

**ULg - Faculté des Sciences – Département des Sciences et Gestion de l'Environnement**

**UCLouvain - Faculté des bioingénieurs**

« Etude sur les résidus des fertilisants chimiques de quelques nutriments utilisés dans la riziculture au niveau de la vallée de l'Artibonite, Haïti. »

**Manouche DOUZE**

**MÉMOIRE RÉDIGÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN  
SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT.**

**ANNÉE ACADÉMIQUE : 2020-2021**

**RÉDIGÉ SOUS LA DIRECTION DE Professeur Marnik VANCLOOSTER**

**COMITÉ DE LECTURE :**

**Bernard TYCHON**

**Mathieu JAVAUX**

©Copyright : « *Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique\* de l'Université de Liège et de l'Université catholique de Louvain. \* L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULiège et/ou de l'UCLouvain* ».

*Le présent document n'engage que son auteur.*

*Auteur du présent document : DOUZE Manouche*

*Adresse électronique : [dmanouche@gmail.com](mailto:dmanouche@gmail.com)*

## **DÉDICACE :**

Ce travail est dédié spécialement à :

- ✦ Mon Dieu, Jéhovah Rapha, Jireh pour tous les bienfaits envers moi, celui qui exerce mes mains au combat jusqu'à la fin !!!!

## REMERCIEMENTS

Ce travail intellectuel ne sera nullement possible sans la collaboration et le support de certaines personnes internationales & locales.

J'adresse tous mes remerciements:

- A l'égard de Dieu qui m'a donné de la Force pour avancer sans relâche dans cette étude ;
- A mon supporteur financier, « coopération ARES » dans le cadre de cette formation
- Aux universités de Liège et de Louvain d'avoir supporté ce programme
- Au staff responsable de la formation, monsieur BERNARD, BIELDES, particulièrement à l'infatigable monsieur Antoine qui est toujours prêt à nos écoutes (Chapo-Ba) ;
- A mon encadreur professionnel, Marnik VANCLOOSTER pour ses encadrements incontestables du début à la fin de cet ouvrage ;
- A Tous mes professeurs qui ont contribué d'une façon ou d'une autre ;
- A Mes collaborateurs de pays particulièrement l'incomparable Agr Lesly Joseph
- A tous mes collègues de la promotion 2020-2021, particulièrement Victor & Khadija ;
- A mes parents, Jean Cadel Douze & Laure Analyse Floristal ;
- A Mes petites sœurs, Merlande DOUZE, Juline DOUZE, Carline DOUZE ;
- A Mes petits frères, Capy DOUZE, Frantzdy DOUZE ;
- Mon grand frère adoptif et sa famille Gaby Jérôme pour son sens de responsabilité ;
- A Mes beaux-frères, particulièrement Dieuclair COLO ;
- A ma très chère amie Rose Bertilde Estimé, pour tous les services rendus dans le cadre de ce travail ;
- A mon amie Saintelia M. MÉTAYER pour ses supports moraux ;
- Au Révérend père, PHILLIPE Bonhomme Joseph pour son sens de l'humour ;
- A toute la famille UNIF que ce soit les professeurs, les pionniers et étudiants particulièrement professeurs Wiss LATOUCHE & Moise IRAÜS ;

Enfin je remercie à tous ceux et celles indistinctement qui ont contribué d'une façon ou d'une autre dans la réussite de cet ouvrage et qui m'ont aidé à surmonter toutes ses épreuves.

## RÉSUMÉ

La vallée de l'Artibonite est la région du pays consommant la plus grande quantité d'engrais inorganique par unité de surface. Une étude a été conduite dans cette région pour analyser les risques de pollution dus à l'utilisation massive des engrais chimiques. Pour réaliser cette étude, une méthodologie en deux dimensions a été utilisée : collecte d'échantillons et enquête. Pour analyser la teneur de l'eau de surface dans cette région, 53 échantillons d'eau ont été collectés et analysés dans les différentes zones rizicoles de la vallée de l'Artibonite. Une enquête a été conduite sur un échantillon de 200 riziculteurs pour analyser leurs perceptions sur la pollution dus aux engrais ainsi que la dynamique des doses d'engrais appliqués et du rendement obtenus durant les quatre dernières années.

Les résultats de cette étude à travers l'analyse des échantillons ont montré que la concentration en nitrate du fleuve Artibonite, à l'entrée des zones rizicoles est inférieure ou égale à 10 ppm. Par contre, dans les zones rizicoles jusqu'aux embouchures, des concentrations de 10 à 20 ppm ont été retrouvées. Les résultats de l'enquête permettent de déceler que les doses d'engrais appliqués varient en moyenne de 100 à 160, 40 à 5 et 20 à 30 kg/ha respectivement pour l'azote, le phosphore et le potassium, indépendamment des variétés et des zones de productions. Le rendement du riz estimé dans les parcelles des enquêtés varie en moyenne de 4 à 5 tonnes par hectare. Le rendement obtenu est influencé à environ 50% par les doses d'azotes appliqués, alors qu'il est plutôt indépendant des doses de phosphore et de potassium. Il est noté que plus de 80% des enquêtés sont d'accord que des doses excessives sont généralement utilisées dans la riziculture dans la vallée de l'Artibonite. Par contre, 90% d'entre eux sont d'avis que les applications de doses excessives d'engrais inorganiques ont des effets néfastes sur l'écosystème.

La concentration des eaux de surface en nitrate au niveau de la vallée de l'Artibonite à l'heure actuelle, ne présente pas un grand risque pour la santé publique et la faune aquatique, car, la teneur en nitrate de ces plans d'eaux est double inférieure par rapport aux normes européennes et américaines, fixant la dose de toxicité pour ce composé chimique.

Mots clés : Riz, Nitrate, Azote, Phosphore, Potassium

## ABSTRACT

The Artibonite Valley is the region of the country consuming the greatest amount of inorganic fertilizer per unit area. A study was carried out in this region to analyze the risks of pollution due to the massive use of chemical fertilizers. To carry out this study, a two-dimensional methodology was used: sample collection and survey. To analyze the surface water content in this region, 54 water samples were collected and analyzed in the different rice growing areas of the Artibonite valley. A survey was conducted on a sample of 200 rice farmers to analyze their perceptions of pollution due to fertilizers as well as the dynamics of the applied fertilizer doses and the yield obtained during the last four years.

The results of this study through the analysis of samples showed that the nitrate concentration of the Artibonite River, at the entrance to the rice-growing areas, is less than or equal to 10 ppm. On the other hand, in rice growing areas up to the mouths, concentrations of 10 to 20 ppm were found. The results of the survey show that the doses of fertilizers applied vary on average from 100 to 160, 40 to 5 and 20 to 30 kg / ha respectively for nitrogen, phosphorus and potassium, independently of the varieties and production areas. The rice yield estimated in the plots of the surveyed varies on average from 4 to 5 tones per hectare. The yield obtained is influenced by about 50% by the doses of nitrogen applied, while it is rather independent of the doses of phosphorus and potassium. It is noted that over 80% of respondents agree that excessive doses are generally used in rice cultivation in the Artibonite valley. On the other hand, 90% of them believe that applications of excessive doses of inorganic fertilizers have negative effects on the ecosystem.

The concentration of nitrate in surface water in the Artibonite valley at present does not present a great risk to public health and aquatic fauna, because the nitrate content of these bodies of water is double lower compared to European and American standards, fixing the dose of toxicity for this chemical compound.

Keywords : Rice, Nitrate, Nitrogen, Phosphorus, Potassium

## TABLE DES MATIERES

DÉDICACE : .....	iii
REMERCIEMENTS .....	iv
RÉSUMÉ.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTE DES FIGURES .....	ix
LISTE DES TABLEAUX .....	x
LISTE DES ACRONYMES .....	xi
GLOSSAIRE.....	xii
CHAPITRE I- INTRODUCTION.....	1
1.1- Problématique .....	1
1.2- Justification.....	2
1.3- Objectifs.....	3
1.4-Hypothèses .....	3
1.5- Intérêts de l'étude .....	3
CHAPITRE II- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE .....	5
2.1-La culture du riz .....	5
2.2- La production de riz en Haïti.....	5
2.3-Besoin du riz en éléments fertilisants.....	8
2.4-Pollution de l'eau.....	8
2.4.1-Origine de la pollution de l'eau .....	9
2.4.2-Effets des engrais chimiques sur la pollution de l'eau.....	9
2.5-L'eau en Haïti .....	10
2.6- Pollution de l'eau en Haïti.....	11
CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	12
3.1-Localisation de la zone d'étude .....	12
3.2- Hydrographie .....	12
3.3- Relief et altitude .....	13
3.4- Pédologie .....	14

3.5- Climat.....	15
CHAPITRE IV- DEMARCHE METHODOLOGIQUE.....	18
4.1- Matériels.....	18
4.2-Recherches documentaires .....	18
4.3-Échantillonnage .....	18
4.4-Collecte de données .....	18
4.5-Analyses des échantillons d'eau .....	19
4.6-Enquête.....	20
4.7-Traitement et analyse des données .....	20
CHAPITRE V : RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	21
5.1-Résultats .....	21
5.1.1-Production rizicole dans la vallée de l'Artibonite .....	21
5.1.2-Concentration de l'azote dans les eaux de surface .....	22
5.1.3-La fertilisation azotée .....	24
5.1.4- Fertilisation phosphorique.....	25
5.1.5-Fertilisation potassique .....	26
5.1.6-Doses d'engrais appliqués et le rendement .....	27
5.1.7-La population et les risques de pollution .....	29
5.2-Discussions.....	29
5.2.1-Production rizicole dans la vallée de l'Artibonite .....	29
5.2.2-Concentration de l'azote dans les eaux de surface .....	30
5.2.3-Doses de NPK appliquées dans les rizières .....	32
5.2.4-Doses d'engrais appliqués et le rendement.....	33
5.2.5-La population et les risques de pollution .....	34
CHAPITRE VI - CONCLUSION.....	35
CHAPITRE VII- BIBLIOGRAPHIE.....	36

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Les zones de productions en Haïti

Figure 2 : Production de riz et importation 1970/1971 à 2014/ 2015

Figure 3 : Sous bassins versant de la PBFA

Figure 4 : Représentation du réseau hydrographique de la PBFA

Figure 5 : Représentation du relief et altitude.

Figure 6 : Distribution des unités lithologiques dans la PBFA

Figure 7 : Distribution des types de climat dans la PBFA

Figure 8 : Carte de répartition des surfaces de production du riz en Haïti par département.

Figure 9 : Localisation des points des parcelles rizicoles

Figure 10 : Rendement du riz

Figure 11 : Carte de la concentration de l'azote dans la vallée de l'Artibonite

Figure 12 : Doses d'azote appliquées à l'hectare par an

Figure 13 : Doses de phosphore appliquées à l'hectare par an

Figure 14 : Doses de potassium appliquées à l'hectare par an

Figure 15 : Relation entre les doses d'engrais et le rendement

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1</b> : Principaux bassins hydrographiques d'Haïti .....	110
<b>Tableau 2</b> : Les données climatiques des communes de la vallée de l'Artibonite.....	16
<b>Tableau 3</b> : Corrélation entre le rendement obtenu et les doses d'engrais chimiques (NPK) appliquées...	28

## **LISTE DES ACRONYMES**

BID : Banque Interaméricaine de Développement

CDD : Cahier du Développement Durable

DCEE : Directive Cadre Européenne sur l'Eau

ECIDMC : Les Etats Unis Corps d'Ingénieurs District et de Mobile de Centre d'Ingénieurs Topographiques

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

MARNDR : Ministère de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Développement Rural

NPK : Azote Phosphore Potassium

MDE : Ministère de l'Environnement

ODD : Objectif du Développement Durable

ONU : Organisation des Nations Unies

PBFA : Partie Basse du Fleuve Artibonite

PSF : Subvention de Fertilisants Chimique

USAID : U.S. Agency for International Development

## GLOSSAIRE

### **Bandelette :**

Méthode d'utiliser pour réaliser des tests d'analyses des paramètres Physique ou Chimique dans les sols ou dans les eaux. C'est une méthode simple et rapide (Rosillon et al, 2012)

### **Fertilisation :**

La fertilisation fut une pratique systémique et ancienne tout en apportant des déchets de l'habitation et une part notable du fumier (Schvatz et al, 2005)

### **Nutriment**

Les nutriments est tout un ensemble de substances alimentaires que l'organisme absorbe et utilise pour fonctionner. Les aliments deviennent des nutriments sous l'action des sucs digestifs. (Messarah-Boumendjel, 2008)

### **Pollution :**

Toute modification anthropogénique d'un écosystème résultant d'un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou de l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles, d'une perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle (Wassim, 2017).

### **Résidus :**

Le terme « résidu » désigne tout se reste, qui subsiste, un reliquat après une opération physique ou chimique. On parle résidu de maïs, de riz, de résidu de cannes à sucre après extraction de leur jus (bagasse) (Marçay, 2018)

### **Système Ecobuage :**

Selon Moreau Roland (1998) L'écobuage est une technique de culture complexe basée sur la brûlure des végétaux herbacés mélangés à de la terre. Elle est utilisée partout dans le monde pour exploiter des terres acides, peu productives. C'est encore une pratique courante en zone tropicale

## **CHAPITRE I- INTRODUCTION**

### **1.1- Problématique**

Haïti est l'un des plus grands consommateurs de riz (en termes de consommation per capita) de la région Amérique latine et des Caraïbes, avec une consommation totale annuelle de 565 000 tonnes de riz paddy (MARNDR, 2015). On estime à environ plus de 100 000 familles qui dépendent de la production rizicole pour leur survie et à plus de 10% de la population totale qui dépendent directement de la filière rizicole pour gagner un revenu (riziculteurs mais aussi ouvriers agricoles, fournisseurs d'intrants et de services, marchandes) (Dimanche, 2017).

Cependant, la production nationale en riz est en baisse depuis plusieurs décennies. Après avoir culminé 160 000 tonnes de riz paddy dans les années 90, elle ne dépasse pas aujourd'hui les 111 141 tonnes, soit environ 20% du volume de riz consommé au niveau national (MARNDR/FAO, 2011 ; FEWSNET, 2020). Le solde entre la production et la consommation est couvert par des importations, en provenance principalement des Etats-Unis, pour une valeur estimée environ à 200 millions dollars annuellement (FEWSNET, 2020).

Conscient de l'importance du riz dans la diète alimentaire haïtienne et de son quota dans les importations du pays depuis la fin des années 90, les autorités du Ministère de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR) ont décidé d'encourager la production nationale à travers la subvention des engrais minéraux. La consommation d'engrais au cours de ces dernières années est en constante augmentation. Les quantités utilisées sont passées de 15 000 tonnes entre 2004 et 2008 à 32 000 tonnes entre 2008 et 2009, puis à 50 000 tonnes en 2011 (MARNDR/PSF, 2011). La plus grande partie est utilisée dans la vallée de l'Artibonite qui compte 32 000 hectares irrigués (BID, 2009). Ces interventions ont réussi à faire passer le rendement-grain de 2.9 tonnes/ha (FAO, 1994) à 3.5 tonnes/ha (Louissaint et Duvivier, 2003 ; Duvivier et al., 2006 ; Louis, 2009). Toutefois, des travaux de recherche sur la réponse du riz, variété TCS-10, à la fertilisation azotée dans la vallée de l'Artibonite ont montré qu'il n'y a pas d'augmentation du rendement-grain à l'hectare au-delà de 75 kg/ha d'azote (Louissaint et Duvivier, 2005 ; Orélien 2008). Les auteurs ont recommandé que les agriculteurs n'utilisent pas des doses d'azote supérieures à 75 kg/ha. Les recommandations n'ont pas été vulgarisées et les agriculteurs continuent d'appliquer des doses d'azote allant jusqu'à 150 kg/ha ou plus.

Selon une étude menée au niveau de la vallée de l'Artibonite par Knowles et al (1999), sans toutefois effectuer des analyses chimiques précises, ils ont conclu que les risques de pollution des eaux de surface de cette région sont très élevés par rapport à l'utilisation non-contrôlée des engrais chimiques. Il en résulte que l'utilisation d'engrais et de pesticides chimique démesurée dans la vallée de l'Artibonite corolaire à une intensification grandissante de la riziculture, pourrait avoir de grave implication environnementale tant sur la santé publique que sur la faune vivant à l'intérieur et en aval de la vallée.

