des étapes 4 et 5.

Afin d'évaluer la possibilité d'utiliser les SIG et la modélisation numérique à l'appui de la GIRE dans le bassin versant de la rivière Moustiques, la disponibilité de données, logiciels et ressources humaines a été investiguée.

Données

La disponibilité de données a été évaluée au cours de rencontres avec des représentants du Service National des Ressources en Eau (SNRE) et de l'Unité de Télédétection et de Systèmes d'Information Géographique (UTSIG) à Port-au-Prince. En plus, quelques recherches ont été faites dans les bibliothèques du SNRE et du PNUD, également à Port-au-Prince.

SNRE

Le SNRE consiste de plusieurs sections: climatologie, hydrologie, hydrogéologie et informatique.

Climatologie

La section climatologie est responsable de la collecte des données pluviométriques. Une enquête antérieure par PROTOS avait déjà révélée que cette section ne possède pas de données portant sur le bassin versant de la rivière Moustiques.

Hydrologie

Autrefois, il y avait une station limnimétrique sur la rivière Moustiques à Tête Vache. Aujourd'hui, cette station limnimétrique n'existe plus (voir chapitre hydrométrie). Deux séries d'observations sont encore disponibles: les débits journaliers pour la période mars 1966 – octobre 1966 et les niveaux enregistrés trois fois par jour à l'aide de l'échelle limnimétrique par un observateur dans la période mai 1998 – mars 2002. Ces données ont déjà été transférées à PROTOS.

Les niveaux de l'année 1966 ne sont pas disponibles chez le SNRE. Peut-être elles sont encore disponibles chez le bureau Canadien LGL. Si on réussissait à retrouver ces observations, on pourrait dériver la courbe de tarage (= relation entre les niveaux et les débits) pour l'année 1966.

La courbe de tarage pour les années 1998-2002 n'existe pas, elle n'a jamais été établie. Sans une telle courbe, il est impossible de convertir les niveaux en débits. Par conséquent, la valeur des observations du niveau est très limitée.

Dans la mer autour du Haïti, des marées se produisent. La hauteur varie selon l'endroit et la saison. Les marées les plus prononcées se produisent au sud-est, près de Jacmel (hauteur jusqu'à 2 m). Dans la baie des Moustiques, les marées sont plus faibles (moins de 1 m). La section hydrologie ne s'occupe pas de l'observation des marées. Des observations appliquant à Port-au-Prince pourraient être disponibles chez le Service Maritime National (SEMANA).

Hydrogéologie

Il existe des piézomètres dans les grandes plaines. Pour ces grandes plaines, la section hydrogéologie possède des séries d'observations et des cartes piézométriques. Probablement, il n'existe pas de piézomètres dans la vallée des Moustiques.

La section hydrogéologie possède une carte hydrogéologique analogue à l'échelle 1/250.000. Cette carte a été rédigée par les Nations Unies au cours du projet HAI/86/003.

UTSIG

Les cartes digitales suivantes sont disponibles à l'UTSIG:

- Topographie (raster, cartes analogues 1/50.000, situation 1956)
- Orthophotoplans (raster, photographie aérienne, situation 2002, résolution 1 m en milieu rural, 0.5 m en milieu urbain)
- Modèle Numérique de Terrain (raster, photo stéréoscopiques, situation 2002, résolution 30 m)
- Communes (vecteur)
- Sections (vecteur)
- Occupation du sol (raster, images SPOT, situation 1998, résolution 20 m)
- Erosion actuelle (raster, images SPOT, situation 1998, résolution 20 m)
- Distribution des habitats (raster, images SPOT, situation 1998, résolution 20 m)
- Potentialité agricole (raster, photographie aérienne, situation 1978, résolution inconnue)
- Occupation du sol (raster, photographie aérienne, situation 1978, autre classification que la situation 1998)
- Hydrogéologie (vecteur, carte analogue 1/250.000)
- Géomorphologie (vecteur, carte analogue 1/250.000)
- Risque d'érosion (formule USLE, en collaboration avec le bureau Français BDPA)
- Habitation (raster, nombre de maisons/25 ha, résolution 500 m)

Les métadonnées portant sur ces cartes ne sont pas encore complètes. UTSIG complétera ces métadonnées, y compris les légendes des cartes analogues et une description des classifications utilisées.

