



**UNIVERSITÉ D'ÉTAT D'HAÏTI
(UEH)**

**FACULTÉ D'AGRONOMIE ET DE MÉDECINE VÉTÉRINAIRE
(FAMV)**

**DÉPARTEMENT DE GÉNIE RURAL
(DGNR)**

**Évaluation de l'efficacité technique du système d'irrigation de la basse Plaine des
Gonaïves, cas de la zone IV,
(1^{ère} Section communale de Pont-Tamarin)**

**Mémoire de fin d'études
Présenté par: Ceder SIMON,
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur-Agronome**

Avril 2016

Ce mémoire intitulé : « **Évaluation de l'efficacité technique du système d'irrigation de la basse Plaine des Gonaïves, cas de la zone IV, (1^{ère} section communale de Pont-Tamarin)** »,

a été vu et approuvé par le Jury composé des professeurs suivants:

	Signatures	Dates
Hans GUILLAUME , président		
Nyankona GONOMY , membre		
Jean Thomas FERDINAND , membre		
Montès CHARLES , conseiller scientifique		

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je dois tout d'abord exprimer ma profonde gratitude à Dieu, le chef suprême de l'univers de m'avoir donné la vie, le sens de responsabilité, l'intelligence et surtout la sagesse.

Mes plus sincères et mes plus vifs remerciements s'adressent à mon conseiller scientifique, Ing. Montès **CHARLES** pour les précieux conseils qu'il m'a prodigués, sa patience, ainsi que sa disponibilité tout le long de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à tous les professeurs de la FAMV particulièrement Agr. Adermus **JOSEPH** ; Agr. Hans **GUILLAUME** ; Dr. Nyankona **GONOMY**, pour leur participation à ma formation ainsi que leur encouragement dans le cheminement du travail.

Je remercie particulièrement Ing. Erolid **SAINT-PIERRE** ; Agr. Matthieu **HYACINTHE** ; Agr. Rodrigue **SIMON** ; Agr. Dieuseul **CHARLES** ; Agr. Silas **MILORD** pour leur précieux conseils ainsi que leur appui moral.

Un merci bien spécial à mes frères et sœurs : Marie Jeannette ; Louis Jean ; Roseline ; Emmanuel ; Maculin et Jean Marc (**SIMON**) pour leur support moral et financier tout le long de mes études universitaire ainsi que dans la réalisation de ce travail de recherche.

Un remerciement spécial à tous mes camarades de la promotion FIAT LUX 2009-2014 et particulièrement : Roudy **JEAN** ; Eliezer **OXIL** ; Wendy **JOSEPH** ; Chrisnel **OSCAR** ; Alain **ESTINVIL** ; Noverlyn **EDMOND** pour leur support inconditionnel.

Enfin, merci à tous ceux et toutes celles qui ont contribué à la réalisation de ce travail et que je n'arrive pas à figurer leur nom dans la liste.

Merci et merci encore...

DÉDICACES

Je dédie ce travail de fin d'étude à toute la famille **SIMON** et **HYACINTHE**, particulièrement à ma mère Edith Marita **HYACINTHE** pour tous les efforts qu'elle a consenti pour l'éducation de ses enfants.

Le travail est également dédié à mon père M. Alfred Siméus Jean **SIMON** qui malheureusement n'a pas eu la chance de voir son fils porter sa contribution dans le domaine agricole du pays. Il est parti trop vite et trop tôt. *Paix à son âme...*

RÉSUMÉ

Le sous périmètre étudié fait partie de la basse Plaine des Gonaïves et se trouve dans la première section communale de Pont Tamarin à l'entrée Est de la ville des Gonaïves. Il fait 600 ha, soit 25 % de la superficie totale de la basse Plaine. En plus des précipitations naturelles, le périmètre est alimenté par les eaux souterraines au moyen des stations de pompage électriques et par les eaux des rivières Quinte et Bayonnais à travers des seuils de dérivation.

L'eau est le principal facteur limitant au niveau du périmètre. On pense que cette limitation est le résultat d'un gaspillage dû à une mauvaise gestion de la ressource. Pour une meilleure valorisation de l'eau disponible, ce travail a été réalisé en vue d'une caractérisation physique du système d'irrigation et de l'évaluation de l'efficacité technique du système en mettant l'accent sur la circulation de l'eau dans les canaux et son application à la parcelle.

Pour atteindre les objectifs visés,

- On a réalisé une petite enquête de terrain, où dix (10) personnes ont été interrogées ;
- On a effectué des mesures de débits sur cinq (5) tronçons de canal et des tests spéciaux sur dix (10) parcelles emblavées de cultures différentes.

Ainsi, dix (10) stations de pompes et quatre (4) seuils de dérivation sur les rivières ont été recensés. Parmi ce, pendant la période de réalisation du travail, seulement sept (7) de ces dix (10) stations sont fonctionnelles et les seuils de dérivation sont tous complètement envasés de sédiments.

Au niveau des canaux de transport qui sont majoritairement en terre battue, environ 14% de l'eau livrée par les pompes est perdue sur chaque cent (100) mètres de canal. Pour cinq (5) des dix (10) parcelles étudiées, une moyenne de 90% de l'eau qui arrive est utilisée pour satisfaire les besoins des cultures et les besoins des cinq (5) autres parcelles sont couverts seulement à 73% en moyenne.

Sur le périmètre, le volume d'eau mesuré pendant la période de l'étude n'arrive à satisfaire que 37% des besoins en eau des cultures pratiquées. Ce qui nous permet de dire que le véritable problème de l'insuffisance des ressources en eau pour les cultures est la sous-exploitation de l'eau disponible dans la nappe par les stations de pompes.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	III
DÉDICACES.....	IV
RÉSUMÉ	V
TABLE DES MATIÈRES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES FIGURES	XI
LISTE DES SIGLES ET ACCRONYMES	XII
LISTE DES ANNEXES	XIV
1 INTRODUCTION	1
1.1 Généralités	1
1.2 Problématique	2
1.3 Objectifs	3
1.3.1 Objectif général	3
1.3.2 Objectifs spécifiques	3
1.4 Hypothèse.....	3
1.5 Intérêt de l'étude	4
1.6 Limites de l'étude	4
2 RÉVUE DE LITTÉRATURE.....	5
2.1 Considérations générales sur l'irrigation.....	5
2.1.1 Irrigation gravitaire.....	5
2.1.1.1 Irrigation en bassins	5
2.1.1.2 Irrigation par planches.....	7
2.1.1.3 Irrigation à la raie	7
2.1.2 Irrigation sous pression	7
2.1.2.1 Irrigation par aspersion	7
2.1.2.2 Irrigation au goutte à goutte ou micro irrigation.....	8
2.2 Notion d'efficience.....	8
2.3 Performance d'irrigation	8
2.3.1 Efficience technique d'un système d'irrigation.....	9

2.3.1.1	Expression mathématique de l'efficacité du système d'irrigation	9
2.3.1.2	Efficacité de conduction.....	10
2.3.1.3	Efficacité de distribution	10
2.3.1.3.1	Procédés de calcul de l'efficacité de transport d'un système d'irrigation	
	11	
2.3.1.3.2	Procédés de calcul de l'efficacité d'application d'un système d'irrigation.....	11
2.3.1.1	L'uniformité de distribution.....	12
2.3.1.2	Efficacité de réquisition	12
2.3.2	Procédés de calcul de l'efficacité globale d'un système d'irrigation	12
2.3.2.1	Quantité d'eau fournie à l'entrée de la parcelle	14
2.3.2.2	Contenu d'humidité du sol.....	14
2.3.2.3	Dose d'arrosage nécessaire	15
2.3.2.4	Infiltration de l'eau dans le sol.....	16
3	PRÉSENTATION DE LA ZONE DE TRAVAIL	18
3.1	Milieu physique	18
3.1.1	Localisation	18
3.1.2	Pédologie de la basse Plaine des Gonaïves	19
3.1.3	Climat	19
3.1.3.1	Pluviométrie	20
3.1.3.2	Evapotranspiration	20
3.1.3.3	Humidité atmosphérique	21
3.1.3.4	Température	21
3.1.4	Ressources en eau.....	22
3.1.4.1	Eaux de surface	22
3.1.4.2	Eaux souterraines	23
3.2	Milieu Socio-économique.....	23
3.2.1	Démographie	24
3.2.2	Éducation.....	24
3.2.3	Aspect sanitaire	24
3.2.4	Activités commerciales.	24

4	MÉTHODOLOGIE	26
4.1	Matériels utilisés.....	26
4.1.1	Matériels de bureau	26
4.1.2	Matériels de terrain.....	26
4.2	Paramètres étudiés et méthode	27
4.2.1	Caractérisation physique du système d'irrigation	27
4.2.1.1	Le bassin versant	28
4.2.1.2	Les infrastructures physiques	28
4.2.1.3	La structure de gestion	28
4.2.1.4	Le système de production.....	28
4.2.2	Débits au niveau des pompes et des canaux.....	29
4.2.2.1	Mesure du débit au niveau des pompes.....	29
4.2.2.2	Débit au niveau des canaux.....	29
4.2.3	Efficience du système d'irrigation.....	30
4.2.3.1	Efficience de distribution	30
4.2.3.2	Efficience d'application d'eau	30
4.2.3.3	L'uniformité de distribution.....	31
4.2.3.4	Dose nette d'irrigation.....	32
4.2.3.5	Infiltration au niveau des parcelles	32
5	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	34
5.1	Caractérisation physique du système d'irrigation	34
5.1.1	Le bassin versant	34
5.1.2	Les infrastructures physiques	36
5.1.3	Ouvrages de prise d'eau	37
5.1.3.1	Seuils sur les rivières.....	37
5.1.3.2	Stations de pompages.....	37
5.1.4	Réseau des canaux.....	38
5.1.4.1	Canaux d'irrigation	38
5.1.4.2	Canaux de drainage	39
5.1.5	La structure de gestion	39
5.1.5.1	Redevances.....	40

5.1.6	Le système de production.....	40
5.1.6.1	Espèces cultivées.....	41
5.1.6.2	Calendrier cultural au niveau du périmètre.....	41
5.1.6.3	Niveau d'occupation des superficies par chaque catégorie de culture.....	41
5.1.7	Calendrier d'irrigation.....	42
5.2	Mesures de débits au niveau des pompes et des canaux primaires	43
5.2.1	Débit au niveau des pompes.....	43
5.2.2	Débits dans les canaux	45
5.3	Evaluation de l'efficacité du système d'irrigation.....	47
5.3.1	Evaluation de l'efficacité du système de transport.....	47
5.3.2	Efficacité d'application de l'eau d'irrigation.....	49
5.3.2.1	Calcul de la dose nette d'arrosage.....	49
5.3.2.2	Doses d'irrigations réellement fournies	50
5.3.2.3	Vitesse d'infiltration au niveau de la basse Plaine.....	50
5.3.2.4	Calcul de l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle	51
5.3.3	Besoins en eau du périmètre.....	53
5.3.3.1	Calcul du débit fictif continu	53
5.3.3.2	Evaluation du débit nécessaire pour l'arrosage des cultures pratiquées ...	54
5.3.3.3	Evaluation du débit disponible pour l'arrosage des cultures sur le périmètre	54
6	PROPOSITIONS	55
	CONCLUSION.....	57
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Ordre de grandeur des superficies maximums des bassins (m ²) pour différents types de sol, en fonction du débit disponible (l/s)	6
Tableau 2 : Profondeur racinaire maximale de certaines cultures	13
Tableau 3 : Efficience d'irrigation d'après BRGM cité par Dieuconserve, 2004.....	14
Tableau 4 : Taux d'infiltration en régime permanent pour différent type de sol	17
Tableau 5 : Caractéristiques hydrodynamique de la nappe phréatique	23
Tableau 6: Historique de quelques événements d'ordre climatique	35
Tableau 7 : Calendrier cultural de la basse Plaine des Gonaïves	41
Tableau 8 : Débit des pompes desservant la zone IV de la basse Plaine	44
Tableau 9 : Débits (l/s) mesurés au niveau de certains canaux d'irrigations	45
Tableau 10 : Doses d'irrigation nette d'irrigation nécessaire pour les cultures rencontrées sur les parcelles étudiées	50
Tableau 11 : Efficience d'application de l'eau à la parcelle	51
Tableau 12 : Débit fictif continu pour la zone de l'étude (zone IV)	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la zone de travail	19
Figure 2: Graphe des variations mensuelles des précipitations	20
Figure 3 : Evapotranspiration potentielle ou de référence (mm/jour) au niveau de la basse Plaine	21
Figure 4 : Taux d'humidité de l'air a la plaine des Gonaives	21
Figure 5 : Variations de températures en °C sur la basse Plaine des Gonaives	22
Figure 6 : Débit en m ³ /s des rivières alimentant la basse Plaine des Gonaives	23
Figure 7: Localisation de la zone de travail dans le bassin versant de la rivière la Quinte	36
Figure 8 : Localisation des stations de pompages dans la zone de travail	38
Figure 9 : Vue de deux portions de canal mal entretenu dans la zone de travail	39
Figure 10 : Vue de deux portions de drains à Taras (Zone IV).....	39
Figure 11 : Organigramme de la structure de gestion de la basse Plaine des Gonaïves ..	40
Figure 12 : Débits des pompes desservant la zone d'étude.....	44
Figure 13: Evolution du débit (l/s) dans les canaux pour différentes pompes de la zone d'étude.....	46
Figure 14 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 33	47
Figure 15 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 11	47
Figure 16 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 19	48
Figure 17 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 34	48
Figure 18 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 17	48
Figure 19 : Efficacité et pertes d'eau sur le réseau de transport de la basse Plaine des Gonaïves.....	49
Figure 20: Courbe d'infiltration au niveau de la basse Plaine des Gonaïves	51

LISTE DES SIGLES ET ACCRONYMES

AI	: Association d'Irrigants
AIZ	: Association d'Irrigants des Zones
BN	: Besoin Net
BPG	: Basse Plaine des Gonaïves
BV	: Bassin Versant
CNIGS	: Centre Nationale de l'Information Géo-Spatial
CNSA	: Conseil National de la Sécurité Alimentaire
CP	: Comité Pompe
DDAA	: Direction Départementale de l'Agriculture de l'Artibonite
DFC	: Débit Fictif Continu
ETM	: Evapotranspiration Maximale
ETP	: Evapotranspiration Potentielle
ETR	: Evapotranspiration Réelle
FAMV	: Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire
FAO	: Organisation de Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FASIPGO	: Fédération des Associations d'Irrigants de la Plaine des Gonaïves
GNR	: Génie Rural
GPS	: Global Positionning System
IHSI	: Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique

LGL, SA	: Lalonde, G et Letendre Société Anonyme
MARNDR	: Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
OIM	: Organisation Internationale pour la Migration
PVC	: PolyVinylChloryde
RFU	: Reserve Facilement Utilisable
RU	: Reserve Utile
USAID	: United States Agency International Development
USB	: Universal Serial Bus

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Méthode de détermination de la pente moyenne pour estimer a et n dans l'équation de Kostiaikov

Annexe 2 : Doses nette d'arrosage pour certaines cultures dans la plaine des Gonaïves.

Annexe 3: Infiltration dans les bassins pour les différentes parcelles étudiées au niveau de la zone de travail

Annexe 4 : Eau disponible et besoins en eau d'irrigation dans le bassin versant de la rivière La Quinte.

Annexe 5: Devis estimatif pour la construction de 500 mètres linéaires (mL) de canal en maçonnerie pouvant véhiculer un débit de 100 l/s environ.

Annexe 6 : Cartographie de la basse Plaine des Gonaïves

Annexe 7 : Carte des caractéristiques géologiques du bassin versant de la rivière la Quinte

Annexe 8 : Carte des potentialités agricoles des sols du bassin versant de la rivière la Quinte

Annexe 9 : Classe de pente et occupation de sol dans le bassin versant de la Quinte

Annexe 10: Deux pompes au niveau de la zone de travail

Annexe 11 : Vue du la récession de l'eau à l'intérieur des bassins

1 INTRODUCTION

1.1 Généralités

Selon Tiercelin (2006), l'irrigation est un apport d'eau artificiel à une surface cultivée, avec pour seul objectif le plus courant de compenser l'insuffisance des précipitations naturelles vis-à-vis des besoins en eaux des plantes, dans le but d'améliorer le rendement des cultures. De plus, elle donne aux agriculteurs la possibilité de lever un certain nombre de contraintes, dont celles liées aux aléas climatiques. Ceci, en favorisant la régularisation de la production et l'amélioration de la qualité des produits (Felix, 2013). L'agriculture irriguée doit contribuer à la production de plus de nourriture pour répondre à la croissance des besoins de l'homme, mais en utilisant moins d'eau et moins de fond (Tiercelin, 2006).

Cependant, en Haïti, l'agriculture ne peut répondre même à la satisfaction primaire de la population malgré les périmètres d'irrigations qui s'étendent sur près de 90 000 ha (Felix, 2013). Les efforts d'améliorations de rendements des cultures ont donné très peu de résultats quand on considère les rendements à l'hectare pour les espèces cultivées comparées aux rendements de référence. Ces écarts peuvent être dus à l'irrégularité des pluies dans le temps, aux phénomènes cycloniques, au manque de technicité de nos agriculteurs dans la réalisation des activités agricoles et enfin à l'inefficience de nos systèmes d'irrigations.

Selon CNSA (2012), la production agricole d'Haïti représente environ 50 pour cent de l'offre alimentaire nationale. Les aléas climatiques perturbent d'années en années cette offre longtemps insuffisante pour répondre à la demande de la population qui ne cesse pas de croître. Suivant un extrait du document de la politique d'irrigation 2012-2016 du MARNDR, l'agriculture irriguée en Haïti fait face à un ensemble de problèmes aggravant une fois de plus la vulnérabilité du secteur.

Ces problèmes concernent :

- Dégradation des bassins versants ;
- Insuffisance et dégradation des aménagements hydro agricoles et autres infrastructures rurales ;

- Problèmes de gestion ;
- Faiblesse des institutions ;
- Insécurité de la tenure foncière ;
- Urbanisation accélérée des plaines irriguées.

La basse Plaine des Gonaïves en est donc un exemple clair témoignant ainsi ces situations.

1.2 Problématique

La basse Plaine des Gonaïves bénéficie d'une pluviométrie moyenne de 700 mm par an (Supreme, 2011). Le système d'irrigation présent et les types de sols rencontrés font de la région une zone agricole de grande importance. Ainsi, en plus des précipitations naturelles, deux (2) rivières (Quinte, Bayonnais) et trente-neuf (39) stations de pompages desservent la basse Plaine. Ce qui fait de cette dernière un périmètre irrigué dotant d'un système d'irrigation gravitaire reposant sur les eaux de pompage et des eaux provenant des deux (2) rivières. Compte tenu de la dégradation spectaculaire des bassins versant et la faible pluviosité de la région, les rivières ne sont représentées que par un petit courant d'eau durant certaines périodes de l'année particulièrement de Décembre-Janvier jusqu'à Mai-Juin (FAO, 1969). De plus, la présence des sept (7) périmètres irrigués dans la haute Plaine des Gonaïves et à Bassin Magnan sur plus de 2 000 ha fait que, la plus grande part de l'eau provenant du bassin versant la rivière la Quinte est exploitée en amont (AGROCONSULT-HAITI SA, 2009). Cette situation entrave ainsi la disponibilité de l'eau de surface au niveau la basse Plaine. D'un autre côté, sur les trente-neuf (39) stations de pompages présentes, certaines d'entre-elles fonctionnent très mal ou ne fonctionnent presque plus (Corvil, 2004).

On assiste donc à des écarts considérables entre le rendement réel et le rendement potentiel des cultures, ces écarts peuvent être directement liés aux difficultés d'accès à l'eau. Les rendements moyens pour les cultures les plus pratiquées sur le périmètre varient autour de 0.60 tonne/ha pour le maïs ; 0.70 tonne/ha pour le sorgho ; 0.48 à 0.70 tonne/ha pour le haricot ; 13.60 tonne/ha pour l'aubergine ; 12 tonne/ha pour la banane (AGROCONSULT-HAITI SA, 2009).