Par contre, faute de données précises sur l'évolution de la teneur en résidus chimiques des eaux de surface au niveau de la vallée de l'Artibonite, le Ministère de l'Environnement d'Haïti, n'a envisagé aucune mesure visant la protection des sources, des espèces aquatiques continentales et halieutiques face au risque élevé éventuel de pollution dû à l'utilisation excessive de fertilisants chimiques. Par ailleurs, on remarque que ces risques de pollution ne retiennent pas également l'attention des organismes de développement, qui, s'entêtent davantage à intensifier la riziculture pour assoiffer la demande d'une population en pleine croissance exponentielle. De ce fait, il est envisageable de conduire une étude pour faire un état des lieux sur les teneurs des engrais chimiques dans les eaux de surface de la vallée de l'Artibonite.

## **1.2- Justification**

Selon l'approche holistique de l'agriculture d'aujourd'hui, l'utilisation d'intrants chimiques est essentielle pour avoir de hauts rendements. Toutefois, bien que nécessaire pour assouvir les besoins alimentaires d'une population humaine grandissante, les intrants chimiques sont à la base directement ou indirectement de nombreux préjudices environnementaux connues aujourd'hui. Cette problématique a tellement suscité l'intérêt global que l'Organisation des Nations Unis (ONU) l'ont consacrées l'un de ces objectifs de développement durable soit l'ODD 14, qui plaide pour une meilleure gestion des écosystèmes et une gouvernance plus efficace des océans.

Au niveau de la vallée Artibonite, à cause d'une utilisation à outrance, les engrais chimiques sont considérés comme élément palliatif à l'insécurité alimentaire endémique du pays, embraient cette région vers un désastre écologique. La vallée de l'Artibonite, la plus grande aire de production du riz en Haïti, est irriguée par le plus grand fleuve de l'île d'Haïti, soit le fleuve Artibonite (MARNDR, 2012). Ce dernier, partant de la République Dominicaine serpente plus de

830 km pour enfin se déverser dans l'aval de la vallée de l'Artibonite. Le fleuve Artibonite est l'élément central autour duquel est organisée la vie économique au niveau de cette vallée : pêche, lessive, transport, arrosage, etc. Les applications d'engrais qui se font de manière démesurée, en dehors des recommandations scientifiques, mettront en péril toutes les formes de vie qui dépendent de la vallée pour leurs conditions existentielles en cascade.

Pour pouvoir effectuer une plaidoirie en faveur d'un usage plus rationnel des engrais chimiques dans la vallée de l'Artibonite et des risques de pollution qui lui sont corolaires, il est crucial d'avoir un état des lieux de la situation. Ainsi, cette étude se propose d'évaluer la concentration en quelques nutriments des eaux de surface à différents niveaux de la vallée de l'Artibonite. De cette étude, des données primaires quantitatives seront émergées, sur lesquelles devraient assoir des réflexions solides pour l'élaboration de plans de contingence pour réduire les risques de pollution tout au long de la vallée et de rationner l'utilisation des engrais chimique dans cette aire.

### **1.3- Objectifs**

#### **Objectif général**

L'objectif principal de cette recherche est de réaliser un état des lieux sur les risques de pollution dus aux fertilisants inorganiques au niveau de la vallée de l'Artibonite.

#### **Objectifs Spécifiques**

Cette étude vise spécifiquement à :

- Analyser la teneur en azote des eaux de surface au niveau de la vallée de l'Artibonite
- Déterminer les doses d'azote, de phosphores et de potassiums appliqués
- Analyser la relation entre le rendement et les doses d'engrais inorganiques appliquées.

### **1.4-Hypothèses**

Avec l'utilisation massive des fertilisants chimiques, l'eau de surface des aires rizicoles ont une forte teneur en azote.

### **1.5- Intérêts de l'étude**

L'intérêt de cette étude est d'abord scientifique, car elle permet d'avoir une estimation, certes non holistique, du niveau de pollution dû à l'utilisation non-contrôlée des engrais chimiques dans la

vallée de l'Artibonite. Du point de vue pratique, ces estimations permettraient aux organismes gouvernementaux et non-gouvernementaux intervenant dans la vallée de l'Artibonite d'élaborer un ensemble de stratégies visant à la protection des eaux de surface et souterraine et à la diminution de la pollution due aux activités rizicoles. Les résultats de cette étude seraient utiles pour mieux appréhender la situation qui prévaut au niveau des autres aires rizicoles du pays, utilisant également les fertilisants chimiques à forte dose. En somme, cette étude constitue une base solide sur laquelle d'autres études scientifiques s'en suivront pour rationner les applications d'engrais chimique dans le pays sans toutefois porter préjudice au secteur agricole et à l'environnement.

## **CHAPITRE II- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **2.1-La culture du riz**

Le riz (*Oryza sativa*) appartient à la famille des Poacées. Il constitue l'aliment de base de plus de la moitié de la population mondiale. La surface d'expansion de cette culture s'étend de 40° de latitude nord au 35° de latitude sud ; elle est moins vaste que celle du maïs et du blé. Le riz vient en second rang, mais il est la première céréale pour l'alimentation humaine (Ttsot,2018 ; Mathis, 2010).

La culture de riz est considérée comme la principale source de calories nutritionnelles pour les humains. Sa production couvre une surface totale de 150 Mha. L'Asie domine l'économie de la culture de riz. Environ 90 % (585 Mt) des surfaces et de la production sont concentrées dans cinq pays en Asie respectivement : la Chine, l'Inde, l'Indonésie, le Bangladesh et les Philippines. Les 10 % restant se répartissent entre L'Amérique Latine et l'Afrique (Courtois, 2007).

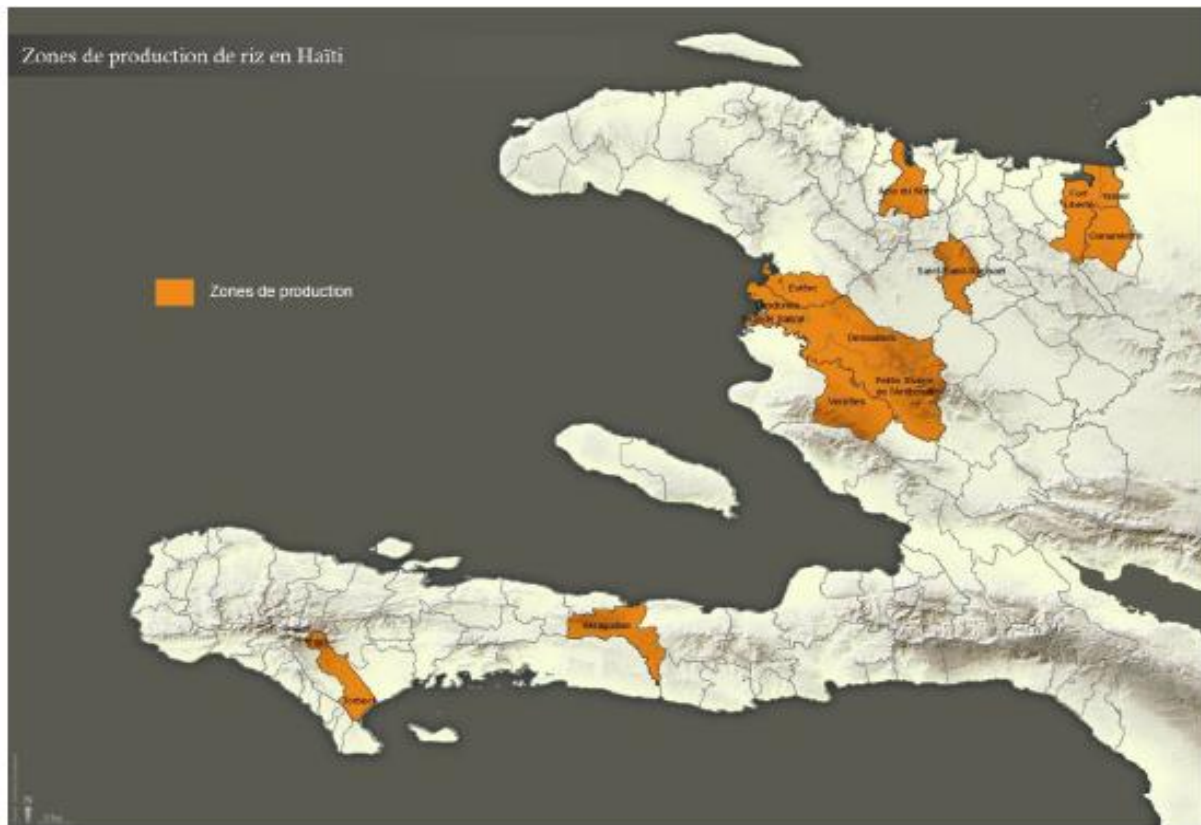
Selon certaines estimations faites par Mathis (2010), le riz constitue l'alimentation de base pour plus de de 2,5 milliards de personnes dans les pays sous-développés avec des consommations annuelles très importantes dépassant dans certains pays les 100 kg/habitant (Courtois, 2007).

La demande de la principale céréale pour l'alimentation humaine est en hausse partout dans le monde. La demande du riz a été estimée à 763 millions de tonnes en 2020. La production devrait augmenter à une échelle de 40 % d'ici 2030 pour satisfaire la demande. En outre, l'augmentation de la production du riz reste et demeure un défi majeur aux pays en développement qui dépendent principalement de cette céréale pour assurer leur sécurité alimentaire. La population de consommateurs de riz augmente sérieusement, chaque année elle augmente à 1,8 %. Selon Courtois (2007), la production annuelle actuelle évalue à 560 millions de tonnes et devrait passer à 850 millions de tonnes d'ici 2025 pour satisfaire les besoins. L'offre va extrêmement insuffisant avec cette demande grandissante. De ce fait, il est nécessaire de venir avec des variétés de riz ayant des potentiels de rendement et de stabilité plus élevés pour relever les défis de l'augmentation de la production de riz et avoir la capacité de répondre aux besoins d'une population mondiale en forte croissance exponentielle (Moinina et al., 2018).

### **2.2- La production de riz en Haïti**

Généralement le riz est cultivé dans tous les départements du pays. On retrouve les plus importantes aires rizicoles dans les plaines irriguées : la vallée l'Artibonite, la plaine des Cayes et

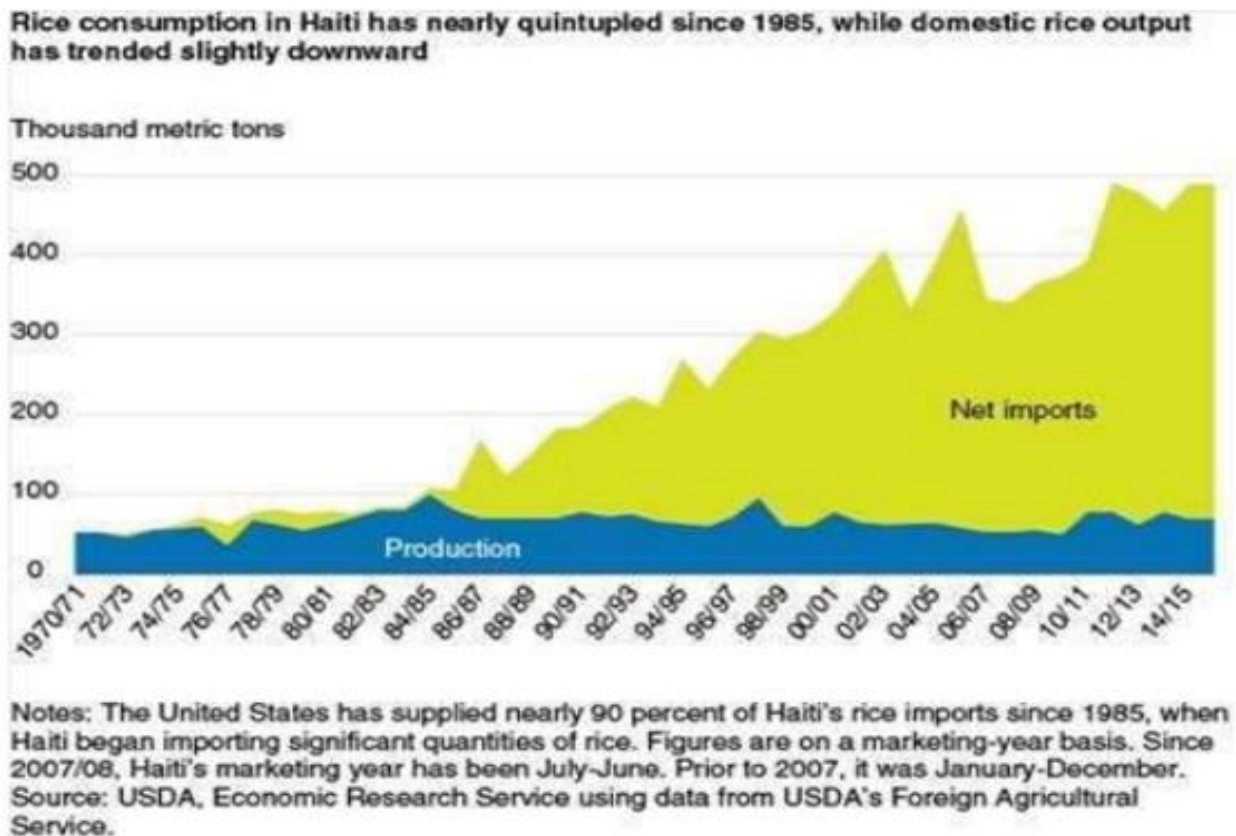
certaines petits périmètres irrigués au niveau des départements du Nord (St-Raphael et Grison Garde), dans le Nord-Est (Ferrier et Plaine Maribaroux) et dans les Nippes (plaine Abraham). La culture du riz pluviale est moins répandue. Toutefois, on trouve une petite quantité dans les fonds de vallées des montagnes humides au Nord, Nord-Ouest et du Nord-Est (Josling, 2017). Les figures ci-dessous présentent les aires de production du riz en Haïti (Fig. 1).



*Figure 1 : Les zones de productions en Haïti*

La production de riz est très ancienne en Haïti. Il est cultivé depuis plus de 200 années avant l'indépendance du pays. Cependant, il était consommé uniquement le dimanche, c'était le plat le plus précieux et c'était pour les occasions spéciales. Le maïs et le millet sont consommés en tant que sources de glucides moins chères que le riz pendant toute la semaine. Jusqu'au milieu des années 1980, Haïti était autosuffisante pour cet aliment de base. Le riz haïtien est une variété de grains longs, avec deux saisons par année : avril / mai et octobre/novembre. Le riz de montagne est cultivé principalement pour la consommation intérieure dans les régions Nord et Nord-Est. Le

riz de marais est planté principalement dans les champs irrigués de la vallée de l'Artibonite et fournit les zones urbaines. Le riz haïtien est considéré étant un produit de grande qualité, mais la production a stagné ces dernières années. Actuellement le riz importé est responsable d'une grande partie de la consommation intérieure, bien qu'il soit classé étant de moins bonne qualité nutritionnelle (Josling, 2017) (Fig. 2).



*Figure 1: Production de riz et importation 1970/71 à 2014/ 15 (source : Josling,2017)*

Les problèmes du riz en Haïti s'assoient sur deux principales composantes. Premièrement du côté de la production avec l'involution des rendements dans le pays et cela ne fait qu'augmenter le prix par rapport au riz importé. Les rendements relativement faibles sont généralement attribués à des problèmes de structure et de gestion des exploitations agricoles et le manque de suivi. En second lieu, la production est contrainte par de nombreuses petites exploitations fragmentées rendant difficile et même impraticable la mécanisation, les méthodes de gestion et de culture moderne. Les agriculteurs rencontrent beaucoup de difficultés dans l'utilisation massive des engrais en raison de

contraintes sur les offres et le prix, et selon (USAID, 2012), on assiste à un manque général d'informations adéquates sur l'utilisation appropriée des engrais (Josling, 2017).

### **2.3-Besoin du riz en éléments fertilisants**

La fertilisation n'est autre qu'une opération qui consiste à l'incorporation des engrais inorganiques et biologiques dans le sol afin d'optimiser la productivité des cultures. Selon le FAO (2013), en culture pluviale stricte, les sols sont en conditions nécessiteuses en azote et en phosphore disponible.

Par ailleurs, une importante différence est marquée lorsqu'on mélange les fertilisants chimiques avec les fumures organiques (. On obtient un plus grand rendement au lieu d'utiliser seulement des fertilisants chimiques (Ravelomanarivo et al, 2015). Les formes assimilables directement par les plantes sont respectivement les ions nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les ions phosphates ( $\text{P}_2\text{O}_4^-$ ) et les ions potassium ( $\text{K}_2\text{O}^-$ ).

#### **a) L'azote (N)**

L'azote donne une possibilité d'avoir une croissance vigoureuse des plants de riz pendant la phase végétative avec beaucoup de talles et de nombreuses panicules. Un apport en azote pendant cette phase se manifeste à la couleur verte de la culture correspondant à un accroissement de la teneur en chlorophylle et ainsi un accroissement de la photosynthèse.

