



Appui au pilotage et au suivi du dispositif d'instrumentation pour la caractérisation des pesticides du bassin versant pilote martiniquais du Galion

Plan Chlordécone 3 : Action 18

Document élaboré dans le cadre de :
Convention ODE/CIRAD 008-3-2016

Rapport final



Le bassin versant du Galion, en regardant vers l'amont. Landry DEFFONTAINES (photo personnelle)

Juillet 2017

Landry Deffontaines (Cirad) et Charles Mottes (Cirad)

 **cirad** – UPR HortSys

Résumé

Certaines caractéristiques agronomiques et pédoclimatiques des milieux volcaniques insulaires tropicaux sont propices au développement des ravageurs et adventices des cultures. Pour maintenir les quantités et qualités des productions au sein des filières, les pesticides sont couramment utilisés dans ces milieux qui favorisent leurs transferts par et vers les eaux. Les écosystèmes aquatiques des Antilles sont donc particulièrement exposés à la pollution par les pesticides d'origine agricole.

La connaissance et la compréhension des pratiques et des facteurs générant ou ne générant pas de pollution des cours d'eau est un enjeu majeur permettant de prioriser les actions. Dans ce contexte, le projet OPALE pilote un réseau de stations de mesures des paramètres hydrologiques et de la pollution par les pesticides des cours d'eau sur le bassin versant du Galion en Martinique.

La première année de mesures présentés dans ce rapport fournit les données de référence du dispositif de suivi du Galion. Elle a permis d'identifier différents types de pollution : des pollutions chroniques et des pollutions ponctuelles. Ces deux types de pollutions étaient présentes sur les trois stations suivies sur le bassin versant du Galion. Les stations montrent une variabilité dans la composition et les niveaux de pollution observés sur les différents points. La composition des pollutions correspond bien aux types de systèmes agricoles présents sur les bassins versants et les niveaux de pollutions augmentent avec la part cultivée des bassins.

Les contaminations chroniques sont principalement le fait de pratiques historiques (chlordécone) ou de pratiques phytosanitaires transversales à tous les systèmes de culture (herbicide, principalement le glyphosate) générant des applications soutenues dans le temps et sur l'espace du bassin versant. Certaines contaminations chroniques sont issues de pratiques plus spécifiques (ex : fongicides post-récoltes de la banane et certains herbicides de la canne). Elles constituent des problématiques majeures sur certaines zones et/ou à des périodes restreintes dans la durée.

L'animation du bassin versant a fait l'objet d'un atelier de travail collectif et de restitutions individuelles des résultats des travaux menés sur le bassin du Galion. Cette campagne a également fait l'objet d'actions de vulgarisation sur la problématique de la pollution par les pesticides (création de supports, fête de la science).

Abstract

Several agronomic and pedoclimatic characteristics of tropical volcanic island favor the development of pests and weeds. In this context, pesticides are used to maintain agricultural production in quantity and to achieve food chain quality criteria. Such uses can generate their transfers into water exposing Caribbean ecosystems to pesticide pollutions.

Thus, knowledge and understanding of factors that does or does not generate pollution of rivers is of interest in order to support decision and prioritize actions. To this point, the OPALE observatory manages a network of hydrological and pesticide stations in Martinique on the Galion watershed.

The first year of the monitoring campaign presented in this report provides reference data for the observatory. It made it possible to identify chronic and punctual pollution of river by pesticides. On the Galion watershed, both types of pollution were found on the three monitored stations. The stations showed differences in pollution composition and levels that matched the cropping system compositions and area of the watersheds.

Chronic contaminations were mainly the fact of historical practices (chlordecone) or pesticide that are used in all cropping systems and beyond (for instance glyphosate). They generate pollutions that are sustained in space and time on the watershed. Several chronic contaminations are the fact of specific practices (for instance, post-harvest fungicides used to treat exported bananas or several specific sugarcane herbicides). Such pollutions should be managed on places or periods they were found to generate pollutions.

This campaign also allowed public extension actions to alert on pollution by pesticides and restitutions to farmers and stakeholders of the watershed in both collective and individual formats.

Synthèse pour l'action opérationnelle

Contexte :

Certaines caractéristiques agronomiques et pédoclimatiques des milieux volcaniques insulaires tropicaux sont propices au développement des ravageurs et adventices des cultures. Pour maintenir les quantités et qualités des productions au sein des filières, les pesticides sont couramment utilisés dans ces milieux qui favorisent leurs transferts par et vers les eaux (Mottes, 2013). Les écosystèmes aquatiques des Antilles sont donc particulièrement exposés à la pollution par les pesticides d'origine agricole. Les territoires des Antilles françaises sont soumis aux objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau européenne (DCE) qui vise les « bons états » écologiques et chimiques des masses d'eau. Dans ce cadre, les suivis de la qualité des rivières en Martinique entre 2007 et 2016 par l'Office De l'Eau de Martinique a révélé une pollution par les pesticides généralisée à l'ensemble du territoire Martiniquais. Cependant, les références internationales concernant le devenir des pesticides dans ce type d'environnement et les relations entre les pratiques et les pollutions sont mal renseignées, rendant difficile l'identification de potentiels leviers d'action. La connaissance et la compréhension des pratiques et des facteurs générant ou ne générant pas de pollution des cours d'eau apparaît comme un enjeu majeur permettant de prioriser les actions.

Dans ce contexte, le projet OPALE pilote un réseau de stations de mesures des paramètres hydrologiques et de la contamination par les pesticides des cours d'eau sur le bassin versant du Galion en Martinique. Ce bassin versant a été choisi pour sa représentativité de la diversité agricole et pédoclimatique rencontrée dans les Antilles françaises. L'action présentée dans ce rapport a pour objectif de renforcer la connaissance des pratiques et facteurs jouant sur les transferts des pesticides utilisés dans les systèmes de culture vers les milieux aquatiques. Cette connaissance apparaît comme un pré-requis nécessaire à leur préservation.

La première campagne de prélèvement multi-résidus a permis d'établir les profils de référence de la contamination des cours d'eau par les pesticides en 3 points du bassin versant. Ces profils ont été interprétés au regard des mesures de contaminations antérieures disponibles (ODE) et des connaissances acquises sur les pratiques phytosanitaires mises en œuvre sur le territoire.

Méthodologie

- Suivi de la pollution des eaux de rivière par les pesticides

Dans le cadre de l'OPALE, un réseau de 6 stations de mesures des paramètres hydrologiques du milieu a été instrumenté par l'IRD et le Cirad sur le bassin versant du Galion. Trois de ces stations sont équipées de préleveurs automatiques calibrés pour effectuer des échantillons hebdomadaires composites dans les cours d'eau du bassin versant. Ces échantillons sont envoyés toutes les semaines au LDA26 pour une analyse multi-résidus de 476 pesticides ou métabolites de dégradation.

Les résultats de la première campagne de prélèvement (févr.2016 - janv.2017) ont été interprétés au regard des dynamiques d'application des pesticides (Arnal, 2017) et des

chroniques de pollution à l'exutoire de la rivière Galion de 2007 à 2012 (Rateau, 2013; Della Rossa et al., 2015).