Toutes ces considérations nous laissent comprendre combien l'eau est précieuse et rare sur le périmètre, d'où la nécessité d'en faire une meilleure gestion. La prédominance des canaux en terre battue sur les canaux en maçonnerie, les canaux en béton non réparés et mal entretenus sont entre autres, les facteurs les plus visibles pouvant réduire l'efficacité du système d'irrigation de la basse Plaine.

Compte tenu du coût des ressources en eau pour la zone, des problèmes d'indisponibilité de la ressource pour certaines périodes de l'année engendrant finalement des chutes de rendement des cultures, cette étude sur l'évaluation de l'efficacité technique du système d'irrigation se révèle importante.

1.3 Objectifs

Les objectifs de ce travail de recherches se répartissent en un (1) objectif général et trois (3) objectifs spécifiques.

1.3.1 Objectif général

Contribuer à une meilleure valorisation des ressources en eau sur le périmètre de la basse Plaine des Gonaïves.

1.3.2 Objectifs spécifiques

- Faire une caractérisation physique du système d'irrigation de la basse Plaine des Gonaïves ;
- Mesurer les débits au niveau des pompes et des canaux primaires ;
- Évaluer l'efficacité du système d'irrigation.

1.4 Hypothèse

Les pertes excessives d'eau au niveau de la basse Plaine des Gonaïves sont l'une des causes de l'insuffisance de la ressource nécessaire à la satisfaction des besoins en eau des cultures.

1.5 Intérêt de l'étude

Ce travail constitue une contribution pour l'amélioration du rendement agricole dans la plaine des Gonaïves. Une amélioration de l'efficacité technique d'irrigation dans la zone favoriserait non seulement l'amélioration du rendement des cultures, mais elle faciliterait également le développement social économique des agriculteurs de la basse Plaine.

1.6 Limites de l'étude

Le travail en question n'a pas été réalisé sur tout le périmètre de la basse Plaine des Gonaïves en raison des contraintes liées au temps. Le diagnostic des stations de pompes présentes n'a pas été non plus considéré. De plus, les expérimentations ont été réalisées seulement pendant la saison sèche.

2 RÉVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Considérations générales sur l'irrigation

L'irrigation est l'application d'eau, due à l'intervention voulue de l'homme, sur des terres cultivées, dans le but de satisfaire les besoins en eau des plantes, lorsque les précipitations sont insuffisantes (Felix, 2013).

Les différentes techniques d'irrigation à la parcelle ou techniques d'arrosage relèvent de trois modes principaux d'irrigation.

- L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface ;
- L'irrigation sous pression (par aspersion ou par micro irrigation) ;
- L'irrigation de sub surface.

2.1.1 Irrigation gravitaire

L'irrigation de surface regroupe l'ensemble des techniques d'arrosages dans lesquelles la répartition de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre par simple écoulement à la surface du sol (Tiercelin, 2006).

Dans ce cas, la répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain et aux propriétés hydriques du sol. Ces propriétés concernent le ruissellement ; l'infiltration et la capillarité. Il existe diverses techniques d'irrigations de surface. Les techniques utilisées sont fonctions de la compétence des agriculteurs, des types de cultures pratiquées. Ainsi, on trouve : l'irrigation en bassins ; l'irrigation par planches et l'irrigation à la raie (ou sillon).

2.1.1.1 Irrigation en bassins

L'irrigation en bassin est la méthode d'irrigation la plus connue, l'eau est apportée sous forme d'une nappe dans un bassin (qui peut être cloisonné) aménagé sur un sol nivelé de pente variant de 0,1 à 1 % ; elle est la plus simple de toutes les méthodes d'irrigation.

Avec ce système, les digues sont construites autour de ces surfaces, les transformant en bassins à l'intérieur desquelles le plan d'eau peut être contrôlé. Les

bassins sont remplis jusqu'à la profondeur désirée et l'eau s'infiltre ensuite dans le sol (Felix, 2013).

Selon Tiercelin (2006), l'irrigation par bassin est une méthode où l'eau est appliquée sur une surface de pente relativement nulle, et endiguée de façon à remplir d'eau, et attendre par la suite que l'eau s'infiltre. La majeure partie de l'infiltration se fera quand le bassin est rempli.

Principe

Cette méthode consiste à introduire rapidement la dose d'arrosage à l'intérieur de planches horizontales bordées par des diguettes et formant bassin de submersion. L'eau est amenée aux bassins par un canal arroseur situé entre deux séries de bassins adjacents. Le débit disponible est déversé successivement dans les différents bassins par des vannages disposés de part et d'autre du canal (René et al., 2014).

Dimensionnement

Le temps de remplissage du bassin doit être suffisamment faible par rapport à la durée totale de l'infiltration de la dose pour obtenir une bonne uniformité de l'irrigation. La surface à donner à chaque bassin est donc fonction du débit disponible et de la perméabilité du terrain : D'après René et al. (2014), elle peut varier de 7 m² par l/s pour des sols sableux à 70 m² par l/s pour des sols argileux. Des expérimentations in situ doivent être réalisées pour chaque périmètre afin de déterminer les valeurs optimales à retenir. Les études de la FAO en 1990 donnent un tableau résumé de dimensionnement des bassins en fonction du débit disponible et du type de sol (Tableau 1).

Tableau 1 : Ordre de grandeur des superficies maximums des bassins (m²) pour différents types de sol, en fonction du débit disponible (l/s)

Débit disponible (l/s)	Sable	Limon sableux	Limon argileux	Argile
5	35	100	200	350
10	65	200	400	650
15	100	300	600	1000
30	200	600	1200	2000
60	400	1200	2400	4000
90	600	1800	3600	6000

Sources : (FAO, 1990)

2.1.1.2 Irrigation par planches

L'irrigation par planches, ou par calants, est une méthode qui utilise deux (2) levées parallèles pour guider une lame d'eau s'écoulant selon la pente. La planche peut avoir de 3 à 30 m de large et de 100 à 800 m de long (Felix, 2013).

Pour être plus efficace, elle nécessite un débit relativement élevé, une pente modérée et uniforme et une préparation soigneuse du sol.

2.1.1.3 Irrigation à la raie

Selon Felix (2013), la méthode d'irrigation à la raie consiste à diriger l'eau dans de petits fossés appelés raies qui sont aménagées selon la plus grande pente ou transversalement à cette plus grande pente du terrain. L'eau s'infiltre dans le plafond et les parois de la raie assurent l'humectation du sol. Un planage soigneux, permettant l'obtention de pentes uniformes constitue une exigence essentielle de la méthode.

2.1.2 Irrigation sous pression

Ce sont des techniques qui requièrent obligatoirement une mise en pression préalable de l'eau. L'irrigation sous pression concerne l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte.

2.1.2.1 Irrigation par aspersion

Selon Tiercelin (2006), en irrigation par aspersion, l'eau parvient aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle des pluies. Pour Felix (2013), elle est une méthode d'apport de l'eau à une végétation en simulant l'effet des pluies naturelles réparties uniformément.

À cette notion d'irrigation par aspersion, trois aspects sont à considérer :

- la dispersion spatiale du liquide issu de l'arroseur ;
- l'uniformité de la distribution spatiale des hauteurs d'eau résultant de l'utilisation de plusieurs arroseurs se recouvrant mutuellement selon des positions déterminées ;
- le spectre des gouttes issues de l'arroseur pour éviter l'effet splash.

L'objectif est que en tout point le sol reçoive la même hauteur d'eau (pour autant que le sol soit homogène et la distribution racinaire uniforme).

2.1.2.2 Irrigation au goutte à goutte ou micro irrigation

Ces nouveaux systèmes développés dans les zones arides afin d'économiser l'eau consistent à apporter, avec un débit très faible de l'eau au niveau des racines à partir d'un émetteur situé sur le sol (ou légèrement en dessous). L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC. Cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de gouteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau.

2.2 Notion d'efficacité

Le concept d'efficacité dans un sens très large est employé pour caractériser l'utilisation des ressources. On peut dire qu'elle est donc un rapport au sujet des performances d'un processus transformant un ensemble d'intrants en un ensemble d'output.

2.3 Performance d'irrigation

La performance est une notion relative consistant à atteindre des objectifs donnés, en disposant des ressources forcément limitées et dans un environnement soumis à des changements (HANAFI, 2011).

Selon Tiercelin (2006), deux (2) principaux critères de performances en irrigation peuvent être étudiés à partir des observations aux champs.

- L'uniformité de distribution aussi dite uniformité d'arrosage. Elle est définie par le rapport entre la hauteur d'eau infiltrée moyenne sur le quart de la surface le moins arrosée et la hauteur d'eau moyenne infiltrée sur l'ensemble du champ ;
- L'efficacité d'application, définie comme le rapport entre la hauteur d'eau moyenne apportée dans l'épaisseur de sol exploré par les racines et la hauteur d'eau moyenne appliquée au champ ou dose d'arrosage.

L'uniformité de distribution dépend surtout des paramètres caractéristiques du système d'irrigation tandis que l'efficacité d'application est généralement influencée par la décision prise en termes de pilotage de l'irrigation (HANAFI, 2011).

2.3.1 Efficacité technique d'un système d'irrigation

Dans un cadre très large, l'efficacité technique d'un système est définie comme étant le niveau maximum de produit (output) que peut fournir le système en utilisant une quantité déterminée de facteurs de production (input) (HARBOUZE, 2009). A l'inverse, on peut dire que l'inefficacité technique correspond à une production insuffisante par rapport à ce qui est techniquement possible avec un niveau de facteurs de production utilisé.

Parlant d'efficacité technique d'un système d'irrigation, les évaluations nécessaires doivent se faire à trois niveaux : évaluation de l'efficacité agronomique ; évaluation de l'efficacité hydraulique de l'utilisation des ressources en eau et l'évaluation de l'efficacité économique du système (HANAFI, 2011). A un niveau plus restreint, on peut étudier l'efficacité technique d'un système d'irrigation en mettant l'accent tout simplement sur l'évaluation de l'efficacité hydraulique du système. L'efficacité du système d'irrigation, dans ce cas, varie suivant la méthode d'irrigation utilisée (goutte à goutte, aspersion ou gravitaire) et suivant le niveau de compétence de l'agriculteur. Selon Kebreau (1987), l'efficacité d'un système d'irrigation est définie comme étant le rapport entre les quantités d'eau effectivement utilisées par les cultures et les quantités totales fournies à la source d'approvisionnement.

L'équation simplifiée du bilan hydrique s'écrit donc :

$$\text{Pluie} + \text{Irrigation} = \text{Evapotranspiration} + \text{Perte}$$

Cette équation permet d'évaluer l'efficacité de la technique d'irrigation (efficacité hydraulique) pratiquée dans le cas de l'irrigation gravitaire (Salah, 2007).

2.3.1.1 Expression mathématique de l'efficacité du système d'irrigation

Selon Kebreau (1987), l'efficacité d'un système d'irrigation s'exprime mathématiquement en combinant l'efficacité de conduction, l'efficacité de distribution et l'efficacité d'application.

$$E = E_c * E_d * E_a$$

Avec E : efficacité technique du système d'irrigation ;

E_c : efficacité de conduction du système d'irrigation ;

E_d : efficacité de distribution du système d'irrigation ;

E_a : efficacité d'application du système d'irrigation.

2.3.1.2 Efficacité de conduction

C'est le rendement de l'eau dans le réseau de conduction c'est-à-dire, de la source d'approvisionnement jusqu'au réseau de distribution (Kebreau, 1987).

Elle est ainsi définie :

$$E_c = \frac{V_d + V_2}{V_c + V_1}$$

Avec :

V_c : volume d'eau prélevée à la source d'approvisionnement en m^3 ;

V_d : volume d'eau délivrée au réseau de distribution en m^3 ;

V_1 : apport d'eau par d'autres sources en m^3 ;

V_2 : volume d'eau utilisée autrement que pour l'irrigation à partir du réseau de conduction.

2.3.1.3 Efficacité de distribution

C'est l'efficacité de l'eau d'irrigation dans le sous-système de distribution qui prend l'eau du système de conduction pour la délivrer aux parcelles (Kebreau, 1987).

Elle est calculée par la relation suivante :

$$E_d = \frac{V_f + V_3}{V_d}$$

Avec :

V_d : Volume d'eau délivrée au système de distribution en m^3 ;

V_f : Volume d'eau fournie au champs en m^3 ;

V_3 : Volume d'eau utilisée autrement que pour l'irrigation à partir du système de distribution m^3 .

En faisant la combinaison entre l'efficacité de conduction E_c et l'efficacité de distribution E_d , on obtient l'efficacité de transport que l'on note $E_t = E_c * E_d$ (*ibid*).

2.3.1.3.1 Procédés de calcul de l'efficacité de transport d'un système d'irrigation

Une façon d'évaluer l'efficacité de transport d'un système d'irrigation est d'évaluer le volume d'eau délivrée en tête du réseau d'irrigation et puis la quantité qui arrive à l'entrée des parcelles à irriguer. Le rapport entre ces deux quantités est traduit par l'expression suivante :

$$E_t = \frac{V_f}{V_c}$$

Avec :

V_f : Volume d'eau fournie au champ en m^3 ;

V_c : Volume d'eau prélevée à la source d'approvisionnement en m^3 .

2.3.1.3.2 Procédés de calcul de l'efficacité d'application d'un système d'irrigation

L'efficacité d'application E_a est le rapport entre la quantité d'eau nécessaire pour maintenir l'humidité du sol au niveau requis par la culture et celle fournie effectivement à l'entrée du champ. Cette relation s'exprime par :

$$E_a = \frac{V_n}{V_f}$$

Avec :

V_f : Volume d'eau fournie au champ en m^3 ;

V_n : Volume d'eau nécessaire pour maintenir l'humidité du sol au niveau requis par la culture.

De manière pratique, le niveau d'humidité requis par la culture correspond à la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir. Elle est aussi appelée capacité au champ.

Selon les études de la FAO (1990), on peut évaluer l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle en tenant compte du temps d'avancement et du temps de recul du front d'eau sur la parcelle à irriguer. Cette méthode est applicable uniquement pour l'irrigation par bassin et à la raie (par sillon).

Temps d'avancement

Le temps d'avancement décrit le temps écoulé après avoir lâché l'eau à l'entrée du bassin ou de la raie.

Temps de recul

C'est le temps que prend le front d'eau pour être complètement infiltrée après avoir coupé l'alimentation à l'entrée du bassin ou de la raie.

Dans ce cas, l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle se calcul par la relation :

$$E_a = \frac{\text{Besoins en eau nets ou dose d'arrosage nette en (mm)}}{\text{Valeur moyenne de la dose d'irrigation réellement fournie (mm)}} * 100$$

2.3.1.1 L'uniformité de distribution

L'uniformité de distribution traduite par l'uniformité de l'arrosage (UD), en irrigation de surface est définie par le rapport de la hauteur d'eau moyenne infiltrée sur le quart le moins arrosé de la placette de mesure (Z_{lq}) à la hauteur d'eau moyenne infiltrée sur l'ensemble de la placette (Z_{av}) (HANAFI, 2011). Si Z_{lq} est remplacée par la hauteur d'eau minimale, DU devient un indicateur d'uniformité de distribution absolu (DU_{sbs}).

$$\text{Et on note : } UD = 100 * \frac{Z_{lq}}{Z_{av}}$$

2.3.1.2 Efficience de réquisition

Communément appelée efficacité de stockage, elle est le rapport entre la hauteur d'eau ajoutée à la zone rhizosphérique du végétal et la hauteur d'eau nécessaire pour satisfaire les strictes besoins des plantes. On évalue cette efficacité surtout quand la hauteur d'eau apportée est inférieure à la hauteur nécessaire pour maintenir l'humidité du sol au niveau requis par la culture.

2.3.2 Procédés de calcul de l'efficacité globale d'un système d'irrigation

L'efficacité globale, dans un sens très large traduit le pourcentage du volume d'eau livré à la tête du réseau qui est stockée dans la zone racinaire des plantes cultivées pour être utilisé par la suite. Elle se calcul par les relations suivantes :

$$E = \frac{V_n}{V_1}$$

V_n : Volume d'eau nécessaire pour maintenir l'humidité du sol au niveau requis par la culture

V_1 : Volume d'eau fourni à partir de la tête du réseau d'irrigation.

Une autre façon d'évaluer l'efficacité globale est d'établir la relation entre l'efficacité de transport et l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle. Cette relation s'écrit ainsi :

$$E = E_t * E_a$$

Avec

E : efficacité technique ;

E_t : Efficacité de transport ;

E_a : Efficacité d'application de l'eau à la parcelle.

L'efficacité de l'irrigation à la parcelle est une fonction de la profondeur moyenne d'enracinement des cultures pratiquées. Le Tableau 2 donne la profondeur racinaire moyenne de certaines cultures.

Tableau 2 : Profondeur racinaire maximale de certaines cultures

Cultures	Profondeur de la zone racinaire (m)
Maïs	1.20 à 1.50
Sorgho	1.20
Céréales à petit grains	1.20
Haricot	0.9
Melons	1.20 à 1.50
Tomate	0.5 à 0.7
Oignons	0.3 à 0.5
Carotte	0.5 à 1
Canne à sucre	1.2 à 2

Tiré de Kebreau (1987)

L'efficacité de l'irrigation est un paramètre clé à prendre en compte pour juger de la performance d'un système d'irrigation. Le tableau suivant présente les différentes valeurs de l'efficacité d'irrigation en Haïti suivant que le périmètre soit réhabilité ou non.

Tableau 3 : Efficience d'irrigation d'après BRGM cité par Dieuconserve, 2004

	Périmètre d'Arcahaie		Etude de BRGM et al.	
	Réseau non réhabilité	Réseau réhabilité	Avant Réhabilitation	Après réhabilitation
Prise	0.95	1.00	-	-
Canal primaire/Secondaire	0.70	0.90	0.85	0.90
Canal tertiaire	0.70	0.70	0.75	0.85
Parcelle	0.40 à 0.80	0.60 à 0.80	0.70	0.75
Efficience globale	0.21. à 0.42	0.38 à 0.50	0.45	0.57

Tiré de Dieuconserve (2004)

2.3.2.1 Quantité d'eau fournie à l'entrée de la parcelle

Cette quantité d'eau délivrée dans le canal d'amenée en tête d'une parcelle par unité de temps est appelé débit et peut être mesurée par la méthode vitesse section. Cette méthode est lente et exige deux processus pour la réalisation.

- La détermination de la vitesse de l'eau dans le canal ;
- La mesure de la section du canal.

Le débit est donné par la formule générale

$$Q = S \cdot V$$

Avec :

Q : Débit dans le canal, en m³/s ;

S : section du canal, en m² ;

V : vitesse de l'eau dans le canal, en m/s.

Généralement, les mesures de vitesse sont effectuées en utilisant soit un moulinet, un flotteur, un colorant ou un pendule de Castelli (Kebreau, 1987)

2.3.2.2 Contenu d'humidité du sol

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer l'humidité contenue dans le sol. L'humidité disponible totale du sol représente l'humidité qui peut être accumulé dans le sol pour être ultérieurement utilisée par les plantes. Elle est égale à la différence entre la

capacité au champ et le point de flétrissement. Les différentes méthodes couramment utilisées pour calculer l'humidité sont :

- la méthode gravimétrique ;
- les tensiomètres ;
- la résistance électrique (conductivité électrique) ;
- l'aspersion de neutrons ;
- le test au toucher.