#### **b) Phosphore (P)**

Le phosphore permet à la plante de trouver une meilleure croissance racinaire favorisant un tallage plus actif avec des talles productives et agit sur le bon développement des grains en augmentant la valeur ajoutée de la culture

#### **c) Potassium (K)**

Le potassium favorise le tallage et accroît la taille et le poids des grains. Il permet également à la plante de mieux résister à la verse et aux attaques de maladies et d'insectes et de mieux résister à la sécheresse. Enfin il accroît la réponse de la plante au phosphore.

### **2.4-Pollution de l'eau**

L'eau est l'élément essentiel inévitable pour la vie humaine et pour les écosystèmes de la planète. Cependant, elle est vulnérable en terme pollution par les activités des hommes. Un tiers des ressources aquifères utilisables ont été déjà touchées par ce problème. Dans l'environnement de l'eau, des menaces majeures ont été identifiées à savoir la détérioration de la qualité de l'eau douce,

la forte diminution des eaux douces et la perturbation des écosystèmes aquatiques sont fréquentes. Les Nations Unies constatent qu'au niveau mondial, environ 2 millions de tonnes de déchets sont déversés dans les eaux de surface quotidiennement. Il s'agit notamment d'effluents industriels et de produits chimiques, de matières de vidange et de produits utilisés au niveau de l'agriculture (engrais et pesticides) (CDD, 2021)

- Les eaux souterraines, les nappes phréatiques, les sources, les ruisseaux, les rivières, les fleuves, les mers, ainsi que l'eau distribuée, sont fortement altérées par les pressions de pollution quasi par tout dans le monde.
- Les sols sont souvent dénaturés par la pollution et très pauvres en éléments nutritifs, d'où un manque cruel de ces éléments dans les aliments que nous consommons tous les jours. Ceci qui peut alors provoquer des carences, et emmener la survenue de certaines maladies (Haas, 2020).

#### **2.4.1-Origine de la pollution de l'eau**

Concernant les sources de pollution, on peut distinguer les cas de la pollution d'origine domestique, industrielle, et agricole.

- 1) La pollution au niveau domestique est le résultat des usages de l'eau par les ménages qui englobent les eaux de vannes et les eaux ménagères et se compose surtout de pollution organique microbiologique et chimique (détergents, produits domestiques divers).
- 2) Les pollutions industrielles reflètent la diversité des usages composées principalement de déchets organiques (industrie agro-alimentaire, papeterie, sucrerie, brasserie,), mais aussi de multiples polluants chimiques tels que les hydrocarbures, les métaux lourds, les dissolvants, les produits azotés (industrie des engrais, explosifs etc.).
- 3) L'usage agricole tient compte des rejets de matières organiques à savoir les lisiers, purins et fumiers, les engrais chimiques (nitrates et phosphates) et de pesticides très divers, voire de pollution bactériologique (élevages). Ces produits sont très rarement rejetés directement dans les eaux de surface, mais leur épandage excessif surtout pour l'agriculture intensive entraîne le lessivage par les eaux de pluie et une **pollution** diffuse des eaux de surface et des eaux souterraines (DCEE, 2020).

#### **2.4.2-Effets des engrais chimiques sur la pollution de l'eau**

De nos jours, la conscience des êtres humains est très éveillée des effets néfastes causés sur l'environnement avec l'utilisation des engrais azotés. La présence de l'azote est partout dans les

zones agricoles et atteint le milieu aquatique par différentes voies telle que l'écoulement de surface, le drainage et le lessivage. Ce dernier est particulièrement lié aux pratiques agricoles telles que la fertilisation de la culture. Dans certaines zones arides et semi-arides, des quantités importantes de nitrate peut s'accumuler dans le sol utilisé pendant la saison culturale. Suivant les conditions, le nitrate accumulé peut se lessiver en quantités variables en profondeur du sol. Au niveau du sol, les engrais azotés, particulièrement sous formes de  $\text{NH}_3^+$ , se transforment en nitrates par nitrification grâce aux micro-organismes dans lesquels les nitrates peuvent atteindre les eaux souterraines en raison de leur charge négative. Dans les conditions favorables, les plantes utilisent 50 % des engrais azotés appliqués aux sols, environ 2 à 20 % sont perdus par évaporation, 15 à 25 % également réagissent aux composés organiques dans le sol argileux et les 2 à 10 % restants interagissent avec les eaux souterraines et de surface. La majorité des engrais azotés sont des produits non absorbés et ils interfèrent avec les eaux souterraines et de surface. La majorité des échantillons d'eau souterraine restants possèdent une source d'engrais azoté qui peut être dérivée d'une rivière influente drainant un bassin versant rural (Savci, 2012).

## 2.5-L'eau en Haïti

Haïti contient 7 régions hydrographiques dans lesquelles 30 grands bassins versants ont été identifiés dont 3 d'entre eux sont subdivisées en 34 sous-unités au total. L'Artibonite est le plus grand bassin du pays (tableau 2). Un tiers de surface de ce bassin appartient à la République Dominicaine, les autres 2/3 à Haïti. (FAO, 2015) (Tableau 1).

**Tableau 1:** Principaux bassins hydrographiques d'Haïti

Bassins fluviaux	Superficie du bassin dans Haïti (km <sup>2</sup> )	Décharge annuelle (débit quotidien moyen) m <sup>3</sup> /s
Les Trois Rivières	897	13.13
Limbé	312	4.29
Grande Rivière du Nord	663	7.66
Estère	834	18.76
Artibonite	6862	101.4
Grise (Grande Rivière du Cul-de-Sac)	290	3.97
Momance	330	5.88
Grande Rivière de Jacmel	560	4.67
Cavaillon	380	9.42
Ravine du Sud	330	4.86
Grand'Anse	541	26.85

## **2.6- Pollution de l'eau en Haïti**

La contamination et la salinité sont fréquentes en Haïti au niveau des d'eau de surfaces. Cependant, cette dernière est utilisée pour les usages domestiques par beaucoup de la population avec peu de prudence et pas de traitement. Cette contamination d'eau de surface d'origine domestique et industrielle a eu lieu partout dans le pays, surtout près de la population extrêmement peuplée. Il n'existe pas trop d'information spécifique sur la qualité la disponibilité de l'eau, mais beaucoup de sources informent que cette contamination d'eau de surface a augmenté significativement dans les années récentes (ECIDMC, 1999). L'utilisation de l'eau domestique et l'eau de ruissellement, l'eau de l'agriculture en sont la cause principale de la contamination biologique de l'eau de surface et en aval des rivières des zones peuplées. Bien que l'eau souterraine soit généralement plus sûre que les provisions d'eau de surface non traitées, beaucoup d'aquifères à bas-fonds deviennent biologiquement contaminés, principalement grâce au placement impropre des déchets (ECIDMC, 1999).

## CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### 3.1-Localisation de la zone d'étude

La vallée Artibonite se situe dans la Partie Basse du Fleuve Artibonite (PBFA). Elle est constituée du bassin du fleuve Artibonite, à la sortie du lac Péligre, jusqu'à l'embouchure. La superficie de la PBFA est estimée à 2449.64 km<sup>2</sup>, elle est divisée en 5 sous-bassins versants (Artibonite Aval, Boucan Carré, la Thème, Fer-à-Cheval, Lascahobas). L'Artibonite Aval, notre zone d'étude, constitue la vallée de l'Artibonite et représente 60.44% de la PBFA en termes de superficie couverte (Fig. 3). Cette étude a été réalisée au niveau de la vallée de l'Artibonite sur 8 communes faisant partie du bas Artibonite (La Chapelle, Verrettes, St-Marc, Desdunes, Grande Saline, Marchand Dessalines, Petite Rivière de l'Artibonite, Estère) (MDE, 2007) (Fig. 3).

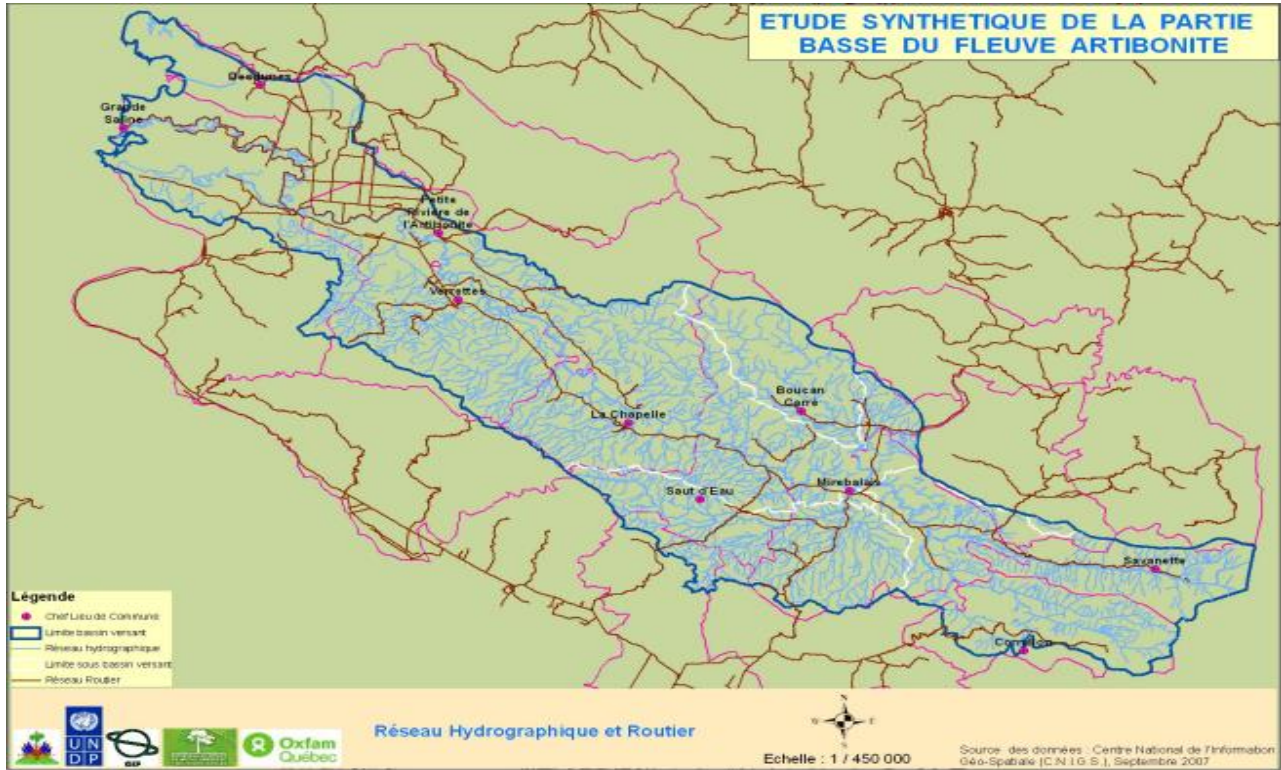


*Figure 3 : Sous bassins versants de la PBFA (Source : MDE, 2007)*

### 3.2- Hydrographie

Le réseau hydrographique dans la PBFA est assez dense (Fig. 4). La rivière Artibonite à la sortie du lac Péligre en est l'axe principal du réseau. La chevelure est constituée par un ensemble de rivières et de ravines dont un grand nombre se jettent directement dans la rivière Artibonite. Quatre

des plus importants affluents de la rivière Artibonite en aval du lac Péligre sont les rivières : la rivière Fer-à-Cheval qui draine les eaux de la rivière Gascogne ; la rivière la Thème ; la rivière Boucan Carré ; et la rivière Capucin. Il faut souligner qu'un des bras de la rivière Fer-à-Cheval prend sa source entre Savanette en Haïti et Hondo Vallée en République Dominicaine.



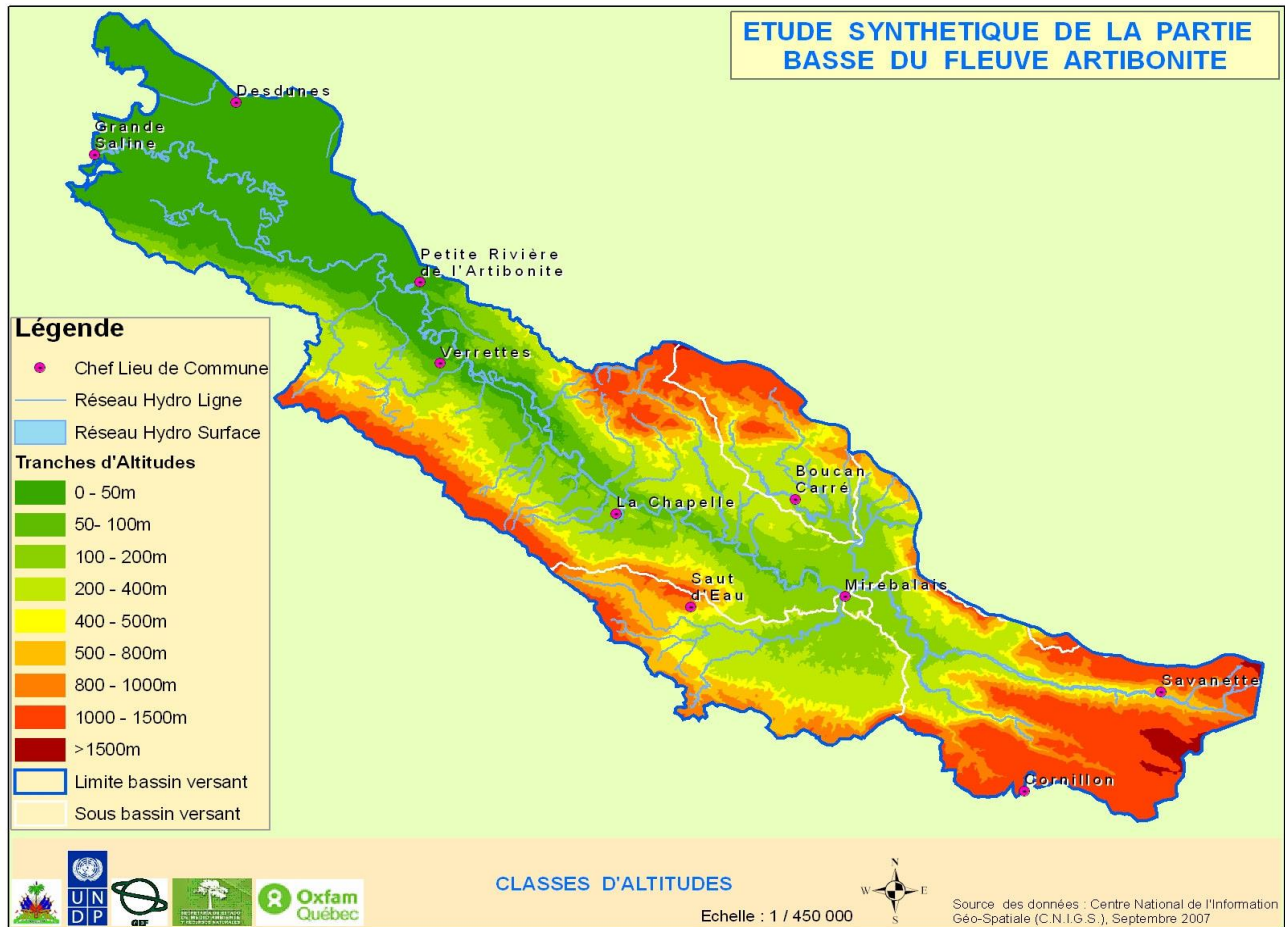
*Figure 4 : Représentation du réseau hydrographique de la PBFA (Source :MDE, 2007)*

### 3.3- Relief et altitude

La vallée de l'Artibonite est considérée comme une vaste plaine triangulaire d'environ 350 km<sup>2</sup>, traversée par les rivières de l'Artibonite, de l'Estère et de la Quinte. Elle est limitée au Nord par la rivière de l'Estère qui sert d'émissaire de drainage, au Sud par le canal primaire de Colminy, la route nationale no 1 et la route de Pont Sondé-Verrettes, à l'Est par le piedmont occidental du morne de Chaos et à l'Ouest par un littoral marécageux et des terres basses. Selon Georges (2014), la superficie irrigable est de l'ordre de 32 000 ha, soit 18 % des terres irrigables du pays. Le riz occupe 85% des terres.

La vallée de l'Artibonite se situe dans la région du basse Artibonite, elle est l'une des plus grandes aires irriguées, qui a une valeur économique très importante pour le pays. Elle se situe dans une

zone plaine alimentée par les piémonts. On y rencontre tous les sous-bassins versants, mais majoritairement dans le bassin versant Artibonite Aval (Fig. 5). Des versants de haute altitude (supérieure à 800 m) y sont également présents. Cette catégorie se rencontre par ordre de priorité au niveau des sous-bassins versants Fer-à-Cheval, Artibonite Aval et Boucan Carré (MDE, 2007).



