

**ÉVALUATION ET MAITRISE  
DES RISQUES DE POLLUTIONS DIFFUSES  
DANS UN BASSIN-VERSANT BANANIER A LA MARTINIQUE**

**INTERET DES PLANTES DE COUVERTURE  
ET DE CHANGEMENTS DE PRATIQUES  
2012-2015**

**ÉTUDE REALISÉE SUR L'EXPLOITATION  
S.A.R.L. RIFA, QUARTIER BELFORT, 97232 LAMENTIN**



Photo L. Gervais, IT2 (Ferme RIFA, réseau AGERIS/SYNGENTA, Le Lamentin, Martinique, France)

Un partenariat :



## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	3
RÉSUMÉ.....	4
INTRODUCTION.....	5
MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	6
Choix du bassin-versant .....	6
Planning de l'étude.....	7
Choix des aménagements parcellaires et des changements de pratiques culturales.....	7
Méthode d'évaluation.....	9
RÉSULTATS .....	17
Fonctionnement / dysfonctionnement pendant les périodes de suivi.....	17
Climatologie.....	18
Hydrologie.....	20
Apports phytosanitaires.....	25
Transfert de matières en suspension .....	27
Transfert de pesticides .....	30
Evaluation économique.....	37
SYNTHÈSE ET DISCUSSION.....	39
Impact des aménagements sur les flux de substances actives.....	39
Implantation des plantes de couverture .....	39
Délimitation hydraulique du bassin versant.....	40
Résultats de l'évaluation économique .....	40
CONCLUSION.....	40
ANNEXES .....	41
BIBLIOGRAPHIE .....	48

## REMERCIEMENTS

Ce projet a été financé par l'Office de l'eau de la Martinique, l'Institut technique tropical et la société Syngenta France. Le volet communication a par ailleurs fait l'objet d'un financement du Comité d'agglomération du centre-est Martinique (CACEM).

Les partenaires du projet AGERIS RIFA tiennent à remercier pour leurs contributions :

Monsieur Guy de REYNAL, Madame Elsa JANVIER, Monsieur Nicolas LECADRE de la société PHYTOCENTER, qui ont assuré un important travail de soutien logistique et d'intendance contribuant à la mise en place et au bon fonctionnement quotidien du projet. Monsieur Jimmy SAMOT en particulier est remercié pour la maintenance de la station de prélèvement et la rigueur observée dans les protocoles d'entretien et de prélèvements hebdomadaires tout au long du projet.

Madame Linda VOYER et Monsieur Sébastien PAGE pour leur forte implication au projet durant leur période d'activité chez PHYTOCENTER.

Madame Séverine JEANNEAU pour sa contribution à la mise en place et au suivi de cette étude durant son activité chez SYNGENTA.

Monsieur Thomas DUMONT de la société AGRIPROTEC pour son aide à plusieurs reprises au cours de l'étude.

Madame Julie GRESSER, Madame Anne-Lise BELLANCE et Monsieur Fabian RATEAU de l'Office de l'eau de la Martinique pour leur collaboration.

Monsieur Emmanuel HUSSON de la SICA TG pour son aide dans le domaine de la gestion des maladies cryptogamiques du bananier.

## RÉDACTION

**L'étude a été rédigée en septembre 2016 en collaboration avec les différents organismes partenaires:**

Pour l'IRSTEA : Julien Tournebize et Cédric Chaumont.

Pour Institut Technique Tropical : Laurent Gervais.

Pour l'Office de l'Eau : Loïc Mangeot.

Pour Syngenta France : Jean-Charles Desforges et Hélène Vergonjeanne.

IRSTEA, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, CS 10030, 92761 ANTONY cedex,  
Institut technique tropical, IT<sup>2</sup> C/o BANAMART, Bois rouge, 97 224 Ducos,  
Office De l'Eau, 7 avenue Condorcet, BP, 97201 Fort de France Cedex,  
SYNGENTA FRANCE SAS, 12 Chemin de l'Hobit – 31790 Saint-Sauveur, France.

## RÉSUMÉ

Le projet Agéris RIFA conduit sur trois années a consisté à mesurer l'impact des changements de pratiques culturales sur les risques d'entraînement de produits phytosanitaires par ruissellement et érosion au sein d'un petit bassin-versant bananier martiniquais. Les mesures présentées ici portent sur l'année de référence et l'année suivant l'implantation de plantes de couverture (petit mouron), sur une partie des deux pentes du bassin versant et l'arrêt quasi total du désherbage à proximité de la ravine. L'installation d'une station hydrologique et de prélèvement d'échantillons d'eau à l'exutoire du bassin versant a permis de suivre et d'évaluer les teneurs en substances actives présentes dans l'eau brute à l'exutoire et d'évaluer les flux de substances actives utilisées sur l'exploitation avant et après aménagement et changements de pratiques. Les résultats montrent un réel intérêt des plantes de couverture sur la diminution des pics de pollution et la réduction très nette des transferts vers l'eau de substances actives herbicides sans que ceci ne puisse être lié à la réduction de phénomènes érosifs mais plutôt à une diminution du ruissellement. Pour les fongicides, il a été montré que les plantes de couverture ont fortement contribué à faire baisser les transferts. En effet, le flux exporté a été divisé par 3 alors que la dose de triazoles totale apportée a été multipliée par près de 2 du fait des modifications du programme fongicides consécutif au changement de pratiques (passage d'une organisation aérienne planifiée à des traitements au sol gérés par l'exploitant). Du point de vue économique, il apparaît, dans le contexte de cette exploitation, une surcharge importante, hors coût d'implantation. Elle est principalement liée aux coûts élevés du maintien d'un état satisfaisant de la culture de couverture implantée dans le contexte pédoclimatique de cette exploitation.

## SUMMARY

DIFFUSE POLLUTION RISKS ASSESSMENT AND RISKS MANAGEMENT IN A BANANAS WATERSHED IN MARTINIQUE.

The objective of the RIFA Agéris® study, realised during 3 years, is to measure the impact of new crops management practices on the risk of pesticides water contamination by run-off and soil's erosion in a small bananas watershed in Martinique. The implementation of a hydrologic and water sampling station at the main exit of the watershed gave the opportunity to compare the flow of pesticide's active ingredients used in the field, before and after practices changes. Results show a real benefit of implementation of cover plants between the rows. Herbicides and fungicides water contamination have been decreased. This can be mostly explained by run off decrease rather than erosion's decrease in the context of this study.

Key words: watershed, bananas, diffuse pollution, pesticides, covercrops.

## INTRODUCTION

En zone tropicale à saison humide marquée, les risques de pollutions diffuses dus à l'entraînement des produits phytosanitaires dans les eaux de surface sont généralement plus élevés qu'en zone tempérée. Le régime pluviométrique intense et le relief parfois accidenté des parcelles cultivées sont, en effet, des facteurs aggravants.

Le cas des bananeraies martiniquaises est parfaitement représentatif de cette situation.

La filière banane des Antilles françaises a considérablement réduit l'usage des produits phytosanitaires depuis une dizaine d'années grâce aux nouveaux acquis scientifiques et à l'évolution des pratiques. Cette démarche s'inscrit pleinement, depuis 2008, dans le cadre des « Plans banane durable » I et II, engageant la filière banane de Guadeloupe et Martinique, le ministère de l'agriculture et les collectivités locales. Elle fait également partie intégrante du plan ECOPHYTO national.

Les produits phytosanitaires restent néanmoins nécessaires pour lutter contre certains bioagresseurs majeurs de la culture du bananier comme *mycosphaerella fijiensis*, cercosporiose noire (maladie cryptogamique des feuilles du bananier) ainsi que de nombreuses adventices pénalisantes.

Il est alors important de travailler sur les risques d'impact des produits phytosanitaires sur l'environnement d'une part et sur les solutions visant à les réduire d'autre part. La notion de compétitivité économique de l'exploitation agricole, quels que soient les types de pratiques de progrès envisagées, fait partie intégrante de la démarche et conditionne sa capacité d'essaimage.

Il a ainsi été décidé de mener un projet « d'évaluation et de maîtrise des risques de pollutions diffuses à l'échelle d'un bassin versant bananier » mis en place sur une seule plantation afin de maîtriser l'intégralité des pratiques et des intrants, en privilégiant une participation active de l'agriculteur. Cette étude a consisté à tester l'incidence d'aménagements parcellaires via l'implantation de plantes de couverture et de changements de pratiques par réduction des intrants phytosanitaires.

C'est au travers du support de son réseau AGERIS que Syngenta France a pris la décision de mener cette opération, encore inédite dans les départements d'outre-mer, à l'échelle d'un micro bassin-versant.

Dans la démarche AGERIS, l'agriculteur et son exploitation représentent une véritable plateforme d'expérimentation et de diffusion de techniques innovantes auprès d'autres agriculteurs prioritairement mais aussi à destination du monde agricole dans son ensemble et du grand public. Une douzaine d'agriculteurs adhèrent au réseau AGERIS depuis sa création en 2005, dont deux situés dans les départements d'outre-mer français, Martinique et Guadeloupe.

La SARL RIFA au Lamentin/Martinique a rejoint le réseau en 2009. Son gérant, Monsieur Laurent Prudent, a dédié une partie de son exploitation à l'expérimentation durant plus de 4 années.

L'ampleur du projet et la dimension scientifique de l'expérimentation à mettre en place ont amené Syngenta France à proposer un partenariat avec la filière banane représentée par l'Institut technique tropical (IT<sup>2</sup>), l'Office de l'eau de la Martinique (ODE) en tant qu'acteur majeur de l'eau, l'Institut national de recherches en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) et la SARL RIFA hébergeant le projet.

L'étude vise à évaluer l'impact environnemental de ces changements de pratiques culturales et d'aménagements parcellaires sur les transferts de produits phytosanitaires tels qu'ils ont déjà pu être démontrés avec l'enherbement maîtrisé dans le contexte du vignoble et de l'arboriculture. Le flux de produits phytosanitaires et de matière en suspension à l'exutoire du bassin versant sont les indicateurs retenus. L'incidence économique à l'échelle de la parcelle est également prise en compte.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

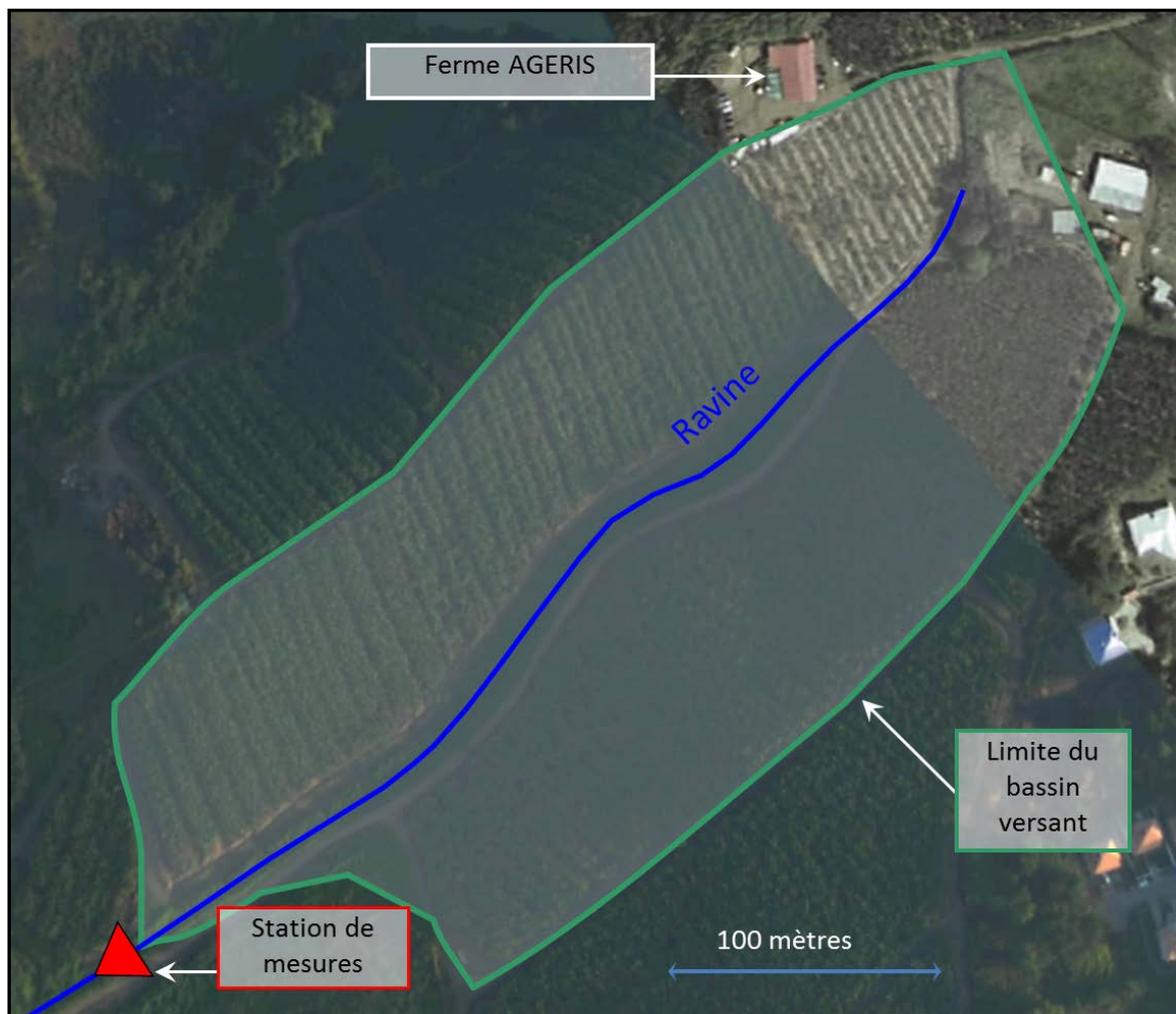
### CHOIX DU BASSIN-VERSANT

Les critères de choix ont pris en compte la représentativité en termes de relief et surface, l'isolement relatif du bassin vis-à-vis du risque de sources de pollutions exogènes, la capacité à installer des équipements permettant d'assurer un suivi des flux dans le temps et la proximité géographique du site face aux contraintes logistiques.

Un bassin versant de 7,7 ha occupé par une bananeraie a été identifié. Il se situe à proximité de la ville du Lamentin (Coordonnées : 14°38'15" N / 60°59'53" O) (figure 1).

Les caractéristiques du bassin-versant sont les suivantes :

- Ecoulement permanent ;
- Importance de l'écoulement principalement liée aux événements pluviométriques ;
- Ru en fond de vallée qui capte les ruissellements ;
- Couverture du bassin-versant à plus de 90% par la bananeraie ;
- Sol de type ferrisol (sol ancien, profond et argileux, généralement compacté).



**Figure 1 : Bassin versant Agéris RIFA**  
(Martinique, France, source adaptée de Géoportail.fr)

## PLANNING DE L'ÉTUDE

Sur une période s'étalant de juin 2012 à décembre 2015, les différentes phases de l'étude ont été les suivantes :

Période I : Juin 2012 à août 2013 : acquisition des données de l'année de référence.

Phase intermédiaire : Septembre 2013 à septembre 2014. Choix et mise en place des aménagements parcelaires, modification des pratiques culturales.

Période II : Octobre 2014 à décembre 2015. Acquisition des données après aménagements.

## CHOIX DES AMÉNAGEMENTS PARCELLAIRES ET DES CHANGEMENTS DE PRATIQUES CULTURALES

### Implantation de plantes de couverture au sein de la bananeraie

Les plantes de couverture ont déjà démontré leurs intérêts sur une meilleure maîtrise du risque parasite et sur la fertilisation azotée (Damour et al. 2015). Ici, par la densité du tapis végétal qu'elles représentent, les plantes de couverture pourraient réduire le risque d'entraînement des substances actives de produits phytosanitaires vers la ravine. L'expertise du CIRAD et de l'IT<sup>2</sup> a conduit, dans le contexte, à choisir 2 espèces : le petit mouron (*drymaria cordata*) et l'arachide sauvage (*arachis pintoii*). La première, caryophyllacée aux tiges rampantes, bien adaptée à l'ombrage, ne présente pas de concurrence pour le bananier. La seconde a l'avantage d'être une légumineuse pérenne au système racinaire puissant offrant une bonne protection contre l'érosion.

Le profil type de la parcelle comprend deux bandes de bananiers constituées chacune de deux rangs de plantes juxtaposées (voir figure 2). Les deux bandes sont séparées entre elles d'une zone nommée « grand dos » permettant le passage des ouvriers et de petits engins mécanisés éventuellement. Les rangs juxtaposés sont séparés d'un espace nommé « petit dos » dans lequel les feuilles de bananiers sont déposées à terre, suite à l'effeuillage prophylactique mené régulièrement contre la cercosporiose. Ce positionnement permet par ailleurs de ne pas entraver le développement des plantes de couverture. Un fossé de drainage sépare ce profil du dispositif identique suivant. Le « grand dos », relativement ombragé a été jugé propice à l'implantation du petit mouron, alors que la zone des fossés semble convenir au développement de l'arachide sauvage.

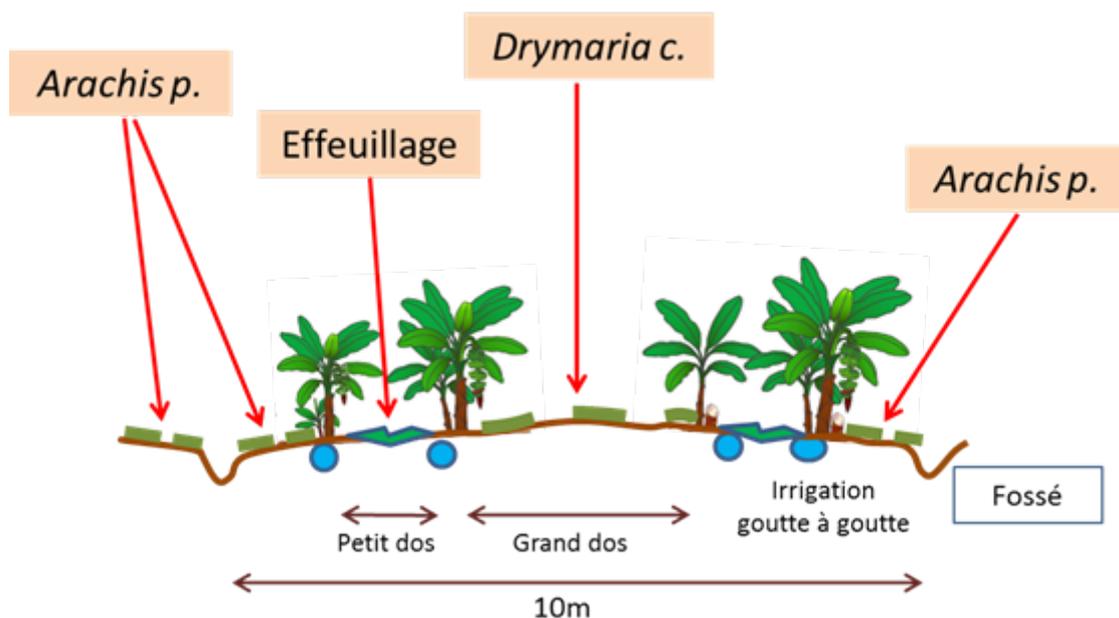
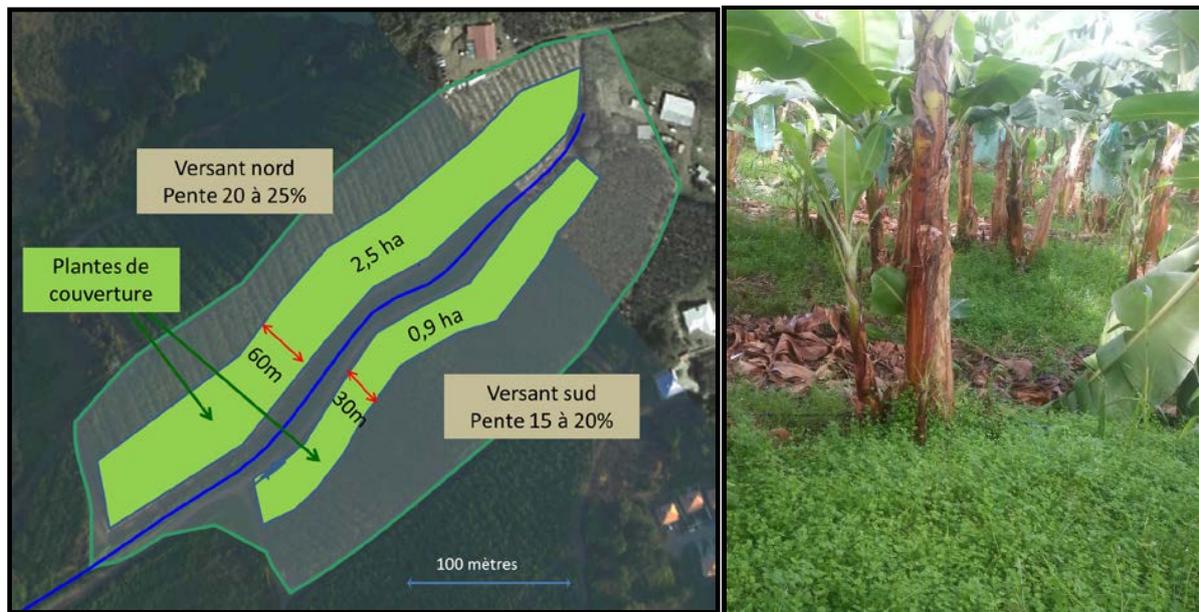


Figure 2 : Profil type de la parcelle (schéma Syngenta)

Dans les faits, les 2 espèces implantées simultanément, et sous forme de boutures, dès la période II, ont permis d'identifier rapidement une meilleure adaptation du petit mouron (figure 3). L'arachide sauvage étant très sensible au stress hydrique dans sa phase d'implantation, les conditions climatiques ont favorisé l'installation du petit mouron.

Ce dernier a, en conséquence, été prioritairement implanté sur une surface de 3,4 ha (45% du bassin versant) répartie sur chaque versant du bassin, de part et d'autre de la ravine, en privilégiant les bas de pentes. Dans les zones les plus favorables du bassin versant, les plaques de boutures de 20 cm de côté à l'implantation, occupent une surface de un mètre carré, 8 à 10 semaines plus tard. Dans cette situation, la couverture atteint plus de 75% neuf mois après l'implantation (figures 3 et 3 bis).



**Figure 3 : Zone d'implantation des plantes de couverture sur la ferme RIFA (Martinique, France, source adaptée de Geoportail.fr). Petit mouron (photo IT<sup>2</sup>)**



**Figure 3 bis: Développement des boutures de petit mouron (ferme RIFA, Martinique, France, photos L. Gervais, IT<sup>2</sup>)**

Il a par ailleurs été recommandé au planteur de favoriser le développement du Caya blanc ou Kaya blan (*cleome rutidosperma*), naturellement présent sur l'exploitation agricole, qui procure les avantages attendus d'une plante de couverture.

#### **Entretien mécanique de la ravine et des abords ainsi que des traces bordant le bassin versant**

Les zones non végétalisées en permanence induisent un risque de transfert rapide des molécules à la faveur de la pluie ; à partir de la phase II, elles sont exclusivement entretenues mécaniquement (figure 4).