- Suivi de la pression aux pesticides sur le bassin versant du Galion

Des enquêtes ont été menées auprès de 23 agriculteurs du bassin versant du Galion entre octobre 2016 et janvier 2017 pour identifier les dynamiques temporelles d'application des différents pesticides (Arnal, 2017). Afin de permettre une extrapolation de ces dynamiques à l'ensemble du territoire, les exploitations ont été sélectionnées selon deux critères : assurer l'exhaustivité des systèmes de culture et représenter la plus grande part de contribution possible à l'IFT global sur le territoire. Quatre types de dynamique d'application des herbicides ont pu être identifiés, de même qu'une dynamique générale d'utilisation des fongicides post-récoltes. Les données recueillies sont validées et complétées à chaque nouvelle rencontre avec les agriculteurs du bassin.

Principaux résultats

Les analyses multi-résidus ont révélé la présence de 35 molécules dans les cours d'eau du bassin versant du Galion dont 11 sont responsables de contaminations chroniques. Les profils de contamination divergent d'une station à l'autre en fonction des pratiques phytosanitaires des différents systèmes de culture ainsi que de la dilution relative des contaminants liée à l'occupation des sols et au gradient pluviométrique croissant observé d'aval en amont.

- Pollution historique et contamination constante à la chlordécone

La chlordécone et ses métabolites sont retrouvés dans la quasi-totalité de nos échantillons à des concentrations élevées ($> 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$, $> 2 \mu\text{g.L}^{-1}$) et variant peu au cours du temps. Ces mesures confirment les tendances observées par l'ODE entre 2007 et 2016.

- Mise en évidence d'une contamination chronique aux herbicides

Le glyphosate est utilisé dans tous les systèmes de culture. A l'échelle du bassin il est utilisé toute l'année. Il est détecté (avec l'AMPA, son métabolite de dégradation) de manière chronique, à des concentrations fonctions des surfaces agricoles des bassins versants et sur l'ensemble du territoire. Une intensification des détections au cours de la saison humide en amont du bassin versant révèle l'intensification saisonnée des traitements pour palier à une pression d'enherbement accrue.

Le métolachlore, herbicide de la canne, n'est détecté qu'à l'exutoire de la rivière Galion en période de récolte et à des concentrations relativement faibles (généralement $< 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$, 3 dépassements du seuil). Le 2,4D est toujours inférieur à $0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$. Les autres herbicides spécifiques de la canne, bien que largement utilisés, ne sont que détectés.

La contamination aux herbicides n'avait pas été détectée comme chronique par l'ODE entre 2007 et 2016. Le protocole d'échantillonnage composite hebdomadaire mis en place lors de la campagne de prélèvements OPALE permet un gain de résolution dans le suivi des contaminations. Il permet également d'intégrer l'ensemble des événements se déroulant chaque semaine à l'échantillon d'eau et ainsi de mieux rendre compte de la pollution des eaux de rivière.

- Transfert d'usages et contamination chronique aux fongicides post-récoltes

Les fongicides post-récoltes de la banane ne sont retrouvés qu'aux exutoires des sous bassins versants accueillant des hangars à banane. Les profils de contaminations sont saisonnés, suivant les dynamiques temporelles d'utilisation des produits : imazalil toute l'année, azoxystrobine en saison humide et thiabendazole en saison sèche. Avec une somme des concentrations moyenne de $0.18 \mu\text{g.L}^{-1}$ à l'exutoire de la rivière Galion, de $1.43 \mu\text{g.L}^{-1}$ sur la rivière La Digue et dépassant fréquemment les $2 \mu\text{g.L}^{-1}$, la gestion de la pollution des eaux par les fongicides post-récolte constitue un enjeu majeur pour la qualité des milieux aquatiques dans les zones accueillant des hangars de conditionnement de bananes.

Le thiabendazole est détecté par l'ODE depuis juillet 2010 et l'azoxystrobine depuis juillet 2012 suite à son homologation. Un transfert d'usage a donc eu lieu entre le bitertanol (interdit en 2011) et la combinaison azoxystrobine-thiabendazole.

Une tendance décroissante des détections de fongicides post-récoltes est observée à partir d'octobre 2016. Elle peut provenir d'une baisse de production généralisée suite à la tempête Matthew et/ou de changements de pratiques chez les agriculteurs du bassin versant qui devra être mise en regard des résultats de la prochaine campagne de mesure.

- Dissipation de certaines contaminations suite à l'évolution de la réglementation

Les contaminations au bitertanol (fongicide post-récolte), au diuron et au monuron (herbicides), retrouvés entre 2007 et 2016 par l'ODE même après leur interdiction, ont tendance à se dissiper. Diuron et monuron ont été retrouvés ponctuellement dans nos échantillons à des concentrations faibles (1 seul dépassement du seuil $0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Perspectives

Le paysage des pratiques phytosanitaires est en mutation dans l'agriculture martiniquaise. Cette première année de suivi est une campagne de référence qui permettra de suivre l'impact des changements de pratiques à l'œuvre. Différents éléments devront bénéficier d'une attention particulière :

- La substitution en cours des traitements herbicides par la fauche de couvert spontanés ou implantés,
- Les changements de pratiques d'utilisation et de gestion des fongicides post-récoltes,
- L'interdiction d'utilisation du glyphosate par les particuliers (au 1^{er} janvier 2019).

Communication et animation

- Animation du bassin

L'animation du bassin versant du Galion sur l'année 2016-2017 a permis la restitution des différents travaux menés sur le bassin versant auprès des acteurs impliqués. Une réunion avec les agriculteurs rencontrés lors des travaux de recherche a été organisée à la Maison des Associations du Gros-Morne en juin 2016. Quatre entretiens individuels de restitution ont été réalisés avec l'IT2, BANAMART, la Chambre d'Agriculture et le CTCS. Ils ont donné lieu à d'importantes discussions concernant les

dispositifs d'accompagnement technique des agriculteurs. Des entretiens de restitution, accompagnés de livrets individualisés, ont été fait auprès de chaque agriculteur ayant été impliqué dans les travaux menés sur le bassin versant du Galion.

- Vulgarisation

Deux posters ainsi qu'une maquette de sensibilisation aux enjeux environnementaux et sociétaux liés à l'utilisation des pesticides ont été réalisés. Ils ont été présentés au public lors de la Fête de la Science en octobre 2016 et lors d'une visite scolaire au Cirad en juin 2017.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION | 9 |
| TACHE 1 : SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LA RIVIERE DU GALION | 11 |
| 1. Site et matériel d'étude | 11 |
| 1.1 Le bassin versant du Galion | 11 |
| 1.2 Description du dispositif..... | 12 |
| 1.3 Equipement des stations et paramètres suivis | 13 |
| 2. Méthodologie | 16 |
| 2.1 Protocole de suivi de la pollution des eaux de rivière par les pesticides | 16 |
| 2.2 Protocole de suivi des pressions aux pesticides sur le territoire | 17 |
| 2.3 Analyse des concentrations hebdomadaires..... | 18 |
| 3. Résultats..... | 18 |
| 3.1 Pollutions par les pesticides : dynamique générale, fréquences, classes de concentration et usages | 19 |
| 3.2 Contaminations chroniques | 23 |
| 3.3 Contaminations ponctuelles | 31 |
| 4. Evolution des tendances | 33 |
| 4.1 Dissipation de certaines contaminations | 33 |
| 4.2 Des contaminations chroniques à la hausse | 33 |
| 5. Mise en perspectives | 34 |
| 5.1 Les apports du dispositif de suivi..... | 34 |
| 5.2 Perspectives d'avenir du dispositif | 35 |
| TACHE 2 : COMMUNICATION ET ANIMATION | 36 |
| 1. Animation du bassin | 36 |
| 1.1 Réunion de restitution..... | 36 |
| 1.2 Restitution auprès des acteurs du développement agricole | 37 |
| 1.3 Restitution auprès des agriculteurs | 37 |
| 2. Vulgarisation | 37 |
| CONCLUSION | 39 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 40 |
| TABLE DES ILLUSTRATIONS..... | 42 |
| ANNEXES | 43 |
| REMERCIEMENTS..... | 56 |