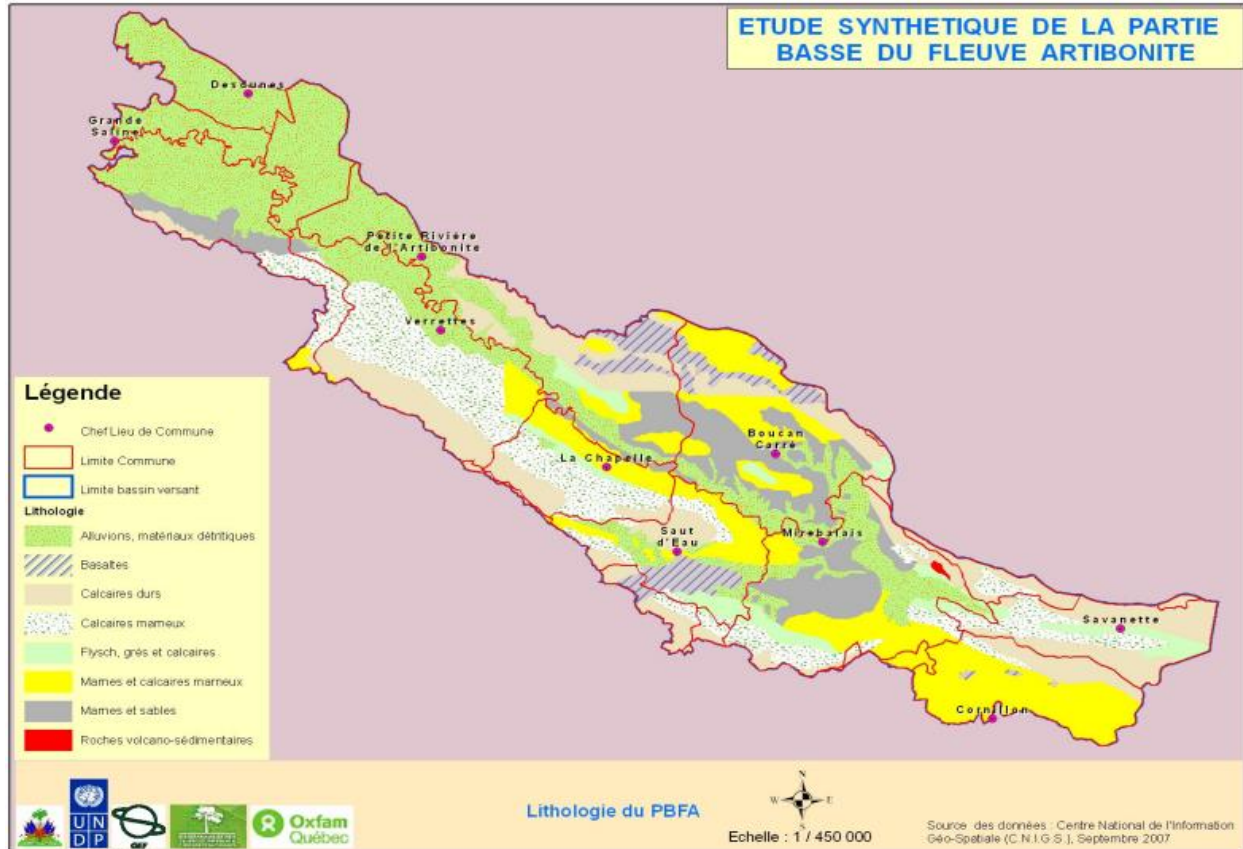
**Figure 5 :** Représentation du réseau hydrographique de la PBFA (Source : MDE, 2007)

### 3.4- Pédologie

La nature et les caractéristiques des sols du département de l’Artibonite varient suivant ce que l’on se trouve en montagne ou en plaine. Dans les montagnes et les plateaux, les calcaires massifs donnent par altération une argile latéritique rouge à la fois très poreuse et très perméable (MDE, 2015).

Les sols de plaines du département de l’Artibonite où se trouve la vallée de l’Artibonite appartiennent dans leur totalité à la catégorie des sols alluviaux (Fig. 6). Ils sont formés de dépôts

fluviatiles et de composition hétérogène allant des matériaux fins aux cailloux calcaires arrondis. Ce sont en général des sols de couleur brun-foncé. Leur texture va de limono-sableuse à argilo-limoneuse. Leur PH légèrement alcalin oscille entre 7,0 et 8,0 (MDE, 2015 ; Dalmyr, 2018).



**Figure 6 : Distribution des unités lithologiques dans la PBFA Source : MDE, 2007**

### 3.5- Climat

Le département de l'Artibonite jouit d'un climat tropical humide. Les températures moyennes de cette région varient de 23°C à 29.1°C, les précipitations au niveau de la Vallée de l'Artibonite sont de l'ordre de 500 à 1000 mm dans les plaines tandis qu'elles sont de 1000 à 1500 mm au niveau des Montagnes Noires, des Matheux et du Massif de Terre-Neuve (MARNDR, 2010 ; Dalmyr, 2018). Le tableau ci-dessous (Tableau 2 et 3) présente une vue panoramique de la situation climatique au niveau de la vallée de l'Artibonite. La figure 8 donne la carte climatique de la région.

**Tableau 1:** Les données climatiques des communes de la vallée de l'Artibonite

<b>Communes</b>	<b>Température moyenne annuelle (°C)</b>	<b>Précipitation (mm)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Classification-Köppen-Geiger (Type)</b>
<b>La Chapelle</b>	29.1	786.2		Aw
<b>Verrettes</b>	29	788		Aw
<b>Petite Rivière</b>	26.0	1092	44	Aw
<b>Marchand Dessalines</b>	29.1	786.2		Aw
<b>Estère</b>	26.3	1069	8	Aw
<b>Saint-Marc</b>	25.6	674	21	Aw
<b>Desdunes</b>	26.3	457	6	BSh
<b>Grande Saline</b>	29	859.8		Aw



*Figure 7 : Distribution des types de climat dans la PBFA (Source : MDE, 2007)*

## **CHAPITRE IV- DEMARCHE METHODOLOGIQUE**

### **4.1- Matériels**

Pour réaliser cette étude, trois types de matériels ont été utilisés : matériels physiques, chimiques et des logiciels.

- Les matériels physiques consistent en les instruments et appareils électroniques utilisés pour la collecte des données et pour la géolocalisation.
- Les matériels chimiques consistent en les bandelettes utilisées pour mesurer la teneur des échantillons prélevés en nitrates.
- Les logiciels utilisés sont Word, Excel et R.

### **4.2-Recherches documentaires**

Les travaux antérieurs constituent une source de données pouvant orienter la recherche sur le terrain. Dans le cadre de cette recherche, on a recouru à des documents divers comme des mémoires de fin d'étude, rapports, articles scientifiques, revues, sites internet, abordant notre thème d'étude en vue de faire leurs synthèses et d'organiser des thématiques.

### **4.3-Échantillonnage**

Dans le cadre de cette étude, on a procédé à deux processus d'échantillonnage distincts comme suite. D'abord, dans la première campagne, nous avons initialement déterminé les coordonnées géospatiales pour la collecte des échantillons d'eau en amont ; dans les aires rizicoles et en aval de la vallée de l'Artibonite. Ensuite, un effectif de 53 échantillons ayant chacun un volume d'un (1) litre a été collecté aux endroits prédéterminés. En faites, environ 16 % des échantillons sont collectés en Amont, 62 % au niveau des aires rizicoles et 22 % au niveau des embouchures.

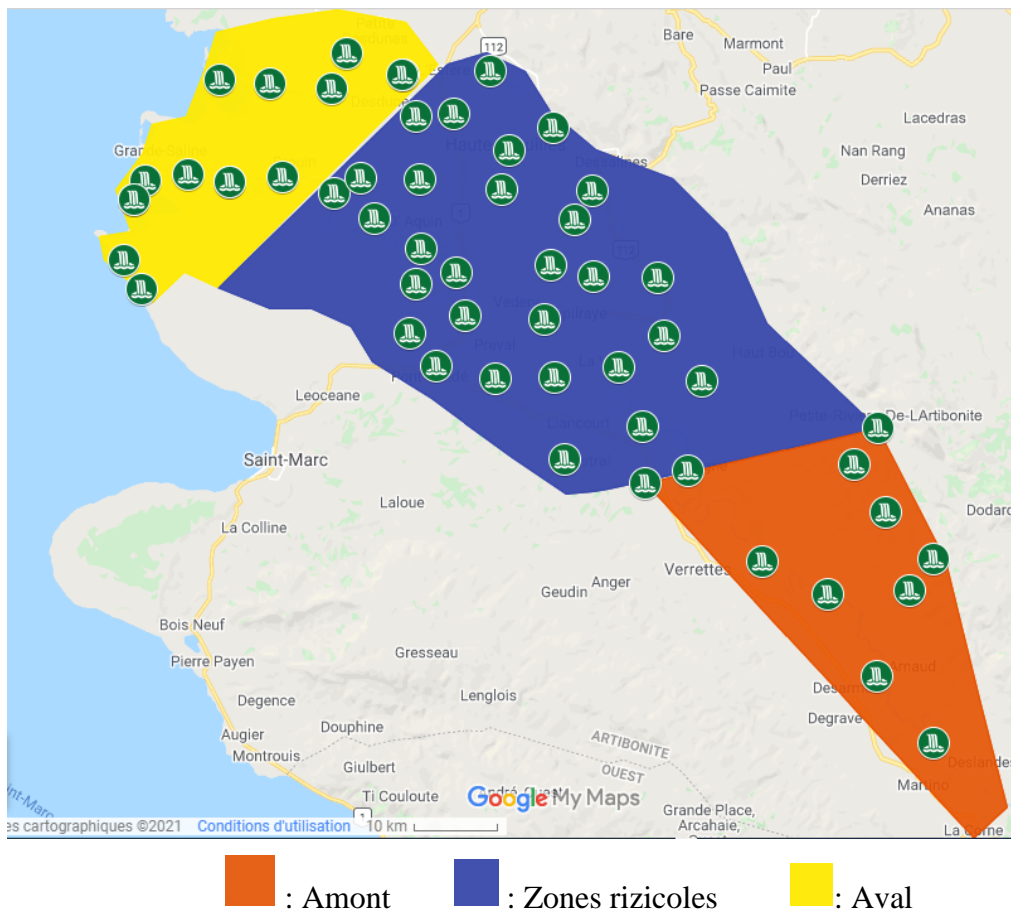
La deuxième campagne échantillonnage a été effectuée au sein de la population des riziculteurs de la vallée de l'Artibonite. Un échantillon de 200 riziculteurs a été sélectionné de l'ensemble des riziculteurs de la vallée de l'Artibonite estimé à 75 000 riziculteurs par la BID (2019). Cette taille 'échantillon a été déterminé avec une marge d'erreur 6.92 % et un intervalle de confiance de 95%. En faites, les réponses obtenues dans cette enquête seraient données par un intervalle de 43.08 à 56.92% de la population.

### **4.4-Collecte de données**

#### 4.5-Analyses des échantillons d'eau

Pour estimer la teneur en azote des échantillons d'eau, des bandelettes spécifiques ont été utilisées pour évaluer la concentration en nitrate de chaque échantillon. Ces bandelettes sont de la marque MQuant, et mesure la concentration du  $\text{NO}_3^-$  dans l'échantillon d'eau. Ce test peut détecter une concentration allant de 10 à 500 mg/l de  $\text{NO}_3^-$ . Immédiatement après la collecte des échantillons, ces derniers sont analysés par un professeur expérimenté, ainsi que par son assistant. Ce professeur, agronome de carrière a une longue expérience dans la réalisation de telles analyses. Enfin, une fois les analyses terminées, les résultats m'ont été transférés le même jour (Fig. 8).

Faute, d'un laboratoire en Haïti pouvant effectuer ces analyses, on avait recouru à des bandelettes pour effectuer ces estimations. Toutefois, la précision de ces tests est très élevée suivant des études comparatives réalisées sur une large gamme de bandelettes (Bischoff, 1996 ; Holden & D. Scholefield, 1995) ; J.M. Jemison Jr. & R.H. Fox, 1988).



**Figure 8 :** Localisation des points de collecte des échantillons

#### **4.6-Enquête**

Dans le cadre de ce travail de recherche, 200 producteurs de riz ont été enquêtés concernant la quantité de fertilisant inorganique utilisée et les rendements du riz durant les 4 dernières années dans la vallée de l'Artibonite. Aussi, des questions relatives à la perception de la population sur la pollution de l'eau par les engrais inorganiques ont été également posées. Le questionnaire a été administré directement par des entretiens structurés avec les enquêtés. Les entretiens ont été réalisés par un groupe de professionnels en Haïti, ayant de l'expérience dans réalisation d'enquêtes.

#### **4.7-Traitement et analyse des données**

Il est important que les données brutes soient traitées correctement afin de les transformer en informations aux fins de la prise de décision. L'analyse des données débutera en éditant les réponses pour assurer la cohérence. Par conséquent, toutes les données sont revues attentivement afin de déterminer si les réponses valaient la peine et de découvrir si toutes les questions ont été correctement répondues. Ainsi, Les méthodes d'analyses qualitatives et quantitatives d'analyse statistique ont été utilisées dans l'analyse des données. Les échantillons d'eau ont été analysé suivant les concentrations des ions de nitrate dans les trois sous-zones définies de l'étude : Amont, zone rizicole, avale de la vallée de l'Artibonite

Les Logiciel Excel et R ont été utilisés pour effectuer des analyses statistiques descriptives et des analyses de variance pour résumer les données, créer des tableaux et graphiques appropriés pour examiner les relations entre les variables.

## CHAPITRE V : RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 5.1-Résultats

Cette étude a été conduite dans l'objectif de faire un état des lieux du niveau de pollution de l'eau due aux engrais inorganiques utilisés dans la riziculture dans la vallée de l'Artibonite. Une compréhension des mécanismes de fertilisation et de la relation entre les doses de fertilisants appliquées, la pollution et le rendement obtenu est également recherchée. Les résultats des analyses d'échantillons et des enquêtes menées sur le terrain ont permis de dégager les résultats qui répondent à ces objectifs.

#### 5.1.1-Production rizicole dans la vallée de l'Artibonite

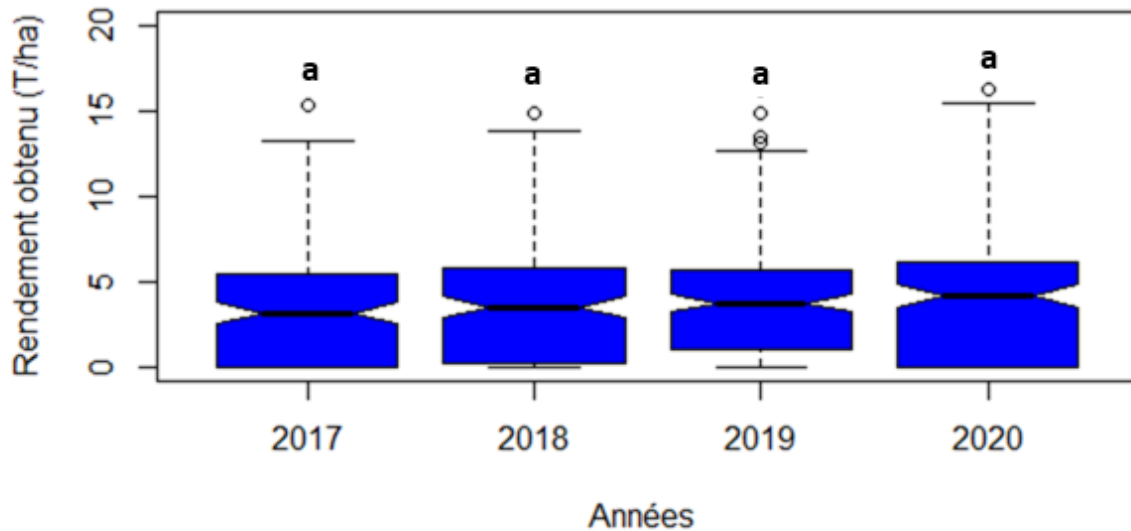
La vallée l'Artibonite, se trouvant dans le département de l'Artibonite, est le plus grand bassin de production du riz en Haïti. Suivant les données collectées dans le cadre de cette étude, deux cycles de production sont généralement réalisés par année. Cependant, dans les années sèches, un seul cycle est réalisé, soit celui du mois de mars. Plusieurs variétés sont cultivées dans cette région rizicole, toutefois la variété TCS-10 demeure la plus cultivée. Les autres variétés comme *Sheila*, *Shelda*, *Lacrete* sont cultivées de manière erratique et sont destinées à une clientèle des villes plus ou moins aisée.