**Figure 4 : Entretien mécanique de la ravine  
(Ferme RIFA, Martinique, France, photo Syngenta)**

#### **Gestion différenciée de l'enherbement intraparcellaire**

Les zones implantées en plantes de couverture nécessitent un moindre usage d'herbicides. Il est recommandé à l'agriculteur de former ses salariés dans ce sens afin d'optimiser le ratio quantité de produits utilisés/résultats.

#### **METHODE D'EVALUATION**

##### **Mise en place de la section**

Pour permettre le suivi des flux de pesticides, il est nécessaire de connaître précisément le débit. Un aménagement de type seuil déversoir triangulaire a donc été construit dans le souci de pouvoir suivre tant les petits débits qui transitent en période de carême (décembre à mai) que les débits de pointe consécutifs aux pluies extrêmes de la période estivale. La ravine n'étant pas considérée comme un cours d'eau par les services de police de l'eau, il n'a pas été nécessaire de faire un dossier « Loi sur l'eau ».

Lors de la première mission de repérage, un plan de l'ouvrage à réaliser a été fourni pour établir un devis par un professionnel (cf. : annexe 1). Cependant, les premiers devis étant extrêmement élevés, la réalisation dans les dispositions préconisées n'a pas pu être respectée compte tenu des contraintes budgétaires. Cette version « simplifiée » a néanmoins dû être reprise pour limiter les problèmes de fuite et améliorer la portance et la propreté du fond de la ravine (figure 5). Ceci permet une meilleure maintenance des capteurs en place (figure 6), limite le développement de végétation à proximité de l'ouvrage et évitera les phénomènes d'érosion à l'amont et à l'aval du déversoir.

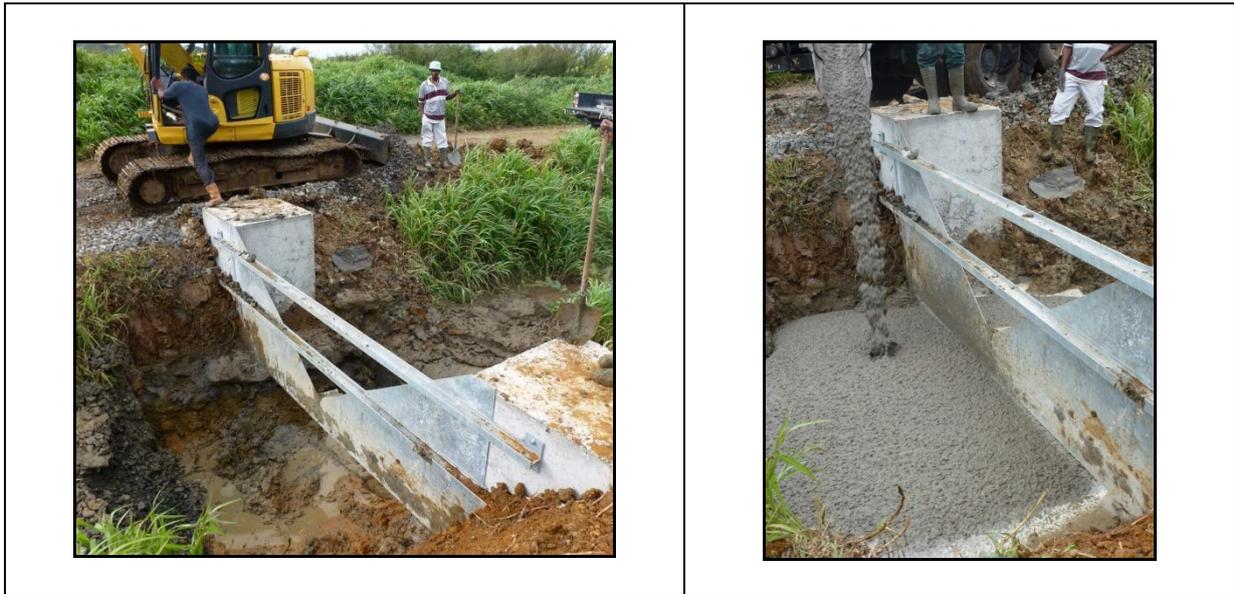


Figure 5 : Mise en place du déversoir (ferme RIFA, Martinique, France, photo Irstea)

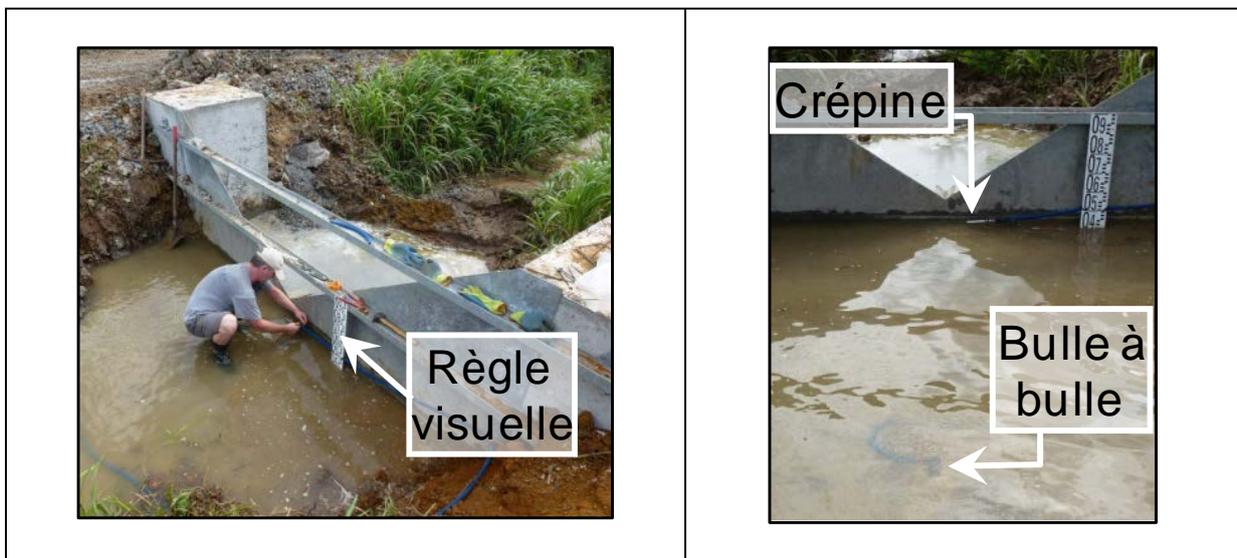


Figure 6 : Equipement de la section de contrôle mars 2012  
(ferme RIFA, Martinique, France, photo Irstea)

La plaque réalisée en acier galvanisé est boulonnée sur les 2 plots béton puis sa base est scellée dans le béton coulé (travaux suivis par Phytocenter et Syngenta). Le déversoir présente un angle total d'ouverture mesuré de  $111.8^\circ$  pour une hauteur maximum de 125 cm ce qui représente en théorie un débit maximum mesurable de  $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La formule théorique reliant la hauteur au débit est fonction de la tangente de l'angle du déversoir et de la hauteur élevée à la puissance 2.5.

Dans notre cas  $Q = 2.023 \times H^{2.5}$  avec  $Q$  en  $\text{m}^3/\text{s}$  et  $H$  exprimée en m

## **Instrumentation**

La mesure de la hauteur s'effectue par capteur de type bulle à bulle (cf. : principe en annexe 2) relié à un débitmètre de type Sigma 950AV. Ce capteur est également équipé d'une sonde Doppler permettant de mesurer la vitesse pour déceler un éventuel contrôle par l'aval lors des événements intenses. Une seconde mesure autonome de hauteur et de conductivité électrique par un capteur de type Diver est également prévue en secours. Ce dernier est un capteur de pression absolue qui est immergé dans la ravine. Les données de pressions absolues sont ensuite corrigées par un second capteur qui enregistre la pression atmosphérique.

Le débitmètre Sigma 950AV convertit la hauteur en débit et l'intègre dans le temps pour convertir ce débit en volume passé. Le débitmètre stimule ensuite le préleveur automatique grâce à un câble d'asservissement selon une règle développée au chapitre « Choix de l'asservissement ».

Une crépine de prélèvement est reliée au préleveur automatique d'échantillons de type ISCO 3710 par un tuyau téflonné. Le préleveur est programmé en mode asservi au volume passé pour effectuer des prélèvements élémentaires de 100 mL pour une séquence maximum de 140 prélèvements.

L'ensemble de ces prélèvements est ensuite recueilli dans un grand flacon verre d'une capacité de 14 L qui est placé dans une glacière réfrigérée de type Waeco CF50 dont la consigne de température a été fixée à 6°C +/- 2° (figure 7) dans un premier temps.

Suite aux échanges avec le Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique (PRAM), celui-ci a mis du matériel à disposition du projet. Il s'agit d'un panneau solaire qui est installé sur le terrain et d'un préleveur automatique d'échantillons multiflacons (12x1L) de type ISCO 6712. Ce dernier est remisé dans les locaux de Phytocenter avec 2 jeux de flacons verre.



**Figure 7 : Instrumentation et stand de prélèvement  
(ferme RIFA, Martinique, France, photo Irstea)**

La chaîne de mesure est placée dans un abri situé à une douzaine de mètre du seuil déversoir. Cet abri contient également les batteries nécessaires à l'autonomie énergétique des différents appareils. Après abandon de l'option de tirer une ligne électrique 12 V depuis la ferme, deux panneaux solaires sont positionnés sur le toit. Leurs puissances de 40 et 130 W alimentent respectivement deux batteries 12 V de 55 et 100 Ah par l'intermédiaires de 2 régulateurs solaires de 6 et 12 A (ce matériel provient soit d'achat par Irstea, soit de mise à disposition par le PRAM / Irstea).

Les flacons en plastique PET seront également stockés dans cet abri afin de conditionner 3 prélèvements par semaine issus du prélèvement composite du grand flacon 14 L placé dans la glacière.

Un pluviomètre a été installé en octobre 2011 à proximité directe du site de mesure. L'instrumentation choisie est un modèle précis-mécanique de 500 cm<sup>2</sup> couplé à une acquisition Danaé de la société Sigma-sud. L'enregistrement est instantané et la résolution de chaque basculement d'auget représente 0.5 mm de précipitation.

## Protocole de prélèvement

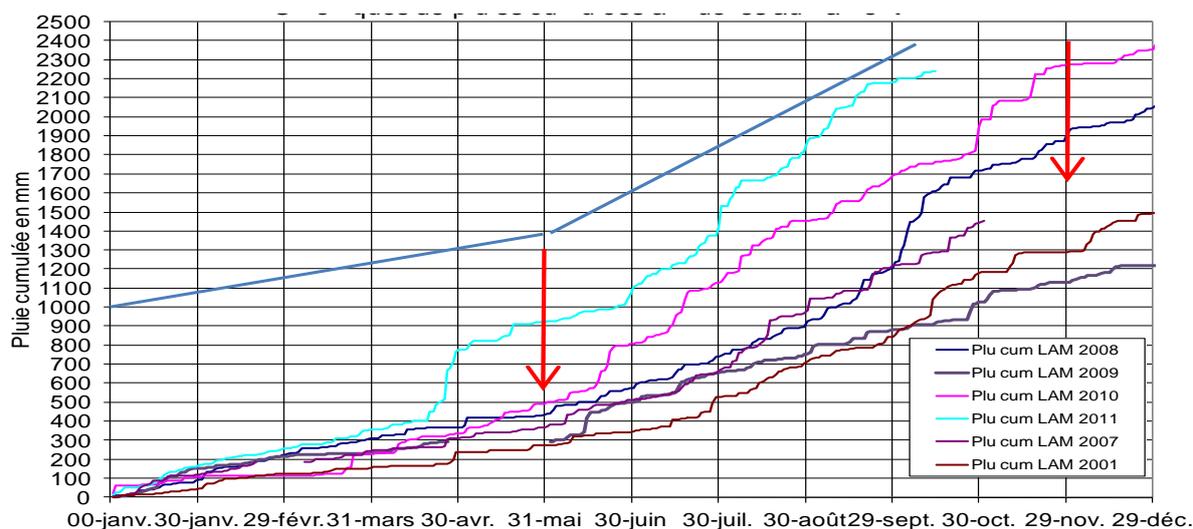
### a) Principe

Afin de mesurer des flux de manière précise, sans réaliser un grand nombre d'analyses, une bonne solution consiste à réaliser un prélèvement dit « composite asservi au volume passé ». Tous les prélèvements élémentaires sont mélangés dans un seul et même flacon, et la fréquence de prélèvement est directement proportionnelle à l'intensité du débit de sorte que les paramètres de qualité du composite reflètent le plus justement la qualité pondérée de l'écoulement ausculté même si celle-ci a varié dans le temps.

Dans ce contexte d'asservissement, c'est le débitmètre qui est programmé pour envoyer une impulsion au préleveur chaque « x » m<sup>3</sup> passé. De son côté, le préleveur automatique est programmé pour réaliser un prélèvement de 100 mL chaque « n » impulsion reçue. Toute la difficulté du réglage de cette chaîne de mesure dépend du volume maximum du composite, de sa fréquence de récupération, du volume des prélèvements élémentaires et naturellement du caractère saisonnier et aléatoire des événements débitométriques.

### b) Analyse pluviométrique antérieure (2001-2011)

Pour définir ces règles nous avons traité les chroniques pluviométriques disponibles au plus proche du site expérimental soit le Lamentin sur 6 années de mesure.



**Figure 8 : Chroniques annuelles de pluies cumulées**

Il ressort de la figure 8 deux grandes tendances d'intensité pluviométriques à l'échelle de l'année avec :

- un niveau bas du 1<sup>er</sup> Décembre au 31 Mai
- un niveau haut du 1<sup>er</sup> Juin au 30 Novembre

Même si des événements ou des années atypiques peuvent nuancer cette hypothèse, il en sera tenu compte dans le futur calcul d'asservissement en choisissant une marge de sécurité qui sera détaillée au chapitre « Choix de l'asservissement ».

A partir de cette détermination graphique, la figure 9 présente les cumuls mensuels de ces 2 périodes contrastées. Pour le niveau bas, il en ressort une pluviométrie moyenne mensuelle de 93 mm pour les mois de décembre à Mai et de 225 mm par mois pour le niveau haut.

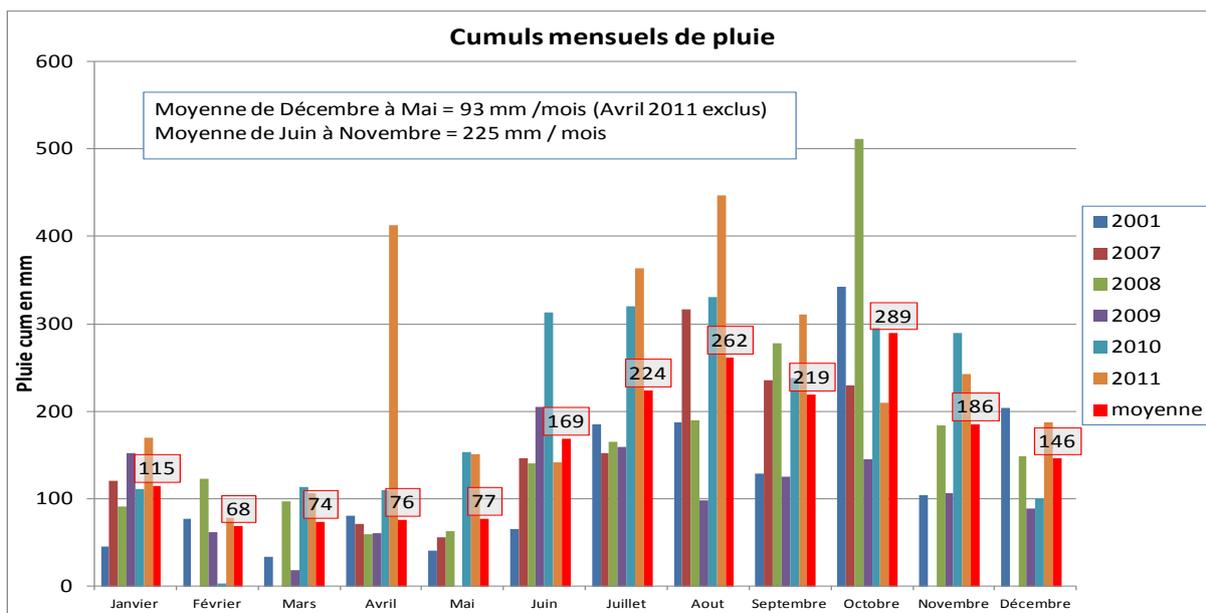


Figure 9 : Histogrammes de pluies mensuelles sur 6 années

L'étape suivante consiste à convertir cette lame d'eau précipitée en lame d'eau écoulee au niveau de la station de mesures.

c) Conversion en débit

Plusieurs paramètres peuvent modifier le ratio entre la pluie tombée et la lame d'eau écoulee qui en résulte. L'échelle du bassin versant avec souvent une réponse d'autant plus nerveuse que le bassin est petit, l'état de recharge hydrique du sol et l'évapotranspiration des cultures en place. Enfin la nature des sols et leur topographie sont aussi des facteurs de contrôle.

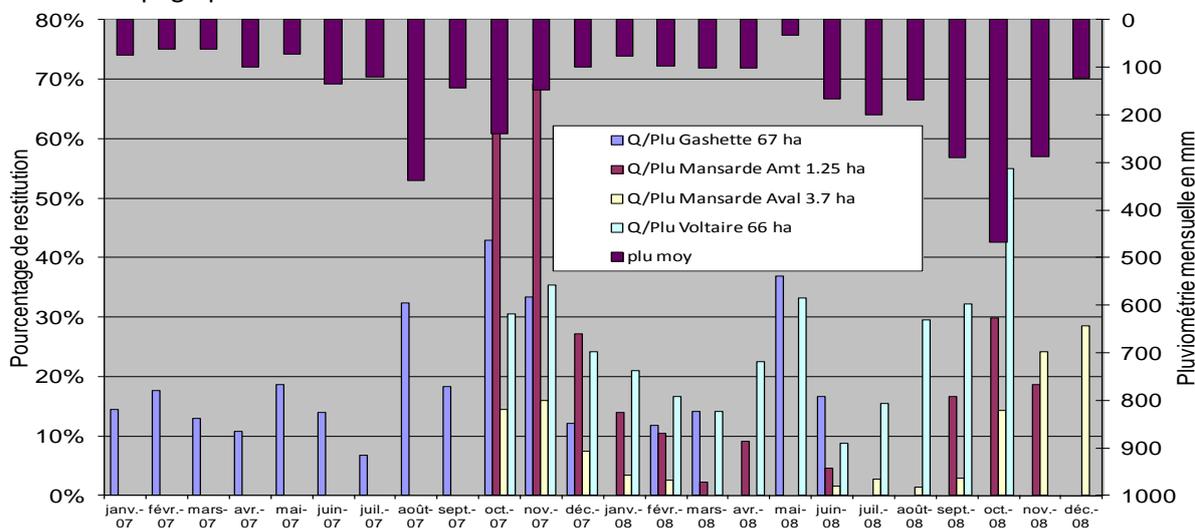


Figure 10 : Histogrammes de pluviométrie et de pourcentages de restitution

Pour tenter de tenir compte au plus près de l'influence de ces différents paramètres, nous nous sommes basés sur les données disponibles auprès du PRAM pour calculer le taux de restitution des bassins versants suivis par le Cemagref en 2007 et 2008 (Rapport : Etude des transferts de pesticides, site atelier de la baie du Robert 2007-2009).

L'analyse de la figure 10 montre que pendant les mois secs on peut estimer un taux de restitution de 10 à 15%, alors qu'en période humide ce ratio oscille de 25 à 35 % avec parfois des restitutions extrêmes de l'ordre de 60 à 70 % pour des périodes de pluies intenses.

d) Choix de l'asservissement

Sur la base des éléments climatiques (pluviométrie), hydrologiques (restitution), géographiques (surface du bassin versant), matériels (volume de prélèvement élémentaire et total) et humains (fréquence de passage sur site), un choix d'asservissement est proposé dans le tableau (figure 11).

Il apparaît ainsi que la valeur d'asservissement devra être modifiée manuellement deux fois par an (cf. : annexe 3).

Compte tenu de l'expérience acquise sur la mise en place de ce type de suivi et au regard du caractère aléatoire et parfois atypique des événements climatiques, une marge de sécurité apparaît dans la dernière colonne de ce tableau.

Niveau	Période	Pluie mensuelle moyenne (mm)	Restitution estimée (%)	Surf. BV (m <sup>2</sup> )	Fréq. Passage (j)	Vol. calculé écoulé entre passages (m <sup>3</sup> )	Nb Impuls° asserv	Vol. prélevé entre passages (L)	Nb plvt théorique/ jour	Tolérance/ Flaçon
Bas	du 1 Décembre au 31 Mai	93	12	77000	7	200.5	3	6.68	9.5	52%
Haut	du 1 Juin au 30 Novembre	225	30	77000	7	1212.8	18	6.74	9.6	52%

Volume du Monoflaçon en mL =	14000	Volume Prélèvé élémentaire en mL =	100	Impulsion du débitmètre en m <sup>3</sup> =	1
------------------------------	-------	------------------------------------	-----	---	---

**Figure 11 : Tableau de règle de décision d'asservissement. Valeurs moyennes établies sur la période 2007-2011**

L'intensité d'asservissement fixée par le nombre d'impulsions a été affinée selon deux critères :

- En premier, une marge de sécurité d'environ 50 % pour permettre de capter l'information d'un événement jusqu'à deux fois plus intense. Toutefois, même dans l'occurrence d'un événement normal le criblage reste très satisfaisant puisqu'avec 9.5 prélèvements théoriques moyens par jour, cela correspond à un prélèvement élémentaire toutes les 2 h 30.
- En second, le volume nécessaire aux exigences analytiques. En effet, selon la liste d'analyses souhaitées, le laboratoire demande 2x1 L pour la liste de produits phytosanitaires plus 0.25 L pour le glyphosate plus 1 L pour le dosage des matières en suspension (MES). Ce total de 3.25 L est donc bien respecté car le prélèvement moyen théorique entre 2 passages représente 6.7 L. Ainsi, même dans l'occurrence d'un événement deux fois moins intense, le volume prérequis sera tout de même respecté.

Cependant, il est possible que le volume prélevé dans le grand flaçon ne soit pas suffisant pour effectuer la totalité des analyses demandées. Ainsi, un ordre de priorité est défini en termes de flaconnage si le volume disponible n'est pas suffisant :

- Premier flaçon de 1 L pour analyses de produits phytosanitaires.
- Second flaçon de 1 L pour analyses de produits phytosanitaires.
- Flaçon de 250 mL pour analyse du glyphosate.
- Flaçon de 1L pour dosage des matières en suspension (MES).

Cette priorisation est récapitulée dans la fiche « Procédure de récupération d'échantillons » disponible en annexe 3 de ce document et affichée dans l'abri de terrain.