Introduction

Certaines caractéristiques agronomiques et pédoclimatiques des milieux volcaniques insulaires tropicaux sont propices au développement des ravageurs et adventices des cultures. Pour maintenir les quantités et qualités des productions au sein des filières, les pesticides sont couramment utilisés dans ces milieux qui favorisent leurs transferts par et vers les eaux (Mottes, 2013). Les écosystèmes aquatiques des Antilles sont donc particulièrement exposés à la pollution par les pesticides d'origine agricole. Les territoires des Antilles françaises sont soumis aux objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau européenne (DCE) qui vise les « bons états » écologiques et chimiques des masses d'eau. Dans ce cadre, les suivis de la qualité des rivières en Martinique entre 2007 et 2016 par l'Office De l'Eau de Martinique a révélé une pollution par les pesticides généralisée à l'ensemble du territoire Martiniquais. Cependant, les références internationales concernant le devenir des pesticides dans ce type d'environnement et les relations entre les pratiques et les pollutions sont mal renseignées, rendant difficile l'identification de potentiels leviers d'action. La connaissance et la compréhension des pratiques et des facteurs générant ou ne générant pas de pollution des cours d'eau apparaît comme un enjeu majeur permettant de prioriser les actions.

Cette action conforte le projet RIVAGE (projet FEDER Martinique non encore financé) et l'Observatoire OPALE (PNAC) qui abordent la question des impacts environnementaux et sanitaires induits par l'utilisation de pesticides agricoles en milieu insulaire tropical ; l'enjeu étant la réduction des expositions des populations et des écosystèmes à ces pesticides. C'est donc dans ce cadre que l'OPALE instrumente deux bassins versants expérimentaux : celui de la rivière Galion (Martinique) et celui des rivières Pérou et Pères (Guadeloupe). L'objectif de cette instrumentation est de comprendre les mécanismes à l'œuvre dans le transfert des pesticides vers les milieux aquatiques, pré-requis nécessaire au pilotage des actions visant à les préserver. C'est pourquoi le Cirad, en partenariat avec l'IRD, la DEAL et l'ODE ont mis en œuvre un dispositif de suivi hebdomadaire des chroniques de contamination des cours d'eau par les pesticides. Il est effectif depuis février 2016. En parallèle, le projet RIVAGE vise à construire un dispositif d'accompagnement des innovations ayant pour but de réduire les risques associés aux usages des pesticides en agriculture. Les connaissances issues du dispositif OPALE pourront ainsi venir alimenter le dispositif d'accompagnement.

Le présent rapport clôture la convention ODE/CIRAD 005-3-2016 (action 18 du Plan Chlordécone 3) dont les travaux étaient articulés autour de 2 tâches :

- **Tâche 1** : Suivi de la contamination par les pesticides des eaux de rivières du bassin versant du Galion.
- **Tâche 2** : Communication et animation du territoire. Diffusion des informations sur le bassin versant et sensibilisation du grand public aux problématiques de transferts de pesticides.

Ce document reprend ces points afin de détailler les actions menées, les résultats obtenus et leur interprétation. Il intègre l'analyse des chroniques de contamination des cours d'eau issues de la première campagne de prélèvements de l'OPALE sur le bassin versant du Galion. Les résultats sont également mis en regard des chroniques

de contamination de l'ODE entre 2007 et 2012 et sur la connaissance des pratiques agricoles (Rimbault, 2014; Deffontaines, 2016; Arnal, 2017).

Tache 1 : Suivi de la qualité de l'eau sur la rivière du Galion

Entre 2007 et 2012, 40 molécules de pesticides ont été détectées dans les prélèvements ponctuels mensuels d'eau réalisés sur la rivière du Galion (Rateau, 2013). Afin de comprendre et de caractériser les relations entre les pressions d'utilisation de pesticide et les pollutions observées dans les rivières, le CIRAD, en partenariat avec l'IRD, la DEAL et l'ODE, ont mis en place un dispositif de suivi hebdomadaire de la qualité de l'eau de la rivière, opérationnel depuis février 2016 (Della Rossa et al., 2016).

Cette partie présente les résultats des analyses multi-résidus de pesticides réalisés sur les échantillons issus de ce dispositif, ainsi que leur croisement avec les pratiques agricoles du territoire. Les données présentées correspondent à la première campagne d'analyse allant du 02/02/2016 au 30/01/2017. Cette première année de suivi correspond à une année de référence.