La quantité d'eau utile du sol peut être exprimée par rapport au poids du sol sec, en pourcentage de volume ou sous forme de profondeur. Ces trois paramètres, selon Kebreau (1987), sont liés entre eux par les relations suivantes :

$$E_v = E_s * d_a$$

$$D = \frac{E_v * P_u}{100}$$

En combinant les deux dernières équations, on trouve :

$$D = \frac{E_s * d_a}{100} * P_u$$

Avec :

E_s : Eau utile par rapport au poids du sol sec en pourcentage ;

E_v : Eau utile par rapport au volume du sol en place en pourcentage ;

d_a : densité apparente du sol ;

P_u : profondeur utile du sol considéré ;

D : eau utile du sol exprimée en hauteur d'eau.

Étant donné que E_s , E_v , d_a sont des quantités adimensionnelles, la dimension de P_u (m, cm ou mm) sera celle de D .

2.3.2.3 Dose d'arrosage nécessaire

La dose d'arrosage c'est la quantité d'eau apportée par irrigation pour satisfaire les besoins en eau des cultures en fonction des plantes et des pratiques d'irrigations adoptées (Guillaume, 2013). Elle est fonction également :

- du type de sol ;
- de la teneur en eau utile ;
- de la profondeur d'enracinement ;

- de la vitesse maximale d'infiltration de l'eau dans le sol ;
- du pourcentage de tarissement initial du sol (q initiale).

Lorsqu'on irrigue une parcelle cultivée, il est très important de se soucier des limites de rétention en eau du sol ainsi que les stades critiques de déficit hydrique. Ainsi, il est fortement déconseillé de laisser le sol cultivé atteindre ou dépasser les limites du point de flétrissement permanent, un tel cas pourrait provoquer des chutes considérables de rendement de la culture en question. Le mieux, c'est d'arroser de telle manière que le sol se trouve toujours dans les limites comprises entre le point de flétrissement temporaire et la capacité de rétention maximale de l'eau appelé encore (Capacité au champ).

2.3.2.4 Infiltration de l'eau dans le sol

L'infiltration est traduite par la vitesse avec laquelle l'eau entre dans le sol, on parle du taux d'infiltration. D'après la FAO (1990), le taux d'infiltration exprime généralement la hauteur d'eau (en mm) qui s'infiltre dans le sol en une heure. Il est fonction de la texture du sol (c'est-à-dire, des dimensions des particules) et de la structure du sol (arrangement des particules) (*Tableau 4*).

Plusieurs modèles sont utilisés pour exprimer le taux d'infiltration de l'eau dans le sol. Parmi ce, on a

- Le modèle de Green et Ampt (1911) ;
- Le modèle de Philip (1957) ;
- Le modèle de Kostiakov.

Le modèle de Kostiakov permet d'exprimer expérimentalement le taux d'infiltration (en mm/h) à partir de la relation $I = a * n * t^{(n-1)}$. La hauteur d'eau cumulative est obtenue en utilisant l'équation suivante donnée par la relation :

$$Z = a * t^n.$$

Z (mm) : Infiltration cumulée en un période de temps donnée ;

a : Coefficient pour des conditions de sol données ;

n : Constante pour un taux d'humidité donné (positif et inférieur à l'unité).

Tableau 4 : Taux d'infiltration en régime permanent pour différent type de sol

Type de sol	Taux d'infiltration en régime permanent (mm/heure)
Sable	Moins que 30
Limon sableux	20 – 30
Limon	10 – 20
Limon argileux	5 – 10
Argile	1 – 5

Sources : FAO (1990)

3 PRÉSENTATION DE LA ZONE DE TRAVAIL

Ce chapitre consiste à présenter les différents éléments qui ont façonné l'état actuel de la zone d'étude. Ces éléments concernent le milieu physique et le milieu socio-économique du périmètre.

3.1 Milieu physique

L'étude du milieu physique de la zone de travail prend en compte la localisation du périmètre et l'étude des paramètres climatiques caractérisant la zone.

3.1.1 Localisation

La basse Plaine des Gonaïves fait partie de la première section Pontamarin de la commune des Gonaïves et fait approximativement une superficie de 2400 ha (DDA-A, 2008). Elle est située à environ cinq (5) mètres d'altitude entre la latitude 19°25 Nord et longitude 72°38 Ouest. Repartie en quatre (4) grandes zones agricoles, la basse Plaine compte trente-six (36) localités dont, on a :

- ✓ Zone I : Desronville, Chatelain, Marotte, Bigot, Georges, Pont Gaudin, Granmont, Terre salée, Valmir, Descahos, Deruisso, Trou coucou ;
- ✓ Zone II : Caillon, Reverdure, Dolant, Bois marchand ;
- ✓ Zone III : Des fontaines, Bellanger, Souvenance, Descorde, Letirho nord, Cadette ;
- ✓ Zone IV : Rofilier, Dame soupi, Bassin Dessource, Letirho, Brunette, Mandrin, Guymbi, Dessource Bellance, Tarasse, Cocherelle, Bongris, Trois pont, Sablière.

La zone IV, zone étudiée, elle fait une superficie de 600 ha, soit 25 % de la superficie totale du périmètre. La carte ci-dessous sa localisation dans la commune des Gonaïves.

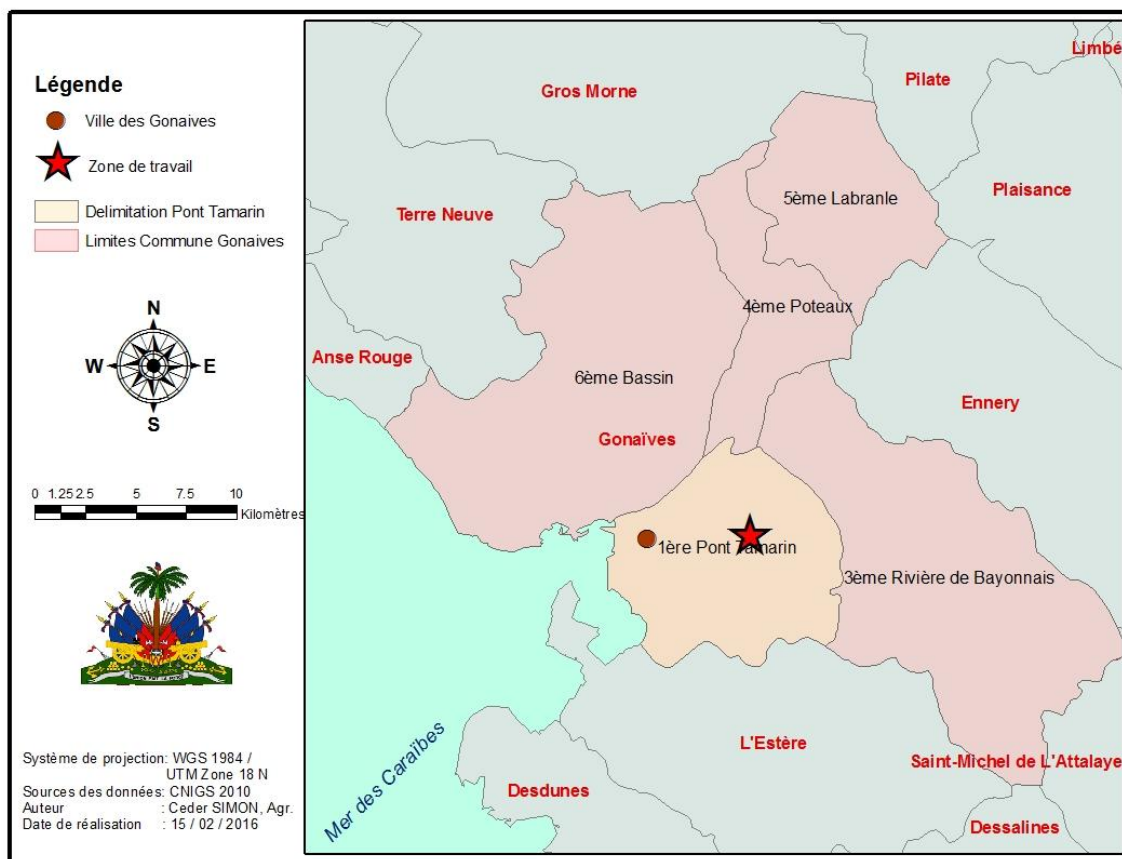


Figure 1 : Carte de localisation de la zone de travail dans la commune des Gonaïves

3.1.2 Pédologie de la basse Plaine des Gonaïves

Le territoire du haut bassin versant de la rivière la Quinte est dominé par du calcaire karstifié et du basalte et on rencontre également d'autres type de roches tel que : les andésites ; les rhodites et les diorites. La partie aval du bassin versant, particulièrement la basse Plaine des Gonaïves est caractérisée surtout par des alluvions et des matériaux détritiques en provenance du haut bassin versant (AGROCONSULT-HAITI SA, 2009). Ce qui confère à la zone une très bonne potentialité agricole avec une prédominance de terre argileuse.

3.1.3 Climat

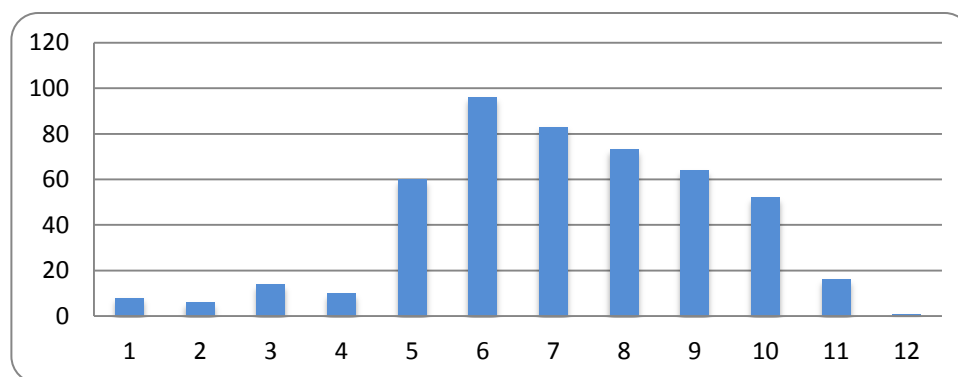
Le climat est un élément important à prendre en compte en agriculture. Ses principaux facteurs sont : la température ; l'insolation ; la pluviométrie ; la pression

atmosphérique ; l'humidité de l'atmosphère ; la vitesse et la direction du vent ; l'évaporation etc...

Ces éléments interviennent chacun à des degrés différents dans les transformations qui se succèdent dans la vie de la plante.

3.1.3.1 Pluviométrie

La basse Plaine des Gonaïves est une zone de très faible pluviosité avec une distribution irrégulière le long de l'année. Elle possède une pluviométrie moyenne autour de 700 mm par année (Supreme, 2011). Deux (2) grandes saisons prédominent. La première allant de mi-mai jusqu'à fin octobre avec la plus grande part des précipitations annuelles et une saison sèche allant de novembre à mi-mai avec des précipitations très peu significantes. La figure 2 présente la distribution mensuelle des pluies le long de l'année.

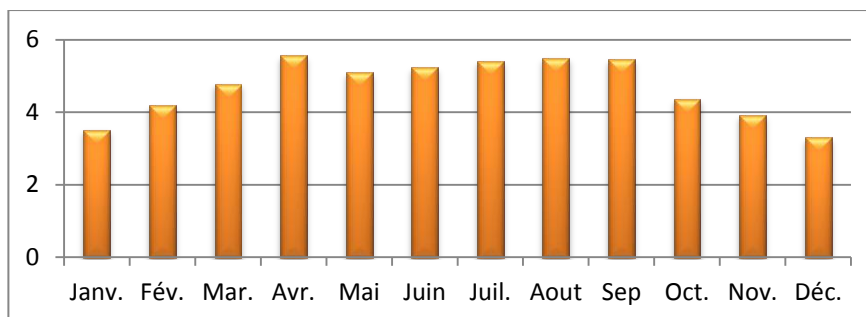


Source : FAO, cité par CORVIL (2004)

Figure 2: Graphe des variations mensuelles des précipitations

3.1.3.2 Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un paramètre extrêmement important dans le domaine agricole car elle permet d'approcher la question de déficit hydrique. Au niveau de la plaine des Gonaïves, l'évapotranspiration moyenne journalière est située autour de 4.69 mm avec des pics observés entre le mois d'avril et le mois de septembre. La Figure 3 nous présente l'évapotranspiration potentielle journalière moyenne pour les différents mois de l'année au niveau de la basse Plaine des Gonaïves.

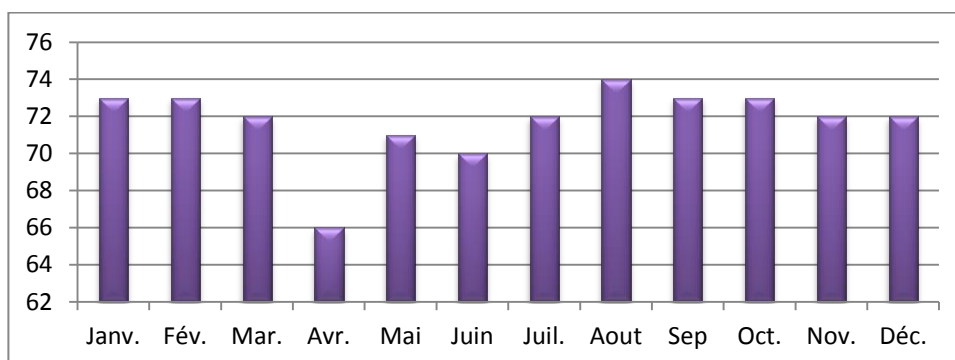


Source : FAO, cité par CORVIL en 2004

Figure 3 : Evapotranspiration potentielle (mm/jour) au niveau de la basse Plaine

3.1.3.3 Humidité atmosphérique

L'humidité atmosphérique décrit la teneur en eau de l'atmosphère. L'atmosphère contient toujours une certaine quantité d'eau sous forme de vapeur, sa concentration maximale est fonction de la température. Au niveau de la zone de l'étude, les variations minimales du taux d'humidité de l'air se rencontrent au cours des mois d'Avril, Mai et Juin. Les valeurs maximales se rencontrent à partir du mois de Juillet jusqu'au mois de Mars. Elle est représentée par la (Figure 4).



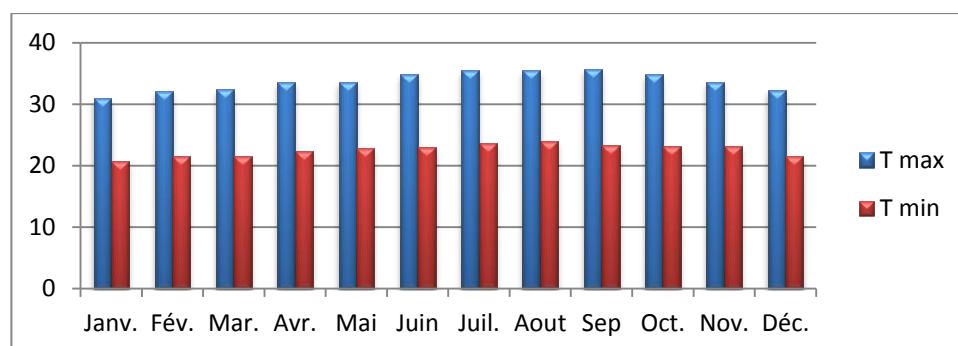
Source : FAO, cité par CORVIL en 2004

Figure 4 : Taux d'humidité de l'air à la plaine des Gonaïves

3.1.3.4 Température

La température a une influence majeure sur le végétal puisqu'il peut conditionner la vitesse de croissance ainsi que les seuils de végétation des plantes. Les pics de températures pour la basse Plaine se trouvent ordinairement entre le mois de juin et

octobre et les valeurs atteignent parfois plus de 35°C. La Figure 5 présente les variations mensuelles des valeurs extrêmes (températures minimales et maximales).



Source : FAO, cité par CORVIL en 2004

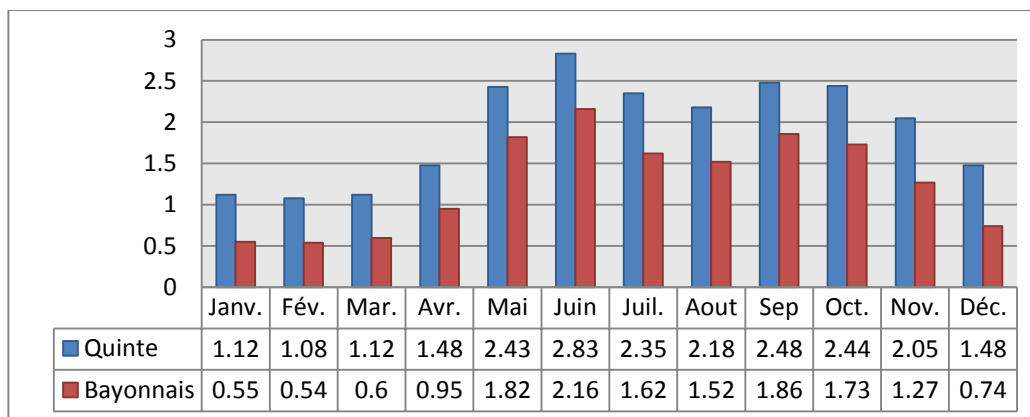
Figure 5 : Variations de températures en °C sur la basse Plaine des Gonaïves

3.1.4 Ressources en eau

Les ressources en eau disponible au niveau de la basse Plaine des Gonaïves sont constituées des eaux de surface (Rivières) et des eaux souterraines (nappe phréatique).

3.1.4.1 Eaux de surface

Deux (2) rivières traversent la basse Plaine, ce sont la rivière Quinte et la Rivière Bayonnais. En période de sécheresse, elles présentent un débit très faible qui peut aller même au tarissement. Depuis les années 1780, le débit de la Quinte était à peine suffisant pour l'irrigation des trois (3) sucreries que comptait la plaine de Gonaïves (HILAIRE, 1995). Cette dernière est dominée par le sous bassin versant de la rivière la Quinte et le sous bassin versant de la rivière Bayonnais. De nos jours, le système irrigation est alimenté par de l'eau provenant des deux rivières précitées en plus des ressources en eaux souterraines exploitées par les stations de pompes. La Figure 6 donne les débits moyens de ces deux rivières en (m^3/s) pour les différents mois de l'année. La moyenne annuelle des débits pour les rivières Quinte et Bayonnais tourne respectivement autour de 1.92 et 1.28 m^3/s avec des pics remarquables entre les mois de Mai et Octobre.



Sources : LGL, SA, cité par DDA-A, 2008.

Figure 6 : Débit en m³/s des rivières alimentant la basse Plaine des Gonaïves

3.1.4.2 Eaux souterraines

Les eaux de la nappe phréatique de la basse Plaine des Gonaïves sont exploitées principalement pour l'irrigation. Une partie de cette eau est également utilisée pour l'alimentation quotidienne des ménages à partir des pompes à bras installées sur le périmètre. Le Tableau 5 présente les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe.

Tableau 5 : Caractéristiques hydrodynamique de la nappe phréatique

Description	Valeur
Eau disponible à long terme	600 à 2 180 l/s
Reserve à long terme	73 à 170*10 ⁶ m ³
Prélèvement à long terme	271*10 ⁶ m ³ /an
Débit rentrant	930 l/s
Débit sortant	978 l/s
Limites de prélèvement	1000 l/s

Tiré de EUROCONSULT (1987), cité par Corvil (2004)

3.2 Milieu Socio-économique

L'étude du milieu socio-économique prend en compte les aspects suivants qui sont la démographie, l'éducation, la santé et les activités commerciales de la zone d'étude.

3.2.1 Démographie

Selon les données de l'IHSI (2007), la section de Pont Tamarin possède une population de 142 631 habitants dont 118 356 habitent le milieu urbain et 24 275 dans le milieu rural. Après la ville des Gonaïves, c'est la basse Plaine qui occupe la plus grande part de l'ensemble de la première section en termes de superficie et constitue ainsi le milieu rural. Depuis ces dernières années, le phénomène d'urbanisation de la basse Plaine s'intensifie avec une vitesse sans précédente, ce qui a pour conséquence directe sur le périmètre : la réduction des espaces cultivables et l'augmentation de la pression sur les ressources en eau disponible du périmètre.