D'un point de vue objectif et malgré ces marges de sécurité, il est clair que cette estimation est uniquement fondée sur une approche empirique, notamment en ce qui concerne le taux de restitution du bassin. **Il est donc vraisemblable que ces valeurs d'asservissement évolueront en fonction des données réellement acquises sur le terrain.**

e) Choix des matières actives à analyser

La liste des substances actives à analyser dans le cadre de cette étude a été définie sur la base de plusieurs critères :

- Substances actives contenues dans des produits phytosanitaires actuellement autorisés pour la protection des bananeraies en végétation : glyphosate et son métabolite l'AMPA, difénoconazole et propiconazole, fenpropidine, fosthiazate, fluzilafop-p-butyl, glufosinate d'ammonium, diquat, spinosad. Il faut noter que la trifloxystrobine utilisée en première année en traitement aérien n'a pas été analysée car elle n'était pas encore homologuée sur bananes au moment de l'établissement de la liste.
- Substances actives actuellement autorisées et utilisées en traitement post récolte telles que le thiabendazole, l'imazalil et l'azoxystrobine. Ces substances n'ont été recherchées qu'en période 2 car jugées non prioritaires en début d'étude en raison de leur utilisation exclusive en station de conditionnement des fruits.
- Substances actives ayant fait l'objet de retraits d'homologation mais précédemment autorisées et utilisées sur bananeraies : chlordecone, paraquat, oxamyl.

f) Flaconnage

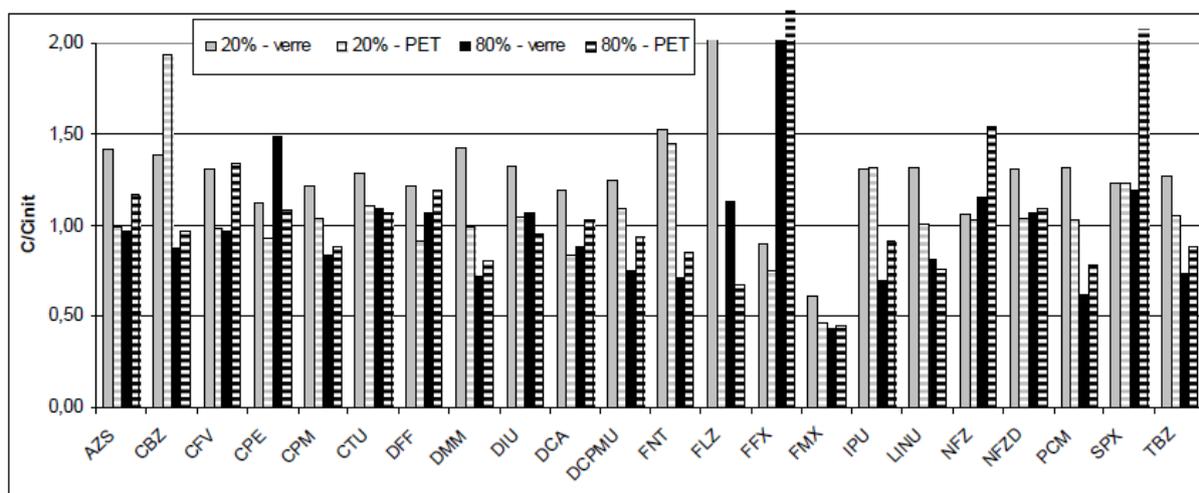
Compte tenu de la liste de molécules à rechercher dans les échantillons prélevés, l'analyse ne peut pas être faite sur place et une expédition des prélèvements en métropole est nécessaire. L'option d'un envoi hebdomadaire demeure néanmoins très coûteuse et une seconde option est donc proposée avec une congélation des échantillons de terrain dans un contenant Polyéthylène (PET) et une expédition mensuelle de tous les prélèvements hebdomadaires.

Même si classiquement le verre est le matériau d'échantillonnage retenu, le choix du PET s'avère moins contraignant. Ce choix s'appuie d'une part sur l'expérience des suivis Irstea en bassin versant agricole (Rabiet et al., 2010 ; Tournebize et al., 2012, Passeport et al. 2010) et sur le rapport AQUAREF « Stabilité des substances organiques dans les échantillons d'eau entre le prélèvement et la prise en charge analytique », Margoum et Guillemain, 2012. Outre le faible poids du PET, sa résistance à la casse et sa bonne tenue à la congélation, ce type de flacon à usage unique présente une faible capacité d'adsorption des matières actives qui a été démontrée dans l'étude AQUAREF. Ce rapport d'essais traite de différentes influences sur la conservation des échantillons comme : la filtration, le type de conservation (réfrigération ou congélation) ainsi que la nature du contenant (verre ou PET). Sur ce dernier point, 22 molécules sont testées présentant des caractéristiques variées d'adsorption (figure 12 : Koc de 46 à 157000 mL/g).

Molécule	Abréviation	Usage	S (mg/L)	log Kow	Koc (mL/g)	DT50/eau (j) - hydrolyse	LQ (ng/L)	conc dopage 1 - 20% (ng/L)	conc dopage 2 - 80% (ng/L)
Azoxystrobine	AZS	F	6,7	2,5	482	stable	5	20	80
Carbendazime	CBZ	F	8	1,48	223	350	5	20	80
Diméthomorphe	DMM	F	29	2,68	348	70	10	40	160
Procymidone	PCM	F	2,46	3,3	378	25	20	120	320
Spiroxamine	SPX	F	405	2,89	2415	stable	10	40	160
Tébuconazole	TBZ	F	36	3,7	769	stable	5	20	80
Chlortoluron	CTU	H	74	2,5	205	stable	5	20	80
Diflufenicanil	DFF	H	0,05	4,2	3186	stable	20	80	320
Diuron	DIU	H	35,6	2,87	1067	stable	5	20	80
Flazasulfuron	FLZ	H	2100	-0,06	46	11	20	80	320
Flumioxazine	FMX	H	1,79	2,55	889	1	50	100	400
Isoproturon	IPU	H	70,2	2,5	122	1560	5	20	80
Linuron	LIIU	H	63,8	3	620	1460	5	20	80
Norflurazon	HFZ	H	34	2,45	700	-	5	20	320
3,4-dichloroaniline	DCA	métab H	580	2,69	551	0,25 (photolyse)	10	40	160
3-(3,4-dichlorophényl)-1méthylurée	DCPMU	métab H	490	2,94	928	-	5	20	80
Norflurazon déméthyl	HFZD	métab H	-	-	-	-	10	40	160
Chlorfenvinphos	CFV	I	145	3,8	680	125	20	80	320
Chlorpiryphos E	CPE	I	1,05	4,7	8151	25	20	80	320
Chlorpiryphos M	CPM	I	2,74	4,0	4645	21	20	80	320
Flufénoxuron	FFX	I	0,0043	4,01	157643	267	20	80	320
Fénitrothion	FHT	I	19	3,32	322	183	50	100	400

**Figure 12 : Tableau des caractéristiques physico-chimiques des pesticides étudiés et concentrations de dopage (F : fongicides ; H : herbicides ; I : insecticides).**

**Extrait du rapport Aquaref C. Margoum**



**Figure 13 : Evolution des concentrations en pesticides par rapport à la concentration initiale, pour les deux niveaux de dopage et un stockage de 2 jours au réfrigérateur en flacon verre et PET.**  
Extrait du rapport Aquaref C. Margoum

Des échantillons tests sont fabriqués puis analysés en triplicat à deux niveaux de concentrations : 20% et 80% de la valeur moyenne retrouvée dans les eaux de surface. Deux séries de triplicats sont ensuite conservées pendant 2 jours au réfrigérateur d'une part dans du verre et d'autre part dans du PET. De nouvelles analyses sont ensuite réalisées et les concentrations moyennes déterminées sont rapportées à la concentration initiale.

Dans la figure 13, un ratio significativement inférieur à 1 sera donc le témoin d'une adsorption ou d'une dégradation sur les parois du contenant. Comme décrit dans le rapport, hormis pour les composés les moins stables comme FMX et FFZ dont la conservation pose de toute façon problème, l'écart de concentration mesuré lié à la conservation est toujours compris dans l'incertitude de mesure et ce quel que soit le matériau du flacon. En effet l'incertitude élargie ( $k=2$ ) calculée pour la méthode analytique va de 25 à 60 % à la limite de quantification (LQ) et de 25 à 45 % pour le plus haut point du domaine d'application de la méthode. Ainsi, pour des niveaux de concentrations identiques, et pour une large gamme de propriétés de molécules testées, il n'apparaît pas de différence significative entre un flaconnage verre ou PET.

Même si les molécules testées dans cette étude présentent des caractéristiques physico-chimiques variées, les matières actives ne sont pas les mêmes que celles utilisées dans le contexte de bananeraie. Ainsi, il sera procédé à des tests de comparaison des deux types d'échantillonnage en doublant les analyses. S'il s'avérait que le choix du PET n'était pas le bon dans le contexte de l'étude, le protocole sera modifié en conséquence.

### Logistique et assurance qualité

L'instrumentation (débitmètre, capteur de hauteur et de conductivité, pluviomètre) est vérifiée régulièrement afin de déceler rapidement tout dysfonctionnement. Un carnet de terrain est rempli à chaque visite par Phytocenter qui dispose d'un ordinateur fourni par Irstea avec les logiciels et la configuration adéquats.

Une fiche de procédure ainsi qu'une feuille de passage sont également placées sur le plan de travail installé dans l'abri afin de guider et de tracer l'intervention hebdomadaire. Un exemplaire de ces différents documents est disponible en annexe 3.

L'opération routinière de contrôle et de récupération d'échantillons est hebdomadaire et le transfert des données se fait à fréquence mensuelle.

Ce contrôle comprend la vérification visuelle du bon état de marche de l'instrumentation (message d'incident survenu ou de programme arrêté), le contrôle visuel de l'état de la section avant le déversoir (ensablement du capteur), le contrôle de la hauteur relevée visuellement sur la mire comparée à la

hauteur renvoyée par le débitmètre. Un transfert des données relevées est également réalisé pour vérifier le bien-fondé des critères d'asservissement décidés.

Chaque semaine, le prélèvement composite est échantillonné en triplicat puis stocké au congélateur à Phytocenter. Sur ces 3 prélèvements hebdomadaires de 1 litre, un sera conservé de manière durable au congélateur en attendant le résultat d'analyses. Chaque mois ce sont donc 8 échantillons qui sont expédiés en métropole au LDA de la Drôme (2 par semaine x 4 semaines). Cette expédition d'échantillons congelés se fait en sac isotherme par la filière « ColiPays » (système de colis prépayés pour marchandise périssable) qui propose des tarifs intéressants pour des délais de livraison rapides.

## RÉSULTATS

Pour rappel, le choix a été fait de ne suivre qu'un seul bassin versant avant et après aménagement en comparant les exportations pendant ces 2 périodes sur le même bassin versant.

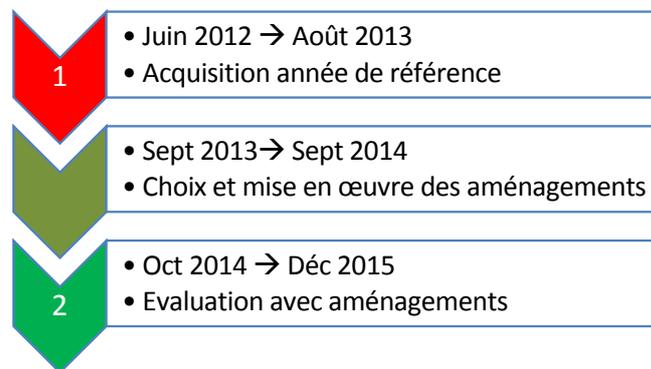


Figure 14 : Schéma de la démarche de comparaison des 2 périodes de suivi

### FONCTIONNEMENT / DYSFONCTIONNEMENT PENDANT LES PERIODES DE SUIVI

Ce paragraphe synthétise les périodes de fonctionnement et de dysfonctionnement du protocole expérimental.

#### Suivi ligne d'eau / débit et échantillonnage

La fréquence de passage sur site, définie comme hebdomadaire pour le relevé des échantillons, a été parfaitement respectée lors des 2 périodes de suivi : avant et après implantation des plantes de couverture.

Toutefois, durant ces 2 périodes de suivi (n°1 : du 14/06/2012 au 29/08/2013 ; n°2 : du 09/10/2014 au 10/12/2015), même si aucune panne n'a été à déplorer, plusieurs défaillances matérielles sont apparues. Elles concernent essentiellement le suivi de débit issu de la hauteur d'eau mesurée. En effet plusieurs colmatages du système bulle à bulle sont apparus entraînant de fortes surestimations du débit. En conséquence le préleveur est sur-sollicité artificiellement et l'échantillon composite se remplit avant sa relève hebdomadaire.

Par conséquent plusieurs périodes d'échantillonnage sont inexploitable au titre de la comparaison avant/après enherbement et concernent :

Période n°1 :	du 01/03/2013 au 02/08/2013
Période n°2 :	du 22/02/2015 au 13/03/2015
	du 12/05/2015 au 23/05/2015
	du 17/06/2015 au 24/06/2015

Malgré les procédures mises en place pour la qualité du suivi, ces dérives sont notables pour la première campagne avec une longue période de lacunes et mieux anticipées pour la seconde avec 3 courtes périodes invalidées.

En bilan de suivi de l'échantillonnage :

- la période n°1 est couverte à **75% du temps représentant 73% du volume passé** ;
- la période n°2 est couverte à **92% du temps représentant 87% du volume passé**.

### Suivi météo

A l'échelle de la station, le seul paramètre météo suivi localement est la pluviométrie. Durant l'ensemble du suivi, quelques dysfonctionnements sont apparus mais ils se situent entre les 2 périodes de suivi qualité des eaux et n'impactent pas la validité des campagnes.

En complément, La station météo du Lamentin a été utilisée pour valider la pluviométrie acquise sur site. Cette même station a permis de fournir les données de températures minimum et maximum pour le calcul de l'évapotranspiration (ETP) selon la méthode Oudin.

Ne disposant pas de l'ensemble des paramètres météo nécessaires au calcul d'une ETP Penman, ce mode de calcul a été retenu car il nécessite uniquement la température moyenne et la position spatio-temporelle de la zone considérée. Comme présenté dans le paragraphe climatologie, les valeurs calculées sont cohérentes avec les données historiques fournies par météo-France.

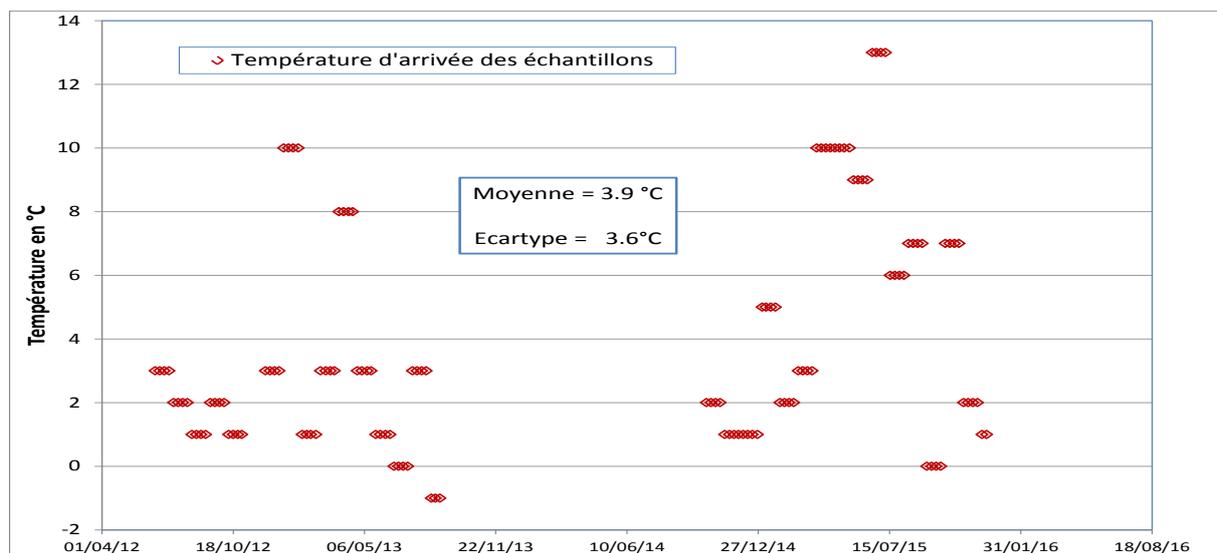
### Le carnet de terrain

Les feuilles de relevé de terrain sont scannées par Phytocenter et transmises de manière mensuelle par courriel. Compte tenu des problèmes de dérive rencontrés sur le suivi débit en première période, les informations qui y sont consignées ont évolué pour mieux anticiper les problèmes météorologiques.

### Les échantillons et la chaîne du froid

L'expédition des prélèvements en métropole n'a pas posé de soucis particuliers, et même si un « échantillon de sécurité » était conservé localement dans l'attente des résultats, le recours à cette procédure n'a pas été nécessaire.

A leur arrivée au laboratoire d'analyse, une mesure de température de l'échantillon est effectuée et les résultats obtenus sont globalement très satisfaisants quant à la conservation des échantillons. Même si 4 lots sur 31 ont présenté des températures comprises entre 10 jusqu'à un maximum de 13°C mesuré, la moyenne des températures de tous les prélèvements est de 3.9 °C avec un écart-type 3.6°C.



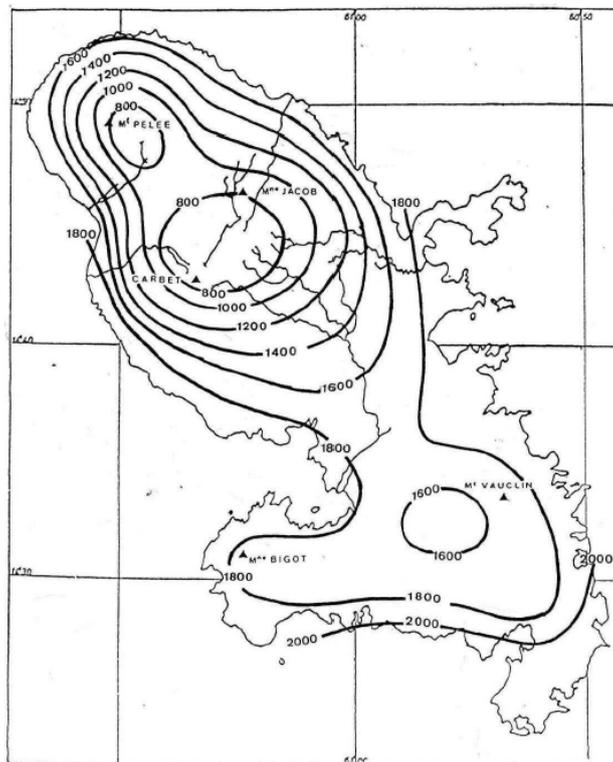
La comparaison des deux périodes de suivi ne montre pas de différence sur les chroniques temporelles de pluviométrie, tant en dynamique qu'en cumul (2220 et 2354 mm). En revanche pour l'ETP, si les cumuls ne sont pas très différents (1982 et 1998 mm), les chroniques elles, montrent un déphasage d'environ 50 jours. Rappelons que les suivis ont débuté en juin 2012 pour la période de référence et en octobre 2014 pour la période avec aménagements.

Année	Date	Pluie (mm)	ETP (mm)	Débit observé (mm)	Débit simulé (mm)
Référence 2012-2013	14/06/2012 28/08/2013 440 jours	2220	1982	1200*	1630
Aménagée 2014-2015	09/10/2014 10/12/2015 427 jours	2354	1998	1578*	1701

\* Données manquantes

**Figure 16 : Tableau de comparaisons climatiques et hydrologiques des 2 périodes 2012 à 2015**

Les valeurs d'ETP sont à comparer avec celles de Regieug dans son étude Météo France de 1986 (par exemple l'ETP annuelle moyenne de Fort de France s'élève à 1670 mm).



**Figure 17 : Evapotranspiration moyenne annuelle en Martinique entre 1961 et 1980, en mm/an (source REGUIEG 1986 : L'évapotranspiration et le bilan hydrique en Martinique. Document Météo-France)**

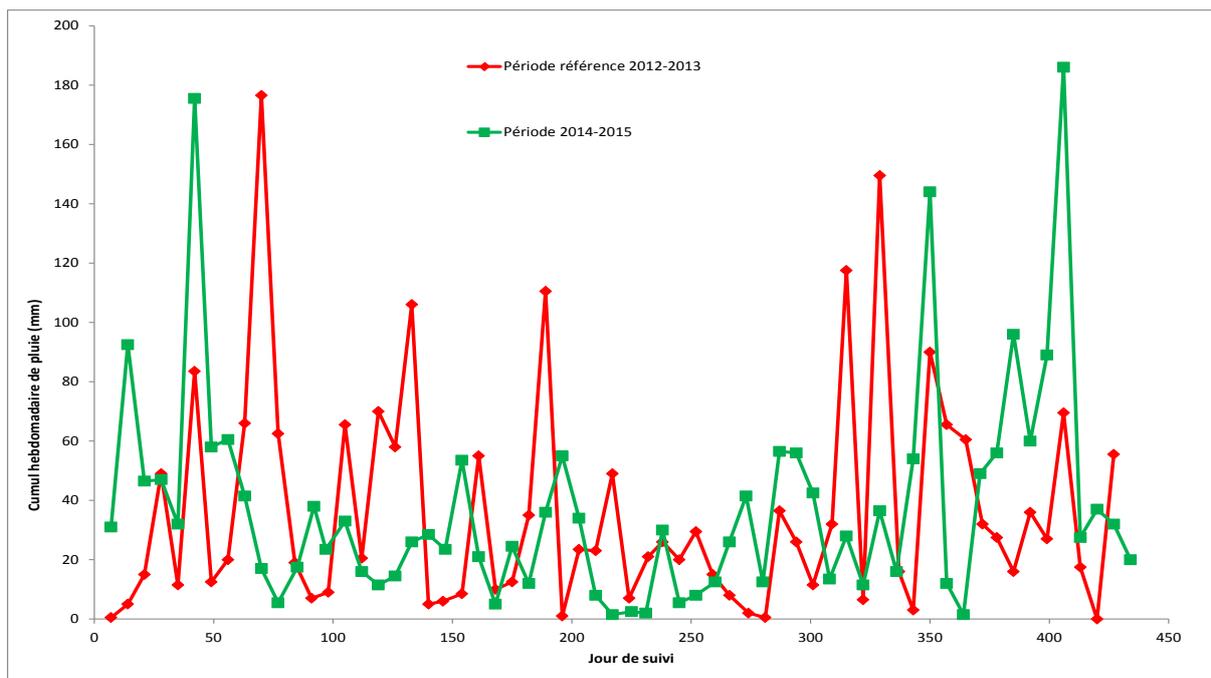


Figure 18 : Comparaison des chroniques hebdomadaires de précipitations cumulées (mm) sur les 2 périodes 2012-2013 et 2014-2015

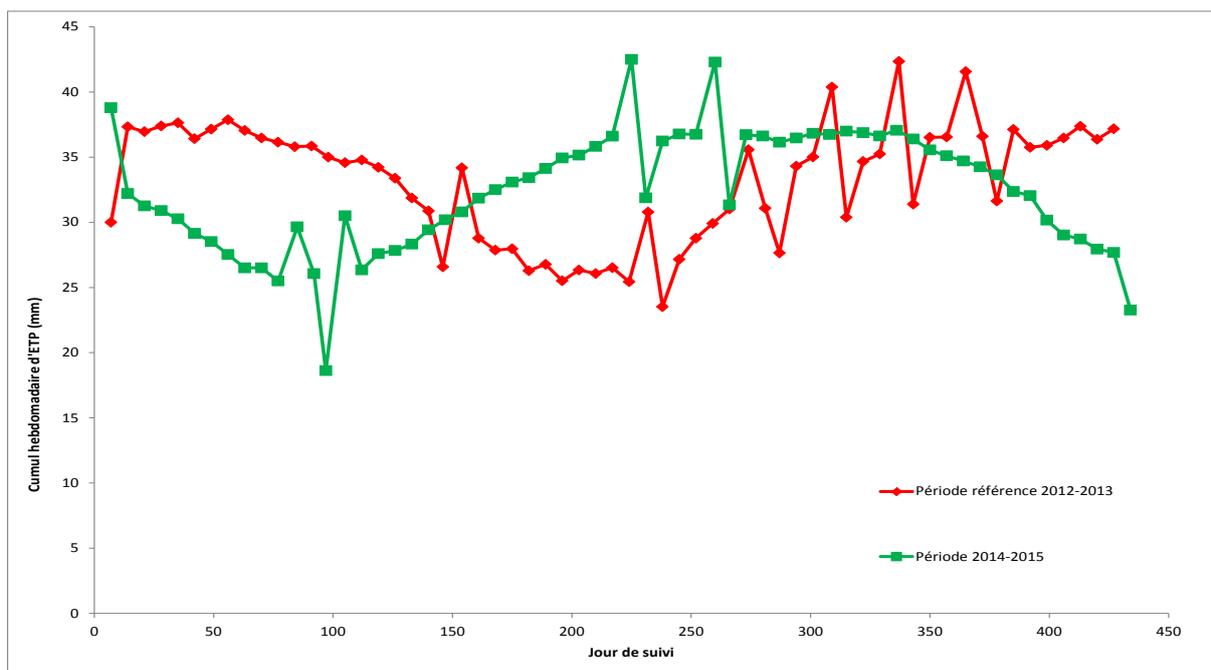


Figure 19 : Comparaison des chroniques hebdomadaires d'ETP cumulées (mm) sur les 2 périodes 2012-2013 et 2014-2015

## HYDROLOGIE

Pour rappel, la formule théorique reliant la hauteur au débit est fonction de la tangente de l'angle du déversoir et de la hauteur élevée à la puissance 2.5.