1. Site et matériel d'étude

1.1 Le bassin versant du Galion

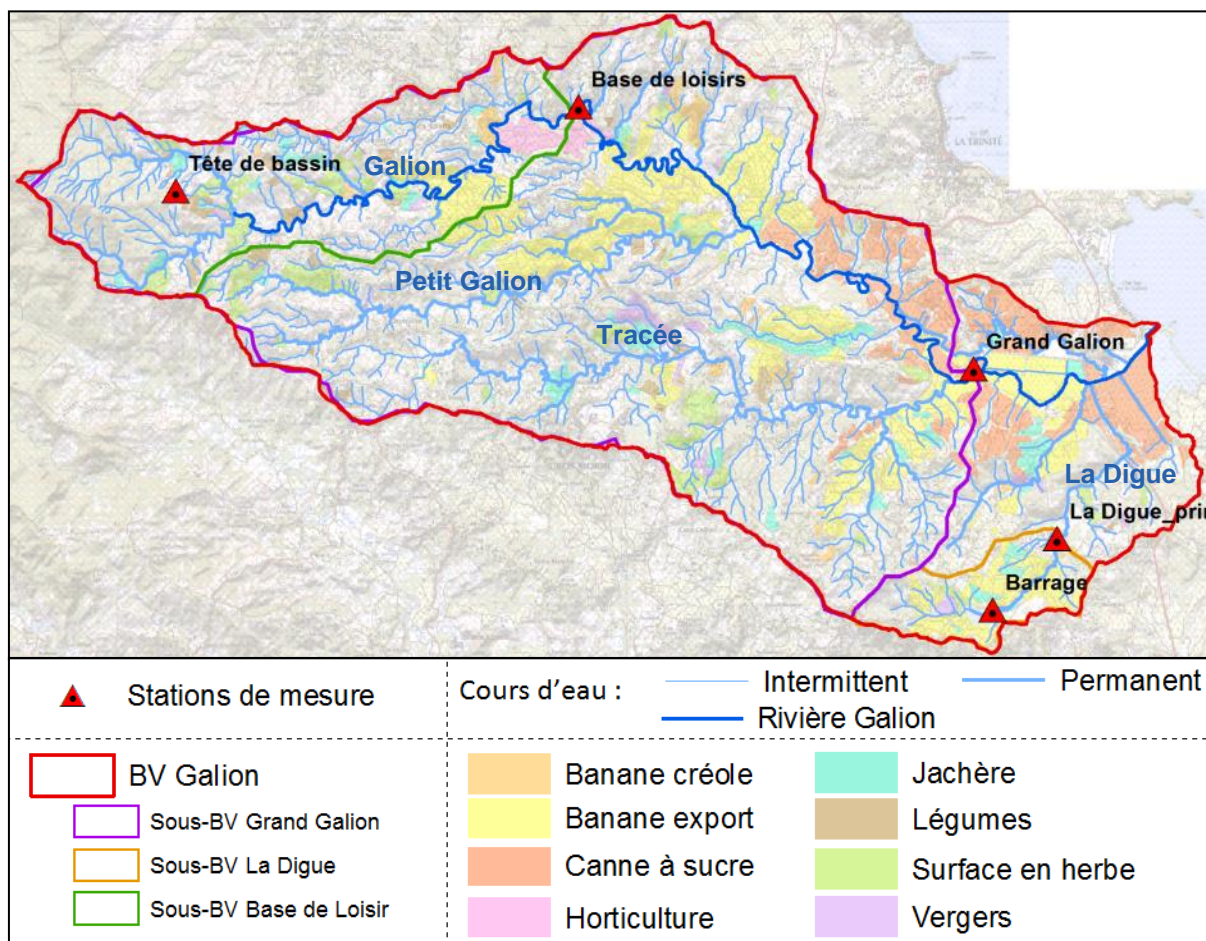


Figure 1 : Le bassin versant du Galion - Instrumentation, hydrographie et occupation des sols (RPG, 2015)

Le bassin versant du Galion s'étend sur 45 km² au Nord-Est de la Martinique, à cheval entre les communes du Robert, de Trinité, de Sainte-Marie et de Gros-Morne. Avec une densité de drainage¹ de 5.6 km⁻¹ (Della Rossa et al., 2017), son réseau hydrographique est composé de la rivière Galion (22.3 km), de ses trois affluents principaux (la Tracée, le Petit Galion et la Digue) et de nombreux petits cours d'eau aux régimes non permanent (Figure 1). D'est en ouest, un gradient pédoclimatique détermine un zonage agroécologique du territoire. L'amont est caractérisé par un relief accidenté, une pluviométrie élevée (3500 – 4000 mm.an⁻¹) et des sols bruns andiques relativement peu évolués (Colmet-Daage, 1969). L'aval présente des reliefs moins marqués avec une plaine d'inondation composées de ferrisols compacts et de sols alluvionnaires (Colmet-Daage, 1969) soumis à une pluviométrie plus faible (1500 mm.an⁻¹).

En 2015 (dernières données du registre parcellaire géographique -RPG- disponibles), l'agriculture occupait 1450 ha du bassin versant, dont 1090 ha étaient cultivés (hors friches et pâtures). Comme sur l'ensemble de la Martinique, on y retrouve une prédominance des cultures d'exportation, principalement en zone aval et médiane du bassin : 82% de la surface agricole utile (SAU) est occupée par la banane d'exportation (565 ha) et la canne à sucre (326 ha). Une centaine de petites exploitations (SAU < 4 ha) plus ou moins diversifiées occupe le reste des surfaces agricoles, principalement en amont du bassin.

La diversité des situations agro-pédoclimatiques du bassin versant du Galion est donc intéressante car sur un même territoire d'impact sont intégrés des situations très diversifiées qui sont retrouvées ailleurs sur le territoire Martiniquais. Les résultats acquis sur le bassin versant du Galion pourront être transposés aux situations agro-pédoclimatiques de même type qui existent ailleurs en Martinique.

1.2 Description du dispositif

1.2.1 Instrumentation du territoire

Dans le cadre de l'observatoire OPALE (Observatoire des Pollutions Agricoles aux Antilles), le bassin versant du Galion a été équipé de 6 stations de mesure des composantes hydrologiques du milieu (Figure 1, Tableau 1) (Bricquet, 2013). Sur la Figure 1, deux stations sont situées au niveau du point « La Digue » équipant le cours d'eau principal et une ravine affluente (Tableau 1).

Tableau 1 : Présentation des paramètres suivis par station de mesure (Bricquet, 2013)

| Stations | Centrale | Capteurs (H, T°, Cond., Turbidité) | Préleveur | Pluviomètre | Echelle limnimétrique |
|--------------------------|----------|--|-----------|-------------|--------------------------|
| Digue Barrage | X | X | | X | X |
| Digue aval Principale | X | X | X | | X |
| Digue aval Ravine | X | X | | X | X |
| Grand Galion (avec DEAL) | DEAL | H uniquement | X | | X |
| Tête de Bassin | X | | | X | |
| Base de Loisir | X | X | X | X | X |

¹ Rapport entre le linéaire total du cours d'eau dans un bassin et la superficie de ce dernier. La densité de drainage s'exprime en km.km⁻²

Trois stations sont équipées d'échantillonneurs automatiques pour le suivi de la pollution de l'eau par les pesticides : Grand Galion (GG), Base de Loisir (BDL) et La Digue (LD). Leur position sur le bassin versant du Galion correspond aux exutoires de 3 sous bassins versants spécifiques (Tableau 2, Figure 1) :

La station **Grand Galion (GG)** correspond à l'exutoire d'un sous bassin versant de 3 588 ha, couvrant 80% de la surface du bassin versant du Galion. Les terres cultivées y occupent 21 % de la surface (741 ha) et tous les systèmes de culture présents sur le territoire y sont représentés. Cette station est la seule à intégrer les systèmes canniers. Elle donne une information intégrative de l'ensemble des flux de pesticides dans les cours d'eau du territoire.

Le sous bassin versant de la station **Base de Loisir (BDL)** couvre une aire de 855 ha correspondant à la zone amont du bassin du Galion. Avec 17 % de terres cultivées (149 ha) elle regroupe la plupart des systèmes maraichers et vivriers ainsi qu'une exploitation en banane export et une exploitation horticole florale. Elle a une position de témoin nous permettant, en comparaison avec les résultats de la station Grand Galion, d'observer les flux de pesticides issues des zones amont et médiane du bassin.

La station **La Digue (LD)** intègre les flux d'un petit sous bassin versant de 191 ha cultivé sur 41 % de sa surface (79 ha). Elle permet de prendre en compte l'affluent La Digue qui rejoint le Galion très en aval du bassin versant. Ce bassin versant est cultivé par 4 exploitants. Cette situation vise à approfondir les processus de transferts de pesticides et les effets de changements de pratiques opérés dans ces exploitations sur la qualité de l'eau.