3.2.2 Éducation

Au niveau de la basse Plaine des Gonaïves, on compte une vingtaine d'écoles primaires et 4 écoles secondaires. Il n'y a pas de centres de formations professionnelles ou universitaires. Par contre, les enfants de la zone s'en vont vers la ville des Gonaïves ou des autres grandes villes pour la recherche du pain de l'instruction une fois terminé avec l'étude classique. D'autres dont leurs parents n'ont pas assez de moyen ou de volonté restent dans la zone tout le long de l'année et participe dans les activités agricoles à titre de main d'œuvre familiale.

3.2.3 Aspect sanitaire

Sur le plan sanitaire, la basse Plaine n'a que deux centres de santé dont celui de Taras (Eben-Ezer) et celui de Pont Gaudin (Centre de santé de Pont Gaudin). Tout dépend de la gravité du cas de maladie ou des moyens économiques des patients, on pourrait se référer vers d'autres centres hospitaliers de la Ville des Gonaïves ou d'autres communes du pays.

3.2.4 Activités commerciales.

Au niveau de la basse Plaine des Gonaïves, on rencontre quelques points de ventes de produits alimentaires en détail un peu partout. Mais l'activité commerciale la

plus courante, c'est la vente des produits agricoles lors des récoltes. Les centres commerciaux les plus proches sont :

- Trois (3) marchés communaux : le marché des Gonaïves (fonctionne tous les jours de la semaine), le marché de l'Estère et celui de marché de Pont sonné qui fonctionne deux fois par semaine ;
- Un (1) marché local : le marché de Poteau (fonctionne deux (2) fois par semaine)
- Des points de ventes temporaires sur la basse Plaine qui fonctionnent uniquement lors des périodes de récoltes.

Les produits des récoltes de la basse Plaine sont par contre destinés à la consommation nationale.

4 MÉTHODOLOGIE

Pour atteindre les objectifs fixés, on a développé une méthodologie assez simple à travers laquelle un ensemble de matériels ont été utilisés. Ce présent chapitre fait état des différents matériels qui ont été utilisés et la méthode appliquée.

4.1 Matériels utilisés

L'ensemble des matériels utilisés dans le cadre de ce travail sont de deux (2) groupes. Ce sont les matériels de bureau et les matériels de terrain.

4.1.1 Matériels de bureau

- **Fond topographique ;**

Il a été utilisé afin d'avoir la configuration topographique de la zone de travail et pour mieux se repérer sur le terrain.

- **Modèle numérique de terrain (MNT) de la commune des Gonaïves ;**

Il a été utilisé pour étudier les différents paramètres liés à la configuration topographique de la basse Plaine.

- **Orthophotos de la basse Plaine des Gonaïves ;**

Ils ont été utilisés pour avoir une vue globale de zone.

- **Clé USB (jump) et ordinateur portatif (laptop).**

Ces matériels ont été utilisés pour le stockage des données et la préparation du document final.

4.1.2 Matériels de terrain

- **GPS ;**

Le GPS (Global Positioning System) a été utilisé pour prendre les coordonnées géographiques des pompes, des ouvrages de prises sur les rivières et pour la délimitation de la zone de travail.

- **Ruban métrique ;**

Le ruban métrique a été utilisé pour mesurer la longueur des canaux et déterminer les distances sur lesquelles on doit faire les mesures de débit.

- **Chronomètre ;**

Le chronomètre a été utilisé pour la mesure du temps.

- **Règle graduée ;**

La règle graduée a été utilisée pour mesurer les hauteurs d'eau dans les canaux ainsi que les variations des hauteurs d'eau dans la réalisation du test d'infiltration.

- **Seau de 20 litres ;**

Le seau a été utilisé pour la prise des volumes d'eau.

- **Cahier de notes ;**

Le cahier de notes comme son nom l'indique a été utilisé pour la prises des notes et les informations jugées nécessaires.

- **Piquets en bois ;**

Les piquets ont été utilisés pour identifier les distances régulières dans la détermination des temps de progression et de recul des fronts d'eau au niveau des bassins lors de l'étude de l'efficience d'application.

- **Infiltromètre à anneau double et ses accessoires ;**

Utilisés pour l'évaluation du taux d'infiltration.

- **Caméra numérique.**

La caméra numérique a été utilisée pour la prise des photos.

4.2 Paramètres étudiés et méthode

La méthode de travail résume l'ensemble des activités et les étapes suivies pour la réalisation de l'étude dans le but d'atteindre les différents objectifs visés.

4.2.1 Caractérisation physique du système d'irrigation

La caractérisation physique du système d'irrigation de la basse Plaine des Gonaïves passe obligatoirement par la caractérisation de son bassin versant, des infrastructures physiques, de la structure de gestion et du système de production. Pour y parvenir : des recherches bibliographiques ; des visites de reconnaissances et une enquête de terrain ont été menées.

Lors des enquêtes, un échantillon de dix (10) agriculteurs jugé représentatif par rapport aux types informations recherchées a été choisi. Le choix des enquêtés se fait suivant que l'agriculteur possède ou pas, au moins une parcelle irriguée dans la zone de l'étude.

4.2.1.1 *Le bassin versant*

A ce niveau, on s'intéressait à:

- décrire le bassin versant de la rivière Quinte ;
- faire un historique des dégâts et des crues récemment enregistrés ;
- présenter les zones à haut risque ainsi que les types de risque ;
- présenter les actions déjà entreprises au niveau du bassin versant et du périmètre.

4.2.1.2 *Les infrastructures physiques*

A ce niveau, les ouvrages de prise et de mobilisation d'eau ainsi que les ouvrages ponctuels ont été présentés et décrits.

4.2.1.3 *La structure de gestion*

La structure de gestion du périmètre a été étudiée en utilisant les résultats des enquêtes pour établir les relations entre les différents acteurs qui interviennent dans la gestion du système.

4.2.1.4 *Le système de production*

L'étude du système de production de la basse Plaine des Gonaïves concerne :

- Les espèces cultivées (arboricoles et saisonnières) ;
- Les associations culturales ;
- Le calendrier cultural et les itinéraires techniques pratiqués ;
- Le niveau d'occupation des superficies par chaque catégorie de culture ;
- Le rendement des cultures ;
- L'élevage sur le périmètre irrigué.

4.2.2 Débits au niveau des pompes et des canaux

Les mesures de débits au niveau des pompes et des canaux sont nécessaires pour pouvoir se renseigner sur la quantité d'eau disponible sur le périmètre.

4.2.2.1 Mesure du débit au niveau des pompes

Le débit des cours d'eau a été évalué à partir des données recueillies à travers des rapports et des mémoires de fin d'études réalisés sur la basse Plaine des Gonaïves. Le débit des pompes de son côté a été évalué sur le terrain par la méthode volumétrique.

Cette méthode consiste à mesurer le débit de la pompe à l'aide d'un récipient suffisamment grand de dimensions connues et d'un chronomètre pour évaluer la durée de remplissage du récipient. Le débit a été obtenu en faisant le rapport entre le volume d'eau retenu et le temps de remplissage du récipient.

4.2.2.2 Débit au niveau des canaux

Le débit dans les canaux varie suivant la distance de la station de mesure par rapport à la pompe. Pour évaluer la variation du débit le long des canaux de distribution, on a d'abord mesuré le débit au niveau des pompes puis, sur des intervalles réguliers de 100 m le long du canal sous étude, on procède à d'autres mesures de débit. Étant donné que la majorité des canaux sont en terre battue et ne possédant pas ainsi de forme régulière, pour avoir une meilleure approximation des débits, la méthode suivante a été adoptée :

1. Choix d'une section d'écoulement dans le canal relativement droite ;
2. Choix d'un tronçon de 3 à 5 mètres de long à travers la section d'écoulement choisie ;
3. Utilisation d'un objet flottant et d'un chronomètre pour évaluer la vitesse du courant d'eau dans le canal sur la longueur du tronçon choisi ;
4. Pour la détermination de la section transversale, on a fait des mesures de profondeur d'eau sur des intervalles réguliers de dix (10) cm le long de la largeur du tirant d'eau ;
5. Par intégration successive à l'aide du papier millimétré, on calcul les sections ;

6. Le débit est obtenu en faisant le produit de la vitesse du courant d'eau par la section transversale du canal.

4.2.3 Efficience du système d'irrigation

L'efficience de l'irrigation sur la basse Plaine a été évaluée en étudiant de façon distincte l'efficience du système de transport et l'efficience d'application de l'eau à la parcelle. Dans le cadre de cette étude, on assimile l'efficience du système de transport à l'efficience de distribution de l'eau qui elle-même prend en compte toutes les formes de pertes existantes sur le réseau de transport.

4.2.3.1 Efficience de distribution

L'efficience de distribution décrit non seulement le rendement de distribution de l'eau au niveau des canaux de transport, mais également le rendement de la distribution de l'eau au niveau des ouvrages ponctuels comme les vannes et autres. Elle tient compte de la quantité d'eau qui arrive effectivement à destination après la déduction des pertes sur le réseau de transport. Pour une meilleure estimation de cette efficience, on a évalué la distribution de l'eau sur des tronçons de canal pris à des intervalles réguliers de cent (100) mètres sans tenir compte de façon particulière des pertes au niveau des ouvrages ponctuels. Cinq (5) pompes ont été choisies dans la zone de travail pour mener l'étude.

4.2.3.2 Efficience d'application d'eau

L'efficience d'application de l'eau à la parcelle prend en compte les besoins en eau des cultures, (c'est-à-dire de la dose nette d'arrosage), la vitesse d'infiltration de l'eau et des temps de progression et de recul des fronts d'eau.

Pour avoir une meilleure approximation de l'efficience d'application de l'eau au niveau de la basse Plaine, on a identifié dix (10) parcelles dont six (6) sont emblavées d'haricot, trois (3) d'aubergines et une autre de sorgho semées toutes à des dates différentes.

Démarches

1. On a noté la date de plantation de la culture ainsi que la date du jour de réalisation de l'expérience ;

2. On a pris les dimensions (longueurs et largeurs) des bassins ;
3. On a placé des piquets à des intervalles réguliers distancés de deux (2) mètres, puis on reporte les distances entre les piquets sur une feuille de mesure ;
4. L'irrigation a commencé au niveau du bassin choisi de la parcelle de l'agriculteur à partir du piquet portant le numéro 1;
5. On a noté l'heure (h : mn : s) d'entrée de l'eau au niveau du bassin puis le temps écoulé chaque fois que le front d'eau parvient à chacun des piquets, c'est le temps de progression du front d'eau ;
6. On a calculé temps écoulé chaque fois que l'eau se trouvant entre deux (2) piquets en bois s'infiltre dans le sol, jusqu'à ce que l'eau qui se trouve entre tous les piquets s'infiltre, on parle dans ce cas de temps de recul du front d'eau ;
7. Le temps de contact pour chaque mini bassin limité par des piquets en bois a été obtenu en faisant différence entre le temps de progression et de recul des fronts d'eau ;
8. La dose d'arrosage fournie à chaque mini bassin délimité par deux (2) piquets a été calculée en multipliant le temps de contact de l'eau avec le mini-bassin par la vitesse d'infiltration moyenne de la basse Plaine de Gonaïves.

En effectuant ces mesures, trois (3) cas peuvent se présenter.

- La dose fournie peut être inférieure à la dose nette d'irrigation, on parlera ainsi de sous irrigation et de l'inefficacité de la dose d'arrosage ;
- La dose fournie peut être égale à la dose nette d'arrosage nécessaire ;
- La dose d'irrigation fournie peut être supérieure par rapport à la dose nette d'irrigation, dans ce cas bien précis, on parlera de sur irrigation et l'efficacité d'application de l'irrigation traduite par le rapport entre les besoins nets (en mm) et la valeur moyenne de la dose d'arrosage réellement fournie (en mm) :

4.2.3.3 L'uniformité de distribution

L'uniformité de distribution traduite par l'uniformité de l'arrosage, en irrigation de surface est définie par le rapport de la hauteur d'eau moyenne infiltrée sur le quart le

moins arrosé de la placette de mesure à la hauteur d'eau moyenne infiltrée sur l'ensemble de la placette.

4.2.3.4 Dose nette d'irrigation

Les doses d'irrigations nettes ont été déterminées en utilisant le logiciel Cropwatt de la FAO.

4.2.3.5 Infiltration au niveau des parcelles

Le taux d'infiltration exprime la rapidité ou la vitesse à laquelle l'eau entre dans le sol. C'est également la hauteur d'eau (mm) qui s'infiltré dans le sol pendant un intervalle de temps déterminé. Elle est fonction de la granulométrie et de la structure du sol. Dans le cadre de ce travail, on a utilisé la méthode de détermination du taux d'infiltration à l'aide de l'infiltromètre à double anneau.

Démarches

Etape 1 : On a enfoncé dans le sol les deux (2) cylindres en utilisant un madrier et un marteau jusqu'à une profondeur de 15 cm.

Etape 2 : On a versé de l'eau à l'intérieur du petit cylindre jusqu'à une hauteur de 10 cm, puis de l'eau dans l'espace vide entre les deux (2) cylindres jusqu'à la même hauteur.

Etape 3 : On a enregistré la cote des eaux par lecture de la règle graduée et on a noté l'heure.

Etape 4 : Au bout de quelques minutes (moins de 5 mn), on a enregistré la baisse de la cote des eaux à l'intérieur du cylindre central ; puis on rajoute de l'eau pour compenser la baisse de la cote des eaux et à l'intérieur du cylindre central, et dans l'espace comprise entre les deux (2) cylindres.

On arrête les mesures lorsque les hauteurs d'eau infiltrée ne varient pas dans le temps.

Etape 5 : On a exprimé analytiquement l'infiltration dans le sol par le modèle de Kostiaikov. Cette méthode permet trouver la hauteur d'eau cumulative en utilisant l'équation suivante donnée par la relation :

$$Z = a \cdot t^n.$$

Où

Z (mm) : Infiltration cumulée en un période de t donnée ;

a : Coefficient pour des conditions de sol données ;

n : Constante pour un taux d'humidité donné (positif et inférieur à l'unité).

Les démarches de calcul permettant de déterminer ces coefficients sont présentés en annexe.

5 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats de l'étude sont présentés à travers des textes, des cartes, des figures et des tableaux qui sont analysés étape par étape.

5.1 Caractérisation physique du système d'irrigation

La basse Plaine des Gonaïves se caractérise par sa longue tradition d'agriculture irriguée avec des eaux de surface ou des eaux souterraines. La caractérisation physique du système passe par la caractérisation du bassin versant, des infrastructures physiques, du système de gestion et du système de production.

5.1.1 Le bassin versant

Le bassin versant (Rivière Quinte) qui contient la basse Plaine des Gonaïves fait environ 700 km². Il est un vaste bassin versant dont sa plus haute altitude touche 1 100 m et reçoit entre 550 mm au niveau de la plaine et 1 500 mm de pluie au niveau du Massif du Nord et des Montagnes Noires (Jean Noel, 2009). Par sa position géographique, le bassin versant bénéficie d'un climat semi-aride (AGROCONSULT-HAITI SA, 2009). Il est drainé par la rivière la Quinte et ses affluents et dispose d'un potentiel irrigable de 12 500 ha à l'intérieur et de 15 000 ha autour (Jean Noel, 2009). Ce bassin versant n'est pas épargné par le phénomène de dégradation accrue que connaît la majorité des autres bassins du pays malgré les efforts de protection et d'aménagement entrepris depuis ces dernières décennies. Cette dégradation contribue à des crues exceptionnelles lors des cyclones et de très faibles débits lors des saisons sèches.

Il est à remarquer que l'intensité des dégâts et des pertes enregistrés au cours de ces dernières années augmentent considérablement par rapport aux événements antérieurs. Une façon encore de justifier les problèmes de dégradation du bassin versant de la rivière Quinte et de ses affluents. Les zones les plus touchées par les dégâts sont la ville et la basse Plaine des Gonaïves qui toutes deux font partie de la première section de Pont Tamarin (réf. Figure 7).

Tableau 6: Historique de quelques évènements d'ordre climatique

Nom cyclone	Année	Dégâts	Commentaires
Hazel	1954	Pertes en vie humaine / bétails / et biens matériels	140 mm de pluie sur le bassin versant de la rivière la Quinte provoquant des inondations jusqu'à 1.20 m à la ville des Gonaïves
Jeanne	2004	Pertes en vie humaine / bétails / et biens matériels	261 mm de pluie pendant 5 heures enregistrés dans un pluviomètre à Ennery provoquant des inondations jusqu'à 3.00 m à la ville des Gonaïves
Hanna et Ike	2008	Pertes en vie humaine / bétails / et biens matériels	1180 à 1220 mm de pluie pendant 5 jours provoquant des inondations jusqu'à 4.50 m à la ville des Gonaïves

Cité par Jean Noel (2009)

La carte qui suit présente la localisation de la première section Pont Tamarin par rapport au bassin versant de la rivière la Quinte.

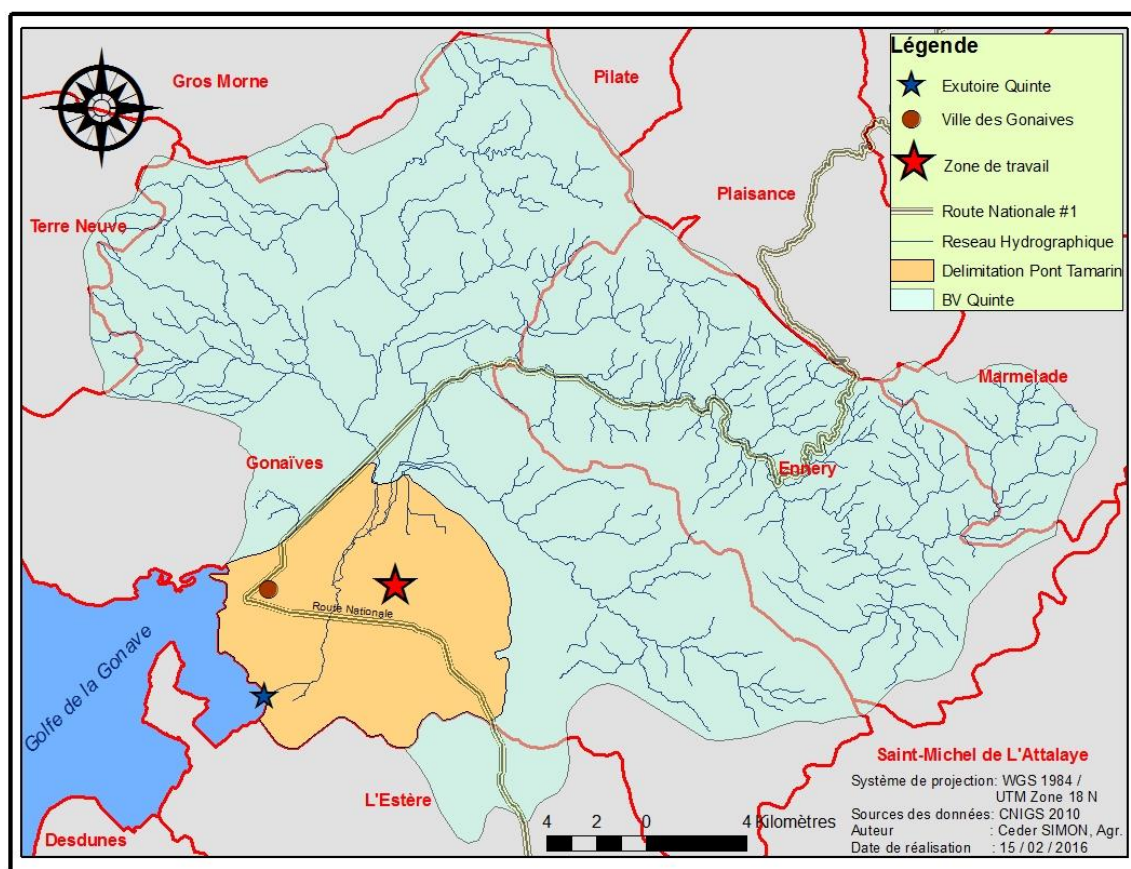


Figure 7: Localisation de la zone de travail dans le bassin versant de la rivière la Quinte

Il est à noter une fois de plus que la ville des Gonaïves ainsi que la basse Plaine qui contient la zone de travail font entièrement partie de la première section communale de Pont Tamarin, ce qui conditionne leur vulnérabilité face aux inondations dues au débordement de la rivière la Quinte. Ce sont des zones de basse altitude située en aval du bassin versant de la rivière.