Dans notre cas  $Q = 2.023 \times H^{2.5}$  avec  $Q$  en  $m^3/s$  et  $H$  exprimée en m.

Entre l'installation de cette section de contrôle (mars 2012) et le démarrage du suivi qualité des eaux (juin 2012), plusieurs événements hydrologiques se sont succédés ce qui nous a permis de mettre en évidence une influence par l'aval du déversoir lors des pluies intenses. Dans ces conditions, la loi initialement retenue perd sa validité. Ceci nous a amenés à une seconde approche fondée sur les taux de restitution pluie/débit observés sur de précédentes expérimentations martiniquaises (cf. paragraphe « Méthode d'évaluation »).

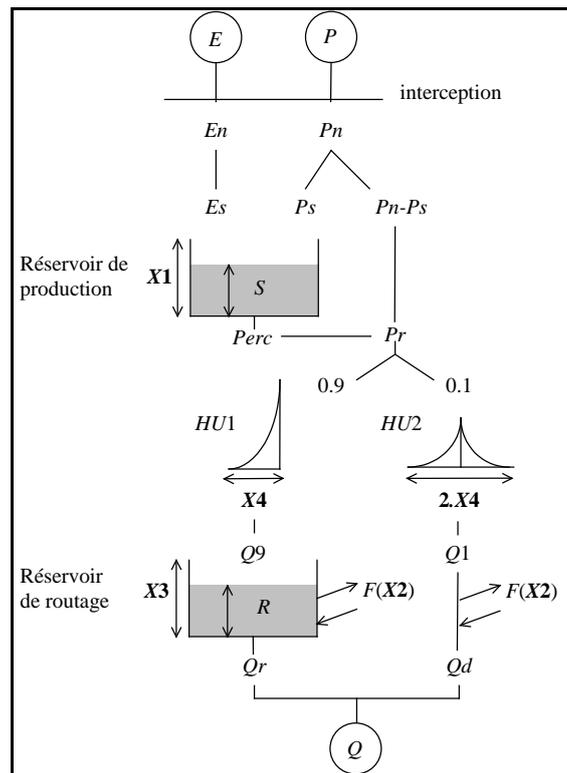
Ainsi le calage local s'est appuyé sur la période du 1/05 au 12/05/2012 qui présente une pluviométrie intense de 188 mm occasionnant 4 pics de crue distincts. Le calcul de la loi de tarage sur cette période est fondé sur une approche Manning & Strickler dès que le seuil déversoir est influencé par l'aval en imposant la contrainte d'un taux de restitution de 70 % de la pluie à l'échelle de l'ensemble de l'épisode considéré.

Cette approche s'avérera satisfaisante au regard des simulations hydrologiques réalisées en fin d'expérimentation (cf. : paragraphe suivant).

### **Reconstitution des données manquantes à partir d'un outil de modélisation conceptuel**

#### Descriptif du modèle GR4j et GR4h

Les modèles GR4j et GR4h sont des modèles hydrologiques conceptuels à réservoir au pas de temps journalier (j) et horaire (h). Le descriptif complet se trouve dans les publications de l'équipe Hydrologie d'Irstea (Perrin 2002, Perrin et al., 2003). Le modèle transforme les précipitations en débit sur un bassin versant, par l'introduction de deux réservoirs à vidange contrôlée par 4 paramètres. Ce modèle présente l'avantage d'être robuste dans de nombreux contextes hydrologiques. Son principal défaut réside dans son approche conceptuelle, non basée sur des processus physiques.



**Figure 20 : Schéma conceptuel du modèle GR4J (Perrin 2002)**

Les paramètres calés sur les suivis observés sont présentés en figure 21. L'interprétation que l'on peut en faire, sans que cela constitue des qualifications hydrologiques, montre que le réservoir sol ( $x1=6.4\text{mm}$ ) est relativement faible (probablement une forte restitution de la pluie, confirmée par la suite), et un temps de réponse rapide ( $x4=-0.63 < \text{journée}$ )

Paramètres modèle	Transf.
X1 : Capacité rés. Production (mm)	6.40
x2 : Paramètre d'échange (mm)	1.71
x3 : Capacité rés. Routage (mm)	2.87
x4 : Délai (jours)	-0.63

Critères d'efficacité	2012	2014
Nash-Sutcliffe (Q)	0.489	0.745
Nash-Sutcliffe (sqrtQ)	0.458	0.500
Nash-Sutcliffe (ln(Q))	0.405	0.223
Bilan	0.861	1.036

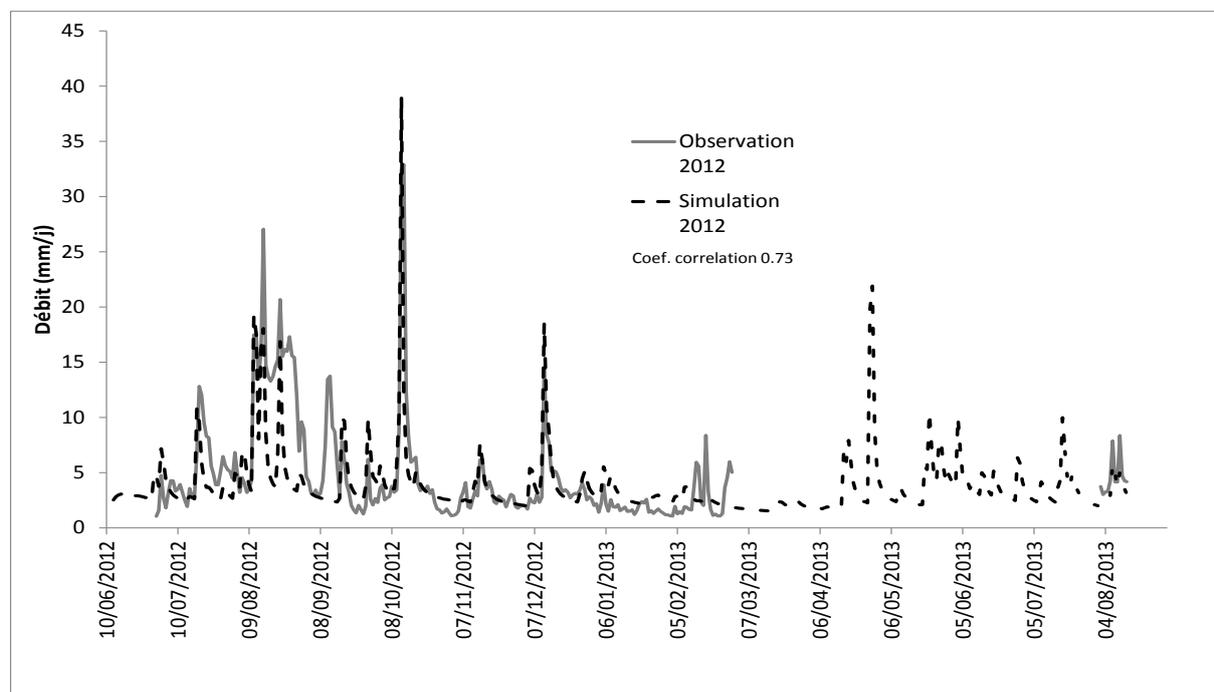
**Figure 21 : Paramètres du modèle GR et critères de Nash associés aux simulations**

L'évaluation de la performance du modèle par comparaison des données observées et simulées s'opère en calculant les coefficients de Nash. La formule de calcul effectue le ratio des écarts entre les valeurs mesurées et simulées ( $Q_o$  ou  $Q_m$ ; au carré, ou racine carrée ou en logarithmique) avec les écarts de la valeur moyenne avec les simulations. Un coefficient de Nash d'une valeur de 1 est considéré comme optimal, une valeur proche de 0 ou négative montre une performance médiocre.

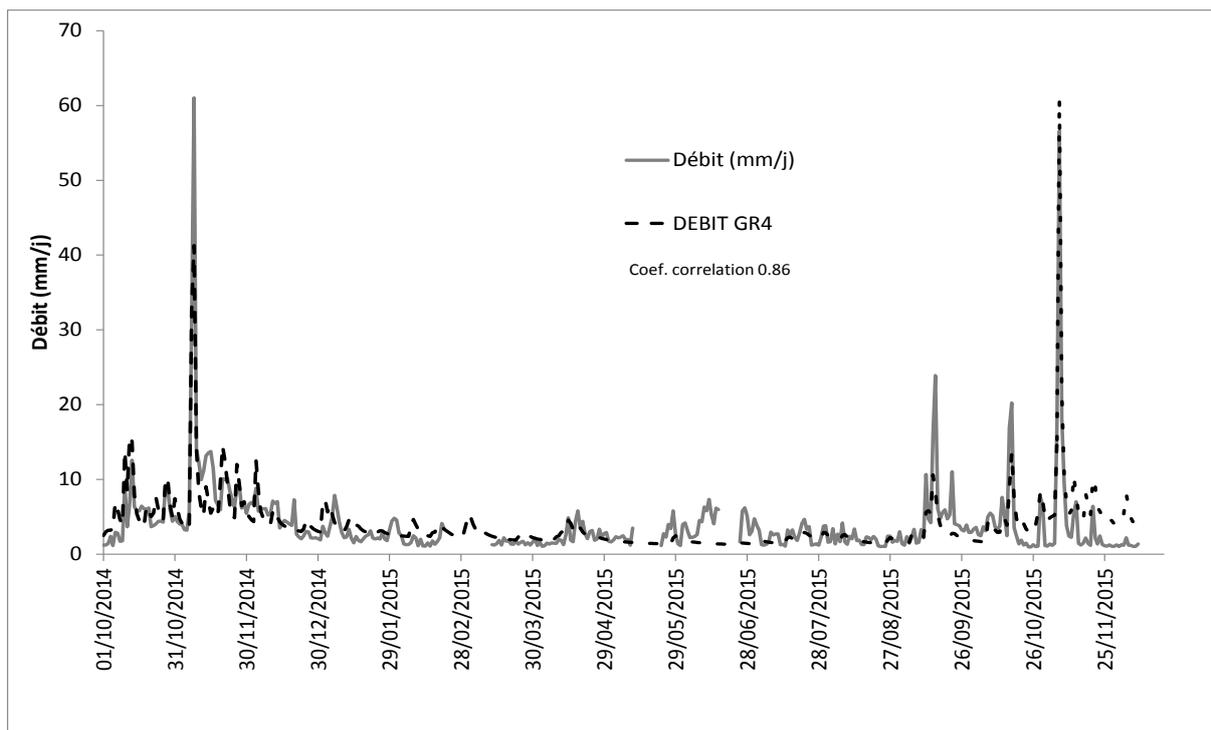
$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2}$$

Pour les deux périodes de simulation (2012-2013 et 2014-2015), les critères de Nash sont acceptables avec respectivement 0.489 et 0.745, en utilisant le même jeu de paramètres. Les graphiques de comparaison journalière sont présentés ci-dessous.

Les coefficients de corrélation des deux séries temporelles (observée et simulée) montrent des valeurs > 0.7 (0.73 et 0.86)

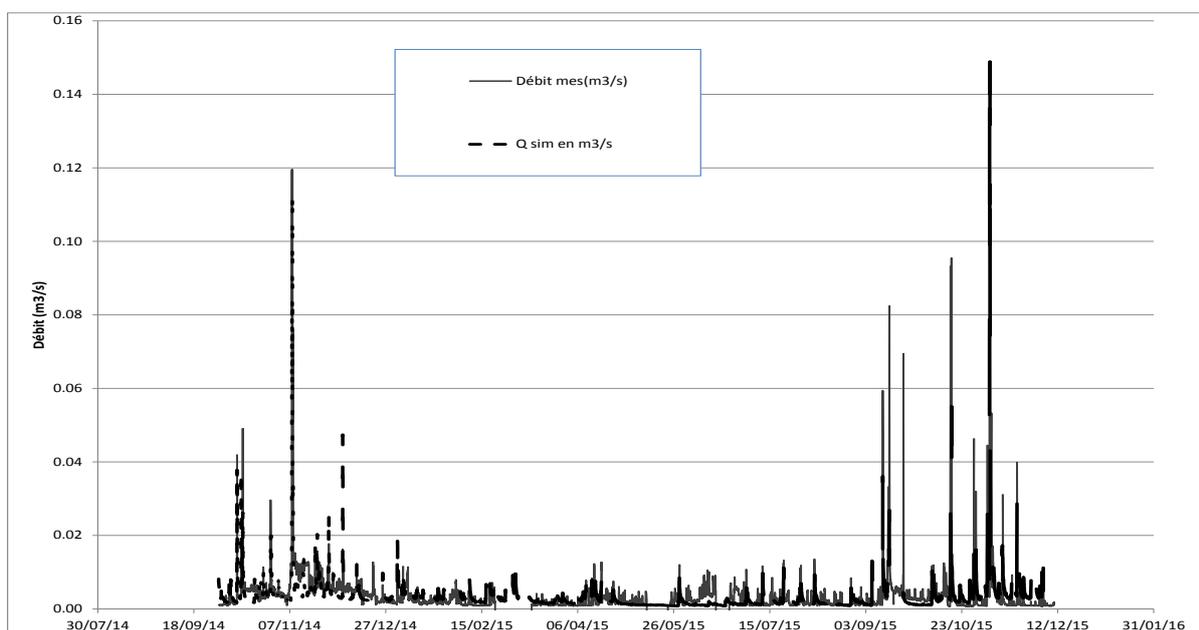


**Figure 22 : Comparaison des débits (mm/j) observés et simulés avec GR4J sur la période 2012-2013**



**Figure 23 : Comparaison des débits (mm/j) observés et simulés avec GR4J sur la période 2014-2015**

Les résultats de la simulation au pas de temps horaire sont aussi validés avec un critère de Nash à 0.698.



**Figure 24 : Comparaison débit observé et débit simulé par GR4H au pas de temps horaire sur la période 2014-2015**

L'analyse hydrologique permet aussi de qualifier la réponse hydrologique du versant à la pluie. En moyenne, le bassin versant, objet de l'étude, transforme 77% de la pluie en débit sur une année. Ce chiffre valide les travaux préliminaires de stratégie d'échantillonnage effectués en amont du suivi.

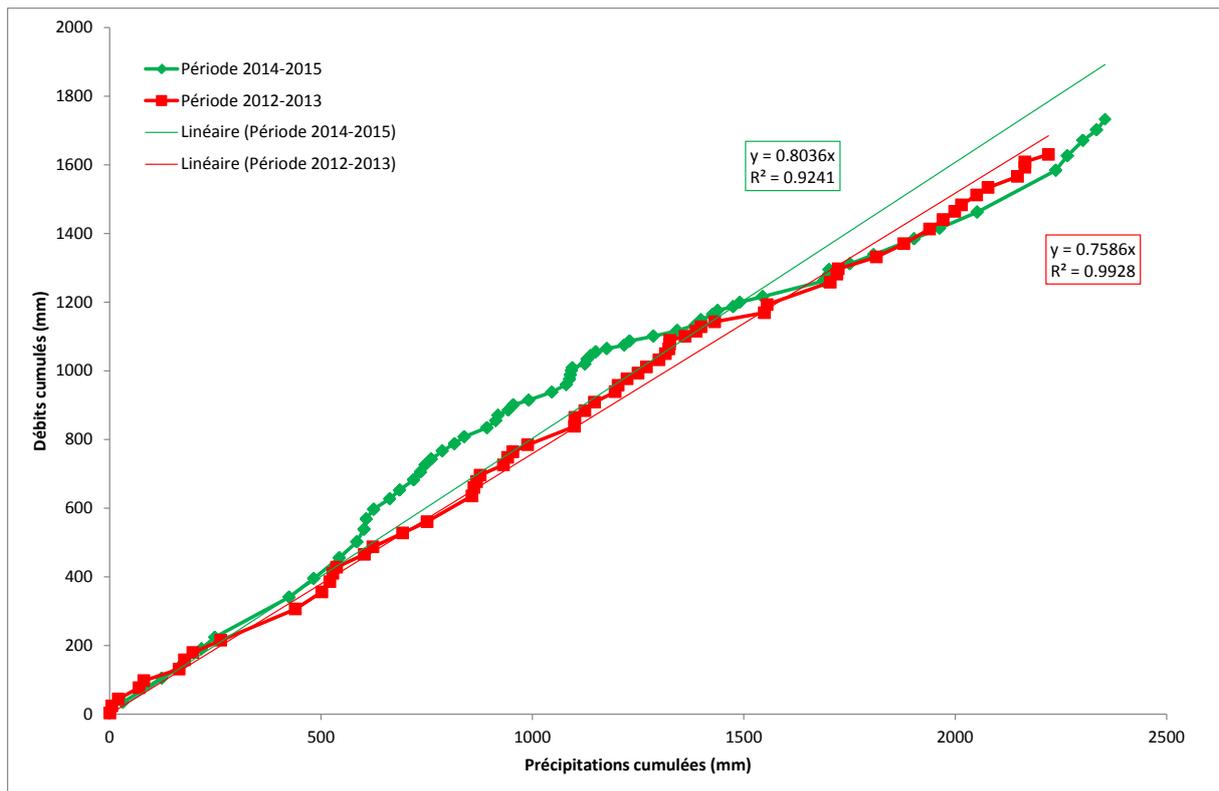


Figure 25 : Courbes de double cumul (précipitations et débits cumulés, en mm) sur les périodes de référence 2012-2013 et après aménagements (2014-2015)

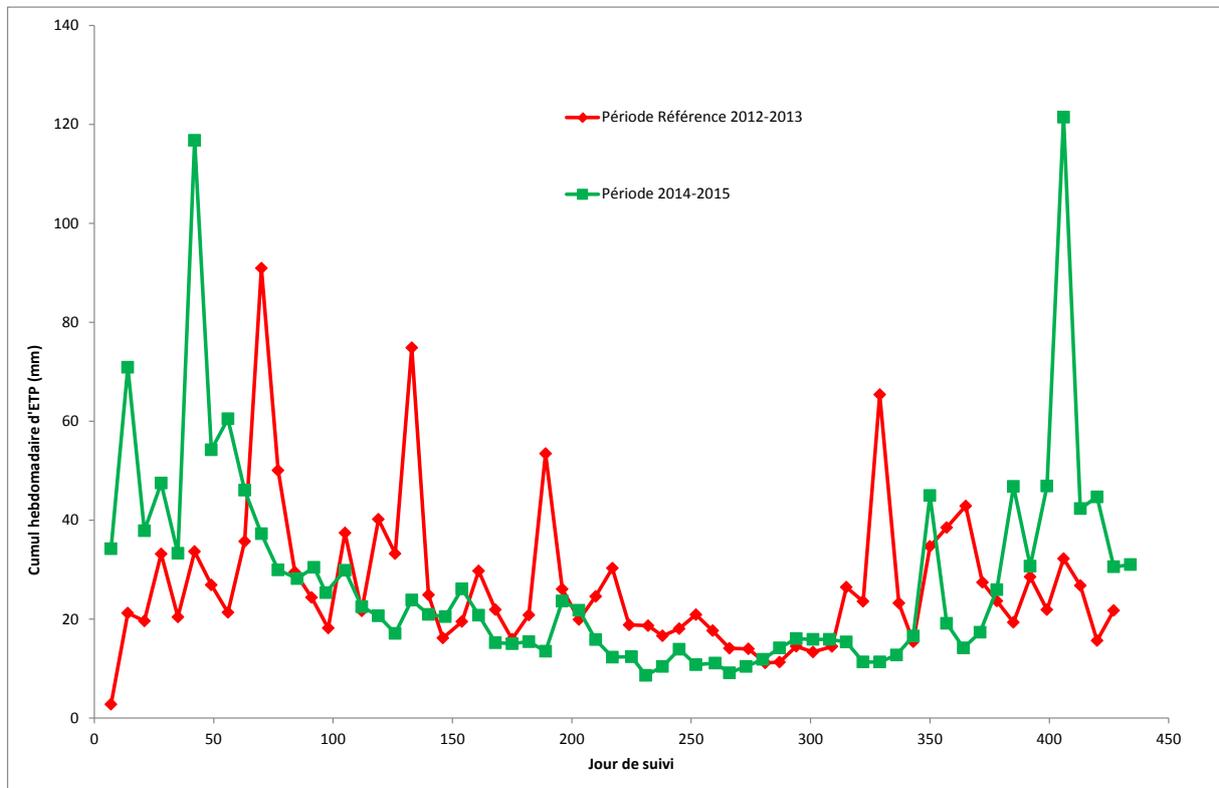


Figure 26 : Comparaison des débits cumulés hebdomadaires (mm) sur la période de référence (2012-2013) et sur la période après aménagements (2014-2015)

La comparaison des 2 périodes ne montre pas de différence de comportement hydrologique. Il est difficile d'interpréter la différence de performance du modèle ou la différence de coefficient de restitution (Figure 25) comme étant la conséquence des aménagements au sein du bassin versant.

#### APPORTS PHYTOSANITAIRES

Le recensement des pratiques phytosanitaires est le résultat de l'analyse des informations transmises par l'exploitant.