Tableau 2 : Occupation du sol par sous bassin versant instrumenté (RPG, 2015)

| | Bassin versant du Galion | Sous bassin versant | | |
|--|--------------------------|---------------------|----------------|---------------|
| | | Grand Galion | Base de Loisir | La Digue |
| Surface totale | 4 500 ha | 3 588 ha | 855 ha | 191 ha |
| Surface cultivée | 1 090 ha - 24% | 741 ha - 21% | 149 ha - 17% | 79 ha - 41% |
| Part de la surface cultivée occupée par chaque système de culture | | | | |
| Banane créole | 5% | 7% | 11% | 2% |
| Banane export | 52% | 57% | 53% | 93% |
| Canne à sucre | 30% | 18% | 0% | 0% |
| Horticulture | 3% | 4% | 16% | 0% |
| Maraichage | 6% | 10% | 18% | 1% |
| Arboriculture | 4% | 4% | 2% | 4% |

1.3 Equipement des stations et paramètres suivis

Les stations GG et LD sont équipées de préleveurs SIGMA SD900 tandis que la station BDL est équipée d'un préleveur ISCO6712. Chaque préleveur est équipé de deux flacons : une dame jeanne de 15L en verre et un bidon de 20L en Polytéréphtalate d'éthylène (PET), chacun stocké dans une glacière souple (Figure 2). Cette glacière protège l'échantillon des rayons lumineux et limite les variations de température. Les glacières comportaient des packs eutectiques remplacés à chaque prélèvement d'échantillons. Un système de réfrigération actif sur site est actuellement en cours de réflexion.

Chaque station est également équipée de capteurs permettant l'acquisition de données hydrologiques et climatiques (Tableau 1). L'acquisition de ces données sur la station GG est assurée par la DEAL.

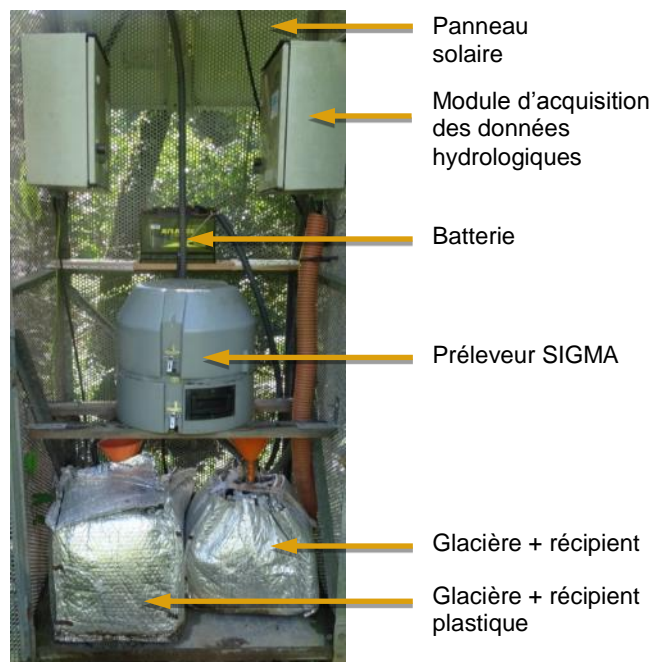


Figure 2 : Equipement des stations de prélèvement

1.3.1 Aléas climatiques au cours de la campagne février 2016 – janvier 2017

La station GG a été détruite le 24/10/2016 par une crue ayant suivie la tempête Matthew (Figure 3). Suite à cet évènement, la station a été déplacée de 60 mètres en aval du site initial. Le nouveau site a été sélectionné pour la protection qu'il offre des flux de crue et des débris charriés par la rivière. Il bénéficie également des structures de stabilisation de berges réalisées par l'Office National des Forêts. Cette nouvelle station est opérationnelle depuis le 29/03/2017 (Figure 4).



Figure 3 : Destruction de la station GG

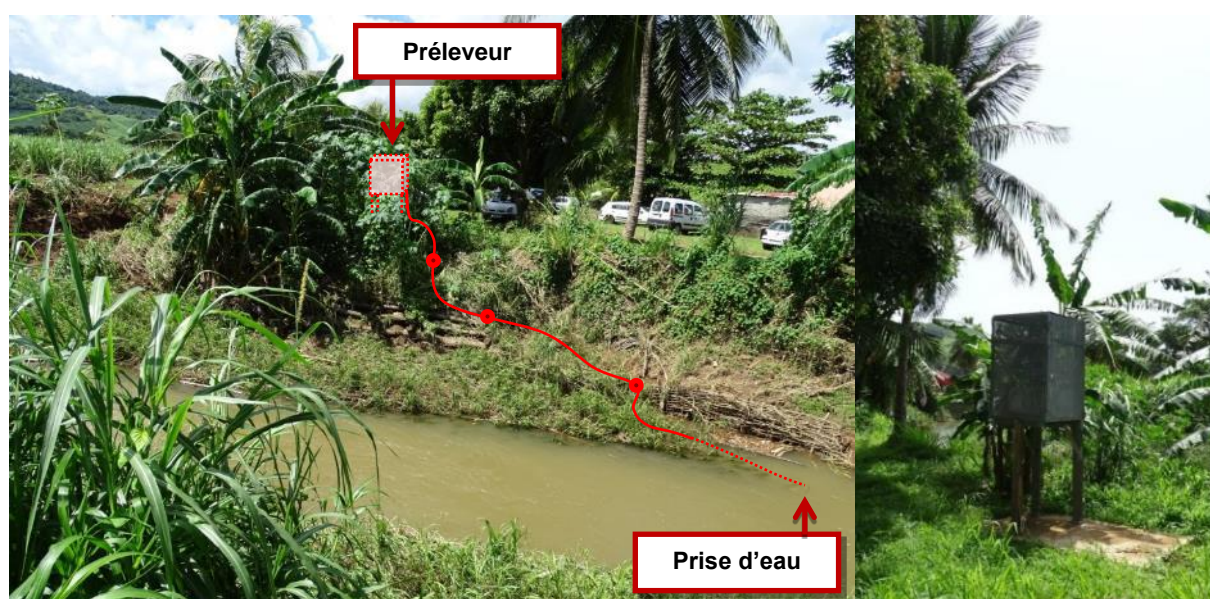


Figure 4 : Nouvelle station GG

2. Méthodologie

2.1 Protocole de suivi de la pollution des eaux de rivière par les pesticides

2.1.1 Prélèvements hebdomadaires intégratifs

Nous avons réalisé des prélèvements hebdomadaires composites par asservissement au temps sur les trois stations équipées de préleveur automatique du 02/02/2016 au 30/01/2017. Néanmoins, à partir de la date de destruction de la station GG (24/10/2016), nous avons réalisé des prélèvements ponctuels hebdomadaires pour ce point de prélèvement.

Chaque échantillon hebdomadaire composite est une aliquote composée d'échantillons unitaires de 100 ml d'eau de rivière prélevés toutes les 1h16. A l'échelle d'une semaine, cela correspond à 130-136 échantillons unitaires en fonction des heures de passage sur les sites de prélèvement. A chaque échantillon unitaire, 100mL d'eau sont prélevés dans la rivière et stockés dans le flacon en verre et 100mL dans le flacon en plastique, ceci afin de limiter la fixation de certains pesticides sur les contenants (Amalric, 2009). Les aliquotes des échantillons hebdomadaires composites sont prélevés et envoyés chaque semaine au Laboratoire Départemental d'analyse de la Drôme (LDA26) dans une glacière via Chronopost® afin d'y être analysés.