5.1.2 Les infrastructures physiques

Les infrastructures physiques de la basse Plaine des Gonaïves concernent les ouvrages de prise, les ouvrages de mobilisation d'eau, ouvrages de distribution et les bâtiments agricoles. Etant donnée l'étude a été menée dans une partie de la basse Plaine (zone IV), les résultats de ce travail ne tiennent compte que des infrastructures qui sont liées à la zone de travail (zone IV).

5.1.3 Ouvrages de prise d'eau

Les ouvrages de prises se répartissent sur tout le périmètre. On rencontre tantôt des prises sur les rivières qui en grande partie fonctionnent uniquement en saison pluvieuse, tantôt des stations de pompes électriques qui utilisent les eaux de la nappe souterraine pour alimenter le système d'irrigation.

5.1.3.1 *Seuils sur les rivières*

Sur les deux rivières qui surplombent la basse Plaine des Gonaïves, on compte douze (12) seuils de dérivations dont neuf (9) sur la rivière la Quinte et trois (3) sur la rivière Bayonnais (DDA-A, 2008). Seulement quatre (4) seuils ont été identifiés pour la zone IV de la basse Plaine, dont trois (3) sur la rivière la Quinte et un (1) sur la rivière Bayonnais. Dans tous les cas, ils sont pratiquement couverts de sédiments. Il n'y a pas de travaux de curage au cours de ces dernières années car, selon les autorités du MARNDR, des travaux de curage ne seront pas économiques puisque la rivière ne porte plus suffisamment d'eau pouvant satisfaire le système.

5.1.3.2 *Stations de pompes*

Les stations de pompes puisent l'eau de la nappe souterraine en utilisant l'énergie électrique provenant du central thermique de la ville des Gonaïves. Trente-neuf (39) pompes sont installées sur tout le périmètre dont dix (10) dans la zone IV. Au moment de l'étude, des dix (10) stations de la zone IV, seulement sept (7) d'entre elles fonctionnent et les trois (3) autres sont dysfonctionnelles. Cela provoque une limitation de la ressource eau sur le périmètre étudié. De plus, les coupures fréquentes et prolongées de l'électricité sur la basse Plaine sont des autres facteurs limitatifs de la disponibilité de l'eau pour les cultures. La carte suivante présente la distribution spatiale des stations de pompes sur le sous périmètre étudié (Zone IV).

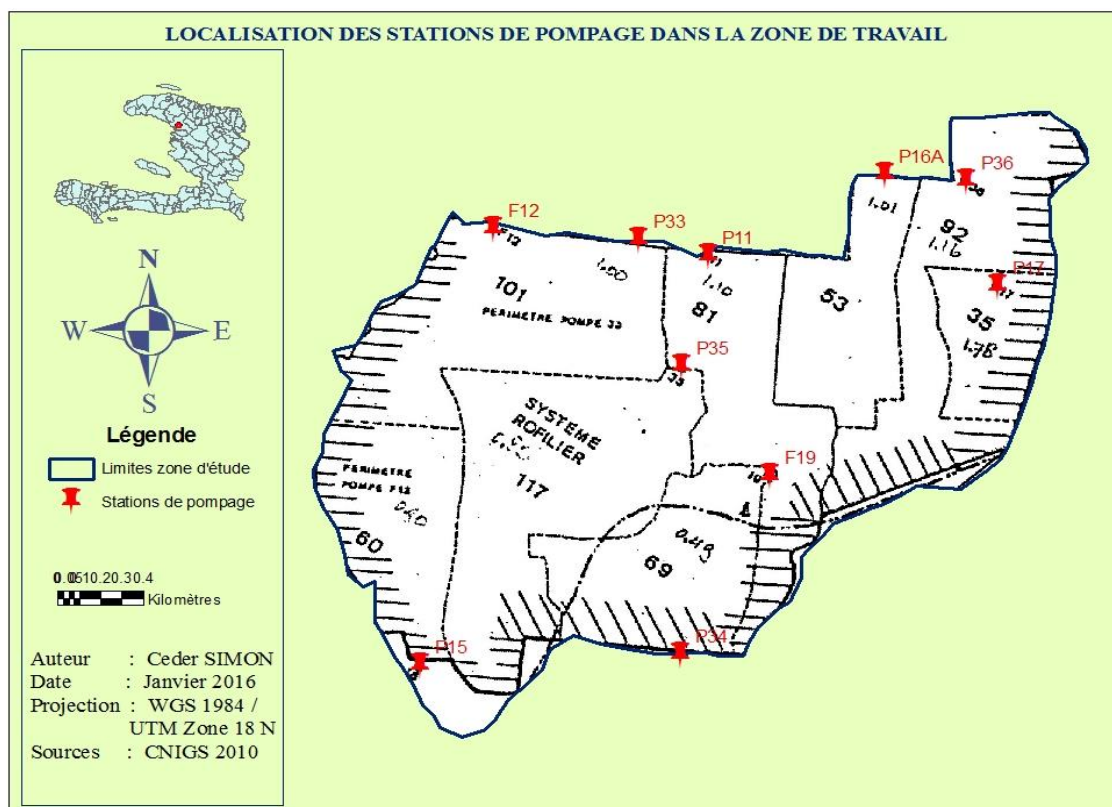


Figure 8 : Localisation des stations de pompages dans la zone de travail

5.1.4 Réseau des canaux

Les résultats sur le réseau des canaux au niveau de la basse Plaine des Gonaïves concernent les canaux d'irrigations qui sont utilisés pour transiter l'eau jusqu'aux parcelles cultivées et les canaux de drainages qui servent à éliminer les excès d'eau sur le périmètre.

5.1.4.1 Canaux d'irrigation

Au niveau de la basse Plaine de Gonaïves, les canaux d'irrigations sont en grande partie en terre battue. Pour la zone IV en particulier, jusqu'en 2008, sur 5790 m linéaires de canaux primaires, seulement 480 mètres étaient en maçonnerie (DDA-A, 2008). Un travail de réhabilitation de quelques canaux a été entrepris vers les années 2010 par la USAID. Ainsi, on a procédé à la construction de 386 mètres linéaires de canaux. Ce travail entraine dans le cadre des activités visant à améliorer l'efficacité technique du système d'irrigation de la plaine des Gonaïves. Et jusqu'à date, seulement 866 mètres linéaires de canaux sont en béton, ce qui représente un potentiel de 15%

environ de la totalité des canaux primaires. Ces canaux sont pour la plupart très mal entretenus et ayant pour conséquences augmentation du temps de transit de l'eau destinée à l'arrosage des cultures.



Figure 9 : Vue de deux portions de canal mal entretenu dans la zone de travail

5.1.4.2 Canaux de drainage

Le réseau de drainage sur la basse Plaine est caractérisé par des grands canaux pouvant collecter de volumes importants d'eau. Vu la rareté d'eau au niveau du périmètre, toute la ressource disponible est utilisée pour alimenter le système. Les doses de lessivages prévues n'ont pas été pratiquées, ce qui fait que les canaux de drainage ne sont utilisés que pour évacuer les eaux pluviales.



Figure 10 : Vue de deux portions de drains à Taras (Zone IV)

5.1.5 La structure de gestion

La gestion du système d'irrigation de la basse Plaine des Gonaïves se fait par l'Etat haïtien via le Ministère de l'Agriculture. Les agriculteurs voudraient avoir le contrôle de la gestion du périmètre, mais jusqu'à date, les démarches visant à conduire à

cette autogestion du périmètre n'aboutissent pas encore. La structure de gestion de la basse Plaine s'organise suivant une hiérarchie mettant en relation les entités suivantes : le Ministère de l'Agriculture, des ressources et du Développement Rural (MARNDR) ; la Direction Départementale Agricole de l'Artibonite (DDA-A) ; la Fédération des Associations d'Irrigants de la Plaine des Gonaïves (FASIPGO) ; les Associations Irrigants (AI) des différentes zones agricole de la basse Plaine ; les Comités Pompes (CP) et l'ensemble des usagers du système. La représentation suivante donne l'organigramme de la structure de gestion du périmètre.

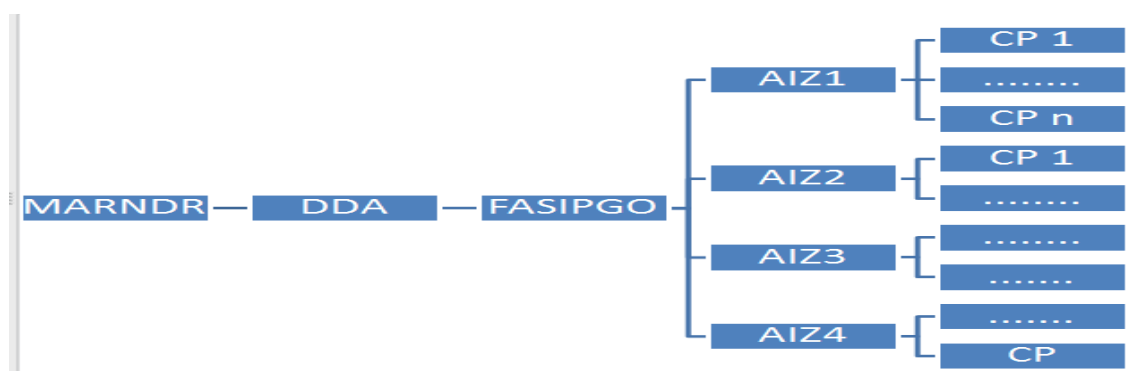


Figure 11 : Organigramme de la structure de gestion de la basse Plaine des Gonaïves

5.1.5.1 Redevances

Les redevances d'irrigation sont collectées auprès des usagers via un système de vente de bons d'irrigation. Ainsi, on paie vingt-cinq (25) gourdes par heure d'arrosage. Cependant, en fonction de la distance de la parcelle à irriguer par rapport à la pompe de desserte, les irrigants paient le double de la redevance pour compenser le temps de transit excessivement long de l'eau dans les canaux.

5.1.6 Le système de production

Les résultats sur le système de production de la basse Plaine de Gonaïves présentent les espèces cultivées, le calendrier cultural, le degré d'occupation de sol des cultures et le calendrier d'irrigation.

5.1.6.1 Espèces cultivées

Sur la basse Plaine des Gonaïves, les principales espèces rencontrées sont en grande partie des plantes cultivées comme : le haricot ; le maïs ; le mil ; le bananier ; l'aubergine ; la tomate ; l'épinard ; la carotte ; le poivron ; le gombo. Dans le temps, on savait cultiver le riz, mais de nos jours les problèmes de disponibilité de l'eau sur le périmètre compliquent cette pratique. Les espèces forestières et fruitières couramment rencontrées sont le chêne ; l'acajou ; le cèdre ; le manguier ; l'avocatier et le cocotier.

5.1.6.2 Calendrier cultural au niveau du périmètre

L'ensemble des cultures pratiquées sur le périmètre se répartissent suivant le calendrier décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Calendrier cultural de la basse Plaine des Gonaïves

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Haricot												
Maïs												
Poivron												
Manioc												
Aubergine												
												
Sorgho												
Banane												

5.1.6.3 Niveau d'occupation des superficies par chaque catégorie de culture

Les résultats des enquêtes de terrain permettent de classer les espèces cultivées sur la basse Plaine des Gonaïves et au niveau de la zone IV en particulier en fonction des superficies occupées au cours de l'année. Ainsi, les cultures les plus pratiquées sont l'aubergine occupant une superficie estimée à environ 40% de la superficie totale irriguée ; le haricot, occupant 30% de la superficie totale irriguée; le maïs, 15% ; la banane 10% et 5% pour les autres cultures.

5.1.7 Calendrier d'irrigation

Dans la réalité, la distribution d'eau au niveau de la zone de travail se fait sans un calendrier prédéfini. Théoriquement, l'eau devrait retourner dans un bloc d'irrigation tous les 10 jours afin que tous les planteurs puissent bénéficier l'eau régulièrement. Cependant, compte tenu de la mauvaise gestion et de l'insuffisance de la ressource, la planification des parcelles à irriguer se faisait chaque matin de concert avec les opérateurs de pompes et les planteurs. Ainsi, il arrive que des parcelles passent plus vingt-deux (22) jours sans se bénéficier d'un arrosage et la disponibilité de l'eau pour la parcelle dépend grandement de sa proximité avec la pompe qui dessert.

Conclusion partielle

L'étude de la caractérisation du périmètre d'irrigation de la basse Plaine des Gonaïves présente les symptômes d'un système qui fonctionne mal. Les résultats ont mis en évidence les problèmes de dégradation du bassin versant de la rivière la Quinte, du délabrement des infrastructures hydro-agricoles, de la faiblesse de la structure de gestion et de l'impossibilité du système de production de se tenir.

Au niveau du bassin versant, on constate une prédominance de savanes caractérisée par des sols nus dans des zones de pente allant jusqu'à 197% (Annexe 9). Ainsi, augmente le ruissellement de l'eau dans les mornes lors des épisodes pluvieuses. Ces problèmes ont également pour conséquences, la non-disponibilité des ressources en eau sur le périmètre. Toutefois, il existe certaines structures de protection des versants et des ravines sur le bassin versant. Ces structures concernent les seuils en maçonnerie, les seuils en gabion, les murets en pierre sèche et les rampes de paille (AGROCONSULT-HAITI SA, 2009) et (paysans, Com. personnelle).

Quant au niveau du périmètre, les infrastructures hydro-agricoles ne peuvent plus jouer leur rôle correctement. Le manque d'entretien limite leur capacité à mobiliser l'eau nécessaire à la satisfaction des besoins des cultures.

Pour ce qui concerne la structure de gestion, ça marche très mal puisque les élections pour le renouvellement des membres ne se tiennent pas régulièrement. Les

usagers ne font plus de confiance aux autorités des associations d'irrigants. Etant donné que la structure de gestion existe déjà, ce serait peut être facile de penser à une éventuelle réforme.

Le système de production qui comprenait des cultures de toutes sortes fait face à un ensemble de contraintes. La non-disponibilité de l'eau, les difficultés d'accès aux intrants agricoles particulièrement les engrais chimiques, l'absence d'assistance technique aux agriculteurs sont entre autres, les contraintes les plus criantes. A cet effet, il arrive que les agriculteurs abandonnent certaines cultures dites cultures de rentes pour pratiquer d'autres qui selon eux sont peu exigeantes.

5.2 Mesures de débits au niveau des pompes et des canaux primaires

Dans l'idée de quantifier le volume d'eau délivré par les stations de pompages ainsi que la quantité perdue dans le réseau des canaux, on a effectué ces mesures de débit dont on présente les résultats des travaux.

5.2.1 Débit au niveau des pompes

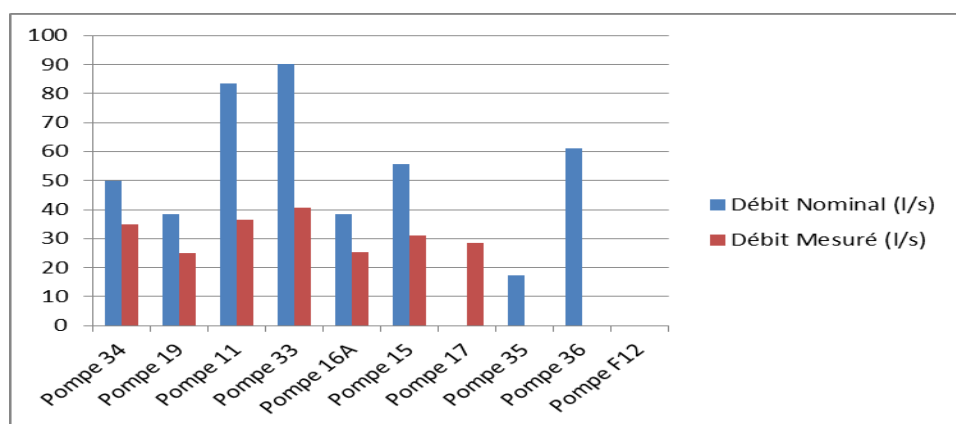
Des dix (10) pompes qui alimentent la zone IV, au cours de la période de réalisation de l'étude, sept (7) d'entre elles fonctionnent. Les trois (3) autres sont en panne, il y a quelques temps. Conformément à la méthodologie suivie, on a effectué des mesures de débits pour quantifier le volume d'eau disponible pour la zone (Tableau 8).

Tableau 8 : Débit des pompes desservant la zone IV de la basse Plaine

Numéro pompe	Zone / Localité	Débit Nominal (l/s)	Débit Mesuré (l/s)	Rendement
Pompe 34	Zone 4/ Bellance	50.00	35.00	0.70
Pompe 19	Zone 4/ Rofilier	38.33	25.05	0.65
Pompe 11	Zone 4/ Rofilier	83.30	36.64	0.44
Pompe 33	Zone 4/ Descordes	90.28	40.50	0.45
Pompe 16A	Zone 4/ Descordes	38.33	25.25	0.66
Pompe 15	Zone 4/ Bellance	55.56	31.20	0.56
Pompe 17	Zone 4/ Taras		28.43	
Pompe 35	Zone 4/ Taras	17.20	0	
Pompe 36	Zone 4/ Descordes	61.09	0	
Pompe F12	Zone 4/ Rofilier		0	
TOTAL	ZONE IV		222.07	

Source : Corvil (2004) et travail de terrain

Au niveau de la zone de travail, toutes les pompes fonctionnent en dessous de leur capacité, d'autres ne fonctionnent plus. Le graphe suivant nous permet de faire la comparaison entre les débits nominaux et les débits mesurés.

**Figure 12 : Débits des pompes desservant la zone d'étude**

5.2.2 Débits dans les canaux

La modalité de distribution de l'eau des pompes fonctionnelles dépend de la quantité d'eau livrée (quantité estimée à l'œil nu par les opérateurs de pompes). En fonction du débit livré par la pompe, deux secteurs d'irrigations différents peuvent être arrosés en même temps par les eaux de la même station de pompage. Les opérateurs parlent à cet effet de main d'eau estimée entre 20 et 25 l/s. Ainsi, quand le débit fourni est estimé à une main, toute l'eau est envoyée dans un seul canal et quand ce débit est évalué à une main et demie ou plus, l'eau est envoyée dans deux canaux. La séparation se fait grâce à un système de vannage installé à quelques mètres de la station sur le réseau de distribution. Tant qu'on avance sur les canaux de transport, on constate des pertes significatives d'eau remarquées par des diminutions de débit. Les facteurs conditionnant ces pertes sont :

- Prélèvement de l'eau des pompes pour répondre aux besoins en eau de la population de la zone ;
- Les gaspillages sur les réseaux de transports dus aux prises illégales et au manque d'entretien des canaux ;
- L'infiltration et l'évaporation de l'eau dans les canaux.

Pour chaque débit dérivé, on évalue ses variations sur des tronçons de cent (100) mètres de distance (Tableau 9 et Figure 13).

Tableau 9 : Débits (l/s) mesurés au niveau de certains canaux d'irrigations

	DD	DM (100)	DM (200)	DM (300)	DM (400)
P11	18.32	17.14	13.85	12.11	6.80
P33	20.25	19.11	16.17	13.08	10.42
P 17	28.43	25.42	21.37	19.60	
P 34	35.00	32.18	26.55		
F19	25.05	19.45	14.22		
P 16A	25.25				
P 15	31.20				

Légendes associées au Tableau 9 : DD : Débit dérivé ; DM (100m) : Débit mesuré à 100 mètres ; DM (200m) : Débit mesuré à 200 mètres ; DM (300m) : Débit mesuré à 300 mètres ; DM (400m) : Débit mesuré à 400 mètres.