Pendant la période de référence 2012-2013, le désherbage a principalement consisté à l'utilisation des substances actives suivantes : glyphosate (2448 g), glufosinate (6412 g) et fluazifop-p-butyl (3225 g) par pulvérisation à dos, sur les 2 versants. A noter que pendant cette période, 504 g de glyphosate et 1762 g de fluazifop-p-butyl ont été appliqués sur les bords des parcelles, proche de la ravine (dénommés « trace »).

Les changements de pratique issus de la stratégie d'aménagement ont fortement diminué la pression herbicide de 71 % (arrêt d'usage du fluazifop, réduction du glufosinate, mais maintien des quantités de glyphosate). A noter aussi que les applications sur les bords de parcelles (trace) ont été réduites de 68 % du fait de de la transition vers une technique mécanique.



Figure 27 : Vue du bassin versant en amont (RIFA, Martinique, France, photo IT<sup>2</sup>)

Deux faits marquants sont apparus lors des deux périodes de suivi :

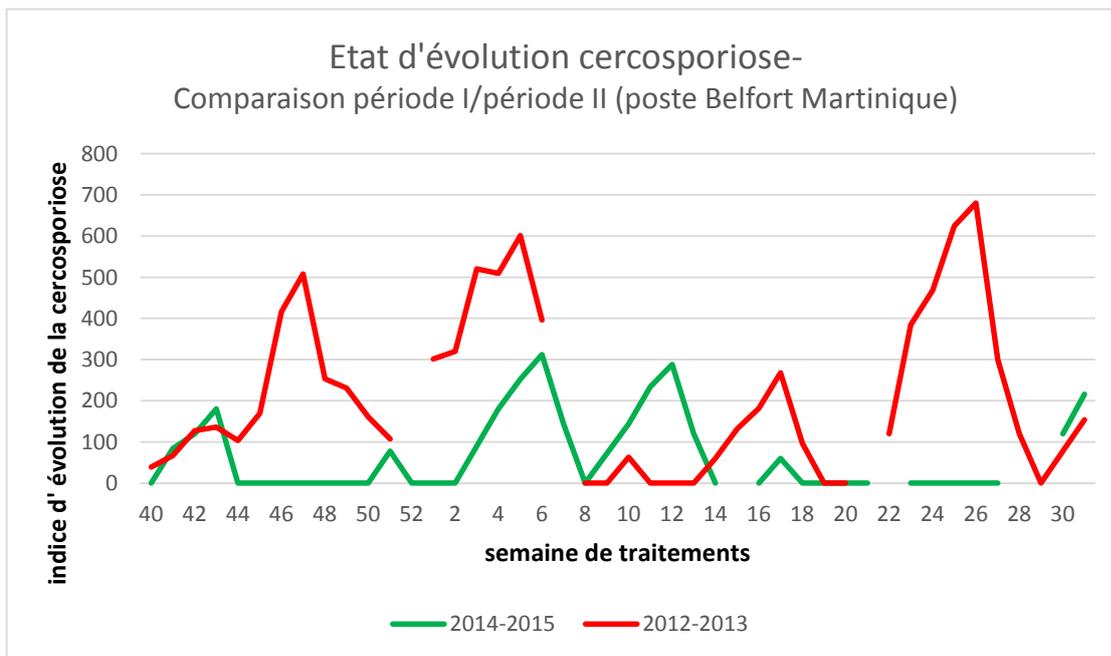
- Réduction de l'activité de production agricole entre juin et août 2012, impliquant une réduction des usages phytosanitaires, accompagnée d'une période de rattrapage herbicide.
- Arrêt réglementaire des traitements aériens en 2013, ayant pour conséquence une application des fongicides par traitement au sol (canon) et une modification partielle des programmes de traitements.

Malgré la réduction de production en 2012, les traitements fongicides ont cependant perduré du fait de la planification des traitements aériens programmés et appliqués par l'interprofession à l'échelle de la Martinique.

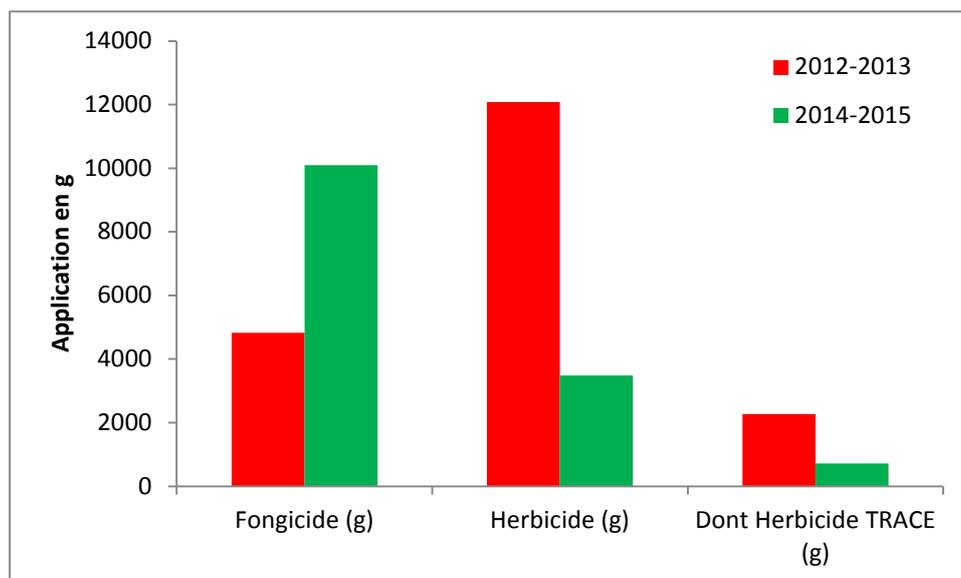
Matière active	Type	Mode d'application		Quantité appliquée (g)	
		2012-2013	2014-2015	2012-2013	2014-2015
Difenoconazole	Fongicide	Aérien zSicaTG	Canon	4060 (54%)	5250 (85%)
Propiconazole	Fongicide	Aérien zSicaTG	Canon	770 (100%)	4850 (48%)
Glyphosate, sel isopropylamine	Herbicide	Pulvé à dos	Pulvé à dos	2448 (21%)	2712 (100%)
Glufosinate d'ammonium	Herbicide	Pulvé à dos	Pulvé à dos	6412 (74%)	772 (100%)
Fluazifop-P-butyl	Herbicide	Pulvé à dos	-	3225 (60%)	-
Trifloxystrobine	Fongicide	Aérien zSicaTG	-	1155 (NS)	-

**Figure 28 : Tableau du détail des produits phytosanitaires appliqués : mode d'application et quantité utilisée (g) avec la part appliquée pendant la période de fonctionnement optimal de la station de mesure (source Exploitation Rifa, zSicaTG, NS : non suivi)**

Concernant l'utilisation des fongicides destinés à lutter contre la cercosporiose des bananiers, une comparaison de l'état d'évolution de la maladie sur les deux périodes a pu être réalisée sur le poste d'observation « Belfort » à proximité de l'exploitation RIFA (figure 29). L'état d'évolution est un indice qui exprime une quantité de maladie calculée à partir des nécroses observées sur différents étages foliaires. Bien que chaque situation parcellaire en fonction de son historique et de sa disposition géographique et topographique soit particulière, on peut rapprocher la situation du poste de Belfort de celle de l'exploitation RIFA en raison de sa proximité immédiate. La figure 29 montre que l'indice au poste de Belfort est situé pour les deux années entre 100 et 600 et toujours inférieur à 700. Dès lors, on peut estimer que la pression de maladie n'est pas notablement différente entre les 2 périodes, ce qui est d'ailleurs confirmé par le calcul des moyennes (61 en 2014-2015, 184 en 2012-2013) de chaque période. On peut donc attribuer la différence de consommation des fongicides contre la cercosporiose aux conséquences du changement de modes d'application.



**Figure 29 : Etat d'évolution de la cercosporiose sur le poste d'observation de Belfort (Lamentin, Martinique, source E. Husson, SICA TG)**



**Figure 30 : Evolution des applications de pesticides sur les deux périodes 2012-2013 et 2014-2015 hors trifloxystrobine pour 2012-13.**

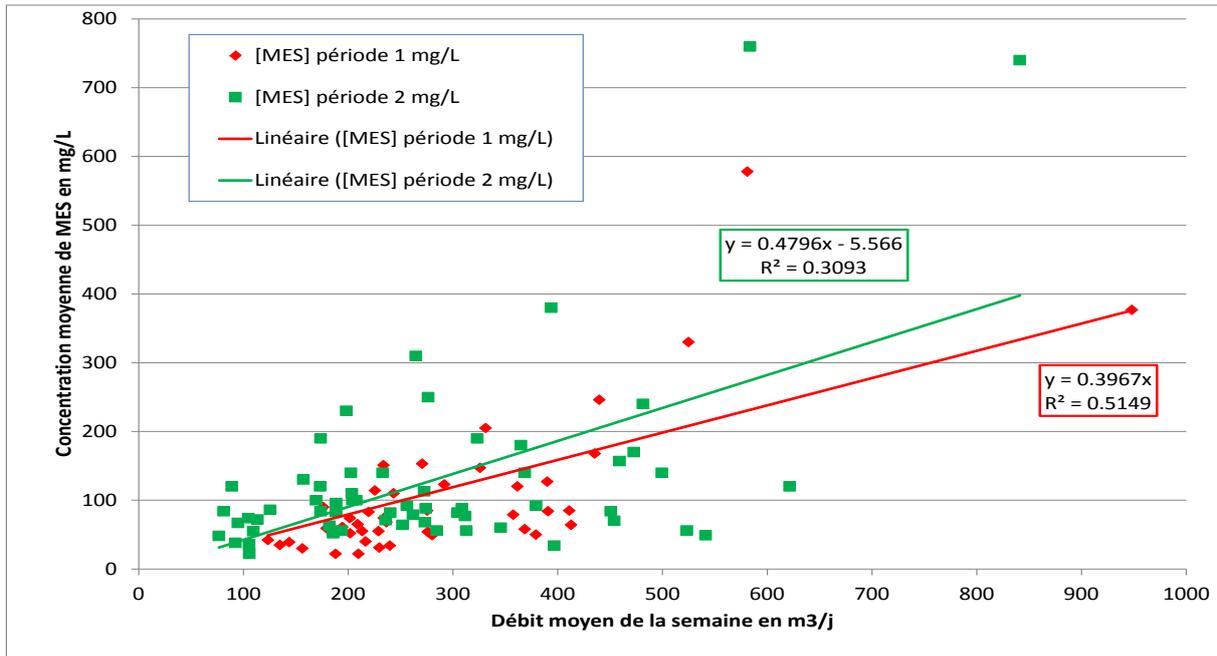
« TRACE » correspond aux traitements des bords de parcelles proches de la ravine

#### TRANSFERT DE MATIERES EN SUSPENSION

Le transfert de MES (potentiellement chargées en substances actives) est un phénomène extrêmement nerveux et il n'existe pas de mesure de turbidité en continu sur le site permettant une observation exhaustive des écoulements et de leurs charges.

En revanche, le laboratoire qui reçoit l'échantillon composite procède à un dosage des MES qui fournit une information lissée sur la semaine. Compte tenu des saisonnalités et du caractère aléatoire de la

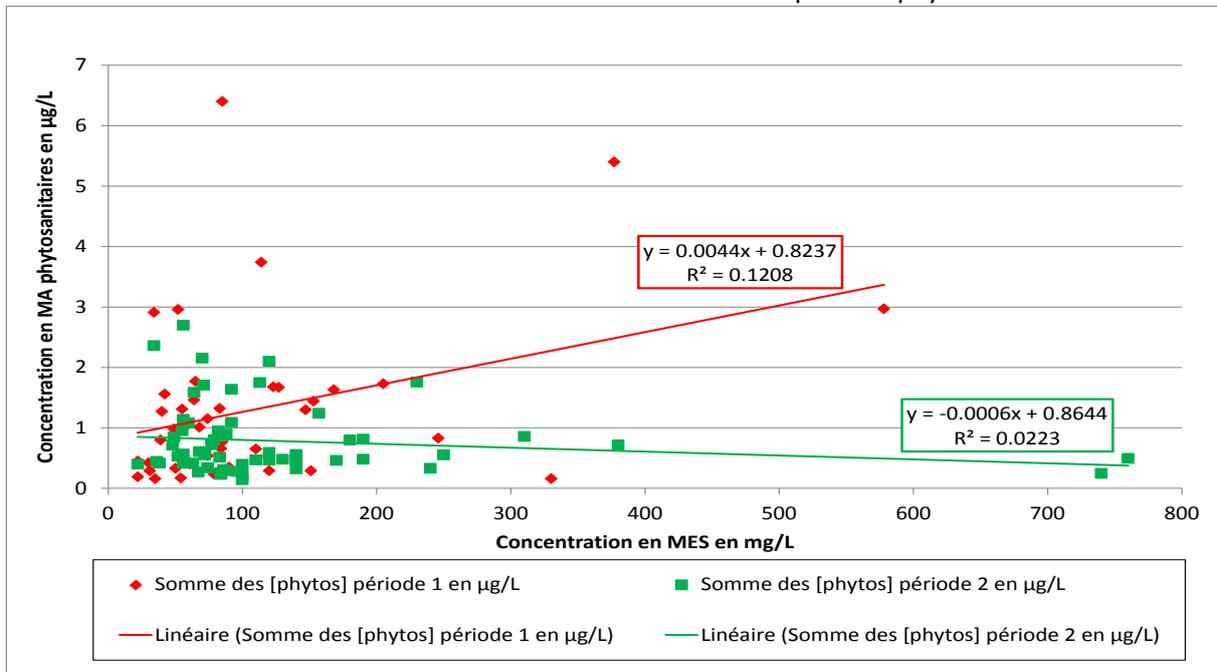
pluviométrie, l'interprétation des résultats demeure délicate, le but ici étant de voir s'il se dégage un changement de tendance significatif entre ces 2 périodes.



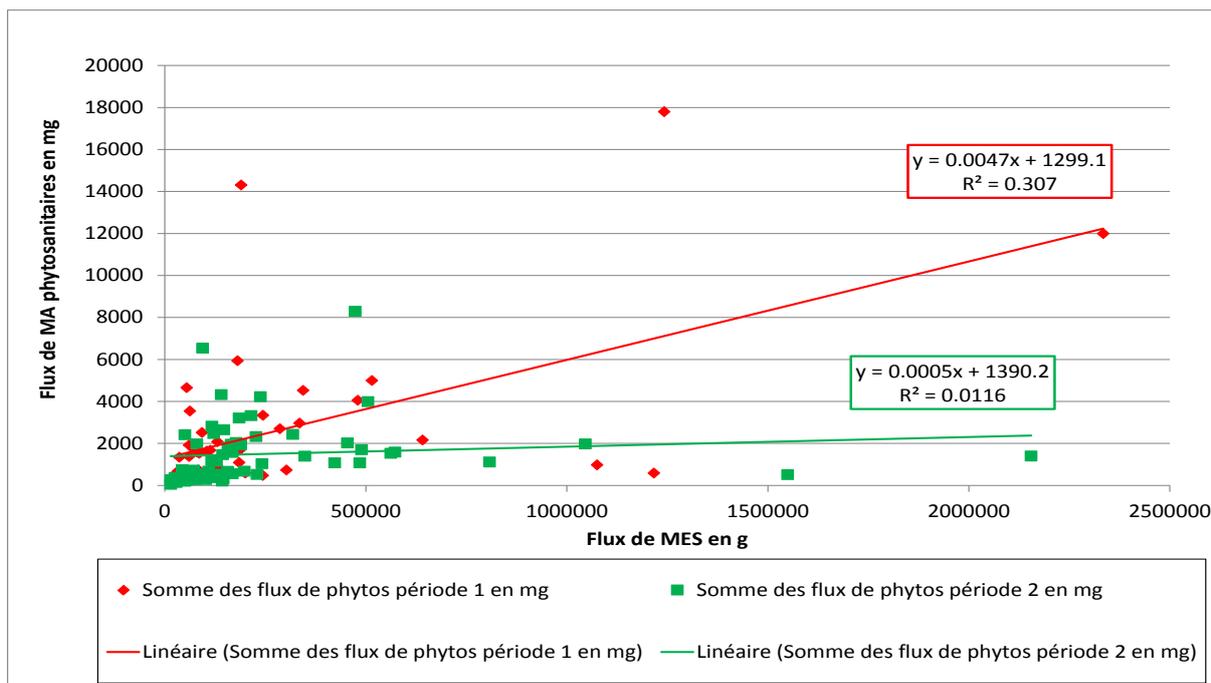
**Figure 31 : Comparaison des charges en MES en fonction du débit moyen hebdomadaire avant et après installation des plantes de couverture**

L'interprétation graphique montre qu'il existe une corrélation positive logique entre le débit moyen et la concentration en MES ( $R^2=0.51$  et  $0.30$  respectivement pour 2012-13 et 2014-15). Outre la qualité moyenne de ces corrélations observées au sein de chacune des périodes, le constat est qu'aucune différence significative ne se dégage entre les 2 périodes de mesure.

Un des objectifs initiaux du suivi MES était de mettre en évidence s'il existe une corrélation significative entre les concentrations ou flux de MES et concentrations ou flux de produits phytosanitaires.



**Figure 32 : Comparaison des concentrations en MES avec les concentrations en matières actives phytosanitaires sur les 2 périodes de suivi**



**Figure 33 : Comparaison des flux de MES avec les flux de matières actives phytosanitaires sur les 2 périodes de suivi**

Ces graphiques montrent dans les 2 cas que le lien entre MES et charge en produits phytosanitaires exportés n'est pas établi. Même si une tendance semble se dégager pour la première période, elle est liée à la concomitance d'un évènement pluvieux intense après traitement des traces (chemins) avec de fortes exportations de glyphosate et d'AMPA.

L'enseignement de ces données est donc bien la possibilité d'observer de fortes exportations de substances actives sans pour autant avoir des eaux chargées et vice-versa. Ceci confirme bien qu'un des critères majeurs de risque d'exportation est la proximité temporelle de l'application combinée à l'évènement pluvieux.

## TRANSFERT DE PESTICIDES

### Détection, quantification

Le tableau ci-dessous synthétise toutes les valeurs d'analyse de tous les échantillons.

Période	Paramètres	Nb. de mesure	Nb. de détection	% de quantification	Moy.	Min.	Max.	Médiane
2012-2013	MES mg/L	63	63	100%	118.92	22.00	578.00	83.0
2014-2015	MES mg/L	62	62	100%	134.82	22.00	760.00	87.0
2012-2013	Chlordécone 5b hydro (µg/L)	63	0	0%				
2014-2015	Chlordécone 5b hydro (µg/L)	62	0	0%				
2012-2013	Chlordécone (µg/L)	63	11	17%	0.01	0.01	0.03	0.01
2014-2015	Chlordécone (µg/L)	62	47	76%	0.03	0.01	0.10	0.03
2012-2013	Diquat (µg/L)	63	0	0%				
2014-2015	Diquat (µg/L)	62	0	0%				
2012-2013	Paraquat (µg/L)	63	0	0%				
2014-2015	Paraquat (µg/L)	62	0	0%				
2012-2013	Glyphosate (µg/L)	63	36	57%	0.55	0.05	3.82	0.23
2014-2015	Glyphosate (µg/L)	62	47	76%	0.12	0.03	0.35	0.10
2012-2013	AMPA (µg/L)	63	57	90%	0.58	0.07	2.68	0.33
2014-2015	AMPA (µg/L)	62	60	97%	0.15	0.03	0.32	0.14
2012-2013	Glufosinate (µg/L)	63	7	11%	0.26	0.06	0.69	0.11
2014-2015	Glufosinate (µg/L)	62	5	8%	0.20	0.05	0.65	0.12
2012-2013	Difénoconazole (µg/L)	63	35	56%	0.13	0.05	0.79	0.10
2014-2015	Difénoconazole (µg/L)	62	23	37%	0.10	0.05	0.57	0.06
2012-2013	Fenpropidine (µg/L)	63	0	0%				
2014-2015	Fenpropidine (µg/L)	62	4	6%	0.10	0.05	0.13	0.10
2012-2013	Fluazifop-p-butyl (µg/L)	63	0	0%				
2014-2015	Fluazifop-p-butyl (µg/L)	62	0	0%				
2012-2013	Fosthiazate (µg/L)	63	1	2%	0.04	0.04	0.04	0.04
2014-2015	Fosthiazate (µg/L)	62	0	0%				
2012-2013	Oxamyl (µg/L)	63	2	3%	0.23	0.19	0.27	0.23
2014-2015	Oxamyl (µg/L)	62	47	76%	0.29	0.01	1.29	0.17
2012-2013	Propiconazole (µg/L)	63	49	78%	0.22	0.05	2.16	0.09
2014-2015	Propiconazole (µg/L)	62	59	95%	0.25	0.05	1.40	0.13
2012-2013	Spinosad (µg/L)	63	0	0%				
2014-2015	Spinosad (µg/L)	62	0	0%				
2012-2013	Thiabendazole (µg/L)	0						
2014-2015	Thiabendazole (µg/L)	62	9	15%	0.06	0.02	0.17	0.04
2012-2013	Imazalil (µg/L)	0						
2014-2015	Imazalil (µg/L)	62	2	3%	0.07	0.04	0.10	0.07
2012-2013	Azoxystrobine (µg/L)	0						
2014-2015	Azoxystrobine (µg/L)	62	2	3%	0.03	0.03	0.04	0.03

**Figure 34 : Tableau de synthèse des quantifications (%) et statistiques des échantillons (1), (Moyenne, Minimum, Maximum et Médiane des valeurs non nulles)**

(1) **Limite de quantification en µg/L** : AMPA (Acide Amino Méthyl Phosphonique), glufosinate d'ammonium : 0,03/ azoxystrobine, chlordécone, chlordécone 5b Hydro, oxamyl : 0,01 /difénoconazole, diquat, fenpropidime, fluzifop-p-Butyl, paraquat, propiconazole : 0,05 /fosthiazate, imazalil, spinosad, thiabendazole : 0,02. (\*) couvert par l'accréditation du laboratoire.