Toutes les cartes disponibles peuvent être utilisées dans le cadre de la collaboration avec PROTOS. Il n'y a pas besoin de permissions ou de paiements.

Les limites des localités et des habitations ne sont pas encore digitalisées. Des cartes analogues peu fiables sont disponibles à l'Institut Haïtien de Statistiques et Informatiques (IHS).

L'UTSIG ne possède pas de cartes pédologiques ou géologiques. Des données pédologiques pourraient être disponibles au département Agronomie de l'université de Port-au-Prince. Des données géologiques pourraient être disponibles au Bureau des Mines.

Deux systèmes de coordonnées sont utilisés en Haïti: le système WGS84 et le système NAD 27. Les cartes sont produites à l'aide de la projection UTM zone 18 N. L'UTSIG possède des outils pour faire les conversions.

L'UTSIG possède et utilise les logiciels SIG MapInfo, ArcView (y compris le Spatial Analyst) et ArcInfo. L'UTSIG ne possède pas de logiciels pour la modélisation numérique et n'a pas encore participé à des modélisations numériques. Néanmoins, UTSIG voudrait bien y participer si une occasion se présente.

L'UTSIG n'a pas de programme de collaboration formel avec les universités ou les Institutions de recherche Haïtiennes. Une telle collaboration (par exemple la participation d'un étudiant à des projets de l'UTSIG) pourrait être établie si une occasion se présente.

PNUD

Dans la bibliothèque de la PNUD, plusieurs études probablement utiles ont été retrouvées. Parmi eux :

- «Enquêtes sur les terres et les eaux dans la plaine des Gonaïves et le département du Nord-Ouest» (FAO, FAO/SF : 45/HAI-3, 1969);
- «Développement et gestion des ressources en eau, Vol I Région Nord-Ouest» (PNUD, HAI/86/003, 198?)

La première publication contient de nombreuses données portant sur la plaine des Moustiques (pédologie, nappe phréatique, salinité, ...) ainsi que une carte des sols et une carte des terres irrigables à l'échelle 1/25.000. La deuxième contient une carte hydrogéologique à l'échelle 1/250.000.

Autres

PROTOS possède déjà quelques données pluviométriques, collectées par ODRINO et CARE. ODRINO fait des enregistrements de la pluie journalière à Poste Métier depuis 1993. CARE fait des observations de la pluie journalière à plusieurs endroits depuis une vingtaine d'années. Malheureusement, un grand nombre de ces observations journalières ne sont plus disponible et souvent CARE ne possède que des moyens mensuels.

Systemes d'information géographique

Un SIG est un « système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçu pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion » (Comité Fédéral de Coordination Inter-agences pour la Cartographie Numérique, USA, 1988).

Souvent, on n'utilise un SIG que pour l'affichage de données à référence spatiale. Quoique ces applications puissent être très utiles, ils réduisent le SIG à un système de cartographie sophistiquée. Le vrai bénéfice d'un SIG est la possibilité de manipuler et analyser les données afin de découvrir de nouvelles relations et de générer de nouvelles informations.