Note. Les cellules vides décrivent les tronçons pour lesquelles qu'on n'a pas effectué de mesures de débits.

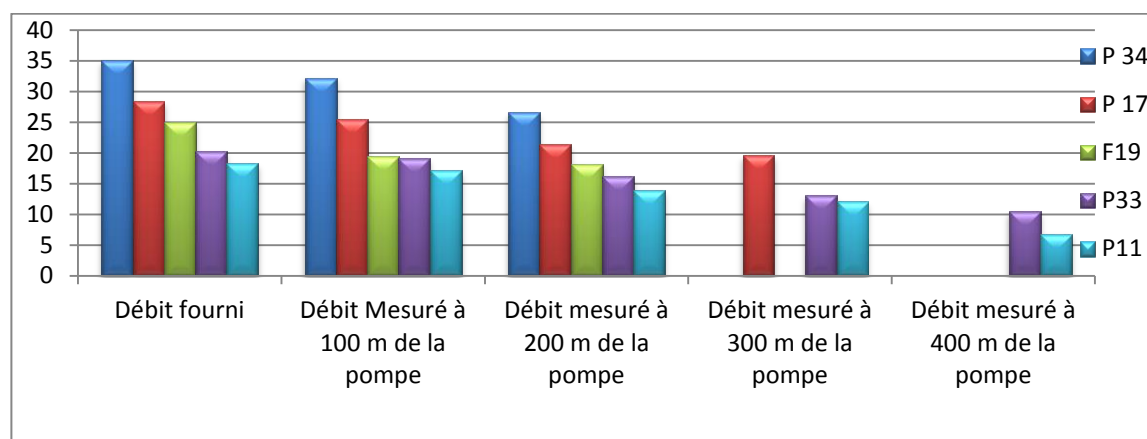


Figure 13: Evolution du débit (l/s) dans les canaux pour différentes pompes de la zone d'étude

Ces mesures ont été réalisées sur cinq pompes parmi celles qui desservent la zone de travail (Zone IV). Il s'agit des pompes 34, 17, 19, 33 et 11 dénommée respectivement P34, P17, P19, P33 et P11. Pour chacune d'entre elles, on a mesuré le débit fourni, le débit dérivé vers le canal à étudier, et la mesure du débit sur des tronçons de 100 mètres le long du canal jusqu'à la parcelle irriguée.

Conclusion partielle

On a étudié les débits au niveau des stations de pompages et au niveau des canaux d'irrigation. Les résultats ont montré qu'au niveau de toutes les stations de pompages étudiées, l'eau fournie par les pompes est nettement inférieure par rapport au débit potentiel qu'elles pourront offrir. Le diagnostic des stations n'a pas été pris en compte afin d'évaluer les causes.

Pour ce qui concerne les mesures de débit dans les canaux, on constate tout simplement des diminutions considérables de volume d'eau le long du trajet pour arriver

jusqu'aux parcelles d'irrigations. Ces variations nous ont permis d'évaluer l'efficacité de transport le long des canaux d'irrigations.

5.3 Evaluation de l'efficacité du système d'irrigation

A ce niveau, on était intéressé à l'évaluation de l'efficacité du système de transport et du système d'application de l'eau à la parcelle.

5.3.1 Evaluation de l'efficacité du système de transport

L'efficacité du système de transport traduit la quantité d'eau arrivée à l'entrée des parcelles en prenant en compte les pertes sur les canaux de transport. Pour cinq canaux transportant de l'eau venant des pompes P33 ; P11 ; P19 ; P34 et P17, on a eu les résultats présentés dans le Tableau 9. Les différentes valeurs de l'efficacité ont été calculées suivant les formules décrites dans les paragraphes : 2.3.1.3.1 et elles sont traduites pour chacune des pompes à travers les graphes suivantes

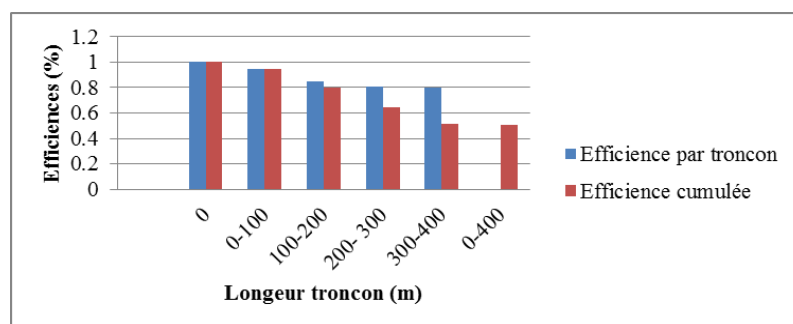


Figure 14 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 33

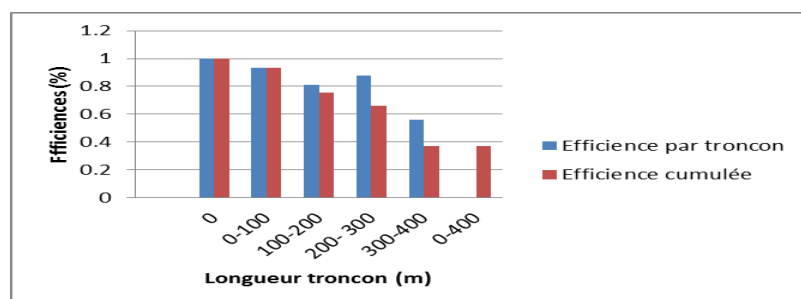


Figure 15 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 11

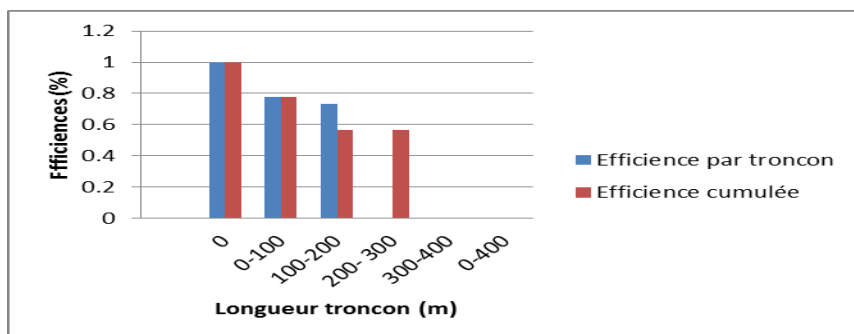


Figure 16 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 19

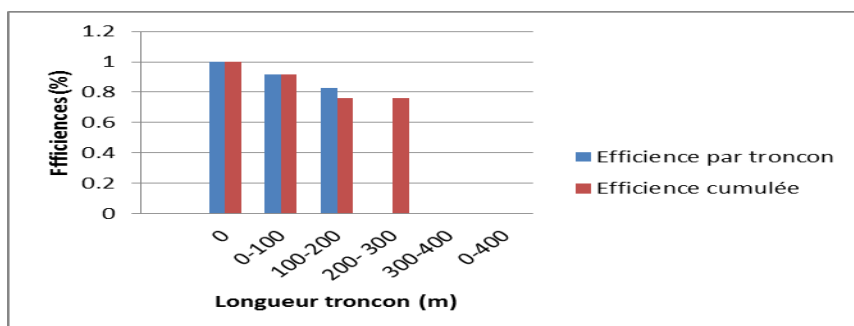


Figure 17 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 34

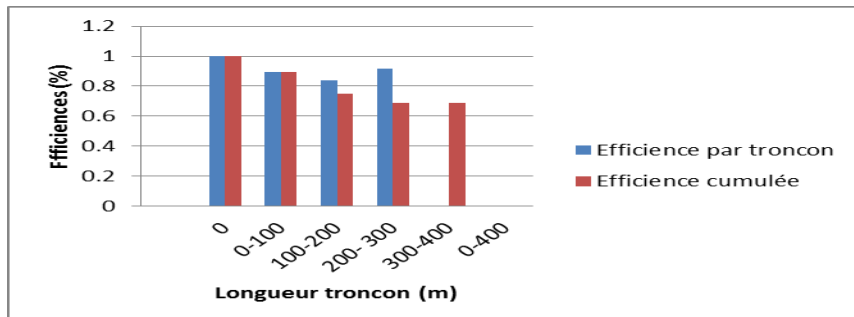


Figure 18 : Efficacité de transport dans le cas d'un canal alimenté par la pompe 17

Récapitulatif

Le contexte des canaux au niveau de la basse Plaine et de la zone IV en particulier nous permet d'enregistrer des pertes considérables sur le réseau de transport. Ainsi, l'efficacité de transport varie suivant la position de la station de mesure par rapport à la pompe. Sur les premiers tronçons de 100 mètres, l'efficacité moyenne obtenue pour débits transités dans les canaux tourne autour de 89 % ; sur 200 mètres,

elle tourne autour de 73 % ; sur 300 mètres, 67 % et enfin, 44 % sur 400 mètres (voir Figure 19).

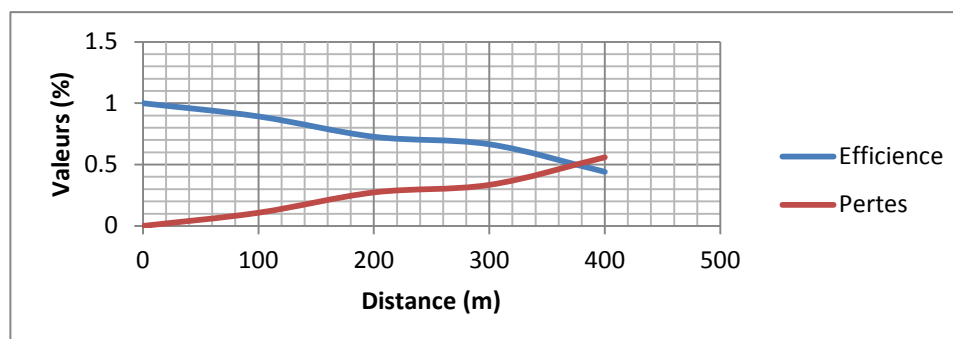


Figure 19 : Efficacité et pertes d'eau sur le réseau de transport de la basse Plaine des Gonaïves

5.3.2 Efficacité d'application de l'eau d'irrigation

L'efficacité d'application, telle qu'elle a été définie dans les paragraphes précédents décrit la fraction de la dose d'arrosage disponible pour la plante.

Elle est fonction de la dose nette d'arrosage, de la vitesse d'infiltration et de la durée d'application de l'eau à la parcelle.

5.3.2.1 Calcul de la dose nette d'arrosage

La dose nette d'arrosage appelée encore irrigation nette définit la quantité d'eau apportée par irrigation pour satisfaire les strictes besoins en eau de la culture. Dans le cadre de ce travail, elle a été déterminée par la méthode proposée par la FAO à partir du logiciel CROPWAT, (Tableau 10).

Tableau 10 : Doses d'irrigation nette d'irrigation nécessaire pour les cultures rencontrées sur les parcelles étudiées

Culture	Date de plantation	Nombre d'arrosage nécessaire	Dose nette moyenne nécessaire par arrosage
Haricot	8/12/2015	5	51.88
Haricot	15/12/2015	5	51.08
Haricot	20/12/2015	6	56.93
Haricot	15/12/2015	5	51.08
Haricot	8/12/2015	8	51.88
Haricot	18/12/2015	5	52.32
Aubergine	16/11/2015	10	56.91
Aubergine	20/10/2015	9	57.03
Aubergine	11/10/2015	8	54.34
Sorgho	23/10/2015	3	115.13

5.3.2.2 Doses d'irrigations réellement fournies

Les doses d'irrigations réellement fournies aux parcelles sont fonction du débit de l'eau dans les canaux de transport, de la durée d'application de cette eau au niveau des parcelles et du taux d'infiltration. La méthodologie proposée par la FAO en 1990 dans le cadre de la détermination de l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle pour l'irrigation en bassin nous a permis d'évaluer les doses d'irrigation couramment pratiquées au niveau de la basse Plaine. Pour cela, la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol est l'un des paramètres clés nécessaires à la détermination de la dose d'arrosage.

5.3.2.3 Vitesse d'infiltration au niveau de la basse Plaine

La vitesse d'infiltration dans le cadre de ce travail a été déterminée à partir des études in situ en utilisant le double anneau de Muntz. Pour exprimer analytiquement l'infiltration au niveau du sol, on a utilisé le modèle Kostikov à travers lequel la hauteur cumulative a été donnée par la relation $Z = a \cdot t^n$. Le graphe suivant exprime la hauteur d'eau infiltrée en fonction du temps. Quant aux paramètres a et n , éléments clés

nécessaires au tracé de la courbe d'infiltration (Figure 20), les démarches de calcul permettant de les trouver sont présentées en annexe.

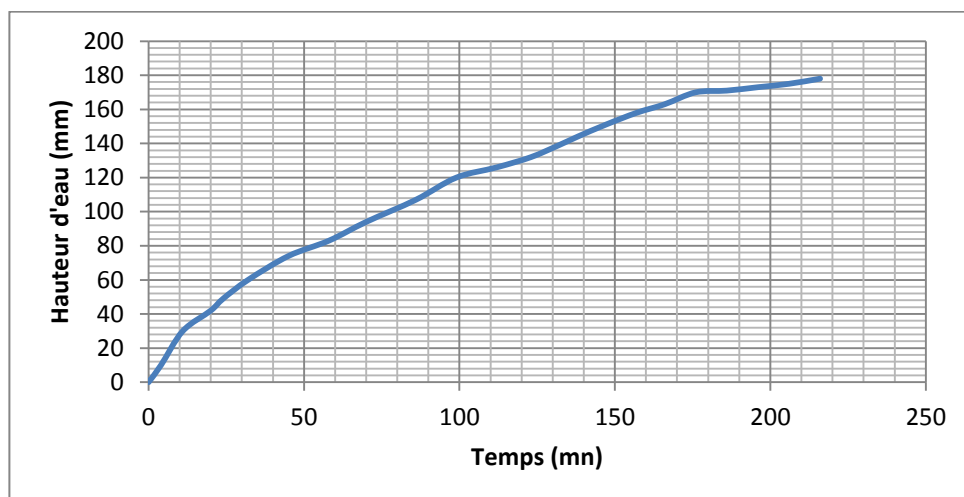


Figure 20: Courbe d'infiltration au niveau de la basse Plaine des Gonaïves

5.3.2.4 Calcul de l'efficience d'application de l'eau à la parcelle

L'efficience d'application de l'eau à la parcelle s'obtient en mettant en relation la dose moyenne d'arrosage nécessaire à la culture et la dose réellement fournie. Voir le tableau qui suit.

Tableau 11 : Efficience d'application de l'eau à la parcelle

# Parcelle	Culture	DP	DMN	DA	EA	ER	CU
1	Haricot	8/12	51.88	39		0.75	0.93
2	Haricot	15/12	51.08	56	0.91		0.93
3	Haricot	20/12	56.93	49		0.86	0.94
4	Haricot	15/12	51.08	57	0.90		0.96
5	Haricot	8/12	51.88	49		0.94	0.94
6	Haricot	18/12	52.32	56	0.93		0.95
7	Aubergine	16/11	56.91	43		0.76	0.92
8	Aubergine	20/10	57.03	59	0.97		0.92
9	Aubergine	11/10	54.34	55	0.98		0.95
10	Sorgho	23/10	115.13	42		0.36	0.95

Légendes : **DP** : Date de plantation ; **DMN** : Dose moyenne nécessaire ; **DA** : Dose apportée ; **EA** : Efficience d'application ; **ER** : Efficience de réquisition ; **CU** : Coefficient d'uniformité.

Conclusion partielle

La particularité du contexte étudié, liée au caractère argileux des sols de la basse Plaine des Gonaïves, a mis en évidence que l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle peut atteindre plus que 90%. Contrairement à ce qui est connu sur les techniques d'irrigation de surface, cette valeur de l'efficacité est généralement considérée comme excellente. Quant à l'efficacité du système de transport, elle est de l'ordre de 86% pour chaque tronçon de 100 mètre de canal parcouru. Dieuconserve en 2004 a présenté un tableau donnant les valeurs maximales de l'efficacité de transport et d'application de l'eau à la parcelle en Haïti en faisant une étude de cas sur deux périmètres différents (Tableau 3). Les valeurs maximales obtenues pour l'efficacité d'application sont comprises entre 70 et 80%. Ces valeurs sont inférieures aux résultats des travaux au niveau de la basse Plaine de Gonaïves. Quant aux valeurs maximales obtenues pour l'efficacité de transport au niveau des périmètres étudiés, elles sont de l'ordre de 70 à 90% suivant que le périmètre est réhabilité ou pas. Ces résultats pourraient être bien rimés avec ceux obtenus dans le cadre de la situation actuelle du périmètre de la basse Plaine des Gonaïves. Mais ceci, en ne dépassant pas deux-cents (200) mètres de canal avec l'eau d'irrigation. En ce qui concerne l'efficacité d'application au niveau de la zone de l'étude (basse Plaine des Gonaïves), plusieurs facteurs expliquent les résultats trouvés.

1. Petitesse des bassins qui sont de l'ordre 10 m * 3 m ;
2. Faible débit à l'entrée des bassins de l'ordre de 5 à 10 l/s ;
3. Texture des sols ;
4. Pente relativement nulle à l'intérieur des bassins ;
5. Habilité des agriculteurs dans les pratiques d'arrosages.

D'un autre côté, les doses apportées ne suffisent pas pour répondre aux besoins moyens des cultures. A ce niveau, on parle de l'insuffisance des doses, ou de l'inefficacité des doses apportées. Le paramètre clé traduisant ainsi cette insuffisance est l'efficacité de réquisition. Il indique le pourcentage des besoins qui sont satisfaits lors des épisodes d'irrigation.

Mise à part l'efficience d'application de l'eau à la parcelle et l'efficience de réquisition, l'uniformité d'arrosage est un autre paramètre permettant de juger la performance de l'irrigation.

Les résultats des mesures donnent des valeurs de coefficient d'uniformité allant de 92 à 96% dans le cas des parcelles étudiées au niveau de la zone de travail.

Une autre question doit se poser : les problèmes liés à la disponibilité de l'eau au niveau de la zone IV, insuffisance ou mauvaise gestion ?

Le premier volet de la question à savoir l'insuffisance est évaluée en comparant le volume total d'eau disponible sur le sous périmètre aux besoins théoriques des cultures. Quant à la deuxième partie de la question, les différentes formes de pertes ont été évaluées, (*voir la conclusion partielle précédente*).

5.3.3 Besoins en eau du périmètre

La détermination des besoins en eau du périmètre est nécessaire pour comparer les exigences en eau des cultures par rapport à disponibilité de la ressource. Ces besoins sont évalués en fonction du débit fictif continu.

5.3.3.1 Calcul du débit fictif continu

Le débit fictif continu (DFC), traduit la demande en eau mensuelle à satisfaire sur le périmètre. Au niveau de la zone IV de la basse Plaine des Gonaïves, le DFC est décrit par le tableau qui suit (Tableau 12).

Tableau 12 : Débit fictif continu pour la zone de l'étude (zone IV)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jui.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
DFC	0.60	0.49	0.42	0.99	0.52	0.16	0.61	0.57	0.35	0.15	0.25	0.59

Sources : (DDA-A, 2008)

Le DFC le plus important remarqué est celui correspondant au mois d'avril soit **DFC = 0.99 l/s/ha**.