MA	Chlordécone Sb hydro	Chlordécone	Diquat	Paraquat	Glyphosate	AMPA	Glufosinate	Fluazifop-p-butyl	Difénoconazole	Fenpropidine	Propiconazole	Fosthiazate	Oxamyl	Spinosad
Nature	Insect.	Insect.	Herbi.	Herbi.	Herbi.	Herbi.	Herbi.	Herbi.	Fongi.	Fongi.	Fongi.	Insect., Nemat.	Insect., Nemat., Acar.	Insect.
Nb. d'analyses P1	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Nb. d'analyses P2	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Nb. Détection P1	0	4	0	0	25	41	5	0	21	0	32	1	2	0
Nb. Détection P2	0	46	0	0	46	59	5	0	23	3	59	0	46	0
Pourc. de détection P1	0%	9%	0%	0%	57%	93%	11%	0%	48%	0%	73%	2%	5%	0%
Pourc. de détection P2	0%	75%	0%	0%	75%	97%	8%	0%	38%	5%	97%	0%	75%	0%
Nb. Détection > 0.1 µg/L P1	0	0	0	0	18	37	4	0	10	0	17	0	2	0
Nb. Détection > 0.1 µg/L P2	0	0	0	0	23	40	3	0	4	1	37	0	32	0
Pourc. de détection > 0.1 µg/L P1	0%	0%	0%	0%	41%	84%	9%	0%	23%	0%	39%	0%	5%	0%
Pourc. de détection > 0.1 µg/L P2	0%	0%	0%	0%	38%	66%	5%	0%	7%	2%	61%	0%	52%	0%
Nb. Détection > 2 µg/L P1	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	1	0	0	0
Nb. Détection > 2 µg/L P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[ max ] µg/L P1	0.00	0.03	0.00	0.00	3.82	2.68	0.69	0.00	0.79	0.00	2.16	0.04	0.27	0.00
[ max ] µg/L P2	0.00	0.10	0.00	0.00	0.35	0.32	0.65	0.00	0.57	0.13	1.40	0.00	1.29	0.00
Flux en g P1	0.00	0.20	0.00	0.00	30.75	59.05	3.88	0.00	5.30	0.00	13.44	0.09	1.41	0.00
Flux en g P2	0.00	4.09	0.00	0.00	18.59	29.82	3.40	0.00	7.81	1.71	58.70	0.00	59.94	0.00

**Figure 35 : Tableau de comparaison des résultats d'analyses de substances phytosanitaires entre les 2 périodes de suivi par rapport à 2 niveaux réglementaires (0,1 et 2 µg/L)**

Si on élimine les résultats en lien avec les dysfonctionnements du pilotage du préleveur qui nous a amené à invalider une partie des résultats au titre de la comparaison (figure 35), il apparaît tout d'abord qu'il y a moins d'analyses présentées sur la première période.

### **Résultats des analyses sur les herbicides appliqués**

Concernant le glyphosate et son métabolite, on peut d'abord remarquer que quelle que soit la période, la fréquence de détection est très élevée et même sensiblement supérieure pour le glyphosate en seconde période. En revanche les valeurs d'analyse > 2µg/L sont au nombre de 6 pour la substance active et son métabolite lors de la première période et aucune durant la seconde période. Il en résulte des flux calculés 1.6 à 2 fois plus importants pour la période 1 malgré le fait qu'une partie importante de la saison 1 a été occultée (du 21/03 au 01/08/13). L'explication vraisemblable tient principalement aux pratiques de désherbage des traces réalisées durant la première phase de l'expérimentation qui contribue sans doute fortement au résultat. Quant au glufosinate d'ammonium, appliqué sur les deux périodes, il n'est que très rarement détecté. Le fluazifop-P-butyl qui a été appliqué pendant une seule période (3225g) n'est jamais détecté. Ses propriétés physico-chimiques (Koc fort et DT 50 très faible) pourrait expliquer sa non-mobilisation par les transferts hydriques.

### **Résultats des analyses sur les fongicides appliqués**

Concernant les fongicides, le propiconazole est plus fréquemment détecté en période 2, notamment pour les concentrations supérieures à 0.1 µg/L, ce qui s'explique car cette substance active a été peu utilisée dans les applications de la période 1 (770 g contre 4850 g). A l'inverse, le difénoconazole, appliqué de façon conséquente sur les 2 périodes (4060 g contre 5250 g) présente des flux similaires et une fréquence de détection qui baisse entre la période 1 et 2 (23 % en période 1 contre 7 % en période 2) pour les concentrations supérieures à 0.1 µg/L. A noter que les deux substances actives ne sont jamais quantifiées après aménagements au-dessus de 2 µg/L (valeur réglementaire eau brute).

### **Résultats des analyses sur les fongicides post-récolte utilisés sur la station en période 2**

Sur la deuxième période, les fongicides d'application sur fruits à la station de conditionnement ont été analysés (thiabendazole, imazalil, azoxystrobine). Le thiabendazole a été quantifié 9 fois (15% des analyses) et imazalil et azoxystrobine 2 fois (3%). les concentrations maximales sont inférieures à 0.1 µg/L, exceptée pour une analyse de thiabendazole (0.17µg/L) en juillet 2015. On constate assez peu de transfert de ces produits sur le versant, en raison certainement du peu d'eau de ruissellement provenant

de la station de conditionnement et de l'installation d'un dispositif Héliosec destiné à collecter et gérer ces effluents.



**Figure 36 : Bassin versant et positionnement de l'Héliosec  
(RIFA, Martinique, France, Source adaptée de Geoportail.fr, Photo Syngenta)**

### **Résultats des analyses sur les autres substances actives non appliquées et recherchées**

Hors cadre de l'expérimentation présente, il apparaît également des situations tranchées entre les 2 périodes de suivi pour l'oxamyl et la chlordécone. Pour la première substance active, la forte détection n'est pas liée à une application mais semble provenir d'une contamination externe au périmètre. Concernant la chlordécone, des travaux de terrassement sur l'exploitation occasionnant une perturbation du sol pourraient expliquer un taux de détection plus élevé pour la seconde période, même si la moyenne des concentrations détectées reste faible (0.029 µg/L).

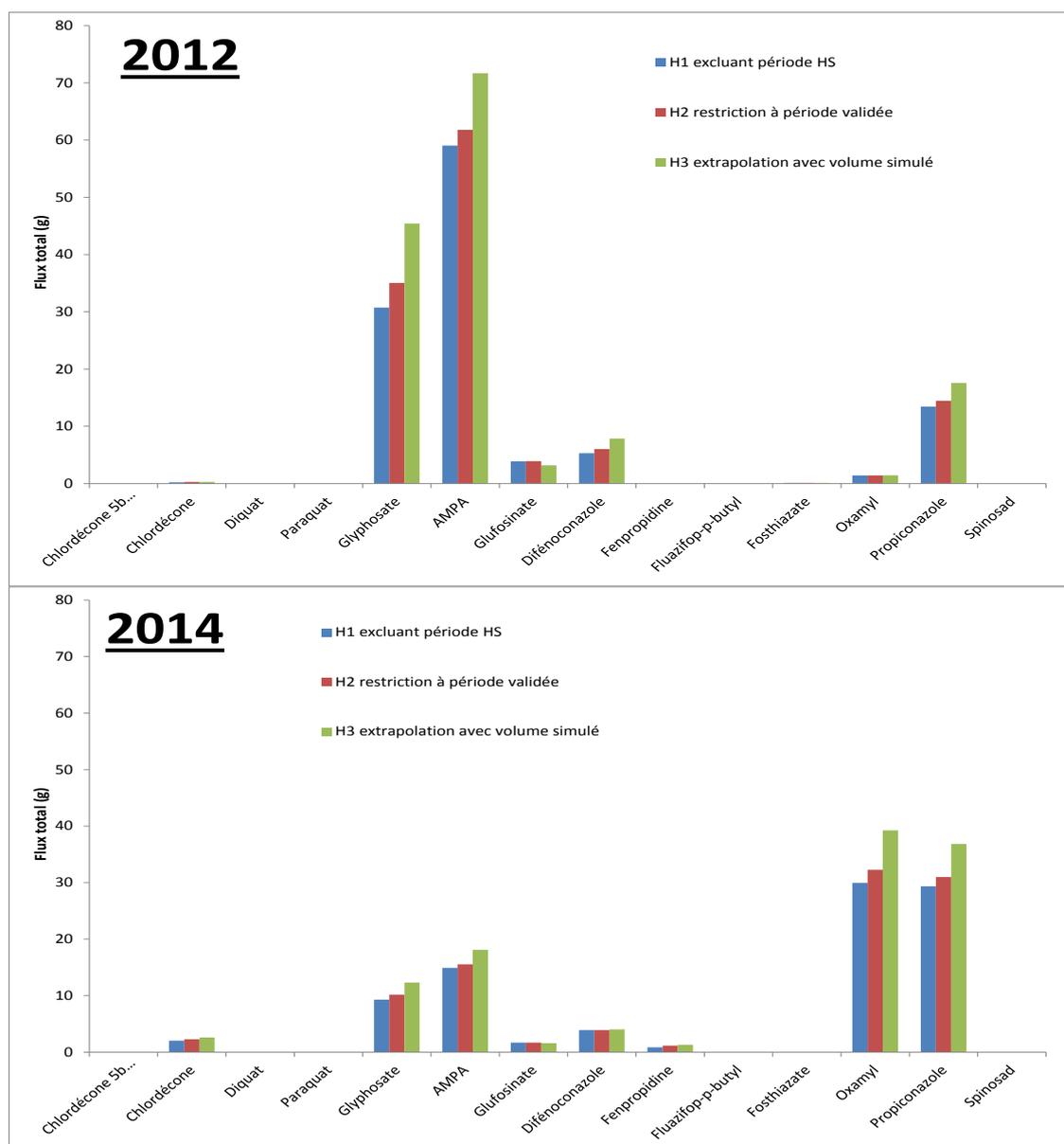
Parmi la liste des substances actives non appliquées et non détectées, on trouve :

- Chlordécone 5b hydro
- Diquat, paraquat
- Spinosad.

### **Analyse des flux des substances actives**

En raison des lacunes d'acquisition des données, nous avons ensuite testé différentes hypothèses de calcul de flux selon que :

- H1 : on exclut les valeurs liées aux dysfonctionnements métrologiques.
- H2 : on conserve les valeurs d'analyse, pendant les dysfonctionnements métrologiques, comme valeurs d'échantillon ponctuel, et on restreint le calcul de flux à la période réelle de prélèvement.
- H3 : on extrapole les valeurs d'analyse, pendant les dysfonctionnements métrologiques, à la durée hebdomadaire, en utilisant les volumes simulés par GR4H.



**Figure 37 : Comparaison des différents modes de calculs de flux (H1, H2, H3) sur les années 2012-2013 et 2014-2015**

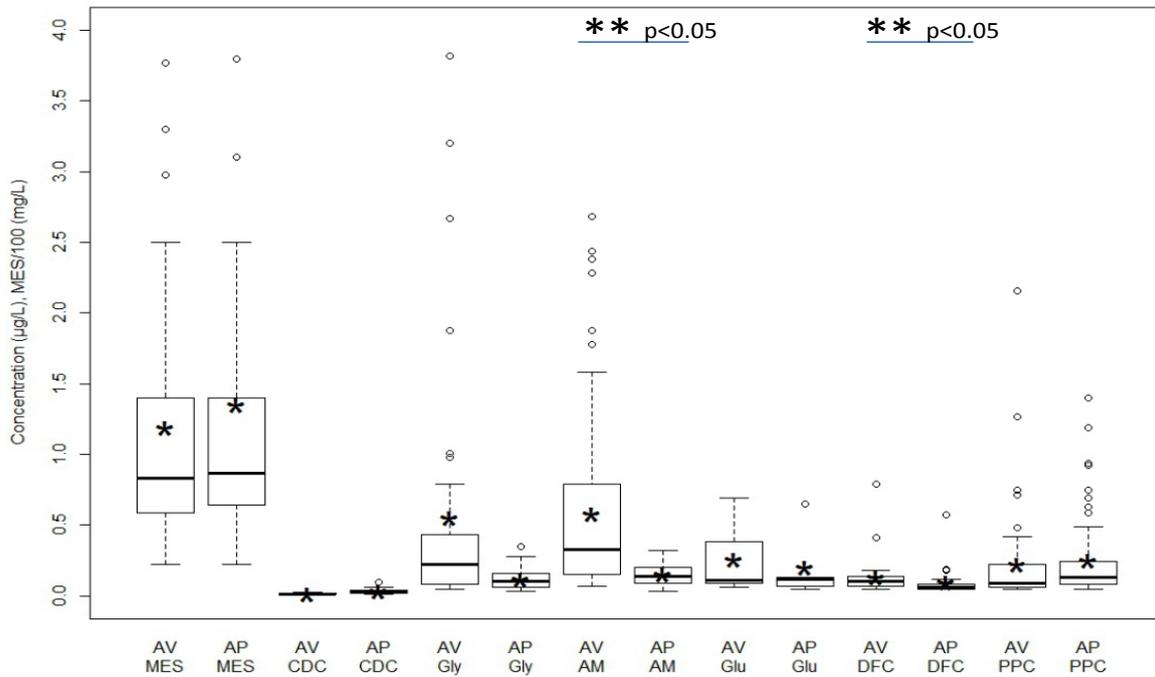
La figure 37 montre la comparaison des calculs de flux selon les 3 hypothèses. Les résultats sont relativement proches pour les 3 formulations. L'erreur moyenne sur l'ensemble des comparaisons des molécules s'élève à 11% pour 2012-2013 et 10 % pour 2014-2015. On peut donc valider les calculs de flux et les comparer entre les deux périodes.

Les comparaisons des concentrations en matières en suspension et en substances actives appliquées sont exprimées dans les graphes ci-dessous (figures 38 à 40) pour les MES, par matière active appliquée ainsi que pour le regroupement de toutes les substances actives appliquées ou analysées avant et après aménagements.

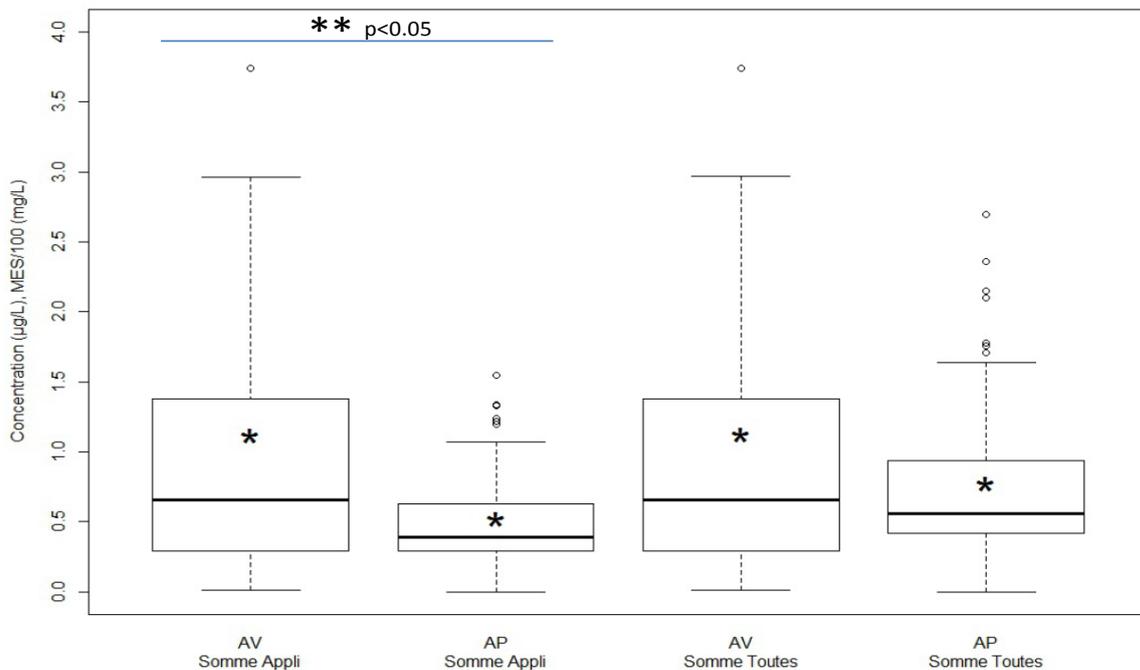
On note une forte diminution des concentrations pour les herbicides, une légère diminution pour le difénoconazole et une légère augmentation pour le propinoconazole, alors que les MES restent sensiblement identiques. Au final, on peut conclure que les aménagements ont eu un effet significativement positif (diminution après aménagements) pour AMPA et difénoconazole, et visuellement positif pour l'ensemble des concentrations toutes substances actives confondues. Ils ont permis d'écarter les pics de concentration en substances actives. L'effet est ainsi significativement positif

à la diminution pour les herbicides. Pour une interprétation plus fine des résultats par rapport aux substances apportées sur le bassin versant, il est important de rapporter les données aux quantités réellement appliquées (voir figures 41 et 42).

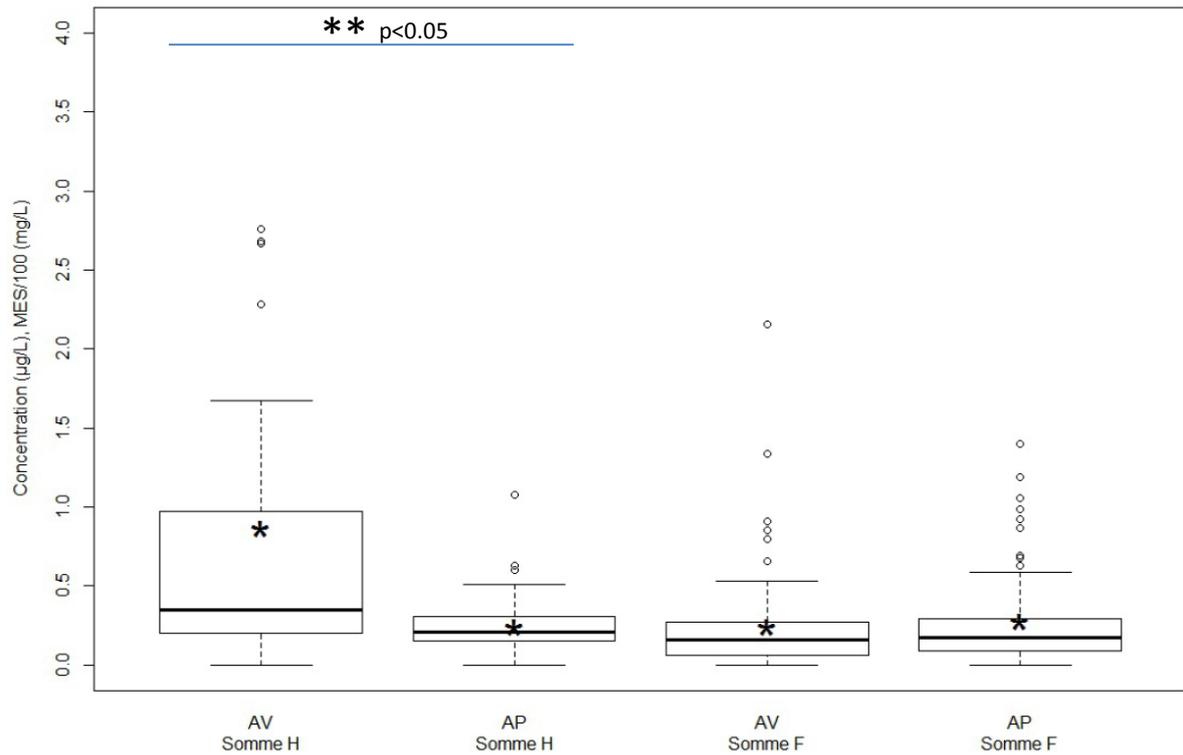
**Comparaison des concentrations entre les deux périodes**



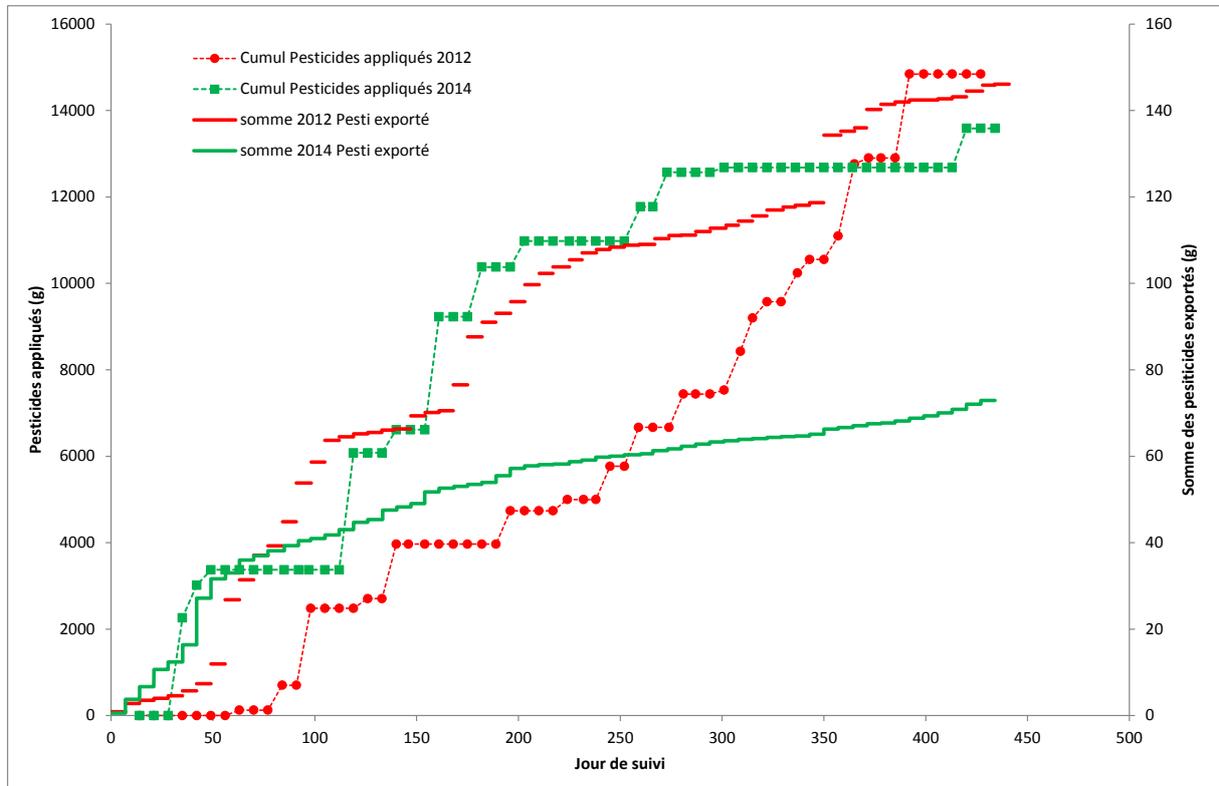
**Figure 38 : Comparaison des concentrations de MES et substances actives appliquées + chlordécone (CDC=Chlordecone, Gly=Glyphosate, AM=AMPA, Glu=Glufosinate, DFC=Difénoconazole, PPC= Propiconazole) avant (AV) et après (AP) aménagements. L'étoile indique la probabilité critique du test p-value<0.05**