Dans la vallée de l'Artibonite, il y a un certain automatisme de réaliser une fumure de fond à base de matières organiques, constitué de fanes de riz. Ces dernières proviennent du battage du riz paddy réalisée dans les champs. Ainsi, les résidus de récolte sont rejetés dans les champs pour augmenter la fraction organique du sol.

Les doses d'engrais inorganiques appliquées sont généralement fractionnées en deux, avec des spécifications en termes de formulation par fractionnement. Environ huit (8) jours après le repiquage, une fertilisation à base d'engrais complet de formulation 20-20-10 est réalisée. Pendant la floraison, entre 35 à 50 jours après le repiquage, tout dépend de la variété, une dose d'urée est appliquée. Indépendamment des formulations, les engrais inorganiques sont appliqués à la volée, sans une spécification pour les besoins en éléments nutritifs par pied.

Dans le cadre de cette étude, une évaluation sommaire du rendement a été effectuée, sans faire ressortir les susceptibilités reproductives des différentes variétés cultivées dans cette région rizicole. Se basant sur les données collectées, le rendement du riz paddy varie de 0.4 à 15 T/ha. Cependant, le rendement moyen oscille aux environs de 4 tonnes à l'hectare (Fig. 9). L'analyse de variance du rendement ne décèle pas de différences significatives entre les quatre années prises en com

pte dans cette étude (p-value = 0.2141). Toutefois, on observe une tendance à la hausse du rendement partant de 2017 jusqu'à 2020.



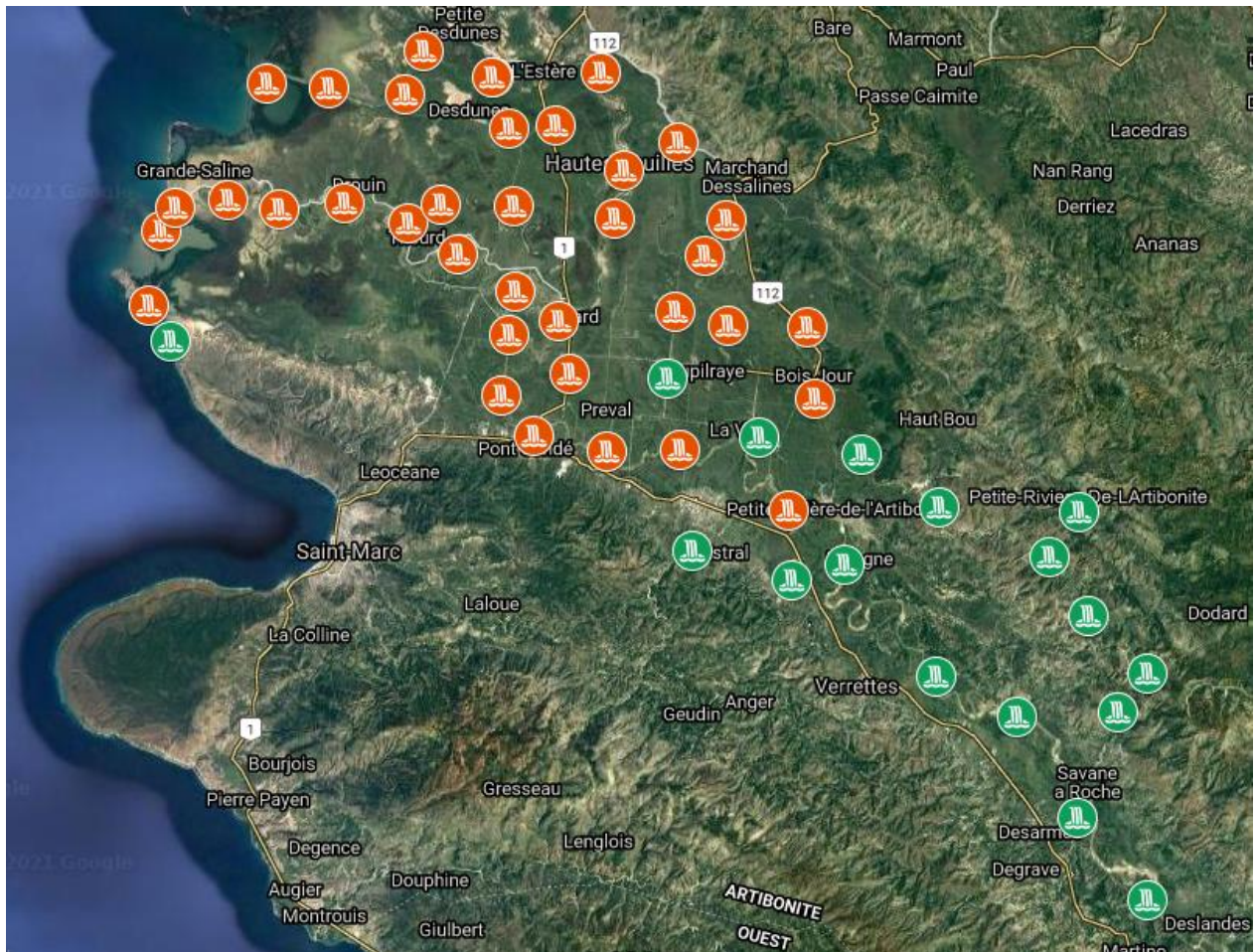
*Figure 9 : Rendement du riz*

- Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% de probabilité
- Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité

### **5.1.2-Concentration de l'azote dans les eaux de surface**

Dans la définition de la méthodologie de cette étude, la vallée l'Artibonite a été divisé en trois grandes zones suivant la typologie suivante : l'amont (à l'entrée des zones rizicoles de Lachapelle et de Verrettes), les zones rizicoles proprement dites et l'aval (proche des embouchures, à la sortie des zones rizicoles). Cependant, les teneurs des échantillons prélevés en azote permettent de distinguer deux grandes zones au niveau de la plus grande zone rizicole du pays. En effet, les analyses échantillons prélevés en amont des zones rizicoles, au niveau du fleuve Artibonite, démontrent que la concentration des ions de nitrate est moins de 10 mg/l soit 10 ppm. Par contre, les analyses de ceux qui sont prélevés au niveau des zones rizicoles jusqu'aux embouchures démontrent que la concentration des ions de nitrate varie de 10 à 20 mg/l (Fig. 10). L'analyse de variance des concentrations de l'azote au niveau des régions d'études a décelé des différences significatives entre l'amont, les zones rizicoles et l'aval (p-value =  $6.184e^{-05}$ ). La comparaison

multiple des moyennes à l'aide du test de Duncan a montré que la concentration des ions de nitrate est significativement supérieure au niveau de l'aval par rapport aux deux autres zones, alors que celle des zones rizicoles est également significativement supérieure par rapport à l'amont de la vallée (Fig. 10). L'analyse des échantillons d'eaux prélevés démontrent que la riziculture contribue à une augmentation significativement de la teneur en azote des eaux de surface dans la vallée de l'Artibonite. Toutefois, les résultats de cette étude ne permettaient de déterminer à quel niveau les engrais inorganiques appliqués contribuent à cette augmentation de la teneur en azote des eaux.



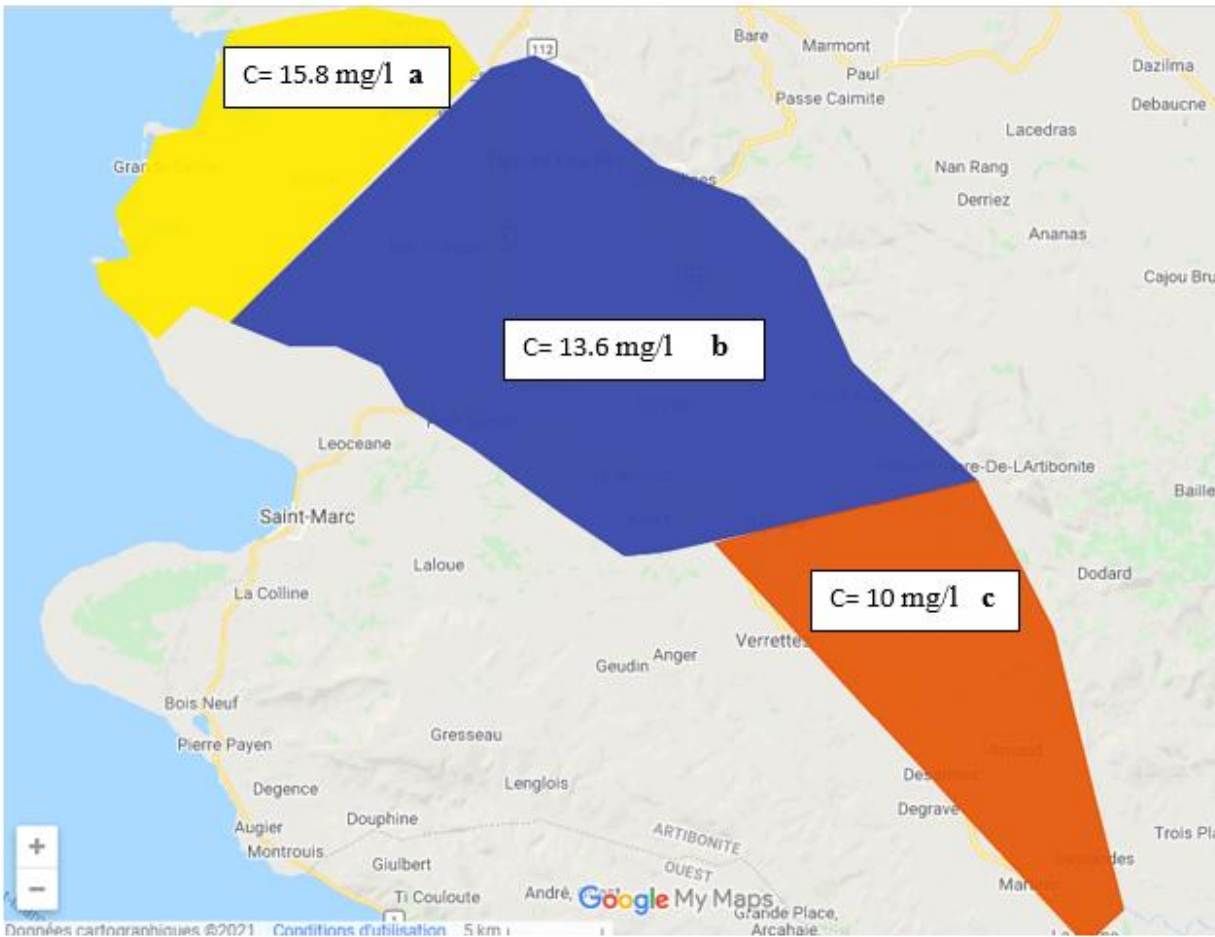
**Figure 10 :** Carte de la concentration de l'azote dans la vallée de l'Artibonite



: Concentration inférieure ou égale à 10 mg/l



: Concentration supérieure à 10 mg/l



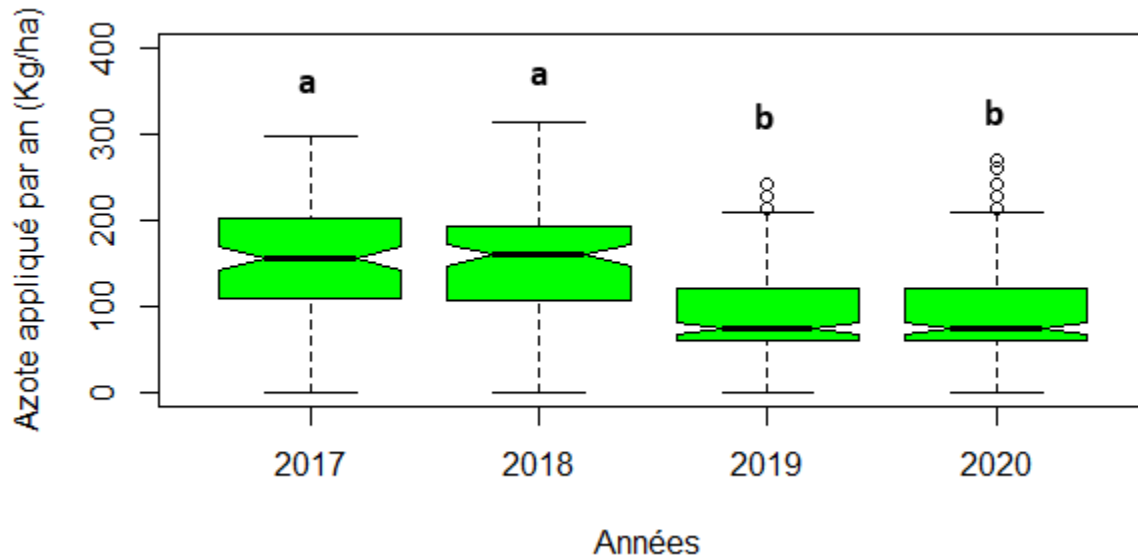
**Figure 11 :** Comparaison de la concentration de l'azote dans les zones d'étude

- Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% de probabilité
- Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité

### 5.1.3-La fertilisation azotée

L'azote est un élément essentiel pour la croissance des végétaux. Son application dans les rizières est aujourd'hui une obligation pour escompter un rendement satisfaisant. Pour mieux comprendre la teneur des eaux de surface de la vallée de l'Artibonite en azote, une estimation de la quantité d'azote totale appliquée dans les champs annuellement a été réalisée au cours des enquêtes menées sur le terrain. Ainsi, dans un esprit comparaison, les doses appliquées (kg) sont extrapolées à l'hectare. Les données collectées permettent de déceler que la quantité d'engrais d'azotée appliquée à l'hectare varie de 10 à 300 Kg/ha. Dans les années 2017 et 2018, elle a été estimée qu'en moyenne 150 kg d'azote sont appliqués par hectare. Cependant, on constate que cette dose

d'application s'est réduite considérablement pour avoisiner les 100 kg/ha durant les deux dernières années (Fig. 12). L'analyse de variance a décelé des différences significatives entre les doses d'azote appliquées durant les quatre dernières années ( $p\text{-value} = 6.653e^{-15}$ ). La comparaison multiple des moyennes à l'aide du test de Duncan démontre que les doses appliquées durant les années 2017 et 2018 sont significativement des doses appliquées en 2019 et 2020.

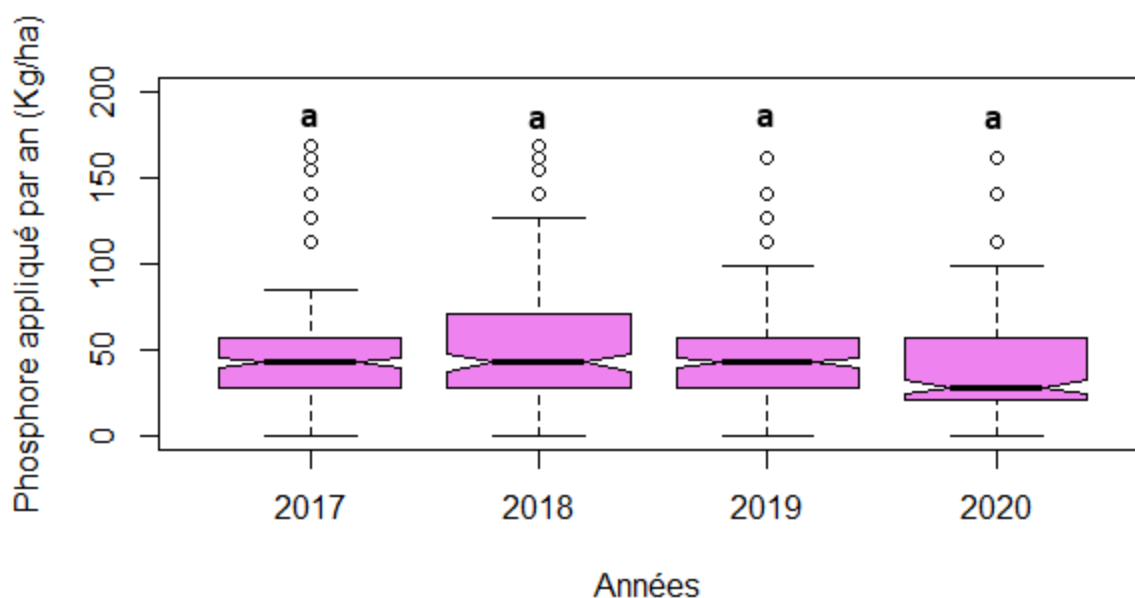


**Figure 12 :** Doses d'azote appliquées à l'hectare par an

- Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% de probabilité
- Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité

#### 5.1.4- Fertilisation phosphorique

Dans le cadre de cette étude, une estimation des doses de phosphore appliquées à l'hectare a été également réalisée. On constate que les doses appliquées varient de 0 à 125 kg/ha. Cependant, la moyenne des doses appliquées annuellement est estimée à environ 50 kg par hectare. L'analyse de variance des doses de phosphore appliquées ne décèlent pas de différence significative entre les différentes années sous-études ( $P\text{-value} = 0.4149$ ).