5.3.3.2 *Evaluation du débit nécessaire pour l'arrosage des cultures pratiquées*

Le débit nécessaire pour couvrir la demande en eau sur le périmètre se calcul par la relation suivante : Débit = DFC * Superficie de la zone

Ce débit est écrit: $D = 0.99 \text{ l/s/ha} * 600 \text{ ha}$
 $= 594 \text{ l/s}$

5.3.3.3 *Evaluation du débit disponible pour l'arrosage des cultures sur le périmètre*

Le volume total d'eau disponible sur le périmètre s'obtient en faisant la sommation de tous les débits livrés par les différentes stations de pompage sur le périmètre. Ce volume est évalué à 222.07 l/s soit 0.22 m³/s (réf. Tableau 8)

Conclusion partielle

L'analyse du débit nécessaire et de celui disponible pour l'irrigation des parcelles de la zone IV montre que seulement 37.38 % des besoins en eau du périmètre sont satisfaits. On a donc besoin de 371.93 l/s supplémentaires pour couvrir les besoins du périmètre. Quant au niveau de toute la basse Plaine, les résultats des travaux de Corvil en 2004 donnent la limite maximale d'exploitation des eaux de la nappe. Cette limite est estimée à 40 millions de mètres cubes par année. L'analyse des besoins et de la disponibilité de l'eau (eau de surface et eau souterraine) au niveau de la basse Plaine des Gonaïves montre qu'une exploitation de 36 266 400 m³/an de la nappe serait assez suffisante pour compléter les apports d'eau provenant des rivières sur le périmètre. Cette valeur pour l'exploitation de la nappe (36 266 400 m³/an) trouvée est en parfaite adéquation avec les résultats des travaux de Corvil en 2004.

6 PROPOSITIONS

La basse Plaine des Gonaïves est une zone à haute potentialité agricole d'après les enquêtes de la FAO en 1967. Le principal facteur limitant est la non-disponibilité des ressources en eau en quantité suffisante pour la satisfaction des besoins des cultures. Elle est dominée par le bassin versant de la rivière la Quinte lui conférant ainsi la possibilité d'être arrosée par les eaux de surface de la rivière et les eaux souterraines exploitées grâce à des stations de pompage électrique installées.

La faible pluviosité de la région, les saisons de sécheresse prolongées, la présence des pompes fonctionnant en dessous de leur capacité ainsi que les pompes non fonctionnelles, font que les problèmes d'indisponibilité des ressources en eau persistent encore jusqu'à date.

Mise à part de quelques canaux primaires partant des seuils sur les rivières, tous les canaux sont en terre battue à l'exception des premiers 10 mètres de canal se trouvant juste à proximité des stations de pompes. Toutes ces situations sont à l'origine des problèmes de la rareté d'eau sur le périmètre provoquant ainsi des écarts entre arrosages trop importants et nuisible à la croissance et le bon développement des cultures.

Pour une amélioration de l'efficacité du système et favoriser la disponibilité de l'eau sur le périmètre, les interventions nécessaires doivent se faire à différents niveaux en prenant en compte: le bassin versant ; infrastructures physiques et la structure de gestion du périmètre.

Ainsi, les propositions suivantes ont été formulées :

Bassin versant

A court terme

- Renforcer le comité de gestion du bassin versant de la rivière Quinte ;
- Procéder à la mise en place des structures de protection du bassin versant contre l'érosion de telle manière à limiter le ruissellement et favoriser l'infiltration.

A long terme

- S'investir dans le processus de reboisement des montagnes du bassin versant.

Infrastructures physiques

- Réhabiliter les stations de pompages en panne et procéder à la mise en place de nouvelles stations de telle manière à fournir au moins 371.93 l/s en plus des 222.02 l/s mesurés en décembre 2015 au niveau de la zone IV ;
- Etablir un calendrier de contrôle pour toutes les stations de pompages afin de se renseigner régulièrement sur leur mode de fonctionnement ;
- Mettre en place un système d'alimentation électrique pouvant garantir l'autonomie de la basse Plaine en matière de l'énergie ;
- Procéder à la construction de 5000 mètres linéaires de canaux revêtu au niveau de la zone IV afin de limiter les pertes qui existe sur les réseaux de transports, à raison de 500 mètres linéaires dans les limites de chacune des stations de pompages ;
- Réhabiliter et redynamiser les boutiques d'intrants agricoles ;
- Faciliter le curage régulier des ouvrages de prises sur les rivières à l'entrée des saisons pluvieuses ;
- Inciter les paysans à entretenir régulièrement les canaux d'irrigation.

Structure de gestion

- Renforcer la structure de gestion du périmètre par la réalisation des séances de formations réguliers pour les acteurs ;
- Etablir un calendrier saisonnier pour le pilotage de l'irrigation sur le périmètre ;
- Définir les mains d'eau à pratiquer pour chaque bloc d'irrigation
- Etablir de très bonne relations entre les acteurs du système, à savoir : les Agriculteurs ; les comités des différentes associations ; la Direction Départementale Agricole du Ministère de l'Agriculture.

CONCLUSION

Les résultats de l'étude ont montré que le principal facteur limitant au niveau de la zone de travail est la non-disponibilité des ressources en eau en quantité suffisante pour la satisfaction des besoins des cultures. La sédimentation des ouvrages de prises sur les rivières, les crues exceptionnelles récurrentes sont des exemples clairs décrivant la dégradation du bassin versant qui surplombe la zone. Cette dégradation a de graves conséquences sur la disponibilité de l'eau dans les rivières, surtout pendant la saison sèche qui va de Novembre à Mai.

Quant aux stations de pompages qui devraient répondre aux besoins en eau des cultures dans les cas d'insuffisance de l'eau des rivières, sur les dix (10) stations rencontrées dans la zone d'étude, sept (7) seulement fonctionnent, et ceci avec un rendement moyen autour de 58%. L'eau livrée par les pompes est distribuée dans le réseau des canaux qui en grande partie sont en terre battue. L'efficacité de transport mesurée dans les canaux à partir de la méthodologie élaborée dans le cadre de ce travail s'estime à 86% pour chaque tronçon de cent (100) mètres de canal parcouru.

Les problèmes liés aux pompes en panne font que l'eau dans les canaux dépasse parfois les limites de 400 mètres linéaires pour aller arroser d'autres blocs d'irrigation en dehors de l'aire de fonctionnement de la pompe en question. De telles situations ont trois (3) conséquences:

1. L'irrigant doit payer au moins, l'équivalent d'une heure d'arrosage en plus pour compenser le temps que prend l'eau pour arriver jusqu'à sa parcelle ;
2. Le débit arrivé est parfois tellement faible, qu'il ne peut pas répondre aux besoins des cultures favorisant ainsi la sous irrigation des parcelles ;
3. L'espacement entre les arrosages dépasse dans la majorité des cas, vingt-deux (22) jours et provoquant ainsi de graves problèmes de stress hydriques pour les cultures.

L'évaluation de l'efficacité d'application de l'eau décrit très peu de pertes par colature et par percolation profonde au niveau du périmètre. Pour les dix (10) parcelles étudiées, cinq (5) d'entre elles présentent une efficacité d'application de l'ordre de 93.9%. Pour

les cinq (5) autres parcelles, l'eau disponible sur le périmètre est à peine suffit pour couvrir environ 73% de la demande des cultures.

De tout ce qui précède, on comprend très bien que les problèmes d'insuffisance des ressources en eau sur le périmètre est loin d'être un problème de pertes excessives. Ce qui constitue une infirmation à notre hypothèse de départ à savoir : « Les pertes excessives d'eau au niveau de la basse Plaine des Gonaïves sont l'une des causes de l'insuffisance de la ressource nécessaire à la satisfaction des besoins en eau des cultures».

Par contre, l'analyse des résultats obtenus prouve que cette insuffisance de la ressource pour les cultures sur le périmètre est liée tout simplement à une mauvaise exploitation de l'eau disponible au niveau de la nappe phréatique.

Toutefois, ce travail présente certaines limites puisque :

- On n'a pas mené l'étude sur toute la basse Plaine des Gonaïves ;
- Le diagnostic des stations de pompes n'a pas été réalisé ;
- L'étude a été menée seulement pendant la saison sèche.

Par conséquent, d'autres études plus approfondies peuvent être réalisées par d'autres chercheurs en vue d'une évaluation complète de l'efficacité technique du système d'irrigation de la basse Plaine et de faire d'autres propositions pour son amélioration.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGROCONSULT-HAITI SA. (2009). *Etude des systèmes de production agricole et des associations paysannes dans les bassins versants de la Rivière La Quinte et de la Rivière Grise*. Port-au-Prince, Haiti, 251 p.
- AUBRIOT, O. (2000). *Comment lire un système d'irrigation? Une approche pour l'étude des systèmes irrigués traditionnels, illustrée de cas pris au Népal*. UCL, Louvain, Belgique, 21 p.
- CIRAD, O. B.-S. (1993). *Mémento de l'Agronome* (éd. Quatrième). France, 1635 p.
- Corvil, G. (2004). *Diagnostic du système d'irrigation par pompage d'eau souterraine de la basse plaine des Gonaïves (Pont Tamarin) afin de déterminer les causes de son dysfonctionnement*. Mémoire, FAMV, Port-au-Prince, Haiti.
- DDA-A. (2008). *Etude de la faisabilité technique pour la réhabilitation du système d'irrigation de la Basse Plaine des Gonaïves*. Gonaïves.
- Dieuconserve, E. (2004). *Evaluation technique des performances du système d'irrigation alimentant Dignes Brèches, Laraque et Fabias (Vallée de l'Artibonite)*. Mémoire de sortie, FAMV, Port-au-Prince, Haiti.
- Elius, E. (2008). *Evaluation de la performance hydraulique de l'application de l'eau à la parcelle sur le périmètre irrigué de Dlo Piti (1ère section, Petit-Goave)*. Mémoire, FAMV, Port-au-Prince, Haiti, 52 p.
- Eno, H. (2013). *Notes de cours petits périmètres irrigués*.
- FAO. (1969). *Enquete sur les terres et les eaux dans la plaine des Gonaïves et du Département du Nord Ouest*. Rapport enquete, Port-au-Prince, Haiti, 164 p.
- FAO. (1990). *Gestion des eaux en irrigation*. Rome, Italie, 74 p.
- FAO. (2002). *GUIDE SECTORIEL D'IRRIGATION / Programme d'analyse socioéconomique selon le genre*. Rome, Italie, 111 p.

- Felix, R. (2013). *Notes de cours, Irrigation II*.
- Guillaume, H. (2013). *Notes de cours, Travaux pratiques d'irrigation*.
- HANAFI, S. (2011). *Approche d'évaluation de la performance des systèmes irrigués à l'échelle des exploitations agricoles. Cas du périmètre irrigué de Borj Toumi (Vallée de la Metjerda-Tunisie)*. Thèse, Agro Paris Tech, Paris, France, 103 p.
- HARBOUZE, R. (2009). *Efficacité et efficience économique comparees des systèmes de production dans les differentes situations d'accès à la ressource en eau: Application dans le périmètre du Gharb (Maroc)*. Thèse, CIHEAM, Montpellier, France.
- HILAIRE, S. (1995). *LE PRIX D'UNE AGRICULTURE MINIERE*. Port-au-Prince, Haiti, 302 p.
- IHSI. (2007). *Inventaires des ressources et des potentialités des communes d'Haiti*. Port-au-Prince.
- Kebreau, A. (1987). *Méthodologie proposée pour estimer l'efficience d'application de l'eau d'irrigation à la parcelle*. Mémoire, FAMV, Port-au-Prince, Haiti, 67 p.
- LOUHICHI, K. (1999). *L'amélioration de l'efficience de l'irrigation pour une économie d'eau: cas d'un périmètre irrigué en Tunisie*. CIHEAM-IAMM, 59 p.
- MARNDR. (2012). *Politique d'irrigation du MARNDR (2012-2016)*. Port-au-Prince, Haiti, 49 p.
- Noel, J. R. (2009, Mai 4). *HAITI: GONAIVES, DES SOLUTIONS A LA MESURE DU DEFI ENVIRONNEMENTAL HAITIEN*. p. 15.
- René, C., Alain, G., & Jacques, M. (2014). *Systèmes d'irrigation*. Paris, France, 48 p.
- Salah ER-RAKI. (2007). *Estimation des besoins en eau des cultures dans la région de Tensift AL Haouz, expérimentation et télédétection*. Thèse, Université CADI AYYAD, Toulouse, France, 128 p.

Supreme, G. (2011). *Évaluation de la Performance Technique et du Fonctionnement du Système d'Irrigation d'André*. Mémoire, FAMV, Port-au-Prince, Haiti, 50 p.

Tiercelin, J. R. (2006). *Traité d'irrigation*. Paris, France.

ANNEXES

Annexe 1: Méthode de détermination de la pente moyenne pour estimer a et n dans l'équation de Kostiakov

D'abord, linéarisons l'équation $Z = a \cdot t^n$

$\text{Log } Z = \text{Log } a + n \cdot \text{Log } t$ avec n: pente de la droite

Calcul de n_i pour chaque lecture de Z

$$n_i = (\text{Log } Z_i - \text{Log } Z_{i-1}) / (\text{Log } t_i - \text{Log } t_{i-1})$$

$$n = \sum n_i / x \text{ avec } x : \text{le nombre de } n_i \text{ retenu}$$

Calcul de $\text{Log } a$

$$\text{Log } a = \text{Log } Z - n \cdot \text{Log } t$$

$\text{Log } Z = \text{Moyenne des } \text{Log } Z_i$ et $\text{Log } t = \text{Moyenne des } \text{Log } t_i$

$$a = e^y$$

Avec $y = \text{Log } Z - n \cdot \text{Log } t$

Z : Infiltration cumulée (hauteur d'eau qui s'infiltré à travers une surface horizontale de sol unitaire, en une période t donnée).

La Vitesse d'infiltration est donnée en (mm/h) et se calcul par la relation:

$$I = a n t^{n-1}$$

avec

a : Coefficient pour des conditions de sol données ;

n: Constante pour un taux d'humidité donné (positif mais inférieur à l'unité).



Éléments de mesure dans le cadre de la réalisation du test d'infiltration 14 janvier 2015 (suite)

Heure de l'observation	Intervalle de temps	Temps Cumulé	Niveau d'eau lu		Infiltration	Taux d'infiltration	Taux d'infiltration	infiltration cumulée
			Avant remplissage	Après remplissage				
hr:mn:s	mn	mn	mm	mm	mm	mm/mn	mm/hr	Mm
7:54:00	0	0		80	0			
7:58:00	4	4	70	105	10	2.50	150.00	10
8:05:00	7	11	85	102	20	2.86	171.43	30
8:14:00	9	20	90	101	12	1.33	80.00	42
8:18:00	4	24	94	102	7	1.75	105.00	49
8:26:00	8	32	91	104	11	1.38	82.50	60
8:39:00	13	45	90	100	14	1.08	64.62	74
8:52:00	13	58	91	103	9	0.69	41.54	83
9:04:00	12	70	92	104	11	0.92	55.00	94
9:20:00	16	86	91	103	13	0.81	48.75	107
9:33:00	13	99	90	101	13	1.00	60.00	120
9:46:00	13	112	95	104	6	0.46	27.69	126
9:57:00	11	123	98	102	6	0.55	32.73	132
10:06:00	9	132	95	101	7	0.78	46.67	139
10:12:00	6	138	96	102	5	0.83	50.00	144
10:21:00	9	147	95	100	7	0.78	46.67	151
10:31:00	10	157	93	100	7	0.70	42.00	158
10:40:00	9	166	95	105	5	0.56	33.33	163
10:50:00	10	176	98	100	7	0.7	42	170
11:00:00	10	186	99	100	1	0.1	6	171
11:10:00	10	196	98	100	2	0.2	12	173
11:20:00	10	206	98	100	2	0.2	12	175
11:30:00	10	216	97	97	3	0.3	18	178

Paramètre	description	Valeur calculée
$I = \text{ant}^{n-1}$ (mm/h)	Vitesse d'infiltration instantanée	2.62
A	Coefficient pour les conditions de sol données	7.47
N	Constante pour un taux d'humidité donné	0.59

Annexe 2 : Doses nette d'arrosage pour certaines cultures dans la plaine des Gonaïves.

Haricot semé le 15 décembre			
Date	Jour après la plantation	Phase	Irrigation nette (mm)
15 Décembre	1	Initiale	32.3
31 Décembre	17	Initiale	39.4
20- Janvier	37	Croissance	55.2
5 Février	53	Mi-saison	63.4
21 Février	69	Mi-saison	65.1
14- Mars	Fin	Fin	
Moyenne			51.08

Aubergine semée le 16 novembre			
Date arrosage	Jour après la plantation	Phase	Irrigation nette (mm)
16-Novembre	1	Initiale	27.8
22-Novembre	7	Initiale	20.2
1 Décembre	16	Initiale	27.6
12 Décembre	27	Initiale	33.6
26 Décembre	41	Croissance	45.6
12-Janvier	58	Croissance	65.1
1 Février	78	Mi-saison	84.1
20 Février	97	Mi-saison	83.5
10-Mars	115	Mi-saison	84.1
1 Avril	137	Fin	97.5
9 Avril	Fin	Fin	
Moyenne			56.91

Sorgho semé le 23 novembre			
Date	Jour après la plantation	Phase	Irrigation nette (mm)
5 Décembre	13	Initiale	67.2
10 Janvier	49	Croissance	134.9
18 Février	88	Mi-saison	143.3
27 Mars	Fin	Fin	
Moyenne			115.13

Annexe 3: Infiltration dans les bassins pour les différentes parcelles étudiées au niveau de la zone de travail

n ^{os} piquet	Dist Canal à partir de l'amenée	Temps de progression			Durée 1	Temps de recul			Durée 2	Durée de contact	Dose fournie
unité	M	H	mn	s	S	h	mn	s	s	mn	mm
Parcelle 1 / Haricot semé le 8 décembre											
1	0	3	0	0	0	3	17	43	1063	18	42
2	2	3	1	45	105	3	17	43	1063	16	40
3	4	3	3	5	185	3	18	20	1100	15	39
4	6	3	4	7	247	3	18	20	1100	14	37
5	8	3	5	20	320	3	18	50	1130	14	36
Moyenne											39
Parcelle 10 / Sorgho semé le 23 octobre											
1	0	3	0	0	0	3	19	7	1147	19	44
2	2	3	1	6	66	3	19	7	1147	18	43
3	4	3	2	8	128	3	20	30	1230	18	43
4	6	3	2	50	170	3	20	35	1235	18	42
5	8	3	4	18	258	3	20	35	1235	16	40
6	10	3	5	12	312	3	20	50	1250	16	39
Moyenne											42
Parcelle 2 / Haricot semé 15 décembre											
1	0	7	0	34	0	7	33	38	1984	33	60
2	2	7	2	24	110	7	33	53	1999	31	59
3	4	7	3	51	197	7	34	13	2019	30	58
4	6	7	5	55	321	7	34	16	2022	28	55
5	8	7	7	37	423	7	34	16	2022	27	53
6	9	7	10	22	588	7	34	16	2022	24	50
Moyenne											56
Parcelle 7 / Aubergine semé le 16 Novembre											
1	0	8	30	20	0	8	52	10	1310	22	48
2	2	8	32	52	152	8	52	22	1322	20	45
3	4	8	34	45	265	8	52	22	1322	18	42
4	6	8	35	34	314	8	53	22	1382	18	42
5	8	8	37	30	430	8	53	22	1382	16	40
Moyenne											43

Parcelle 8 / Aubergine semé le 20 Octobre											
1	0	11	0	0	0	11	36	17	2177	36	64
2	2	11	3	45	225	11	37	41	2261	34	61
3	4	11	5	31	331	11	37	22	2242	32	59
4	6	11	9	52	592	11	38	36	2316	29	56
5	7	11	11	12	672	11	38	29	2309	27	54
Moyenne										59	
Parcelle 5 / Haricot semé le 8 Décembre											
1	0	2	25	44	0	2	50	34	1490	25	51
2	2	2	26	12	28	2	50	21	1477	24	51
3	4	2	27	36	112	2	50	54	1510	23	49
4	6	2	29	43	239	2	52	18	1594	23	49
5	8	2	31	55	371	2	52	29	1605	21	46
Moyenne										49	
Parcelle 4 / Haricot semé le 15 Décembre											
1	0	4	0	0	0	4	31	40	1900	32	59
2	2	4	0	55	55	4	32	23	1943	31	59
3	4	4	2	10	130	4	32	23	1943	30	57
4	6	4	3	20	200	4	33	50	2030	31	58
5	8	4	5	12	312	4	33	50	2030	29	56
6	9	4	7	30	450	4	33	50	2030	26	53
Moyenne										57	
Parcelle 9 / Aubergine semé le 11 Octobre											
1	2	10	0	0	0	10	30	54	1854	31	58
2	4	10	1	35	95	10	31	25	1885	30	57
3	6	10	2	42	162	10	33	18	1998	31	58
4	8	10	5	45	345	10	33	30	2010	28	55
5	10	10	7	19	439	10	33	29	2009	26	53
6	12	10	8	22	502	10	33	57	2037	26	52
Moyenne										55	
Parcelle 3 / Haricot semé le 20 Décembre											
1	0	1	0	0	0	1	25	43	1543	26	52
2	2	1	1	10	70	1	25	52	1552	25	51
3	4	1	2	32	152	1	26	23	1583	24	50
4	6	1	3	33	213	1	26	18	1578	23	49
5	8	1	5	17	317	1	26	51	1611	22	47

6	10	1	6	35	395	1	26	16	1576	20	45
Moyenne											49
Parcelle 7 / Haricot semé le 16 Novembre											
1	0	9	0	0	0	9	30	32	1832	31	58
2	2	9	2	23	143	9	32	28	1948	30	57
3	4	9	3	53	233	9	33	31	2011	30	57
4	6	9	5	41	341	9	33	55	2035	28	55
5	7	9	7	13	433	9	33	43	2023	27	53
Moyenne											56

Annexe 4 : Eau disponible et besoins en eau d'irrigation dans le bassin versant de la rivière La Quinte.