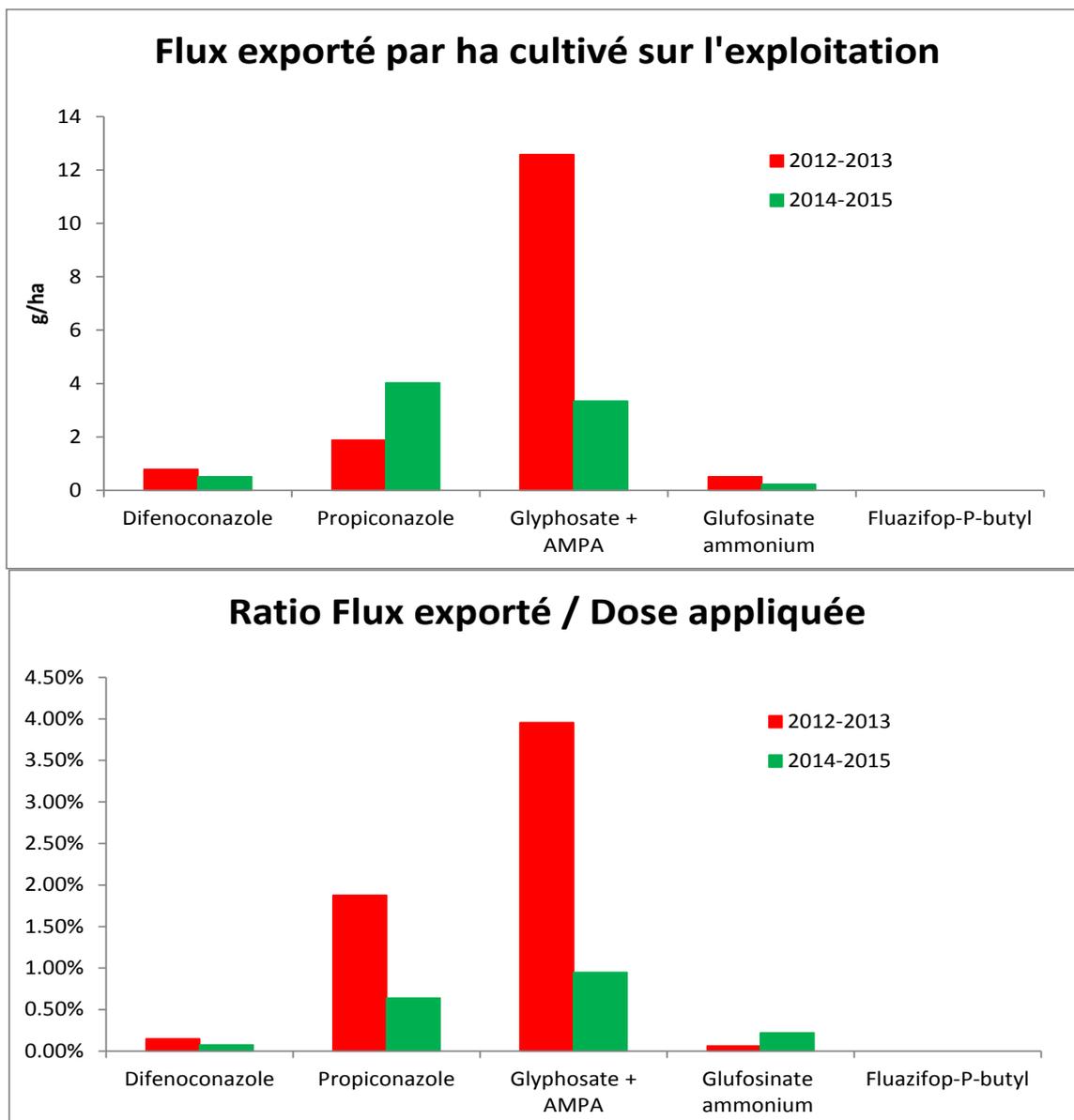
**Figure 39 : Somme de toutes les concentrations des substances actives (appli = substances actives appliquées sur le versant et analysées ; toutes = liste complète des substances actives suivies). L'étoile indique la probabilité critique du test p-value<0.05**



**Figure 40 : Différence entre avant et après aménagement pour Somme des herbicides H (glyphosate + AMPA + glufosinate) et des fongicides F (difenoconazole, propiconazole, fenpropidine). L'étoile indique la probabilité critique du test p-value<0.05**



**Figure 41 : Evolution des pesticides appliqués et exportés du bassin versant pour les deux périodes**



**Figure 42 : Evolution des flux et des ratios d'exportation pour les différents pesticides appliqués sur le bassin versant selon les deux périodes**

Sur la première période, les flux exportés par hectare sont inférieurs au g/ha pour difénoconazole et glufosinate. Le flux exporté est de 1,8 g/ha pour le propiconazole et très supérieur pour la somme glyphosate +AMPA évalué à 12 g/ha en 2012-2013.

Après le changement de pratiques, l'exportation de la somme glyphosate/AMPA est ramenée à 3.3 g/ha. L'augmentation du flux exporté par hectare cultivé en propiconazole (de 1,8 à 3 g/ha) est liée à la quantité épandue multipliée par 6,3 fois (770 g en 2012-2013 contre 4850 g en 2014-2015) du fait du changement des pratiques.

Après aménagements, il est à noter que pour toutes les substances actives étudiées le ratio flux exporté sur dose appliquée est inférieur à 1%.

## EVALUATION ECONOMIQUE

La dimension économique, partie intégrante de la notion de durabilité, est prise en compte dans cette étude au travers d'éléments chiffrés recueillis sur l'exploitation agricole RIFA et/ou fournis par l'IT<sup>2</sup>.

En termes de production, les informations transmises par le planteur font état d'un rendement stable (35 tonnes de bananes/ha), non impacté par les aménagements mis en place. En conséquence, seuls les postes de charges de production sont analysés ci-dessous et résumés dans le tableau de la figure 43.

- Les coûts d'implantation des plantes de couverture comprennent l'achat des plaques de boutures ainsi que la main-d'œuvre nécessaire à l'implantation. Dans le cas du bassin versant RIFA, les coûts de main d'œuvre, supérieurs à la moyenne en raison de la topographie des parcelles, se sont élevés à 540 €/ha auxquels il convient d'ajouter la somme de 760 €/ha correspondant à l'achat des plaques de boutures de petit mouron. Depuis peu, une nouvelle technique de production de bouture en rouleaux permet de réaliser une économie à l'implantation, c'est pourquoi l'IT<sup>2</sup> estime désormais que le coût d'installation, en conditions topographiques moyennes, est de l'ordre de 1000 €/ha (boutures + main d'œuvre). Ce coût impactant l'année d'installation uniquement, il est intéressant de le répartir sur une durée de 5 années afin d'avoir une meilleure visibilité comptable de la situation.
- Les coûts d'entretien du bassin versant (contrôle de l'enherbement), en termes de main-d'œuvre, correspondent aux coûts réels relevés à partir des données de l'exploitation RIFA par l'IT<sup>2</sup> sur la parcelle n°2 représentative d'une situation à fortes contraintes. Evalués à 1825 €/ha, ils sont très élevés en raison d'un fort niveau d'infestation des parcelles en lianes et parfois graminées. L'IT<sup>2</sup> préconise d'utiliser, pour le calcul de la ferme type, un chiffre de 3000 €/ha pour l'ensemble des 4 années suivantes. Ainsi, si l'on cumule les postes implantation et entretiens annuels, on obtient un total de 4000 € pour la ferme type pour 5 années, c'est-à-dire en moyenne 820€/ha/an.
- L'économie en intrants phytosanitaires et en matériel et main-d'œuvre pour les appliqués, correspond à 4 passages d'herbicides supprimés après aménagements, informations relevées dans les données de la SARL RIFA. Ont été comptabilisés, 2 journées de main-d'œuvre/ha ainsi que les coûts d'achat des produits phytosanitaires, pour un montant total de 403,40 €/ha/an, somme également retenue pour le calcul de la ferme type. Cette somme correspond à l'économie en produits phytosanitaires, consécutive à la mise en place des plantes de couverture. On doit noter par ailleurs que ces données concernent l'ensemble du bassin versant de 7,7 ha et non pas uniquement la zone de 3,4 ha implantée en plantes de couverture. En effet, les salariés n'ayant pas été formés suffisamment tôt à la gestion différenciée du désherbage, c'est l'ensemble du bassin qui a fait l'objet des économies en intrants phytosanitaires... et donc du surcoût d'entretien manuel ou mécanique de l'enherbement.
- L'entretien mécanique de la ravine est réalisé par un prestataire privé intervenant tous les mois en saison sèche et toutes les 2 semaines en saison humide sur le bassin RIFA. Ces coûts élevés (991 €/ha/an), inhérents au fort ratio « linéaire ravine à entretenir/surface du bassin versant » pourraient être réduits en situation moyenne et si, par ailleurs, l'exploitant acquérait une débroussailleuse en copropriété avec ses voisins. Dans ce cas de figure, on peut estimer qu'un coût de 300 €/ha/an peut être retenu. Il est à noter qu'il peut éventuellement obtenir des subventions via un dispositif d'aide à l'investissement pour des matériels visant à réduire l'utilisation d'intrants phytosanitaires.
- La MAEC « enherbement sous bananeraie », d'un montant de 820 €/ha, récemment mise en place est introduite dans le calcul pour la SARL RIFA et pour la ferme type moyenne alors qu'elle n'existait pas en début de projet. En effet, dans le cadre de l'étude, les partenaires du projet ont financé certains coûts d'aménagements qu'il est donc souhaitable d'estimer à 820 €/ha désormais.

COÛTS/ECONOMIES	SARL RIFA PERIODE 1 (plantes de couverture)	SARL RIFA, PERIODE INTERMEDIAIRE Implantation des plantes de couverture (€/ha)		SARL RIFA PERIODE 2 après plantes de couverture (€/ha/an)		SARL RIFA MOYENNE SUR 5 ANS (€/HA/AN)		FERME TYPE MOYENNE SUR 5 ANS (€/HA/AN) avec implantation des plantes de couverture	
		Coûts	ECONOMIES/SUBVENTIONS	Coûts	ECONOMIES/SUBVENTIONS	Coûts	ECONOMIES/SUBVENTIONS	Coûts	ECONOMIES/SUBVENTIONS
Implantation des plantes de couverture (Plaques de boutures + main d'œuvre)	0	1300		0		260		820	
Surcoût de main d'œuvre entretien des plantes de couverture et Débroussaillage	0	1825		1825		1825			
Economie enveloppe herbicide + main d'œuvre (Applicateur)			403,40		403,40		403,40		403,40
Entretien mécanique des ravines, abords et traces (coût global bassin-versant ramené à l'ha)		991		991		991		300	
MAEC « enherbement sous bananeraie »			820		820		820		820
<b>TOTAL</b>		<b>4116</b>	<b>1223,40</b>	<b>2816</b>	<b>1223,40</b>	<b>3076</b>	<b>1223,40</b>	<b>1120</b>	<b>1223,40</b>
<b>Bilan des aménagements et pratiques réalisées (€/HA/AN)</b>			<b>-2892,60</b>		<b>-1592,60</b>		<b>-1852,60</b>		<b>+103,40</b>

**Figure 43 : Tableau d'analyse économique, Bilan et comparaison des différentes modalités**

Au regard de ces résultats, il convient de noter que cette démarche représente un coût très significatif pour le planteur qu'il conviendrait de réduire pour encourager le déploiement de telles pratiques. Il est probable que les coûts d'entretien des parcelles en années N+1 à N+4 puissent être limités de façon croissante, à mesure que les plantes de couverture se développent laissant moins de place aux adventices. De plus, d'éventuels bénéfices sur la pression parasitaire, induisant une baisse de consommation d'intrants, n'ont pas été comptabilisés ici par manque de données précises.

Le volet économique constitue un élément déterminant de la capacité à l'essai de ces pratiques.

Enfin, l'expérience a montré que l'optimisation des coûts nécessiterait d'anticiper ces nouvelles pratiques, qui gagneraient à être mises en place dès l'année d'implantation des vitroplants de banane, voire même dès l'année précédente, dans le cadre des jachères assainissantes. Cette anticipation comprend également un large volet social et pédagogique auprès des salariés des exploitations, qui doivent intégrer de nouvelles approches de gestion raisonnée des parcelles. Dans ces conditions, le bilan économique est satisfaisant, comme indiqué dans le cadre de la Ferme type moyenne (cf. figure 43).

## SYNTHESE ET DISCUSSION

### IMPACT DES AMENAGEMENTS SUR LES FLUX DE SUBSTANCES ACTIVES

Les aménagements apportés, plantes de couverture sur une partie du bassin versant et changements de pratiques dans l'inter-rang et traces, ont permis de diminuer significativement les flux de substances actives exportés. Le flux exporté est inférieur à 1 % après aménagements quelles que soient les substances actives considérées. Pour les herbicides, la réduction est très nette et peut être estimée à plus de 70 % de réduction en ce qui concerne le glyphosate et son métabolite. Pour les fongicides en végétation, le changement de pratiques d'application intervenues entre les deux périodes d'étude (traitement aérien versus traitement au canon et le changement de programme) rend plus difficile l'interprétation des résultats. Cependant, le ratio flux exporté sur dose appliquée a très nettement diminué entre les deux périodes. Il a été divisé par plus de 3 alors que les doses appliquées ont été multipliées par 2 (somme des triazoles : difénoconazole et propiconazole). Il en résulte que l'on peut vraisemblablement conclure à un effet très positif des aménagements sur la réduction des transferts des fongicides. L'impact des plantes de couverture sur l'érosion n'a en revanche pas pu être démontré dans le cadre de cette étude. En effet, aucune réduction significative des matières en suspension (MES) n'a été constatée et aucune modification hydrologique notable n'a été observée. Dans le contexte de cette exploitation, il n'existerait pas de corrélation entre les matières en suspension et les substances phytosanitaires retrouvées. Deux interprétations sont possibles :

- l'effet positif des aménagements porterait majoritairement sur la limitation rapide du ruissellement diminuant ainsi l'arrivée de substances actives solubilisées vers la ravine suite aux épisodes pluvieux répétés ;
- le flux de matière en suspension de la ravine ne passerait pas par la bande enherbée et ne serait donc pas impacté par les plantes de couverture. Il se pourrait qu'il emprunte préférentiellement les zones d'inter rangs qui reçoivent les feuilles de bananiers déposés au sol. Le seul moyen qui permettrait d'accéder à une quantification propre du phénomène érosif serait de suivre indépendamment 2 parcelles présentant les mêmes caractéristiques (topographique et pédologique) à l'exception de la couverture inter-rang.

### IMPLANTATION DES PLANTES DE COUVERTURE

Au regard des résultats obtenus, doit faire l'objet de 2 réflexions concernant les surfaces implantées et la période de mise en place.

L'absence d'effet significatif sur les MES peut suggérer qu'une couverture intégrale par le petit mouron aurait été plus appropriée en raison de la topographie des parcelles. Le versant nord du bassin versant, dont la pente se situe entre 20 % et 25 %, est couvert sur une hauteur de 60 m à partir du bas de la ravine, soit environ les 2/3 de sa hauteur. Pour éviter une implantation sur toute la hauteur, une réflexion devrait être menée sur l'intérêt d'enherber également les petits dos (réservés le plus souvent au placement des feuilles issus de l'effeuillage prophylactique). En effet, cette zone située entre deux rangs proches de bananiers est plus particulièrement sollicitée en termes de risque de transfert en raison de l'effet « entonnoir » engendré par la disposition des feuilles du bananier lors des précipitations.

La planification de l'étude telle qu'elle a été menée, a déclenché la mise en place des plantes de couverture dans une bananeraie âgée de 5 ans. L'expérience montre que l'installation de ce type d'aménagements et son efficacité sont d'autant plus élevées que l'installation des plantes de couverture suit de peu la plantation des vitroplants de bananier.

L'expérience croissante d'installation de différentes espèces à l'échelle de la Martinique permettra d'amplifier le succès de cette méthode en optimisant le choix de la plante face au contexte pédo-climatique de la bananeraie. Le cas du Caya blanc observé et entretenu sur l'exploitation RIFA illustre, par ailleurs, l'intérêt de favoriser prioritairement les plantes intéressantes et naturellement présentes sur les exploitations agricoles.

## **DELIMITATION HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT**

L'identification des sources ponctuelles sont un facteur essentiel de fiabilité des interprétations de résultats pour ce type d'étude. Le bassin retenu a été jugé conforme à cette attente aux yeux des experts locaux mais il est difficile de juger de l'absence totale de flux souterrains. Le cas de l'oxamyl pourrait alimenter cette question.

## **RESULTATS DE L'EVALUATION ECONOMIQUE**

Ils sont extrêmement liés à l'organisation de l'exploitation agricole. Le parcellaire, la topographie, l'état d'infestation des parcelles, la mécanisation et la technicité de l'agriculteur et de ses salariés sont autant de critères impactant le coût de revient d'une opération d'aménagement de parcelles en plantes de couverture. C'est pourquoi l'approche économique est propre à chaque exploitation et peut être très variable de l'une à l'autre. Le cas du bassin versant RIFA est intéressant dans la mesure où le niveau de contraintes peut être estimé comme très élevé et les coûts certainement proches d'une situation maximale.

## **CONCLUSION**

L'objectif d'évaluer l'incidence environnementale d'un changement de pratiques agricoles et d'aménagements parcellaires a été atteint.

L'entraînement des produits phytosanitaires vers la ravine n'est pas directement corrélé au phénomène érosif (MES) consécutif aux précipitations mais plutôt à un transfert rapide par ruissellement des substances actives après application, lié à la topographie des parcelles.

Les modifications, dont très probablement l'installation de plantes de couverture, permettent de constater une diminution des flux de substances actives phytosanitaires en comparaison des quantités apportées. Concernant les substances actives appliquées, les pics de pollution (détection > 2µg/L) disparaissent après modification des pratiques. Le pourcentage de détections > 0,1 µg/L est également en diminution pour les substances actives appliquées.

L'extension des plantes de couverture sur l'ensemble des inter-rangs ainsi qu'une amélioration des conditions d'application des produits phytosanitaires devraient permettre d'améliorer encore ces résultats.

L'étude présente l'intérêt majeur d'avoir été réalisée sur un bassin versant bananier parfaitement représentatif du contexte martiniquais, au sein d'une exploitation agricole en activité. Au-delà des résultats scientifiques, elle intègre aussi les volets économiques et sociaux avec les freins et atouts qu'ils peuvent représenter dans une telle démarche.

Réduire le risque d'impact des produits phytosanitaires sur l'environnement et maintenir la compétitivité économique des exploitations agricoles semblent possibles au regard de cette expérience dont l'essaimage est l'ultime finalité.

## **ANNEXES**

ANNEXE 1 : Plan de la section de mesure

ANNEXE 2 : Principe du capteur type bulle à bulle

ANNEXE 3 : Fiches de procédure et feuille de passage

ANNEXE 4 : Photos de la station de mesure

ANNEXE 5 : Liste des figures

## **MENTIONS LEGALES PRODUITS PHYTOSANITAIRES**

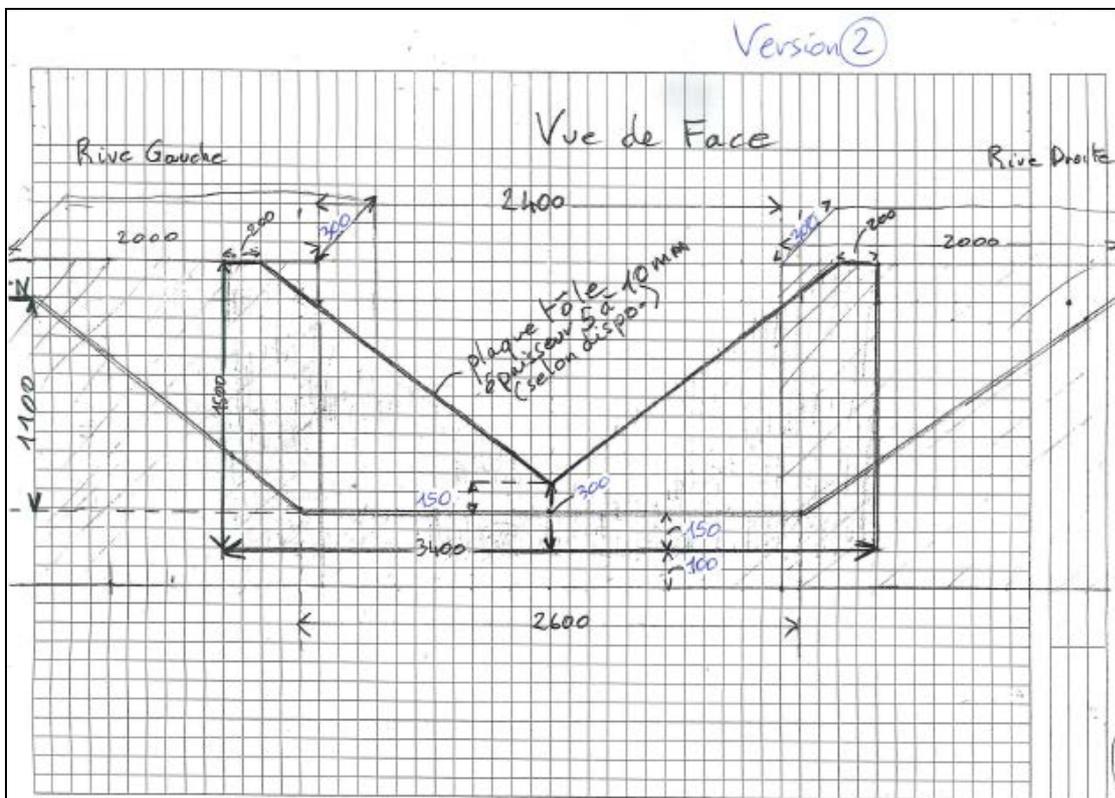
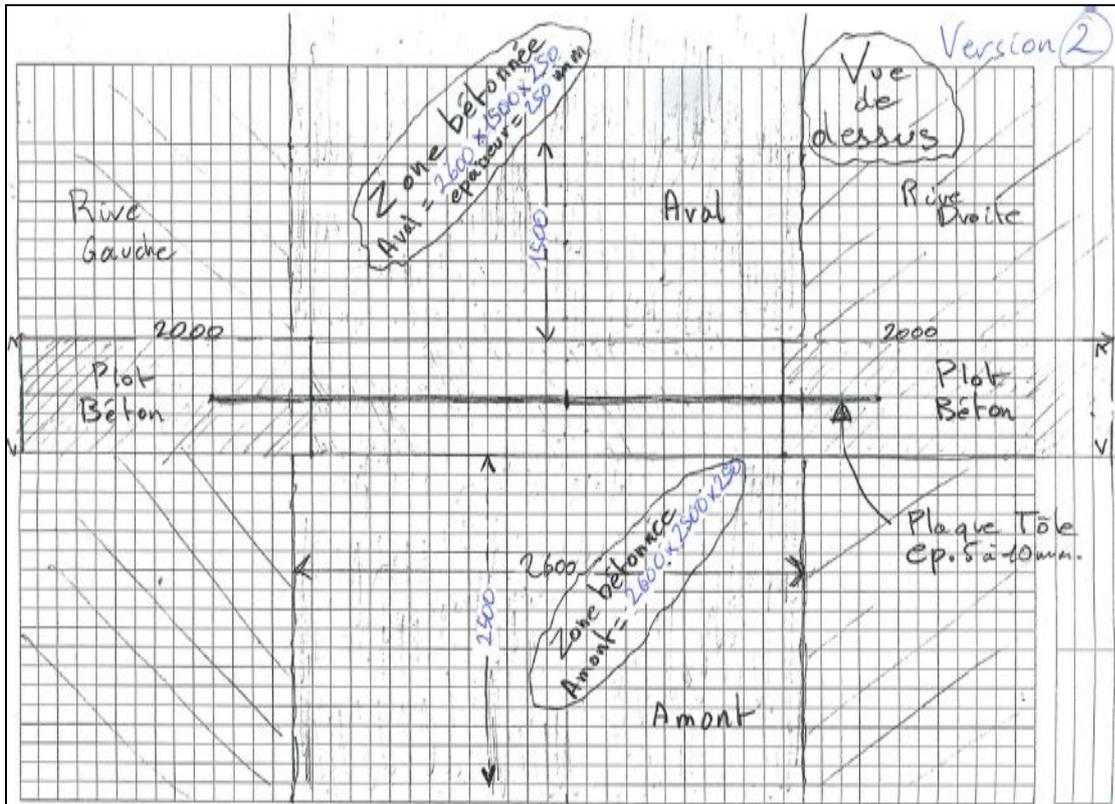
Avant toute utilisation, assurez-vous que celle-ci est indispensable. Privilégiez chaque fois que possible les méthodes alternatives et les produits présentant le risque le plus faible pour la santé humaine et animale et pour l'environnement, conformément aux principes de la protection intégrée, consultez <http://agriculture.gouv.fr/ecophyto>.