Cartographie

Pendant la visite du terrain, on a constaté qu'il n'existe aucune carte portant sur la gestion de l'eau dans le bassin versant de Moustiques. Pour faciliter la gestion de l'eau, il est nécessaire de rédiger au moins un plan synoptique montrant les limites du bassin versant, le tracé de la rivière et la position des sources et des périmètres irrigués (prise et délimitation). En plus, on pourrait y ajouter les tracés des ravines, les constructions hydrauliques (pont, dalot, barrages, ...) existants ou projetés et les sites des stations limnimétriques et pluviométriques abandonnées ou opérationnelles. Pour faciliter une analyse de l'approvisionnement en eau

potable, il serait utile d'ajouter les sources captées, le réseau de distribution, les points de vidange, les puits, les forages et les habitations. Pour arriver à une telle carte, il suffirait d'ajouter quelques données (« couches ») aux cartes disponibles chez UTSIG (par exemple carte topographique ou orthophotoplans), qui peuvent servir de couche de base. Un nombre de ces données ont déjà été enregistrées pendant des études antérieures (analyse de quelques périmètres irrigués par GEDER) et la visite du terrain. D'autres peuvent être ajoutés au cours de l'étude de drainage prévue. Probablement, la collecte des données manquantes ne prendra pas plus que quelques semaines (estimation de la position approximative à l'aide des couches de base ou enregistrement d'un nombre de coordonnées à l'aide d'un appareil GPS portable). A l'appui de l'étude de drainage prévue, il serait peut-être utile de digitaliser les cartes des sols et des terres irrigables dans la partie inférieure du bassin versant de la rivière Moustiques qui font partie de l'étude « Enquêtes sur les terres et les eaux dans la plaine des Gonaïves et le département du Nord-Ouest » (FAO, FAO/SF : 45/HAI-3, 1969).

Analyse

La disponibilité d'un plan synoptique permettra de faire un nombre d'analyses plutôt simples comme:

- calcul de la surface des périmètres irrigués;
- calcul de la pluviométrie moyenne à l'aide de la méthode de Thiessen;
- identification des terres irrigables qui ne sont pas encore exploitées;
- optimisation de la position des prises et des tracés des canaux;
- identification des habitations les plus éloignées d'une source d'eau potable;
- ...

La disponibilité d'un modèle numérique de terrain permet de réaliser un nombre d'analyses supplémentaires comme:

- identification des courbes de niveau;
- calcul des pentes (évaluation du risque d'érosion);
- délimitation du bassin versant;
- délimitation d'un sous-bassin versant (ravine);
- identification approximative du réseau hydrographique;
- identification des zones susceptibles aux inondations;
- ...

La résolution du modèle numérique de terrain est de 30 m. Ceci suffit pour une analyse globale dans une zone plat comme la plaine des Moustiques. Pour des analyses détaillées ou des analyses dans des zones plus accidentées, une résolution plus haute (par exemple 10 m) est préférable.

Le SIG peut aussi servir à l'appui d'une modélisation numérique (voir section suivante).

Modèles numériques

Un modèle numérique est une reproduction de la réalité, à l'aide d'un nombre d'expressions mathématiques. Il existe un très grand nombre de modèles, d'une complexité très variable. Chaque modèle n'est applicable qu'à un certain type de problème et exige la disponibilité d'un nombre de données. Afin d'évaluer l'avantage d'une modélisation numérique, il faut donc d'abord clairement identifier les objectifs de l'étude et inventorier les données disponibles. Une analyse des objectifs permettra d'évaluer la nécessité d'une modélisation et de choisir le modèle ou le logiciel le plus approprié. La comparaison des données disponibles aux besoins du modèle indiquera la nécessité de recherches ou mesures supplémentaires.

De nos jours, il y a une grande interdépendance entre les SIG et les modèles numériques: certains modèles numériques ont été implémentés sous forme d'une module supplémentaire

d'un SIG, tandis que certains logiciels spécialisés pour la modélisation numérique nécessitent l'utilisation d'un SIG pour la manipulation des données, la construction du modèle et la visualisation des résultats.

Dans le bassin versant de la rivière Moustiques, il existe plusieurs problèmes qui pourraient être étudiés à l'aide d'un modèle numérique: la gestion de l'eau au niveau du bassin versant entier et les problèmes de drainage dans la plaine.