# Périmètre	Superficie (ha)	Eau disponible et prêt à exploiter (m ³ /s)		Besoins en eau (m ³ /s)		Besoins en eau (m ³ /an)	
		Surface	Souterraine	Surface	Souterraine	Surface	Souterraine
1	2000	3.2	0	1.97	0	62 125 920	0
2	2400	1.23	non mesuré	1.23	1.15	38 789 280	36 266 400
3	600	non mesuré	non mesuré	0.3075	0.2875	9 697 320	9 066 600

Commentaire :

Le numéro 1 représente les périmètres qui se situent en amont du périmètre de la basse Plaine des Gonaïves ;

Le numéro 2 représente le périmètre de la basse Plaine des Gonaïves ;

Et enfin, le numéro 3 représente le sous périmètre étudié (Zone IV de la basse Plaine des Gonaïves).

Annexe 5: Devis estimatif pour la construction de 500 mètres linéaires (mL) de canal en maçonnerie pouvant véhiculer un débit de 100 l/s environ.

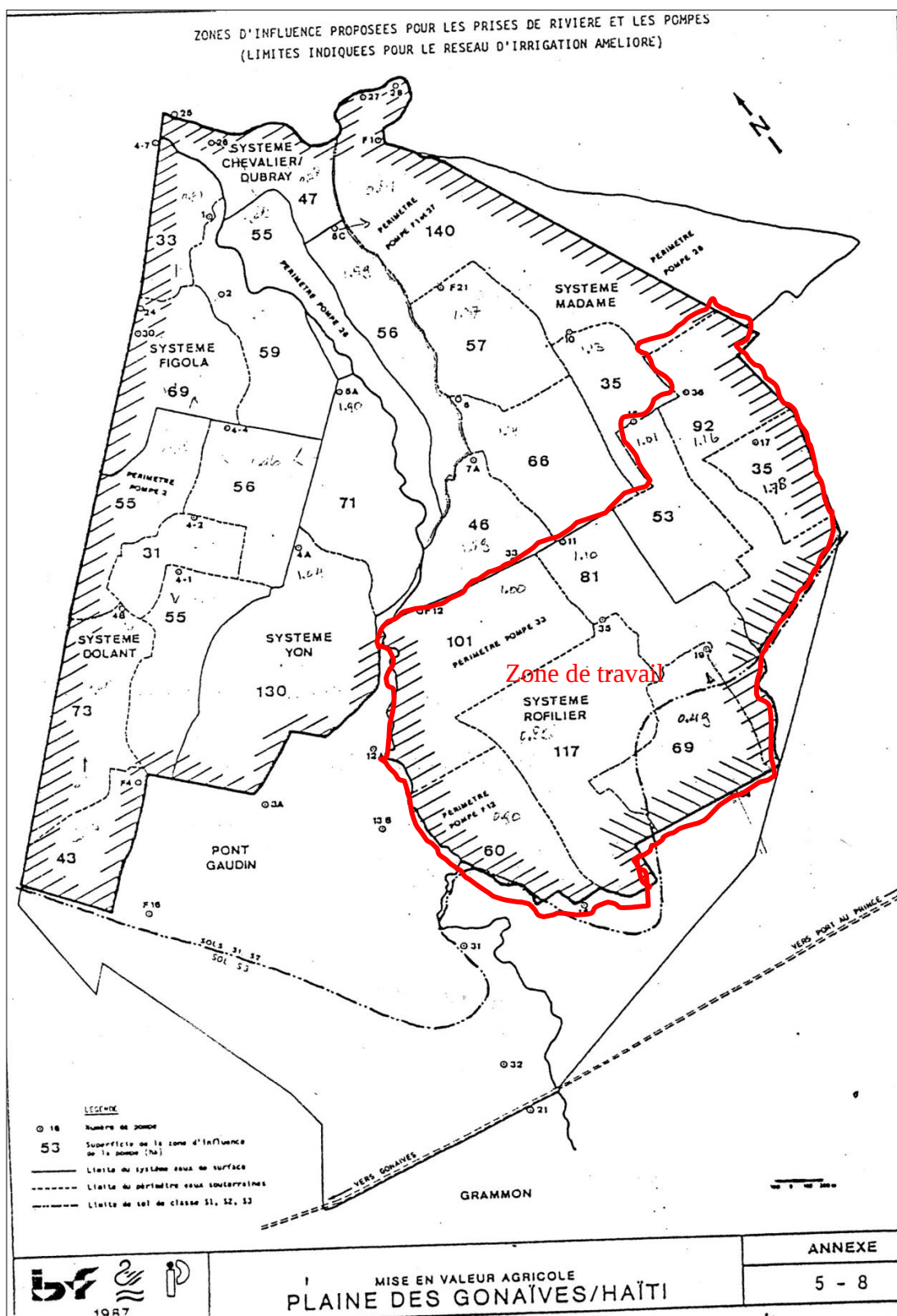
DESCRIPTION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (Gdes)	TOTAL (Gdes)	PRIX UNITAIRE par mL (Gdes)
Sable	m³	278	800.00	222400.00	444.80
Gravier	m³	86	800.00	68800.00	137.60
Roche	m³	192	600.00	115200.00	230.40
Eau	Drum	41	200.00	8200.00	16.40
Ciment	Sac	1962	550.00	1079100.00	2158.20
Fer	Bar	320	140.00	44800.00	89.60
MO Fouille	m³	75	426.00	31950.00	63.90
MO Maconnerie	m³	277	1000.00	277000.00	554.00
MO Fonçage	m³	75	150.00	11250.00	22.50
MO Crépis/Enduis	m²	800	250.00	200000.00	400.00
Total				2058700.00	4117.40

Drum* : 12 seaux de 5 gallons

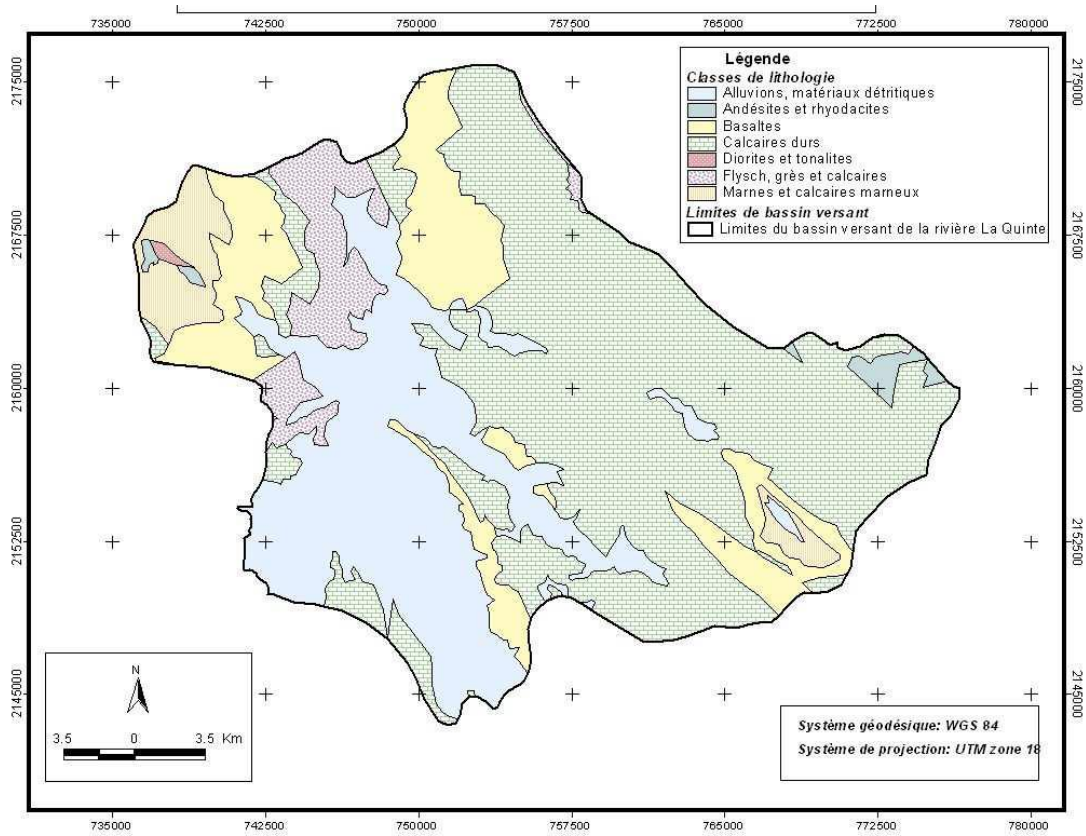
MO* : Main d'œuvre

Sac ciment* : 42.5 kg

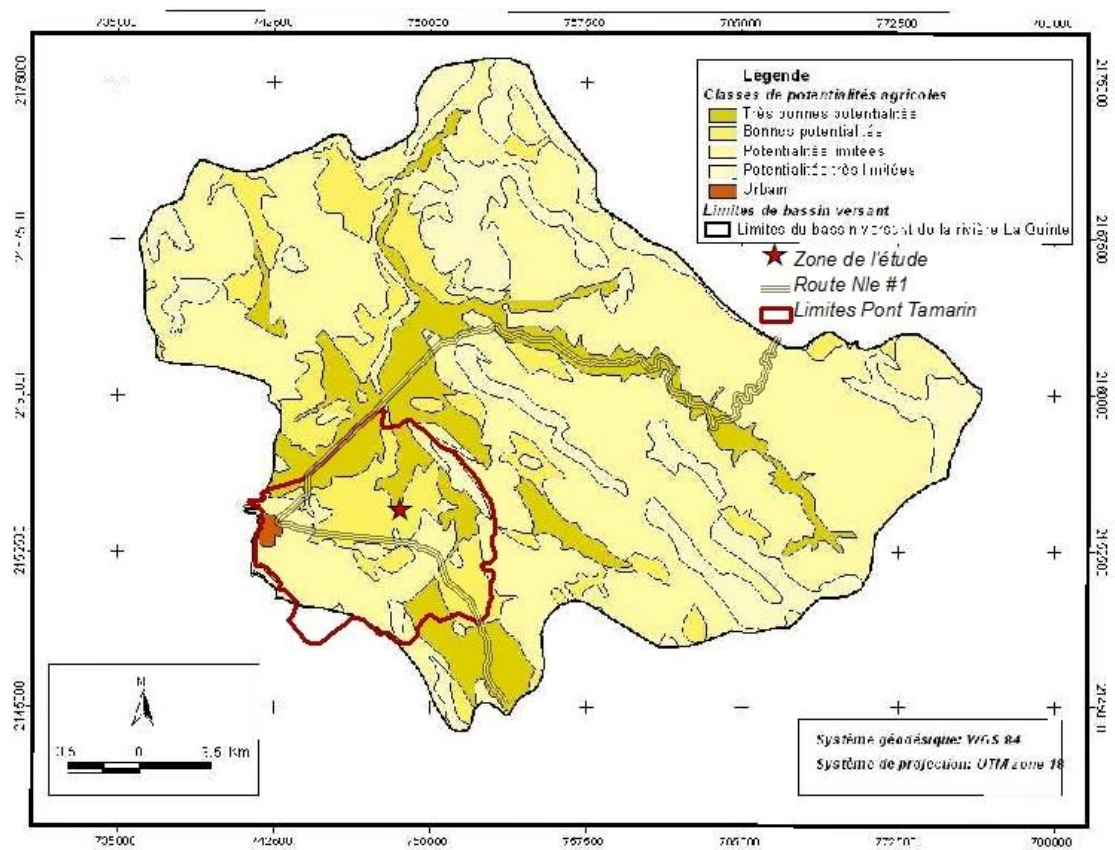
Annexe 6 : Cartographie de la basse Plaine des Gonaïves



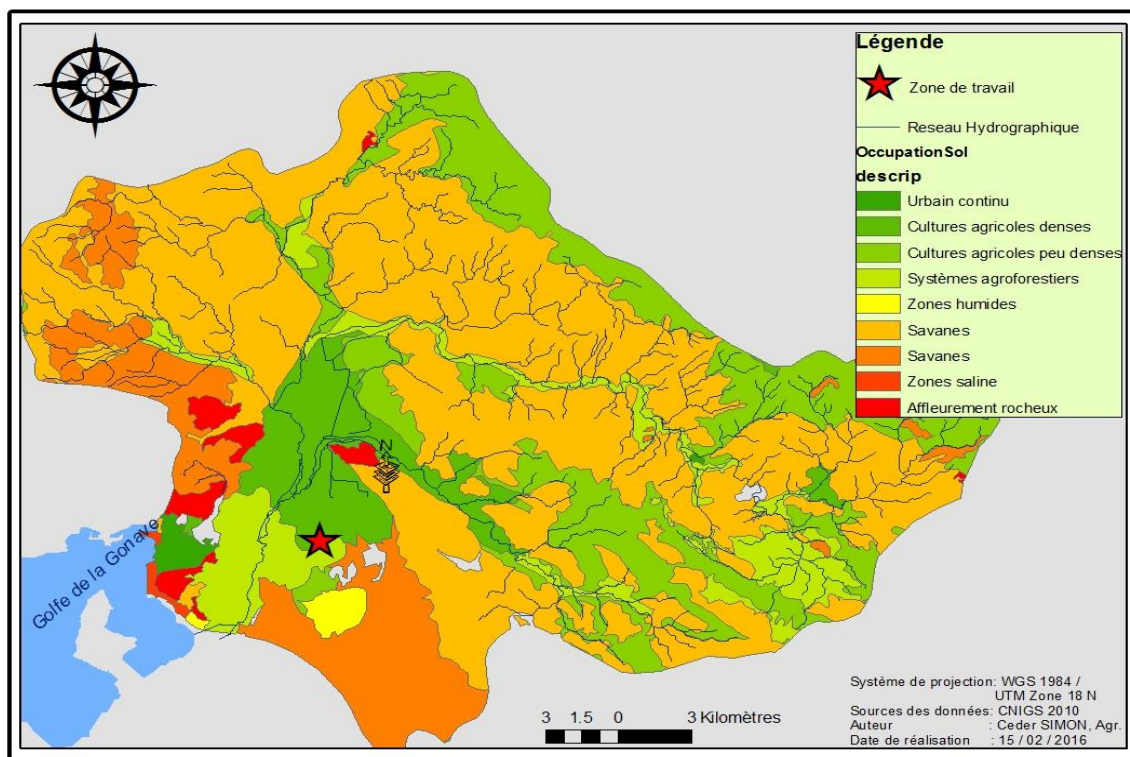
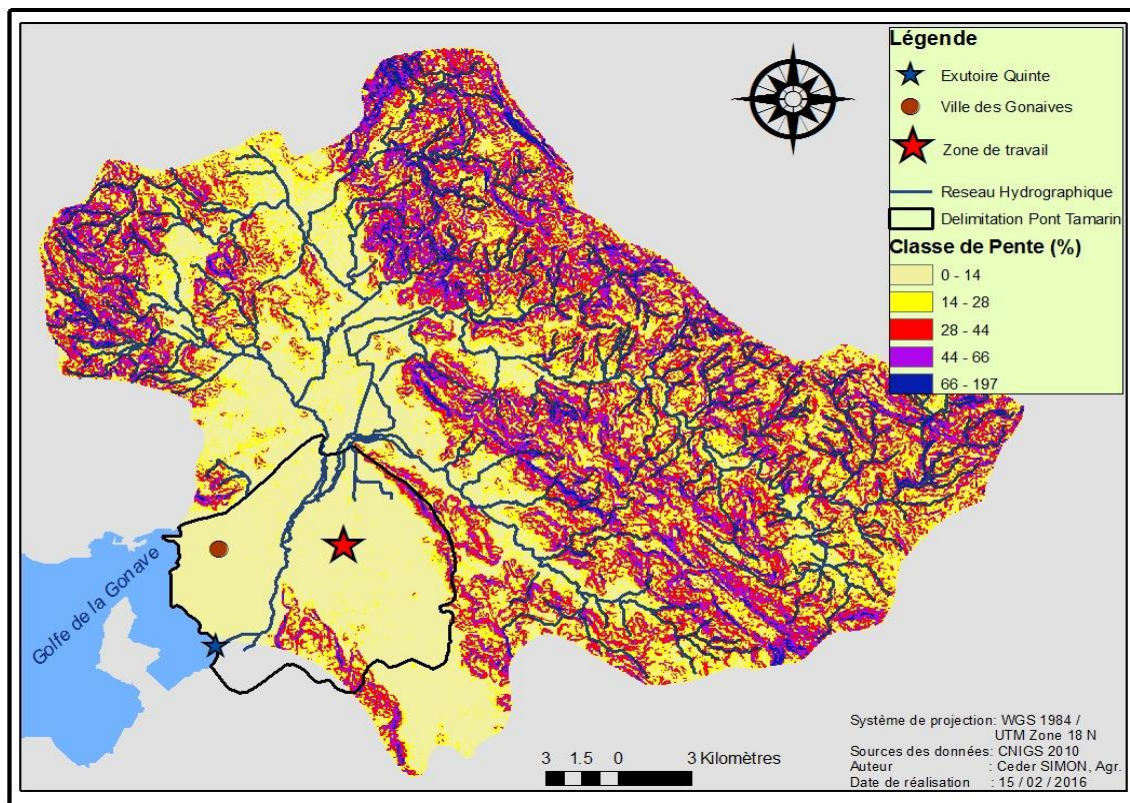
Annexe 7 : Carte des caractéristiques géologiques du bassin versant de la rivière la Quinte



Annexe 8 : Carte des potentialités agricoles des sols du bassin versant de la rivière la Quinte



Annexe 9 : Classe de pente et occupation de sol dans le bassin versant de la Quinte



Annexe 10: Deux pompes au niveau de la zone de travail



Annexe 11 : Vue du la récession de l'eau à l'intérieur des bassins



« Il n'y a point au monde de lunette ni d'observatoire où l'on voit autre chose que des apparences. La science consiste à se faire une idée d'après laquelle on pourra expliquer toute les apparences ».

Alain