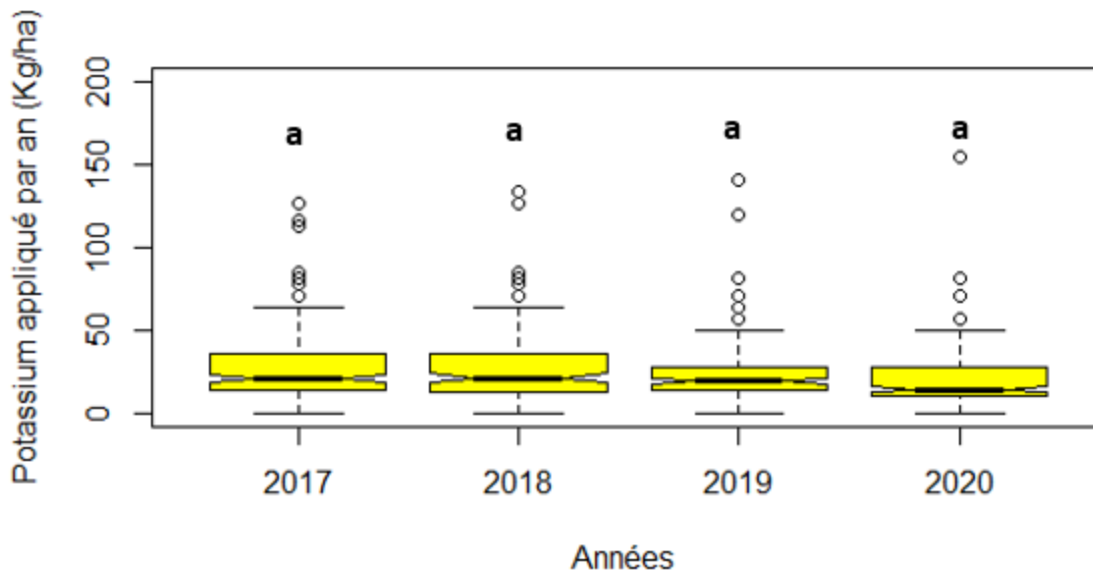


**Figure 13** : Doses de phosphore appliquées à l'hectare par an

- Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% de probabilité
- Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité

### 5.1.5-Fertilisation potassique

Les doses de potassium appliquées à l'unité de surface dans la vallée de l'Artibonite sont relativement faibles en comparaison à celles d'azote et de phosphate. Les données collectées démontrent que les doses appliquées varient 0 à 65 kg/ha. En outre, on constate qu'elles oscillent en moyenne aux alentours de 20 à 25 kg/ha durant les quatre dernières années prises en compte dans cette recherche (Fig. 14). L'analyse de variance des doses de Potassium appliquées ne décèlent pas de différence significative entre les différentes années sous-études (P.value = 0.4149).

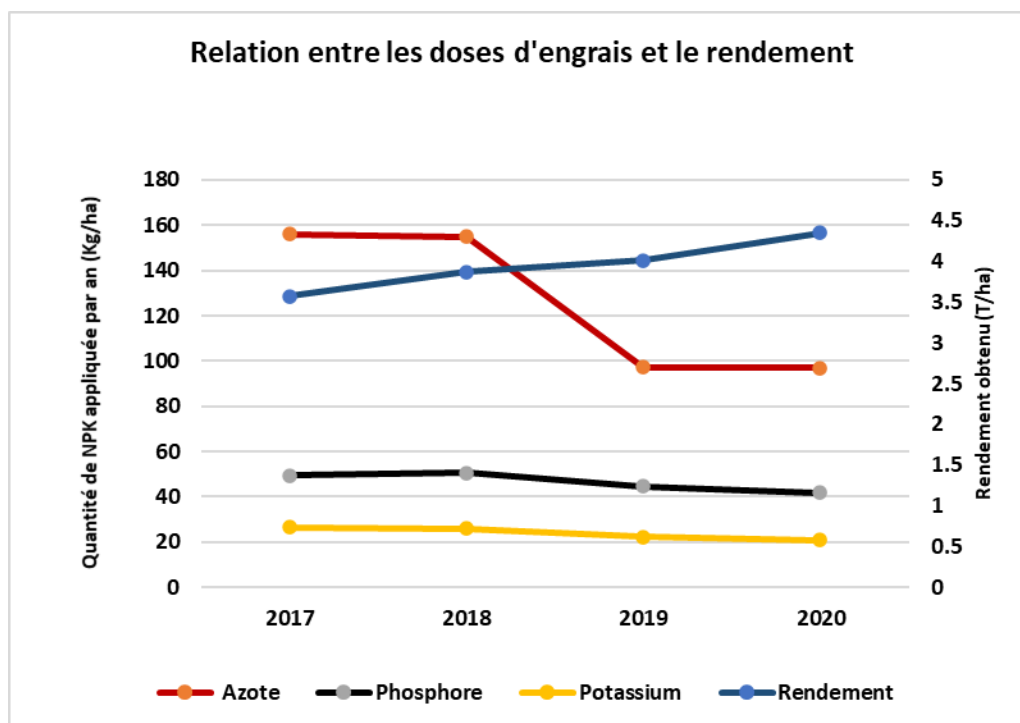


**Figure 14** : Doses de potassium appliquées à l'hectare par an

- Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% de probabilité
- Les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité

### 5.1.6-Doses d'engrais appliqués et le rendement

Dans le cadre de cette étude, une comparaison sommaire des doses d'engrais appliquées par rapport au rendement a permis de suivre l'évolution de ces deux facteurs au cours de la courte période d'étude. Le rendement durant les quatre années de l'étude a suivi une tendance à la hausse, avec une variation de 3.75 à 4.5 tonnes/ha. Alors que, une tendance à la baisse est plutôt remarquée pour les doses de NPK appliquées. A remarquer que, la forte réduction des doses d'azote appliquées durant les deux dernières années n'a pas corrélé à une réduction du rendement. En plus, lorsqu'on tient compte de la relation du rendement et des doses d'azote, mise à part les années 2017 et 2018, où des coefficients de corrélation proche de 0.5 a été retrouvé, une indépendance du rendement par rapport aux doses d'azote appliquées a été remarqué durant les deux dernières années.



*Figure 15 : Relation entre les doses d’engrais et le rendement*

Par ailleurs, lorsqu’on analyse la relation entre les doses de phosphore et de potassium, durant les quatre dernières années, une évolution plus ou moins indépendante a été remarquée entre les facteurs analysés. Cet état des résultats est très informatif sur l’état nutritionnel du sol, et faire ressortir des possibilités que des doses excessives d’azote ont été utilisées. Toutefois, il faut placer cette étude dans son contexte. Elle n’était une recherche expérimentale visant à évaluer l’effet des doses de NPK sur le rendement du riz. Donc, les données sont de type observationnel.

**Tableau 2:** Corrélation entre le rendement obtenu et les doses d’engrais chimiques (NPK) appliquées

Eléments fertilisants	Rendement			
	2017	2018	2019	2020
Azote	0.5	0.42	0.08	0.06
Phosphore	0.03	0.14	0.06	0.02
Potassium	0.03	0.14	0.06	0.02

N.B : Corrélation sur une taille d’échantillon de 200

### **5.1.7-La population et les risques de pollution**

Dans le cadre de cette étude, une emphase a été portée sur la compréhension de la population sur les risques liés à l'application excessive des engrais inorganiques. Plus de 90% des enquêtés sont d'avis que ces derniers ont des effets néfastes sur l'écosystème. D'une part, plus de 80% sont d'accord que des doses excessives sont généralement utilisées dans la riziculture dans la vallée de l'Artibonite. D'autre part, ils s'alignent unanimement qu'une légère réduction des doses de fertilisants appliquées, particulièrement celles de l'azote, seraient bénéfiques pour l'environnement et réduirait les coûts de production sans toutefois affectées réellement significativement le rendement. De telles affirmations s'alignent avec les résultats ci-dessus concernant la relation du rendement et des doses engrais appliquées.

## **5.2-Discussions**

Dans cette étape du travail, une approche analytique a été réalisée pour discuter les résultats à la lumière de la littérature disponible et de la situation multidimensionnelle de la zone d'études.

### **5.2.1-Production rizicole dans la vallée de l'Artibonite**

Le riz, qu'il soit irrigué ou pluvial, est produit dans tous les départements d'Haïti, à l'exception du celui du Nord-Ouest. Toutefois, la vallée de l'Artibonite demeure le plus grand bassin de production quant à la superficie cultivée. Elle fournit environ 85% de la production pour la saison du printemps, et un peu moindre dans les autres saisons (MARNDR/USAI, 2015).

L'adoption de masse de la variété TCS-10 dans la vallée de l'Artibonite remonte au passé de production et a des politiques d'intensification de la riziculture dans cette région. Après la dévastation des rizières par la maladie de la paille noire dans les années 1980, plusieurs variétés ont été introduites pour relancer la production rizicole de cette région. Mais, après plusieurs années d'expérimentation continues, la variété TCS-10 a été largement vulgarisée pour sa productivité et son appréciation par la population. Toutefois, c'est une variété extrême vorace en éléments fertilisants.

Depuis environ plus d'une décennie, plusieurs projets ont été implémentés pour augmenter la disponibilité des engrais inorganiques d'un côté et d'un autre pour rationaliser les doses d'engrais appliquées ((MARNDR, 2014; WINNER/USAID, 2017). Malgré de multiples efforts de la part du ministère de l'agriculture et d'autres organismes non-étatiques, la fertilisation inorganique des

rizières se fait suivant les capacités financières de l'agriculteur et généralement sans supervision des autorités régionales (Louissanint et Duvivier, , 2005).

La fertilisation organique est très peu vulgarisée dans la vallée de l'Artibonite, vue la faible teneur de ces engrais en éléments nutritif pour la plante. Dans certaines zones de la vallée de l'Artibonite, après la récolte, les paysans pratiquent l'écobuage pour pouvoir disposer au plus vite les éléments nutritifs disponibles dans les résidus de récoltes. Cette pratique qui consiste au brûlis des débris organiques et de la végétation présentes sur la parcelle au moment de la préparation de sol a été dénoncée par le MARNDR/PSF (2012), pour la pollution de l'air causée. Suivant une étude commanditée par le ministère de l'agriculture, il a été estimé qu'environ 58% des engrais chimiques appliqués est transformée en biomasse et le reste est converti en grain (soit 42%) (MARNDR/PSF, 2012). Cette pratique génère donc une énorme réserve en azote pour le sol si une valorisation optimale a été effectuée.

Le rendement du riz au niveau national varie de 2 à 3 tonnes/ha. Cependant, comme l'a précisé IICA/SYFAAH (2012), dans une étude commandite sur la filière du riz en Haïti, dans les localités bénéficiant des interventions du PIA (dans l'Artibonite) et de la mission taïwanaise (à Torbeck) on a obtenu dans certains cas des 13 rendements plus ou moins satisfaisants : 4 à 5 tonnes/hectare pour TCS 10, et 3 à 4 tonnes/hectare pour Prosequisa et Sheila. Ces résultats sont confirmés par Joseph (2013) dans le cadre des recherches menées dans la vallée de l'Artibonite pour comparer le système de riziculture intensif et le système traditionnel. Ainsi, les recherches ci-dessus s'alignent avec les trouvailles de l'enquête menées sur le terrain, évaluant le rendement du riz dans la vallée de l'Artibonite.

### **5.2.2-Concentration de l'azote dans les eaux de surface**

Le cycle de l'azote des écosystèmes préindustriels a longtemps été remarquablement fermé, malgré la grande mobilité de cet élément dans l'atmosphère et l'hydrosphère. Les échanges commerciaux interrégionaux et internationaux de produits agricoles marchandises, qui a considérablement augmenté après la généralisation de l'utilisation d'engrais azotés synthétiques, introduit un type supplémentaire d'azote mobilité, qui rivalise aujourd'hui avec les flux atmosphériques et hydrologiques, et provoque leur renforcement aux niveaux local, régional et mondial. Quarante-cinq pourcent de l'apport anthropique net d'azote réactif n'est présent que sur 43 pourcent du territoire. L'agriculture moderne basée sur la l'utilisation d'engrais de synthèse et le découplage des

productions végétales et animales est responsable de la plus grande partie des pertes anthropiques de réactifs l'azote dans l'environnement( Billen et Garnier, 2013).

Selon Julio et Camargo (2006), il y a trois problèmes environnementaux majeurs à la pollution due à l'azote: (1) il peut augmenter la concentration d'ions hydrogène dans les écosystèmes d'eau douce sans grande capacité de neutralisation de l'acide, entraînant une acidification de ces systèmes ; (2) elle peut stimuler ou améliorer le développement, le maintien et la prolifération des producteurs primaires, entraînant l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques ; (3) il peut atteindre des niveaux toxiques qui nuisent à la capacité des animaux aquatiques à survivre, grandir et se reproduire. La pollution par l'azote inorganique des eaux souterraines et de surface peut également avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'économie.

Dans le cadre de cette étude, visant une estimation de la concentration de l'azote total dans les eaux de surface dans la vallée de l'Artibonite, des résultats un peu compromettants ont été retrouvés. En amont des zones rizicoles, la concentration des ions de nitrate varie de 0 à 10 ppm. Ces données coïncident avec les attentes de l'étude. Il a été prévu que l'eau provenant du barrage de Péligre aura une faible concentration d'azote dissous. Cependant, dans les zones rizicoles et dans les exutoires, on avait attendu une augmentation plutôt considérable de la concentration en azote des eaux de surface. En effet, sa concentration dans ces zones varie 10 à 20 ppm. Ceci traduit une contribution plutôt significative de la riziculture dans la pollution des eaux courantes de la vallée de l'Artibonite.

Suivant les recherches conduites par Book (1987) sur les malformations chez les humains dues à la consommation de l'eau polluée par l'azote, il a été conclu qu'une concentration de nitrate de 45 ppm pourrait entraîner des malformations irréversibles chez les humains. De telles considérations, sont aussi juste pour la faune de la zone, car étant pour la plupart plus petits que les humains, donc sont très vulnérables à une intoxication au nitrate. Par ailleurs, dans les pays comme les États Unis d'Amérique et Israël, la concentration en ions de nitrate doit-être supérieure à 70 ppm pour classer une source d'eau impropre à la consommation humaine (Daniel et al, 2013). Pour l'Union Européenne, l'eau potable ne doit pas contenir plus de 50 ppm de nitrate. Elle affirme qu'au-delà de cette concentration, il y a de fort risque de santé publique. Même si que les points de collecte des échantillons ne sont pas destinés à la consommation humaine, mais les risques sanitaires

qu'une concentration excessive de nitrate pourraient avoir sur l'homme serait quasiment serait identiques pour la faune de la zone.

Comparant les résultats obtenus dans cette étude aux normes internationales, on retient que la plus haute dose notée est doublement inférieure par rapport au standard international. Ceci laisse comprendre que l'azote dans les eaux de surface dans la Vallée de l'Artibonite ne représente pas un risque important pour la santé publique à l'heure actuelle. Cependant, ces résultats obtenus doivent être contrastés dans le contexte de la collecte des échantillons. Ces derniers ont été prélevés à la fin du cycle de production du printemps. Comme précisée, normalement, on réalise deux applications d'engrais dans les rizières : une fumure de fond environ 8 jours après le repiquage et la deuxième au moment de la floraison environ 35 à 50 jours après le repiquage. Cette collecte d'échantillon a été réalisée à environ 50 jours après la deuxième dose d'azote appliquée. Sachant la mobilité de l'azote dans le sol, il est un peu difficile de capter la vraie concentration du nitrate dans le sol. En plus, le mois de juillet dernier était un peu pluvieux. Donc, on comprend que la concentration du nitrate s'est réduite suivant le principe de la dilution des solutions chimiques.

Enfin, la concentration de l'azote dans les échantillons est faible par rapport aux normes internationales fixant des concentrations de nitrates jugées toxiques pour l'homme et les autres organismes de la faune.

### **5.2.3-Doses de NPK appliquées dans les rizières**

En riziculture intensive, l'application de l'engrais inorganique est une obligation pour avoir un rendement satisfaisant. Selon la FAO (2021), la dose d'engrais azotée nécessaire pour avoir un bon rendement optimal varie de 70 à 105 kg/ha, tout dépend de la variété, des saisons de cultures et des conditions climatiques. De cette quantité à appliquer, doit être prise les reliquats d'engrais des saisons antérieures. Cependant, dans le cadre de cette étude, les doses appliquées durant les quatre années sous étude excèdent les recommandations de la FAO. Malheureusement, les résultats de cette étude ne permettaient pas de démontrer si les surplus d'engrais azotés appliqués représentent un risque pour la santé publique et pour l'environnement.