Gestion de l'eau

La distribution des eaux superficielles parmi les périmètres irrigués pourrait être optimisée à l'aide d'un modèle du bilan hydrique. Un modèle de ce type permet de distribuer une quantité d'eau limitée provenant de plusieurs sources (rivière, réservoir, eaux souterraines) parmi plusieurs usagers à base d'un nombre de règles et de priorités. Un exemple d'un tel modèle est le logiciel « Mike Basin » (DHI), qui est une extension du logiciel SIG « ArcGIS » (ESRI). Ce modèle inclut des provisions pour la modélisation de réservoirs. Ceci permettrait d'évaluer les bénéfices de la construction d'un nombre de barrages le long de la rivière.

L'application d'un modèle du bilan hydrique nécessite la connaissance de la quantité d'eau qui est disponible ainsi que les besoins en eaux. Pour le cas de la rivière Moustiques, ni l'un ni l'autre est disponible à présent. La connaissance de la disponibilité en eau nécessitera un nombre de mesurages (voir chapitre hydrométrie). Les besoins en eau peuvent être calculés dès que les caractéristiques des périmètres irrigués ont été déterminés (voir chapitre gestion des ressources en eau).

Drainage

Les problèmes de drainage dans la plaine pourraient être étudiés à l'aide d'un modèle des eaux souterraines. Un modèle de ce type permet d'étudier l'écoulement des eaux souterraines en fonction des conditions hydrogéologiques et de prédire le changement de la position de la nappe phréatique sous l'influence d'un nouveau réseau de drains. Un exemple d'un tel modèle est le logiciel « Modflow » (USGS).

La construction d'un modèle des eaux souterraines nécessite la connaissance de la stratigraphie et des caractéristiques des différentes formations hydrogéologiques (conductivité, porosité, ...). Afin de déterminer les conditions de limite, il faut aussi connaître la pluviométrie, l'évapotranspiration, le tracé et le niveau d'eau de la rivière, des ravines et des drains existants, les limites et le niveau d'eau des zones inondables, la hauteur des marées, ... A présent, la plupart de ces données n'est pas encore disponible. Probablement, une analyse plus approfondie des études retrouvées dans la bibliothèque PNUD produira un nombre de ces données, mais certainement pas tous. En plus, le calage du modèle demandera la connaissance de la variation de la position de la nappe phréatique au cours du temps. Ceci nécessitera l'installation et le suivi d'un réseau de piézomètres. La présence de ces piézomètres permettra aussi d'évaluer la conductivité hydraulique aux environs des piézomètres.

Conclusions

La situation dans le bassin versant de la rivière Moustiques offre des possibilités pour l'application d'un SIG ainsi que des modèles numériques.

Grâce à la disponibilité d'un logiciel (ArcGIS), un nombre de couches de base (topographie, modèle numérique de terrain) et de personnel expérimenté (UTSIG), l'implémentation d'un SIG dirigé vers la GIRE semble possible à moindres frais.

Quoiqu'il existe des problèmes qui pourraient être étudiés à l'aide d'un modèle numérique, il manque encore beaucoup de données qui sont absolument nécessaires afin d'obtenir des résultats fiables. La collecte de ces données demandera un effort considérable. On pourrait

déjà lancer une modélisation numérique à base des données disponibles complétées d'un grand nombre d'estimations et d'assomptions, mais une telle modélisation ne pourrait servir que de projet de démonstration et rapporterait peu de résultats concrets.

Recommandations

A court terme:

- Développement d'un SIG en appui de la GIRE, en collaboration avec UTSIG ou un autre partenaire expérimenté
- Initiation d'observations hydrométriques (pluviométrie, limnimétrie, piézométrie) afin de faciliter des modélisations numériques

A long terme:

- Modélisation du bilan hydrique en appui de la GIRE, en collaboration avec un partenaire expérimenté