Sur la campagne allant de février 2016 à janvier 2017, le nombre d'échantillons réalisés se répartissait comme suit :

- 50 échantillons hebdomadaires sur GG dont 35 composites et 15 ponctuels
- 52 échantillons composites hebdomadaires sur LD et BDL
- 1 échantillon composite ciblé sur une journée de crue sur LD (échantillon GG indisponible suite à Matthew)
- 1 échantillon test sur les différences de détection entre stockage verre et plastique sur LD (échantillon GG indisponible suite à Matthew)

2.1.2 Analyse des micropolluants

Le LDA26 a recherché 476 molécules différentes sur chaque échantillon envoyé. Les molécules correspondent à des substances actives de pesticides et leurs métabolites de dégradation (voir annexe 1 pour la liste complète). Cette liste a été établie sur la base des usages de pesticides aux Antilles et des résultats des analyses obtenues par l'ODE sur la période 2007-2012. Elle valorise également au maximum les capacités d'analyse du laboratoire n'entraînant pas de surcôt dans l'analyse des échantillons quant aux méthodes analytique mobilisées pour la liste principale.

Du 02/02/2016 aux 18/07/2016, les glacières d'échantillons ont été déposées au LDA972 qui les stockait en chambre froide avant expédition vers la métropole le lendemain via Chronopost®. A partir du 25/07/2016, les glacières d'échantillons ont été directement envoyées au LDA26 par Chronopost®. La Figure 5 montre que ce nouveau mode d'envoi a permis de réduire les délais d'acheminement (sauf exception liée à la grève des transporteurs). En revanche, en l'absence de stockage en chambre froide

avant expédition, les températures de réception par le LDA26 sont devenues très variables. Les valeurs les plus élevées ont pu endommager certains échantillons.

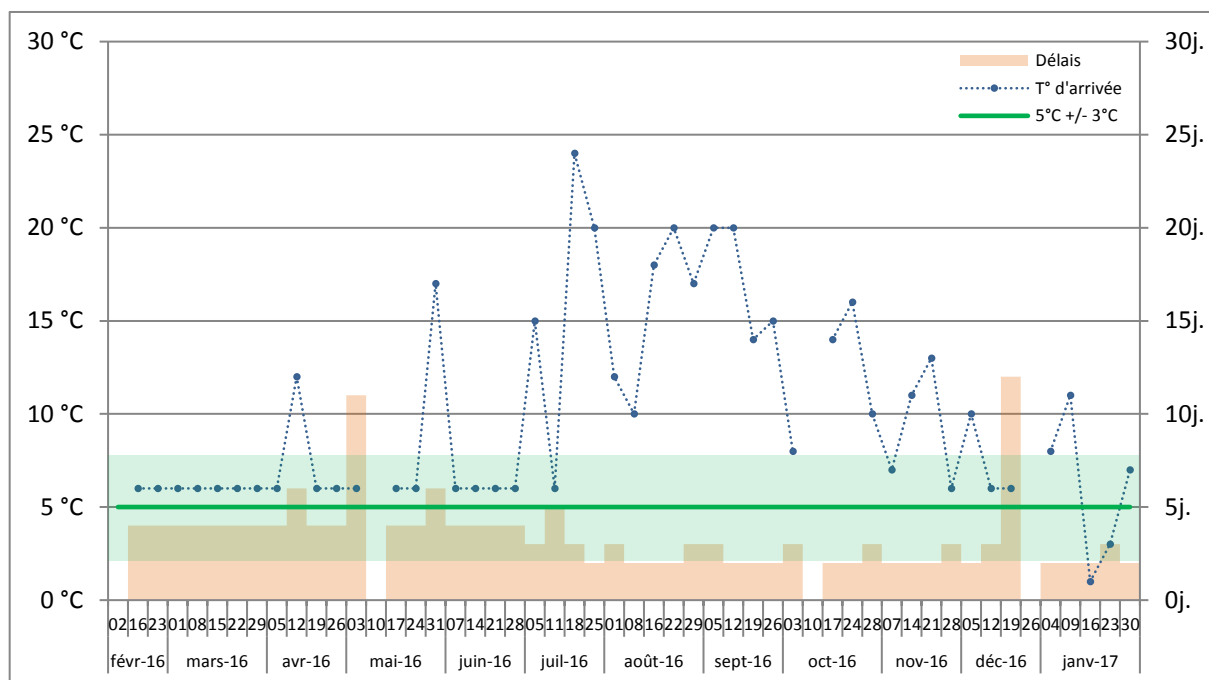


Figure 5 : Synthèse des délais d'acheminement et des températures de réception des échantillons par le LDA26. En vert : gamme optimale de température de réception par le LDA26.

2.2 Protocole de suivi des pressions aux pesticides sur le territoire

Les suivis des pressions ont été amorcés par Arnal (2017) dans le cadre d'un stage financé par le PNA III au titre de l'action 18. Ce stage visait à développer une méthodologie permettant : de sélectionner des agriculteurs représentatifs des pratiques phytosanitaires sur un territoire, de définir leurs dynamiques d'application de pesticides et d'extrapoler sur les dynamiques d'application des pesticides à l'échelle du territoire. Ce suivi a ensuite été approfondi par des entretiens complémentaires auprès d'agriculteurs et d'acteurs institutionnels menés par L. Deffontaines dans le cadre de la présente convention.

2.2.1 Sélection des exploitations agricoles

L'échantillonnage des exploitations du bassin versant du Galion a été réalisé sur la base des types de systèmes de production et des pressions globales d'IFT identifiées par Raimbault (2014) sur le bassin versant du Galion (Tableau 3). Les calculs des contributions aux IFT fongicide, herbicide, insecticide, nématicide et global du bassin versant ont été réalisés pour chacune des exploitations.

Les exploitations ont ensuite été sélectionnées selon les deux critères suivants :

- Assurer l'exhaustivité des systèmes de culture
- Représenter la plus grande part de contribution possible à l'IFT global

Tableau 3 : IFT, pourcentage de contribution et sélection des exploitations (Arnal, 2017)

| Typologie | Nb d'EA | Fongicides | | Herbicides | | Insecticides | | Nématicides | | Global | | Enquêtes | |
|--------------|---------|------------|-----------|------------|-----------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------|-----------|--------------------|-------------------------------|
| | | IFT | % Contri* | IFT | % Contri* | IFT | % Contri* | IFT | % Contri* | IFT | % Contri* | Nb d'EA à enquêter | % Contri à l'IFT global du BV |
| BnExport | 21 | 7,15 | 90,23 | 2,61 | 59,35 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 96,02 | 9,87 | 80,31 | 15 | 78,06 |
| CS SARL | 1 | 0,00 | 0,00 | 3,32 | 33,61 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,32 | 10,81 | 1 | 10,8 |
| BnCreole | 14 | 7,29 | 9,77 | 0,71 | 1,74 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 3,98 | 8,03 | 6,94 | 4 | 4,69 |
| Petits CS | 37 | 0,00 | 0,00 | 0,76 | 3,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,76 | 1,07 | 2 | 0,3 |
| Horti | 1 | 0,00 | 0,00 | 1,67 | 2,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,67 | 0,68 | 1 | 0,6 |
| Maraicher | 6 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 1,94 | 0,71 | 72,76 | 0,00 | 0,00 | 0,91 | 0,15 | 3 | 0,08 |
| Vivrier | 56 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 22,76 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,04 | 3 | 0,017 |
| TOTAL | | | | | | | | | | | | 29 | 94,55 |

* : % Contri est le pourcentage de contribution d'un type d'exploitation pour un type de pesticides

2.2.2 Caractérisation des dynamiques de pression

Des enquêtes ont été menées auprès de 23 producteurs répartis dans chacun des systèmes de culture du bassin versant du Galion. Concernant les herbicides, 4 types de dynamiques d'application ont été observés. Letitia NELSON, chargée de l'évaluation des impacts environnementaux des pratiques agricoles au sein de l'IT2, a permis d'approfondir notre connaissance des stratégies temporelles d'utilisation de fongicides post-récolte en banane export.