Le phosphore favorise la croissance racinaire du riz, le tallage ainsi que la formation et le rendement des grains. La disponibilité du phosphore est plus faible dans les sols de culture pluviale stricte que dans les sols submergés. La carence en phosphore peut être un facteur limitant,

notamment dans les oxisols fortement acides. La disponibilité en phosphore est faible dans les sols alluviaux de culture pluviale et les rendements du riz diminuent avec les récoltes, ce qui pourrait être évité en augmentant le taux d'apport de phosphore (FAO, 2015).

La dose optimale pour une variété avec un cycle de 100 à 110 jours s'est révélé être de 20 à 40 kg  $P_2O_5$ /ha. Dans le cadre de cette étude, il a été retrouvé que la dose de phosphore appliquée varie de 40 à 50 kg/ha. Ces résultats ne se détachent pas des doses recommandables pour cette culture. Ainsi, se basant sur les travaux de Fennel (2019) et Redfield (1934) estimant que le ratio de N/P dans les eaux douces est de l'ordre de 16/1, on estime que le risque de pollution du phosphore est un peu faible dans la vallée de l'Artibonite.

Le potassium aide les plants de riz à devenir robustes et à résister à la sécheresse et aux maladies. Il favorise la formation de grains plus gros. La carence de potassium est moins grave que celle d'azote ou de phosphore, mais certains sols à texture grossière dans les zones de fortes précipitations manquent de potassium. Les techniques de coupe et brûlis peuvent apporter du potassium aux sols (FAO, 2015).

Dépendamment du type de sol, les doses optimales de potassium pour un rendement optimal du riz varient de 20 à 30 kg/ha. Suivant l'enquête menée sur le terrain, les doses de potassium appliquées varient également de 20 à 30 kg/ha. De tels résultats témoignent de l'impact des projets successifs réalisés dans la vallée de l'Artibonite pour augmenter la productivité des différentes variétés de riz cultivées et pour rationaliser les doses d'azote appliqués.

#### **5.2.4-Doses d'engrais appliqués et le rendement**

Dans le cadre de cette étude, la compréhension de la relation entre les doses d'engrais appliqués et le rendement, pourrait-être une indication sur l'utilisation de doses excessives. Durant les années 2017 et 2018, les analyses statistiques permettent de déceler que les doses d'azote appliquées influencent le rendement à environ 50% (Tableau 4). Même si cette étude n'est pas expérimentale et est plutôt holistique, les résultats obtenus se rapprochent des trouvailles d'autres chercheurs où des coefficients de corrélation allant de 0.5 à 0.64 a été retrouvés l'azote et le rendement du riz (Chaturvedi, 2005; Zhang et al., 2020; Camargo, 2006; Khairunniza-Bejo et al., 2017).

Suivant les résultats obtenus, le rendement du riz dans la vallée de l'Artibonite n'est pas vraiment corrélé avec le phosphore et le potassium. Comme l'a démontré FAO (2015), les deux éléments

montrent des effets significatifs sur le rendement, lorsqu'il y avait une carence en ces derniers. Les sols d'Haïti, de leurs pédogenèses, ont une forte teneur de phosphore et le potassium. Ce qui facilite la prédominance d'un système de culture purement organique dans tous les agrosystèmes de montagne du pays.

#### **5.2.5-La population et les risques de pollution**

Suivant les données recueillies dans l'enquête menées sur le terrain, on aperçoit que la population a été avertie des risques liés à une utilisation excessive des engrais inorganiques, particulièrement l'azote. Cet acquis provient inéluctablement des formations réalisées au profit des organisations de base de la région sur les risques et les dangers liés aux applications déraisonnées des intrants chimiques. Le désir des agriculteurs de manifester à la réduction des doses d'engrais appliqués, particulièrement l'azote tient au fait que ce serait un pari doublement gagnant pour l'agriculteur. Une réduction considérable des doses appliquées lui permettrait de réduire les coûts de production et du même coup réduire les risques associés à la pollution par les engrais azotés inorganiques.

Par ailleurs, il faut mentionner que les doses d'engrais appliqués dépendent aussi de la disponibilité des engrais sur le marché et les capacités financières de l'exploitant agricole. La réduction spectaculaire des doses d'azote durant les deux dernières années illustre cela. En effet, les troubles politiques se poursuivent dans le pays, compliquant les importations ainsi que la distribution des engrais.

Enfin, la population témoigne d'une certaine velléité de protéger leur écosystème par rapport aux risques liés à la pollution des eaux de surface par les engrais chimiques. Toutefois, des mesures coercitives doivent-être mises en place pour les guider et les maintenir dans les bonnes pratiques d'application des engrais et des pesticides.

## CHAPITRE VI - CONCLUSION

Les résultats de l'étude ont montré que les eaux de surface dans la vallée de l'Artibonite se caractérisent par une faible teneur en nitrate. En effet, la concentration en nitrate du fleuve Artibonite à l'entrée des zones rizicoles est inférieure ou égale à 10 ppm. Dans les zones rizicoles jusqu'aux embouchures, des concentrations de 10 à 20 ppm ont été retrouvées. Les analyses de variance permettent de déceler que les concentrations des eaux de surface en nitrate varient significativement de l'amont aux embouchures ( $p\text{-value} = 6.184e^{-05}$ ). Toutefois, la teneur en nitrate de ces eaux ne constitue pas un risque majeur pour la sante publique et pour l'environnement au regard des normes internationales. En effet, suivant les normes européennes et américaines concernant la teneur de l'eau en nitrate, il a été estimé qu'une concentration en dessous de 45 ppm ne représente qu'un risque minimal pour l'environnement ainsi pour la santé publique.

Les résultats de l'enquête menée sur le terrain permettent de découvrir de grande variation entre les doses d'engrais appliqués annuellement. Toutefois, l'amplitude est d'autant plus importante pour que les autres éléments (PK). En faites, les doses d'engrais appliqués varient en moyenne de 100 à 160, 40 à 60 et 20 à 30 kg/ha respectivement pour l'azote, le phosphore et le potassium. Ces doses appliquées, à l'exception de l'azote qui présente une grande variation annuellement, s'alignent aux recommandations de la FAO pour la fertilisation du riz. Ainsi les risques de pollution liés au phosphore restent très minimes.

Les agriculteurs dans la vallée sont conscients des effets néfastes que l'utilisation massive des engrais pourrait avoir sur leurs santés et sur l'environnement. En outre, ils montrent de l'engouement pour rationaliser les doses appliquées, ce qui leur permettrait de réduire les coûts de production et de protéger l'environnement.

Au regard de la méthodologie et des résultats de l'étude, il est vivement recommandé de :

- Répéter cette étude en pleine période de production, immédiatement après le dernier apport de l'urée ;
- Mener des études pour évaluer le niveau de pollution des eaux souterraines à l'azote et au phosphore ;
- Elaborer et implémenter des projets sur le rationnement de l'engrais inorganiques dans la vallée de l'Artibonite.

## CHAPITRE VII- BIBLIOGRAPHIE

- A. Book, A.M.F.C.W. (2012). Evaluation of the nitrate drinking water standard with reference to infant methemoglobinemia and potential reproductive toxicity. Elsevier Inc.
- A. MOININA, M. BOULIF1, R. LAHLALI1. (2018). La culture de riz (*Oryza sativa*) et ses principaux problèmes phytosanitaires : Une mise au point sur la région du Gharb
- Alterpress. (2014). Haïti-Production de riz/Importation : Autosuffisance, équilibrisme ou capitulation
- Association Sante Environnement France (ASEF), 2010. Pollution de l'eau : Origines et impacts  
7p
- Banque interaméricaine de Développement (BID) (2019). Programme d'intensification agricole de la vallée de l'Artibonite.
- Banque mondiale. (2009). Agriculture et Alimentation
- BERNARD Bachelier. (2008). Le nouveau contexte du développement de l'agriculture dans le monde
- BID, 2009. Programme d'intensification agricole. Vallée de l'Artibonite
- Brigitte Courtois, 2007. Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique. Cirad, France, 13 p.
- Cahier du Développement Durable. (2021). Le développement durable, réalité ou utopie : l'eau et les aspects environnementaux
- Charles CHARMERS. (2014). Alerte à la déstructuration du marché du riz dans l'Artibonite : Plate-forme Haïtienne de Plaidoyer pour un Développement Alternatif (PAPDA)
- CHATURVEDI, I. (2005). Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice (*oryza sativa*). Central European Agriculture 6, 611–618.
- Christian Schvatz, Jean-Charles Muller, Jacques Decroux. (2005). Guide de la fertilisation raisonnée 26p

- DALMYR Mercius. (2018). Analyse-diagnostic des systèmes de conservation de sols en Haïti au cours de ces dix dernières années, application à vingt communes des départements du Centre et de l'Artibonite. 8p
- Daniel Kurtzman, Roi H. Shapira, Asher Bar-Tal, Pinchas Finea, David Russo (2013). Nitrate fluxes to groundwater under citrus orchards in a Mediterranean climate: Observations, calibrated models, simulations and agro-hydrological conclusions. 9.
- Daniel VALCOURT, 2016. Le commerce de Riz de l'Artibonite A Port-au-Prince : Coordination Nationale de la Sécurité Alimentaire.
- Directive Cadre Européenne sur l'Eau. (2000). La pollution des eaux 7p
- ECIDMC, 1999. L'Evaluation des Ressources en Eau d'Haïti 89p
- Éric Ravelomanarivo, Damien du Portal, François Bourgois. (2015). LA FERTILISATION EN RIZICULTURE IRRIGUÉE : Valorisation d'essais comparatifs de fertilisation minérale et/ou organique pratiqués en milieu paysan dans le sud-est de Madagascar
- FAO (2015). Systèmes améliorés de riziculture pluviale.
- FAO (2021). BESOINS EN AZOTE.
- FAO. (2015). AQUASTAT Profil de Pays – Haïti
- Fennel, K. and J.M.T. (2019). Biogeochemical Controls on Coastal Hypoxia. Annual Review of Marine Science 11, 105–130.
- FEWS. (2018). Haïti perspective de l'offre et du marché
- François DE MARÇAY. (2018). Théorème des résidus et applications : residus-applications.pdf (universite-paris-saclay.fr)
- Gaël Pressoir, Sandrine Fréguin Gresh, François-Xavier Lamure Tardieu, Fred Lançon. (2016). Les filières agricoles Haïtiennes : un marché intérieur à reconquérir : Convention CO0075-15

Gilles Billen, Josette Garnier, L.L. (2013). The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. *The Royal Society* 308, 14.

GUERMAZI WASSIM. (2017). COURS DE POLLUTION & NUISANCES : UNIVERSITE DE GABES 27p

<http://www.fao.org/3/T0751F/To751f02.htm#TopOfPage>

<https://fr.climate-data.org/amerique-du-nord/haiti/artibonite-department/l-estere-48620/>

<https://www.banquemondiale.org/fr/topic/agriculture/overview>

<https://www.undp.org/sustainable-development-goals>

IICA/SYFAAH (2012). HAITI : ETUDE DE LA FILIERE RIZ.

Informatique, M. de l'Agriculture des R.N. et du D.R. /Unité de S.A. et (2015). Situation de la filière riz 2014-2015.

J.M. Jemison Jr. & R.H. Fox (1988) A quick-test procedure for soil and plant tissue nitrates using test strips and a hand-held reflectometer, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:14, 1569-1582, DOI: [10.1080/00103628809368035](https://doi.org/10.1080/00103628809368035)

Jisheng Zhang, Tianyi Tong, Pouwedeou Mouloumdema Potcho , Suihua Huang, & Lin Ma, and X.T. (2020). Nitrogen Effects on Yield, Quality and Physiological Characteristics of Giant Rice.

JOSEPH, E. (2013). Etude comparative entre le Système de Riziculture Traditionnel (SRT) et le Système de Riziculture Intensif (SRI) dans les communes de Dessalines (Marchand) et de Petite Rivière de l'Artibonite.

Jude Dimanche. (2017). Diagnostic de la filière rizicole

Julio A Camargo, A.A. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. PMID: 16781774.

Khairunniza-Bejo, S., Zulkifli, Z., & Muharam, F.M. (2017). Effect of nitrogen fertilizer to growth, biomass and grain yield of paddy. *Acta Horticulturae* 1152, 159–164.

- Louissaint J. et Duvivier P. (2003). Rapport final de la première phase du projet d'élaboration d'un référentiel technique fiable pour la fertilisation rationnelle et économique des terres rizicoles de la vallée de l'Artibonite. 34 p.
- Louissaint j. et Duvivier p. (2005). Principales caractéristiques des terres rizicoles de la Vallée de l'Artibonite (Haïti) et disponibilités réelles en éléments majeurs. Revue Scientifique de la FAMV : Recherche, Etude, Développement (RED) 2 (1) :32-36.
- LOUISSAINT J. et DUVIVIER P. (2005). Rapport d'élaboration d'un référentiel technique fiable pour la fertilisation rationnelle et économique des terres rizicoles de la vallée de l'Artibonite. Recherche, Etudes, Développement 2 (1), 41–45.
- M. Bischoff, A. M. Hiar & R. F. Turco (1996) Evaluation of nitrate analysis using test strips: Comparison with two analytical laboratory methods, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 27:15-17, 2765-2774, DOI: [10.1080/00103629609369739](https://doi.org/10.1080/00103629609369739)
- Marc Lacharme. (2001). La fertilisation minérale du riz : Fascicule 6
- MARNDR (2014). Baisse des prix de l'engrais sur le marché local.
- MARNDR, 2015. Situation de la filière riz 2014-2015
- MARNDR. (2010). Plan national d'Investissement Agricole, Développement des Infrastructures Rurales, Composante Aménagement des Bassins Versants et Foresterie.
- MARNDR/PSF (2012). Réponse de trois variétés de riz (cap, tcs-10 et 11) à différentes doses d'azote en termes de rendement-grain et de production de biomasse.
- MARNDR/PSF. (2011). Enquête sur l'utilisation des engrais minéraux en Haïti. Non publié.
- MDE. (2007). Etude synthétique de la partie basse du fleuve Artibonite (FBFA). 17-44p
- MESSARAH-BOUMENDJEL Amel. (2008). Cours de Biochimie et Physiologie appliquée. [http://www.djamiatic.net/downloads/Cours\\_Nut\\_2.pdf](http://www.djamiatic.net/downloads/Cours_Nut_2.pdf)
- Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR). (2015). Analyse de prix du riz (importe ou local. 15p Evolution du prix du riz dans le département de l'Artibonite. Situation de la filière Riz en Haïti. Chapitre 5

- Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR. (2015). Situation de la filière Riz en Haïti.
- MOREAU Roland<sup>1</sup>, NZILA Jean de Dieu<sup>2</sup>, NYETE Blaise<sup>3</sup>. (1998). La pratique de l'écobuage maala et ses conséquences sur l'état du sol au Congo 9p.
- N.M. Holden & D. Scholefield (1995) Paper test-strips for rapid determination of nitrate tracer, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26:11-12, 1885-1894, DOI: [10.1080/00103629509369415](https://doi.org/10.1080/00103629509369415)
- Orélien E. (2008). Réponse du riz (*Oryza sativa* L.) variété Malaika à la fertilisation azotée et phosphatée dans quatre zones de la Vallée de l'Artibonite (Haïti). Mémoire de fin d'études d'Ingénieur-Agronome, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Episcopale d'Haïti. 49 p.
- P. TTSSOT. (2018). Production et commerce du Riz dans le monde : Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale 15p
- Paul Mathis. (2010). Riziculture et Méthane
- Pierre Max Gabriel LANEAU. (2016). Analyse stratégique sur l'internationalisation de riz de la Vallée de l'Artibonite à travers la Fédération RACPABA. Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) 125 p.
- Redfield, Alfred C. (1934). On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton, ". University Press of Liverpool James John, 176–192.
- Richard HAAS. (2020). Pollution de l'eau : causes, conséquences et solutions
- Serpil SAVCI. (2012). Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment: doi: 10.1016/j.apcbee.2012.03.047: [www.sciencedirect.com/www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.sciencedirect.com/www.elsevier.com/locate/procedia)
- Talot BERTRAND. (2005). Diagnostic des systèmes de culture rizicole (*Oryza sativa*, L) dans la Vallée de l'Artibonite. Mémoire de fin d'étude.
- Tim Josling. (2017). Trois interventions sur le marché du riz en Haïti : Haïti Priorise : Analyse des coûts et des avantages 62p

WINNER/USAID (2017). La production de riz.