---

**PRODUITS POUR LES PROFESSIONNELS : UTILISEZ LES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES AVEC PRÉCAUTION.  
AVANT TOUTE UTILISATION, LISEZ L'ÉTIQUETTE ET LES INFORMATIONS CONCERNANT LE PRODUIT.**

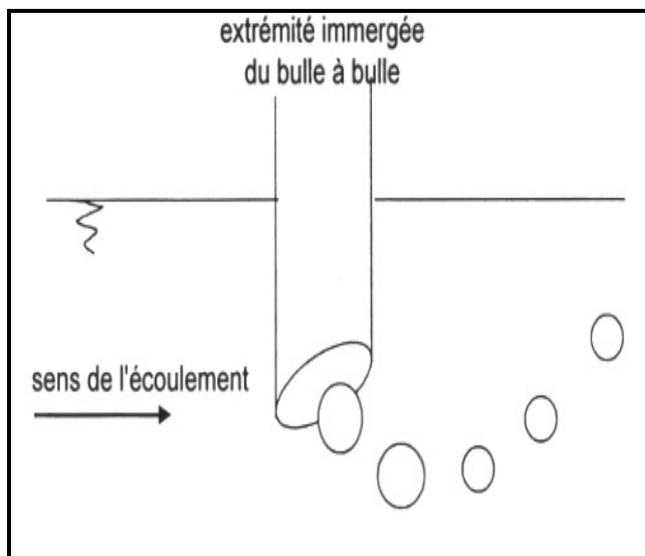
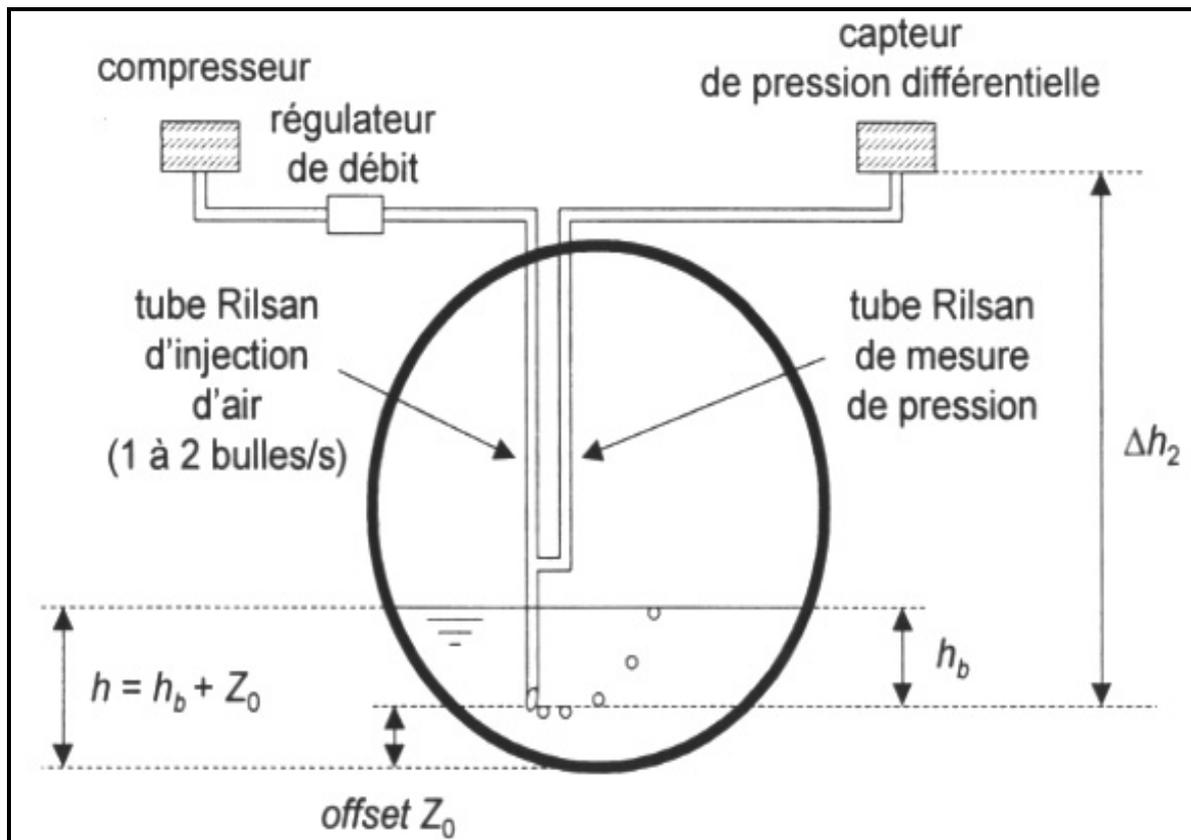
ANNEXE 1

Plan de la section de mesure :



ANNEXE 2

Principe du capteur type bulle à bulle :



Le capteur dit bulle à bulle repose sur le principe de mesure de pression hydrostatique mais, contrairement au capteur de pression classique où le capteur et la partie sensible sont immergés dans l'eau, le capteur est ici émergé.

Il mesure alors la pression d'air nécessaire à exercer pour vaincre le poids de la colonne d'eau au-dessus de la partie sensible qui est un capillaire plongé dans l'eau.

## Procédure de récupération d'échantillons :

### 1 - Au niveau du préleveur l'écran affiche :

- dans le cas où le cycle de prélèvements est arrivé au maximum (140 x 100mL)  
« effect. 140 prélève » avec éventuellement en alternance « incident survenu »  
**dans ce cas le nombre de prélèvements est 140.**
- dans le cas où le cycle de prélèvements n'a pas atteint le maximum  
« echant. n de 140 après x impuls. » avec éventuellement en alternance  
« incident survenu »  
**dans ce cas le nombre de prélèvements est N-1.**

**2 - Au niveau du débitmètre**, réveiller l'appareil en appuyant sur le bouton rond situé en haut du coté droit. L'écran doit s'allumer et afficher les mesures du moment (hauteur, vitesse, débit...). Vérifier qu'en bas de cet écran il y ait bien l'inscription « **cycle en cours** » dans le cas contraire avertir le responsable de Phytocenter au 05 96 57 43 50 ou 06 96 45 35 98.

**3 - Sur la feuille de passage, renseigner** les cases prévues à cet effet avec : la date, l'heure, le nombre de prélèvements, si il y a eu « incident survenu », le nom de l'opérateur.

**4 - Sur le préleveur appuyer** sur la touche **STOP**

**5 - Selon le nombre de prélèvements disponibles, Idéalement, il faut réaliser 3 échantillons avec le contenu du grand flacon qui est dans la glacière avec **par ordre de priorité** :**

- 2 flacons de 1 L en PET pour analyses de produits phyto.
- 1 flacon de 1L en PET pour dosage des **Matières En Suspension**.

Si le nombre de prélèvements du préleveur est supérieur ou égal à 30 on a donc 3 L disponibles et les 3 échantillons peuvent être réalisés. Dans le cas contraire, procéder selon l'ordre de priorité défini ci-dessus et renseigner sur la feuille de passage :

« Nb. de flacons réalisés. »

Préparer les flacons d'échantillonnage en les identifiant comme suit :

AG\_JJMMAA\_ « nb de plvt »

**AG** signifie Ageris / JJMMAA correspond à la date en 6 caractères, par exemple le 1 Février 2012 = 010212 / « nb de plvt » correspond au nombre de prélèvements effectués par le préleveur.

**6 - Ouvrir** la glacière électrique **récupérer** le grand flacon et **refermer la glacière**.

**7 - Homogénéiser** le contenu.

**8- Transvaser** le contenu du grand flacon dans les différents flacons de prélèvement. Ne pas remplir les flacons PET à ras bord car ils vont être congelés ensuite. **Vider** ensuite le reste du flacon.

**9- Replacer** le grand flacon en bonne position dans la glacière réfrigérée.

**10- Relancer** le préleveur automatique en appuyant sur la touche **départ preleve**, puis valider par la touche orange **Start**

Le préleveur doit alors indiquer « echant. 1 de 140 après x impuls. »

En cas de dysfonctionnement grave vous pouvez contacter Cédric Chaumont au 01 40 96 62 68 ou 06 26 41 58 52 ou par mail : cedric.chaumont@irstea.fr

## Procédure de reprogrammation du préleveur d'échantillons :

Dans le contexte de prélèvement composite asservi au volume passé, c'est le débitmètre qui est programmé pour envoyé une impulsion au préleveur chaque « x » m<sup>3</sup> passé. De son coté, le préleveur est programmé pour réaliser un prélèvement de 100 mL chaque « n » impulsion reçue. Pour tenir compte de la saisonnalité des pluies et donc du débit, on distinguera 2 saisons dans l'année et donc 2 niveaux d'asservissement.

- un niveau bas du 1 Décembre au 31 Mai
- un niveau haut du 1 Juin au 30 Novembre

Niveau	Période	Pluie mensuelle (mm)	Restitution (%)	Surf. BV (m <sup>2</sup> )	Fréq. Passage (j)	Vol. coulé entre passages (m <sup>3</sup> )	Nb impuls <sup>s</sup> asserv	Vol. prélevé entre passages (L)	Nb plvt théorique/ jour	Tolérance/ Flaçon
Bas	du 1 Décembre au 31 Mai	93	12	77000	7	200.5	3	6.68	9.5	52%
Haut	du 1 Juin au 30 Novembre	225	30	77000	7	1212.8	18	6.74	9.6	52%

Volume du Monoflaçon en mL	14000	Volume Prélév' élémentaire en mL :	100	Impulsion du débitmètre en m <sup>3</sup> =	1
----------------------------	-------	------------------------------------	-----	---	---

## Procédure de reprogrammation du préleveur d'échantillons : (NB : cette procédure doit s'effectuer en même temps que la collecte d'échantillons)

- 1 - Au niveau du préleveur allumé, cycle de prélèvement stoppé l'écran affiche : « progr. Arrêté hh.mm.ss jj-mois-aa », appuyer sur **valid/prog**
- 2 - L'écran affiche: « prog , config » avec prog qui clignote, appuyer sur **valid/prog**  
*Rq.: les éléments qui clignent sont ceux qui seront activés par la touche **valid/prog** , on fait clignoter les autres éléments en se déplaçant avec les flèches.*
- 3 - L'écran affiche: « temps, débit » avec débit qui clignote, appuyer sur **valid/prog**
- 4 - L'écran affiche: « temps, débit » avec débit qui clignote, appuyer sur **valid/prog**
- 5 - L'écran affiche: « preleve tous les n impuls (1-9999) » à l'aide des touches numériques entrer le nombre d'impulsions requis puis appuyer sur **valid/prog**
- 6 - L'écran affiche: « n composite preleve (0-700) » normalement n=140 et clignote, donc appuyer sur **valid/prog**
- 7 - L'écran affiche: « volume preleve de n ml (10-4660) » normalement n=100 et clignote, donc appuyer sur **valid/prog**
- 8 - L'écran affiche: « calibrage volume preleve ? [oui , non] » normalement non clignote, donc appuyer sur **valid/prog**
- 9 - L'écran affiche: « taper heure de démarrage [oui , non] » normalement non clignote, donc appuyer sur **valid/prog**
- 10 - L'écran affiche: « séquence programme terminé » puis revient à l'écran de base « progr. arrêté hh.mm.ss jj-mois-aa »
- 11- **Relancer** le préleveur automatique en appuyant sur la touche **départ preleve** l'écran affiche « [start, reprise] », avec start qui clignote, appuyer sur **valid/prog**  
Le préleveur doit alors indiqué « echant. 1 de 140 après x impuls. »

## Procédure de contrôle de la hauteur :

**1 - Au niveau du débitmètre**, réveiller l'appareil en appuyant sur le bouton rond situé en haut du coté droit. L'écran des états doit s'allumer et afficher les mesures du moment (hauteur, vitesse, débit...). Observer la **valeur moyenne de la hauteur** sur une vingtaine de secondes (elle oscille en général de +/- 0.5 cm) . Ceci correspond à « **H mes** » à renseigner dans la **feuille de passage**.

**2** – Au niveau de la section de contrôle dans la ravine lire la valeur indiquée sur l'échelle : dans l'exemple ci-dessous la valeur est de 57.5 cm. Retrancher 52 cm à cette valeur pour obtenir la valeur nette échelle ( comme indiqué dans la chambre de mesures, 52 cm à la règle correspond à 0 cm au niveau du déversoir). **Renseigner la valeur « H nette échelle » dans la feuille de passage.**



Comparer les 2 valeurs qui doivent correspondre aux erreurs de mesure près ( une différence de 1 à 2 cm est possible).

**3** – En cas de dérive (différence supérieure à 2 cm) , il est tout d'abord nécessaire de vérifier que le bulleur dans la ravine n'est pas colmaté (envasement ou obturation).



Les photos ci-dessus précisent les localisations du capteur dans la ravine ainsi que la position de l'orifice de bullage sur la sonde ( environ 2 mm de diamètre).

Deux opérations complémentaires doivent être réalisées :

1- Au niveau de la ravine, nettoyer la boue accumulée qui fausserait la mesure. Utiliser une brosse et/ou un balai. Prévoir également un fil de fer pour **nettoyer l'orifice de bullage** qui peut être partiellement obturé.

2- Au niveau du débitmètre, envoyer plusieurs purge d'air. Pour y accéder taper sur la touche « Main menu » puis « options » puis plusieurs fois sur « purger la ligne » espacées de 5 secondes. Revenir ensuite à l'écran des états par « Main menu » puis « Etats ».

**4** – Recommencer le contrôle et la comparaison des hauteurs : celle mesurée par le débitmètre puis celle mesurée visuellement sur l'échelle. **Si une différence significative persiste malgré les opérations de maintenance dans la ravine et au niveau du débitmètre, procéder à l'opération de recalage du niveau décrite à l'étape suivante.**

**5** – Après avoir repéré la vraie hauteur à mesurer grâce à la lecture échelle – 52 cm, utiliser la touche « Level adjust » en face avant du débitmètre. Saisir la valeur calculée précédemment puis valider par « accepter ». Revenir à l'écran des états où la valeur de hauteur affichée doit être proche de la valeur calculée puis saisie.

Feuille de passage sur site :

Date	Heure d'arrêt	Opérateur	Nb. Pivt	Pb. préleveur	Pb. débitmètre	Heure relance	Nb. Flacons	Remarque
23/02/12	14h33	Chaumont	52	RAS / incident	En cours / arrêté	14h55	4	
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		
/ /	h			RAS / incident	En cours / arrêté	h		

Photos de la station de mesure :



**Vue du bassin versant amont de la station**



**Pluvio + Abri & panneaux solaires**



**Station mesures et prélèvements**



**Vue d'ensemble**



**Ouvrage en fonctionnement**

## Liste des figures

Figure 1 : Bassin versant Agéris RIFA (Martinique, France, source adaptée de Géoportail.fr).....	6
Figure 2 : Profil type de la parcelle (schéma Syngenta). .....	7
Figure 3 : Zone d'implantation des plantes de couverture sur la ferme RIFA (Martinique, France, source adaptée de Geoportail.fr). Petit mouron (photo IT <sup>2</sup> ). .....	8
Figure 3 bis: Développement des boutures de petit mouron (ferme RIFA, Martinique, France, photos L. Gervais, IT <sup>2</sup> ). .....	8
Figure 4 : Entretien mécanique de la ravine (Ferme RIFA, Martinique, France, photo Syngenta).....	9
Figure 5 : Mise en place du déversoir (ferme RIFA, Martinique, France, photo Irstea).....	10
Figure 6 : Equipement de la section de contrôle mars 2012 (ferme RIFA, Martinique, France, photo Irstea). .....	10
Figure 7 : Instrumentation et stand de prélèvement (ferme RIFA, Martinique, France, photo Irstea). ....	11
Figure 8 : Chroniques annuelles de pluies cumulées. ....	12
Figure 9 : Histogrammes de pluies mensuelles sur 6 années. ....	13
Figure 10 : Histogrammes de pluviométrie et de pourcentages de restitution.....	13
Figure 11 : Tableau de règle de décision d'asservissement. Valeurs moyennes établies sur la période 2007-2011. ....	14
Figure 12 : Tableau des caractéristiques physico-chimiques des pesticides étudiés et concentrations de dopage (F : fongicides ; H : herbicides ; I : insecticides). Extrait du rapport Aquaref C. Margoum. ....	15
Figure 13 : Evolution des concentrations en pesticides par rapport à la concentration initiale, pour les deux niveaux de dopage et un stockage de 2 jours au réfrigérateur en flacon verre et PET. Extrait du rapport Aquaref C. Margoum.....	16
Figure 14 : Schéma de la démarche de comparaison des 2 périodes de suivi. ....	17
Figure 15 : Evolution des températures des échantillons à l'arrivée au laboratoire d'analyses. ....	18
Figure 16 : Tableau de comparaison climatiques et hydrologiques des 2 périodes 2012 à 2015.....	19
Figure 17 : Evapotranspiration moyenne annuelle en Martinique entre 1961 et 1980, en mm/an (source REGUIEG 1986 : L'évapotranspiration et le bilan hydrique en Martinique. Document Météo-France)....	19
Figure 18 : Comparaison des chroniques hebdomadaires de précipitations cumulées (mm) sur les 2 périodes 2012-2013 et 2014-2015.....	20
Figure 19 : Comparaison des chroniques hebdomadaires d'ETP cumulées (mm) sur les 2 périodes 2012-2013 et 2014-2015.....	20
Figure 20 : Schéma conceptuel du modèle GR4J (Perrin 2002) .....	21
Figure 21 : Paramètres du modèle GR et critères de Nash associés aux simulations.....	22
Figure 22 : Comparaison des débits (mm/j) observés et simulés avec GR4J sur la période 2012-2013.....	22
Figure 23 : Comparaison des débits (mm/j) observés et simulés avec GR4J sur la période 2014-2015.....	23
Figure 24 : Comparaison débit observé et débit simulé par GR4H au pas de temps horaire sur la période 2014-2015. ....	23
Figure 25 : Courbes de double cumul (précipitations et débits cumulés, en mm) sur les périodes de référence 2012-2013 et après aménagements (2014-2015).....	24
Figure 26 : Comparaison des débits cumulés hebdomadaires (mm) sur la période de référence (2012-2013) et sur la période après aménagements (2014-2015). ....	24
Figure 27 : Vue du bassin versant en amont (RIFA, Martinique, France, photo IT <sup>2</sup> ).....	25
Figure 28 : Tableau du détail des produits phytosanitaires appliqués : mode d'application et quantité utilisée (g) avec la part appliquée pendant la période de fonctionnement optimal de la station de mesure (source Exploitation Rifa, zSicaTG, NS : non suivi).....	26
Figure 29 : Etat d'évolution de la cercosporiose sur le poste d'observation de Belfort (Lamentin, Martinique, source E. Husson, SICA TG). ....	27
Figure 30 : Evolution des applications de pesticides sur les deux périodes 2012-2013 et 2014-2015 hors trifloxystrobine pour 2012-13. « TRACE » correspond aux traitements des bords de parcelles proches de la ravine.....	27

Figure 31 : Comparaison des charges en MES en fonction du débit moyen hebdomadaire avant et après installation des plantes de couverture.....	28
Figure 32 : Comparaison des concentrations en MES avec les concentrations en matières actives phytosanitaires sur les 2 périodes de suivi. ....	28
Figure 33 : Comparaison des flux de MES avec les flux de matières actives phytosanitaires sur les 2 périodes de suivi. ....	29
Figure 34 : Tableau de synthèse des quantifications (%) et statistiques des échantillons (1), (Moyenne, Minimum, Maximum et Médiane des valeurs non nulles). ....	30
Figure 35 : Tableau de comparaison des résultats d'analyses de substances phytosanitaires entre les 2 périodes de suivi par rapport à 2 niveaux réglementaires ( 0,1 et 2 µg/L). ....	31
Figure 36 : Bassin versant et positionnement de l'Héliosec (RIFA, Martinique, France, Source adaptée de Geoportail.fr, Photo Syngenta) .....	32
Figure 37 : Comparaison des différents modes de calculs de flux (H1, H2, H3) sur les années 2012-2013 et 2014-2015. ....	33
Figure 38 : Comparaison des concentrations de MES et substances actives appliquées + chlordécone (CDC=Chlordecone, Gly=Glyphosate, AM=AMPA, Glu=Glufosinate, DFC=Difénoconazole, PPC= Propiconazole) avant (AV) et après (AP) aménagements. L'étoile indique la probabilité critique du test p-value<0.05.....	34
Figure 39 : Somme de toutes les concentrations des substances actives (appli = substances actives appliquées sur le versant et analysées ; toutes = liste complète des substances actives suivies). L'étoile indique la probabilité critique du test p-value<0.05. ....	34
Figure 40 : Différence entre avant et après aménagement pour Somme des herbicides H (glyphosate + AMPA + glufosinate) et des fongicides F (difénoconazole, propiconazole, fenpropidine). L'étoile indique la probabilité critique du test p-value<0.05. ....	35
Figure 41 : Evolution des pesticides appliqués et exportés du bassin versant pour les deux périodes.....	35
Figure 42 : Evolution des flux et des ratios d'exportation pour les différents pesticides appliqués sur le bassin versant selon les deux périodes.....	36
Figure 43 : Tableau d'analyse économique, Bilan et comparaison des différentes modalités. ....	38

## BIBLIOGRAPHIE

Damour G. *et al.*, (2014). A trait-based characterization of cover plants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems, *Europ. J. Agronomy* 52 (2014) 218–228.

Margoum, C., Guillemain, C. 2011. Stabilité des substances organiques dans les échantillons d'eau entre le prélèvement et la prise en charge analytique. Etat de l'art et exemples d'études. Rapport AQUAREF – Cemagref. 43p.

Passeport, E., A. Guenne, Culhaoglu, T., Moreau, S., Bouye, J. M., Tournebize, J. (2010). "Design of experiments and detailed uncertainty analysis to develop and validate a solid-phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry method for the simultaneous analysis of 16 pesticides in water." *Journal of Chromatography A* 1217(33): 5317-5327.

Perrin, C. (2002). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. *La Houille Blanche*, n°6/7, 84-91.

Perrin, C., Michel, C., Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 279(1-4), 275-289." Calibration, calage

Rabiet M., Margoum C., Gouy V., Carlier N., Coquery M. (2010). Assessing pesticide concentrations and fluxes in the stream of a small vineyard catchment - Effect of sampling frequency. *Environmental Pollution*. 158: 737-748

Tournebize J., Passeport E., Chaumont, C., Fesneau C., Guenne A., Bernard V. 2012. Pesticide decontamination of surface waters as a wetland ecosystem service in agricultural landscapes. *Ecological Engineering*. Accepted.