2.3 Analyse des concentrations hebdomadaires

Dans le cadre de cette analyse, nous utilisons les seuils de potabilisation de l'eau pour caractériser la qualité des milieux aquatiques. Ces seuils constituent une base commune de comparaison des concentrations des différents pesticides dans les eaux. Afin de faciliter la compréhension des résultats, la Figure 6 récapitule ces différents seuils et leur signification.

| | Seuil de potabilité molécule unique 0,1 µg/L | Seuil de potabilité cumul des molécules 0,5 µg/L | Seuil de potabilisation molécule unique 2 µg/L | Seuil de potabilisation cumul des molécules 5 µg/L |
|----------------------------|--|--|--|--|
| Molécule unique | Potable | Potable avec traitement de dépollution | Non-potable | |
| Cumul des molécules | Potable | | Potable avec traitement de dépollution | Non-potable |

Figure 6 : Description des seuils de potabilité et de potabilisation vis-à-vis des pesticides

Une eau est considérée comme potable si la somme des pesticides qu'elle contient n'excède pas 0.5 µg.L⁻¹ et que chaque molécule est présente à moins de 0.1 µg.L⁻¹. Ces valeurs correspondent aux seuils de potabilité. Jusqu'à une quantité totale de pesticides de 5 µg.L⁻¹ et de 2 µg.L⁻¹ par pesticide, l'eau est considérée comme potabilisable. Elle devient potable après un traitement de décontamination. Au-delà de ces seuils, l'eau n'est ni potable, ni potabilisable.

3. Résultats

Au cours de la campagne février 2016 - janvier 2017, nous avons retrouvé 35 pesticides ou métabolites dans les cours d'eau du bassin versant du Galion. Les

profils de contamination sont variables selon les stations de prélèvement. Les usages des molécules retrouvées correspondent globalement aux usages réalisés dans les sous bassins versants. Certains ne sont cependant pas clairement identifiés (Annexe 2). Nous présentons dans une première partie les profils de contaminations observés sur les différentes stations. Dans une deuxième partie nous analysons les dynamiques temporelles des pesticides générant des pollutions chroniques du cours d'eau et enfin nous discutons des pollutions ponctuelles observées.

3.1 **Pollutions par les pesticides : dynamique générale, fréquences, classes de concentration et usages**

Sur les trois stations, la Figure 7 montre que la somme des concentrations de tous les pesticides retrouvés dans les échantillons constitue une pollution permanente du cours d'eau sur toute l'année. Sur les trois stations, la somme des concentrations dépasse régulièrement le seuil de $0.5 \mu\text{g.L}^{-1}$. La limite des $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ est même dépassée dans tous les échantillons de LD. Sur cette station, la moyenne annuelle est de $7.48 \mu\text{g.L}^{-1}$. Les sommes de concentrations moyennes annuelles sur GG et BDL sont plus faibles avec des valeurs de respectivement 1.03 et $0.60 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Nous n'avons observé aucune dynamique temporelle ou corrélation marquée de la somme des concentrations avec les paramètres hydrologiques. Une analyse hydrologique plus poussée serait nécessaire pour confirmer cette hypothèse. En particulier en tenant compte des délais de transfert des pesticides dans les milieux (Mottes et al., 2015). Cette observation renforce l'hypothèse selon laquelle l'intensité des usages et les caractéristiques de persistance des molécules dans le milieu sont les principaux facteurs qui conditionnent la capacité des pesticides à polluer les cours d'eau (Mottes et al., 2017).

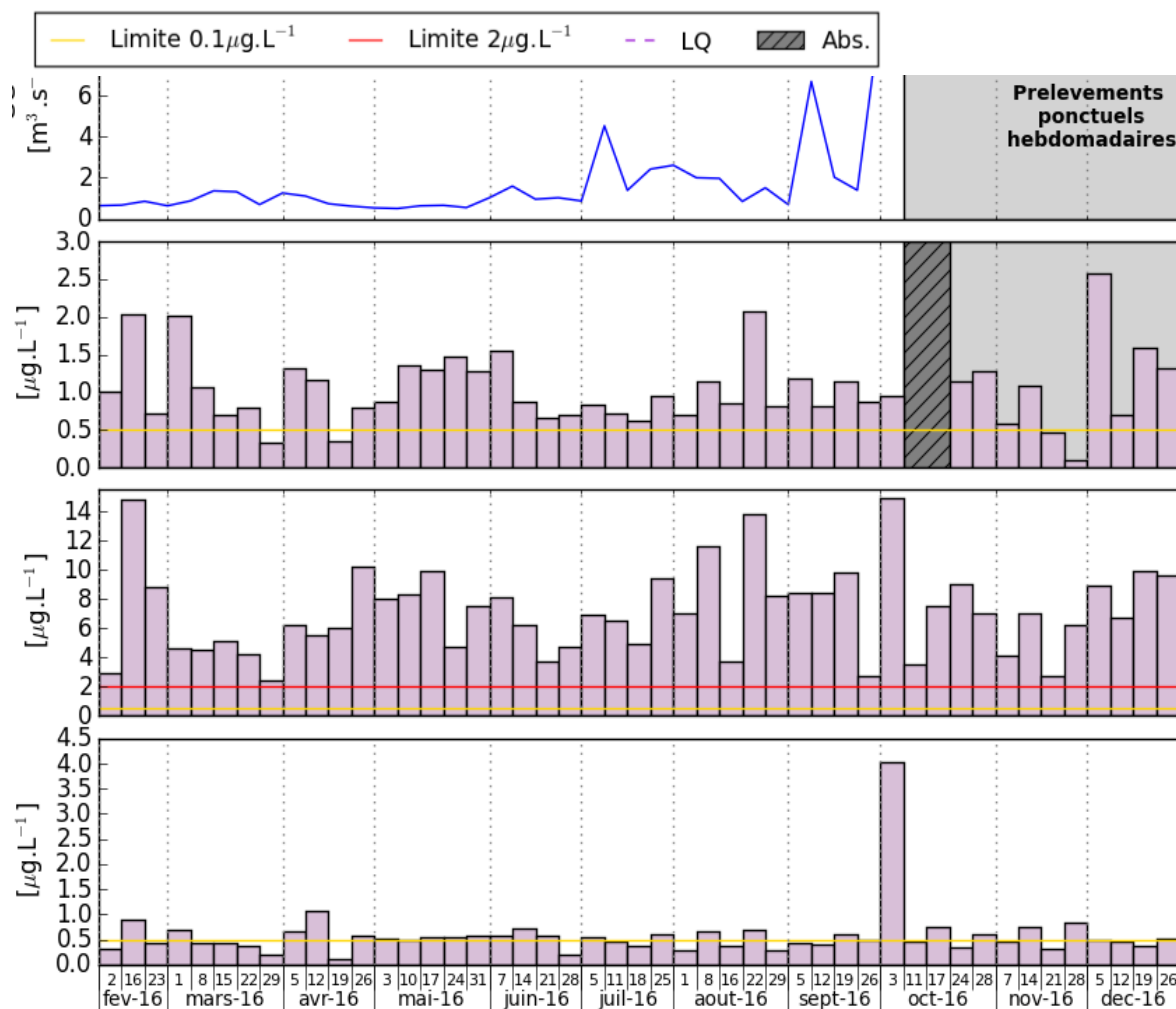


Figure 7 : Profils de pollution en concentrations cumulées sur les trois stations GG, LD et BDL. (Source débits GG : DEAL Martinique)