Yvio Georges. (2020). Étude d'impact des changements climatiques sur trois filières agricoles (riz, maïs et haricot) dans vallée de l'Artibonite, Haïti avec l'appui technique de la faculté des sciences de l'agriculture et de l'environnement fsae/univ. : [Rapport de recherche] Université Quisqueya (Port-au-Prince).2014. hal-02470059

## LES ANNEXES

## ANNEXE 1 :

Annexe 1 : les points de GPS enregistrés lors du prélèvement des échantillons et la quantité de concentration par échantillon.

#	Latitude	Longitude	Concentration
1	19.23842	-72.77785	15
2	19.24742	-72.72555	15
3	19.25048	-72.69660	15
4	19.24207	-72.66841	15
5	19.20114	-72.60146	15
6	19.16969	-72.62734	10
7	19.15319	-72.61254	15
8	19.14643	-72.58056	15
9	19.14692	-72.54799	15
10	19 ,12175	-72.50025	15
11	19.09896	-72.47570	10
12	19 ,05264	-72.43519	10
13	19.05341	-72.34120	10
14	19.07771	-72.36743	10
15	19.12122	-72.37155	10
16	19.10249	-72.38455	10
17	19.12317	-72.43382	10
18	19.14486	-72.46798	10
19	19.16854	-72.48815	15
20	19.19894	-72.52664	15
21	19.22823	-72.53737	15
22	19.20493	-72.55037	15
23	19.19827	-72.49158	15
24	19.24333	-72.52737	15
25	19.2755	-72.54883	15
26	19.24357	-72.57672	15
27	19.26399	-72.57295	15
28	19.30442	-72.58308	15
29	19.28230	-72.60307	15
30	19.30264	-72.63088	15
31	19.30264	-72.63097	15
32	19.29543	-72.67002	15
33	19.30044	-72.73110	15
34	19.24814	-72.77141	20
35	19.29810	-72 ,70367	20
36	19.31341	-72 ,66144	20
37	19.24973	-72.65380	20
38	19.28109	-72.62350	15
39	19.24868	-72.62161	15
40	19.25135	-72.74966	15
41	19.22882	-72.64668	15

42	19.21334	-72.62075	15
43	19.19486	-72.62376	15
44	19.15214	-72.51321	10
45	19.09263	-72.49896	10
46	19.10479	-72.54273	10
47	19.99333	-72.37210	10
48	19.03775	-72.35489	10
49	19.17692	-72.55402	10
50	19.17857	-72.59668	10
51	19.20726	-72.78336	10
52	18.95918	-72.34124	10
53	19.03563	-72.39926	10

## **ANNEXE 2**

### **Annexe 2 : Quelques photos prises lors de l'analyse des échantillons après le prélèvement**





### **ANNEXE 3 :**

Annexe 3 : le formulaire d'enquête utilisé dans le cadre de ce travail

**Travail de Fin d'Etude (TFE) :** Analyse sur l'utilisation des engrais chimiques (NPK) au niveau de la vallée de l'Artibonite.

Code de l'enquêteur : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

**INFORMATIONS GÉNÉRALES**

**1- Identification de l'exploitant agricole**

1.1. Nom et prénom du chef d'exploitation.....

1.2. Commune : ...../ Section Communale : .....

Localité : ..... Tel: .....

1.3. Sexe : Femme [...] Homme [.....] Autres [.....]

1.4. Statut matrimonial : Célibataire [...] Marié(e) [...] Divorcé(e) [..] Union libre [...]

1.5. Niveau d'éducation : Zéro [.....] Primaire[.....] Secondaire [...] Universitaire[.....]

1.6. Âge : ..... Taille du ménage : .....

1.7. Nombre d'années d'expérience dans la riziculture : .....

1.8. Superficie totale cultivée en riz : .....Carreau / Nbre de parcelle(s) : .....

**2. Aspect organisationnel /formation sur la bonne pratique agricole**

2.1. Etes-vous membre d'une organisation de base ? Oui [.....] Non [.....]

Si oui, quel est son nom ?.....

**2.2. Dans quel domaine intervient-elle ?**

Agriculture .... / Social ...../ Santé...../ Religieux .... / Epargne & crédit .... / Autre : .....

2.3. Votre organisation a-t-elle joué un rôle important dans la production rizicole dans la zone ?

Oui [.....] Non [.....]

**Si oui, comment ?**

Formation [.....] Encadrement technique [.....] Subvention fertilisant [.....]

Commercialisation [.....] Crédit agricole [.....] Autres : .....

### 3. Utilisation des engrais

Année	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3
Superficie			
2017  (Quantité engrais utilisée, en sac ; marmite)	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....
	Quantité: .....	Quantité: .....	Quantité: .....
	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....
	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....
2018  (Quantité engrais utilisée, en sac ; marmite)	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....
	Quantité: .....	Quantité: .....	Quantité: .....
	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....
	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....
2019	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....
	Quantité: .....	Quantité: .....	Quantité: .....
	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....
	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....
2020	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....	<b>Engrais complet</b> Formulation: .....
	Quantité: .....	Quantité: .....	Quantité: .....
	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....	<b>Urée</b> Quantité: .....
	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....	<b>Compost/fumier</b> Quantité: .....
Utilisez-vous la même quantité d'engrais pour les récoltes successives	Oui.....	Oui.....	Oui.....
	Non.....	Non.....	Non.....

#### 4. Origine des engrais utilisés

Où vous avez trouvé les engrais utilisés dans vos parcelles ?

<b>2018</b> <b>(Nombre de sac)</b>	<b>2019</b> <b>(Nombre de sac)</b>	<b>2020</b> <b>(Nombre de sac)</b>
Marché local : .....	Marché local : .....	Marché local : .....
(ODVA) : .....	(ODVA) : .....	(ODVA) : .....
Don : .....	Don : .....	Don : .....
Subvention gouvernement : .....	Subvention gouvernement	Subvention gouvernement
Autres : .....	Autres : .....	Autres : .....

#### 5. Mode d'application des engrais

<b>Types d'engrais</b>	<b>Mode d'application</b>	
<b>Engrais organique</b>	A la volée.....	Localisée.....
<b>Engrais inorganique</b>	A la volée.....	Localisée.....

#### 6. Période d'application des engrais

<b>Types d'engrais</b>	<b>Période d'application</b>		
<b>Engrais organique</b>	Préparation de sol .....	Phase de Croissance .....	Floraison.....
<b>Engrais inorganique</b>	Préparation de sol .....	Phase de Croissance .....	Floraison .....
	Formulation : .....	Formulation : .....	Formulation : .....

**7. Récolte et Rendement**

<b>Année</b>	<b>Parcelle 1</b>	<b>Parcelle 2</b>	<b>Parcelle 3</b>
Nombre de récolte			
<b>2017</b> (Quantité riz récoltée en marmite)	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....
<b>2018</b> (Quantité riz récoltée en marmite)	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....
<b>2019</b> (Quantité riz récoltée en marmite)	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....
<b>2020</b> (Quantité riz récoltée en marmite)	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....	1 <sup>ère</sup> récolte : ..... 2 <sup>ème</sup> récolte : .....

**8. L'état de connaissance des exploitants sur la pollution par les engrais inorganiques**

**8.1. Selon vous, les engrais chimiques ont-ils un impact négatif :**

Sur la santé humaine ?.....

Sur la santé animale ?.....

Sur les sources et les rivières ? .....

Sur les espèces aquatiques ?.....

**8.2. Si oui, quelle solution qui devrait apporter pour protéger**

**l'environnement ?**.....  
.....

**8.3. Selon vous une gestion rationnelle des engrais permettrait-elle de protéger**

**l'environnement ?** .....

**ANNEXE 4 :**

Annexe 4 : quelques photos lors de la réalisation de l'enquête





L'enquêteur (trice) parle avec les enquêtés

**ANNEXE 5:**

Annexe 5 : Presentation de l'analyse de variance entre le rendement et les doses des fertilisants appliquées

Analysis of Variance Table

Response: Azote

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Anne	1	592352	592352	63.707	6.653e-15 ***
Residuals	643	5978677	9298		

```

Signif. codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> LSD.test(MAzote,"Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, console = T
)
> library(agricolae)
> LSD.test(MAzote,"Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, console = T
)

```

Study: NULL

LSD t Test for Azote

Mean Square Error: 9298.098

Anne, means and individual ( 100 %) CI

	Azote	std	r	LCL	UCL	Min	Max
2017	176.9121	88.42193	134	-Inf	Inf	0	486.8691
2018	176.2827	141.70852	134	-Inf	Inf	0	1515.0705
2019	108.8902	75.12255	187	-Inf	Inf	0	367.8420
2020	107.5419	75.51957	190	-Inf	Inf	0	363.6169

Alpha: 0 ; DF Error: 643

Critical Value of t: Inf

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

Azote groups

2017	176.9121	a
2018	176.2827	a
2019	108.8902	b
2020	107.5419	b

```

> duncan.test(MAzote,"Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, console
= T)

```

Study: NULL

Duncan's new multiple range test for Azote

Mean Square Error: 9298.098

Anne, means

	Azote	std	r	Min	Max
2017	176.9121	88.42193	134	0	486.8691
2018	176.2827	141.70852	134	0	1515.0705
2019	108.8902	75.12255	187	0	367.8420
2020	107.5419	75.51957	190	0	363.6169

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0 )

Means with the same letter are not significantly different.

Azote groups

2017	176.9121	a
------	----------	---

```

2018 176.2827      a
2019 108.8902      b
2020 107.5419      b
> Mphosphore = aov(Phosphore~ Anne, data = Manouchedata)
> anova(Mphosphore)
Analysis of Variance Table

Response: Phosphore
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Anne     1   1956   1955.8   0.6654 0.4149
Residuals 791 2325110   2939.5
> LSD.test(Mphosphore,"Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, console
= T)

```

Study: NULL

LSD t Test for Phosphore

Mean Square Error: 2939.457

Anne, means and individual ( 100 %) CI

	Phosphore	std	r	LCL	UCL	Min	Max
2017	55.96056	55.94133	199	-Inf	Inf	0	422.833
2018	55.99598	54.52703	199	-Inf	Inf	0	422.833
2019	54.31937	54.64098	197	-Inf	Inf	0	422.833
2020	51.83833	51.93137	198	-Inf	Inf	0	422.833

Alpha: 0 ; DF Error: 791  
Critical value of t: Inf

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

Phosphore groups

2018	55.99598	a
2017	55.96056	a
2019	54.31937	a
2020	51.83833	a

```
> MPotassium = aov(Potassium ~ Anne, data = Manouchedata)
```

```
> anova(MPotassium)
```

Analysis of Variance Table

Response: Potassium

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Anne	1	489	488.94	0.6654	0.4149
Residuals	791	581278	734.86		

```
> LSD.test(MPotassium ,"Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, console
= T)
```

Study: NULL

LSD t Test for Potassium

Mean Square Error: 734.8642

Anne, means and individual ( 100 %) CI

	Potassium	std	r	LCL	UCL	Min	Max
2017	27.98028	27.97066	199	-Inf	Inf	0	211.4165
2018	27.99799	27.26351	199	-Inf	Inf	0	211.4165
2019	27.15969	27.32049	197	-Inf	Inf	0	211.4165
2020	25.91916	25.96569	198	-Inf	Inf	0	211.4165

Alpha: 0 ; DF Error: 791  
Critical Value of t: Inf

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

```
      Potassium groups
2018  27.99799      a
2017  27.98028      a
2019  27.15969      a
2020  25.91916      a
```

```
> duncan.test(MPotassium ,"Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, console = T)
```

Study: NULL

Duncan's new multiple range test  
for Potassium

Mean Square Error: 734.8642

Anne, means

```
      Potassium      std      r Min      Max
2017  27.98028 27.97066 199    0 211.4165
2018  27.99799 27.26351 199    0 211.4165
2019  27.15969 27.32049 197    0 211.4165
2020  25.91916 25.96569 198    0 211.4165
```

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0 )

Means with the same letter are not significantly different.

```
      Potassium groups
2018  27.99799      a
2017  27.98028      a
2019  27.15969      a
2020  25.91916      a
```

```
> MRendement = aov(Rendement ~ Anne, data = Manouchedata)
```

```
> anova(MRendement )
```

Analysis of Variance Table

Response: Rendement

```
      Df      Sum Sq      Mean Sq F value Pr(>F)
Anne      1 1.8239e+08 182392880  0.3662 0.5453
Residuals 666 3.3172e+11 498082238
```

```
> LSD.test(MRendement ,"Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, console = T)
```

Study: NULL

LSD t Test for Rendement

Mean Square Error: 498082238

Anne, means and individual ( 100 %) CI

```
      Rendement      std      r LCL UCL Min      Max
2017  6707.671 18274.11 167 -Inf Inf  0 162790.7
2018  7310.651 21128.62 167 -Inf Inf  0 198604.7
2019  7895.014 24297.29 167 -Inf Inf  0 224651.2
2020  8070.783 25051.08 167 -Inf Inf  0 249069.8
```

Alpha: 0 ; DF Error: 666  
Critical Value of t: Inf

Least Significant Difference: Inf

Treatments with the same letter are not significantly different.

```
      Rendement groups
2020  8070.783      a
2019  7895.014      a
2018  7310.651      a
2017  6707.671      a
```

```
> duncan.test(MRendement , "Anne", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01, con
sole = T)
```

Study: NULL

Duncan's new multiple range test  
for Rendement

Mean Square Error: 498082238

Anne, means

```
      Rendement      std      r Min      Max
2017  6707.671 18274.11 167    0 162790.7
2018  7310.651 21128.62 167    0 198604.7
2019  7895.014 24297.29 167    0 224651.2
2020  8070.783 25051.08 167    0 249069.8
```

Alpha: 0 ; DF Error: 666

Critical Range  
 2 3 4  
Inf Inf Inf

Means with the same letter are not significantly different.

```
      Rendement groups
2020  8070.783      a
2019  7895.014      a
2018  7310.651      a
2017  6707.671      a
```

```
> MRendement = aov(Rendement ~ Anne, data = Manouchedata)
> anova(MRendement )
```

Analysis of Variance Table

Response: Rendement

```
      Df      Sum Sq  Mean Sq F value Pr(>F)
Anne    1 1.8239e+08 182392880  0.3662 0.5453
Residuals 666 3.3172e+11 498082238
```

```
> shapiro.test(Rendement)
```

Shapiro-wilk normality test

data: Rendement

w = 0.20617, p-value < 2.2e-16

```
> kruskal.test(Rendement ~ Anne, data = Manouchedata)
```

Kruskal-wallis rank sum test

data: Rendement by Anne

```

Kruskal-wallis chi-squared = 4.4794, df = 3, p-value = 0.2141
> shapiro.test(Phosphore)
      Shapiro-wilk normality test
data:  Phosphore
W = 0.70749, p-value < 2.2e-16
> shapiro.test(Potassium)
      Shapiro-wilk normality test
data:  Potassium
W = 0.70749, p-value < 2.2e-16
> kruskal.test(Potassium ~ Anne, data = Manouchedata)
      Kruskal-wallis rank sum test
data:  Potassium by Anne
Kruskal-wallis chi-squared = 0.77967, df = 3, p-value = 0.8543
> shapiro.test(Concentration)
      Shapiro-wilk normality test
data:  Concentration
W = 0.75369, p-value = 3.763e-08
> kruskal.test(Concentration ~ position, data = concentration)
      Kruskal-wallis rank sum test
data:  Concentration by position
Kruskal-wallis chi-squared = 19.382, df = 2, p-value = 6.184e-05
> MConcentration = aov(Concentration ~ position, data = concentration)
> anova(MConcentration)
Analysis of Variance Table

Response: Concentration
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
position  2  176.18  88.089  14.715 9.013e-06 ***
Residuals 51  305.30   5.986
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> LSD.test(MConcentration, "position", group = T, main = "NULL", alpha = 0,01
, console = T)

Study: NULL

LSD t Test for Concentration

Mean Square Error:  5.986334

position, means and individual ( 100 %) CI

      Concentration      std  r  LCL UCL Min Max
am      10.00000  0.000000  9 -Inf Inf  10  10
av      15.83333  3.588703  12 -Inf Inf  10  20
ri      13.63636  2.261335  33 -Inf Inf  10  15

Alpha: 0 ; DF Error: 51

```

Critical Value of t: Inf

Groups according to probability of means differences and alpha level( 0 )

Treatments with the same letter are not significantly different.

Concentration groups

av	15.83333	a
ri	13.63636	ab
am	10.00000	b

```
> pairwise.wilcox.test(concentration$Concentration, concentration$position, p  
.adjust.method = "BH")
```

Pairwise comparisons using wilcoxon rank sum test

data: concentration\$Concentration and concentration\$position

	am	av
av	0.00076	-
ri	0.00036	0.03413