La pollution permanente observable sur la Figure 7 peut être séparée en deux composantes : une composante chronique et une composante ponctuelle par pics (Mottes et al., 2017). Les polluants chroniques sont définis comme détectés dans plus de 20% des échantillons composites et présentant des périodes de contamination tandis que les polluants ponctuels proviennent de pics de pollution isolés. Sur la Figure 7, on remarque, par exemple, un pic de concentrations à $4 \mu\text{g.L}^{-1}$ sur BDL. Ce pic est le fait d'une molécule détectée deux semaines dans l'année et correspondant à une contamination ponctuelle du cours d'eau par le piperonyl butoxide utilisé comme synergisant d'insecticide. Il est certainement issu d'une utilisation isolée mais importante par un exploitant maraîcher.

Au final, sur la période 02/2016 – 01/2017, nous avons retrouvé 22 molécules sur GG dont 10 génèrent des pollutions chroniques, 19 sur LD dont 9 chroniques et 16 sur BDL dont 3 chroniques (Figure 8, Figure 9 et Figure 10). Ces figures montrent qu'il existe des différences dans la composition des pollutions observées et dans les classes de concentrations pour chacune des molécules sur les différentes stations.

On retrouve sur tous les sous bassins versants des proportions de surfaces potentiellement contaminées à la chlordécone importantes qui expliquent les gammes de concentration observées pour les pollutions historiques des organochlorés (Della Rossa et al., 2017).

Les différences dans la composition des pollutions non historiques s'expliquent ensuite par les différentes cultures cultivées sur les différents bassins versants (Tableau 2, annexe 2) et les pratiques mises en œuvre dans les exploitations. Par exemple, le bassin versant BDL accueille une proportion importante d'exploitants maraichers-vivriers, on y retrouve des herbicides dont l'usage est généralisé à un grand nombre d'exploitations (glyphosate et AMPA). Le bassin LD est occupé quasi-exclusivement par la banane d'exportation, on y retrouve des herbicides utilisés en banane (glyphosate et AMPA) et des fongicides post-récoltes de la banane (imazalil, thiabendazole et azoxystrobin). Le bassin GG montre une prépondérance de cultures de banane et de canne, on y retrouve des fongicides post-récoltes de la banane, des herbicides utilisés sur l'ensemble des systèmes (glyphosate et AMPA), certains spécifiques à la canne (Métolachlore et 2,4-D) et des fongicides post-récoltes de la banane (imazalil, thiabendazole et azoxystrobin).

Les concentrations mesurées pour chacune des molécules sont relativement faibles pour GG et BDL avec une majorité de quantification $< 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figures 8 et 10). Elles sont plus importantes pour LD avec une majorité de détection entre 0.1 et $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ et quelques cas $> 2 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figure 9 – hors chlordécone). La part relative de surfaces agricoles présente sur les différents sous bassins versants instrumentés semble ainsi avoir un impact sur les niveaux des pollutions (Tableau 2). Le bassin versant LD, cultivé sur 41% de sa surface présente les concentrations en pesticides les plus élevées. Tandis que les bassins versants GG et BDL cultivés sur 21 et 17% des surfaces présentent des concentrations plus faibles. BDL correspondant au sous bassin versant amont de GG, on observe que certains pesticides apparaissant sur la partie amont sont dilués car non retrouvés au niveau de l'aval et que d'autres molécules apparaissent dans les échantillons du fait de contributions situés entre les deux points de mesure.

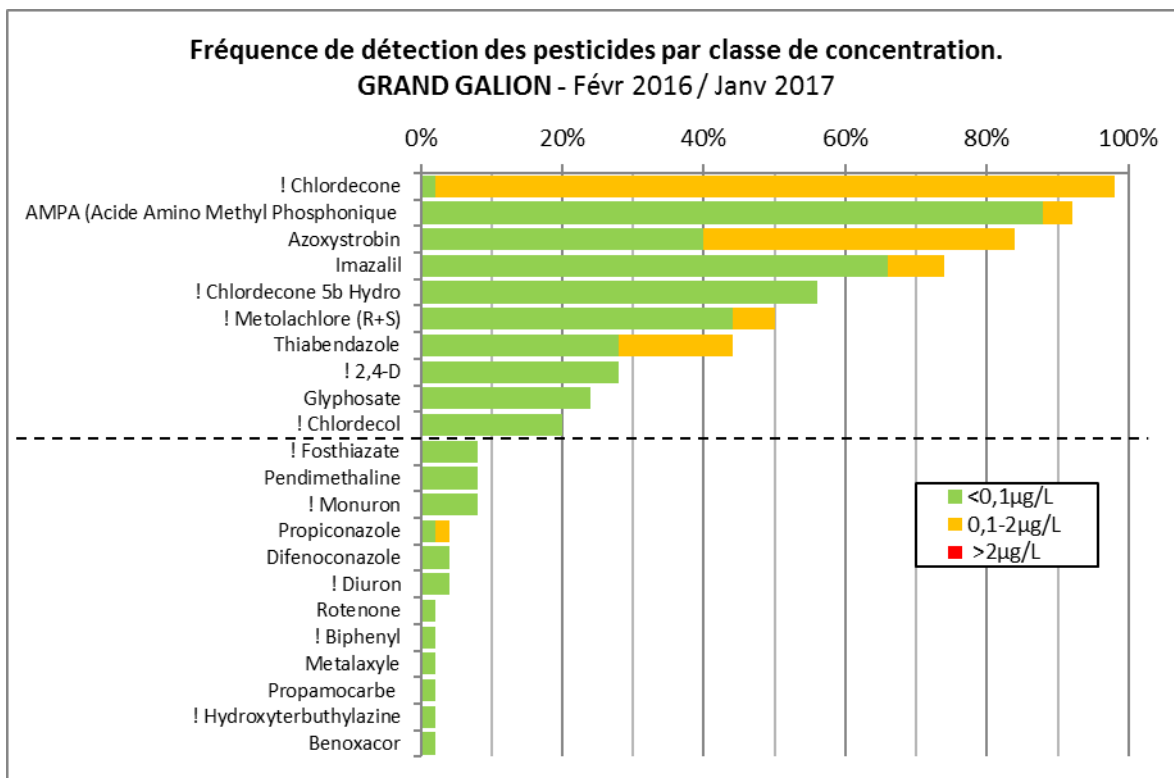


Figure 8 : Fréquence de détection des pesticides aux différentes classes de concentrations sur la station GG

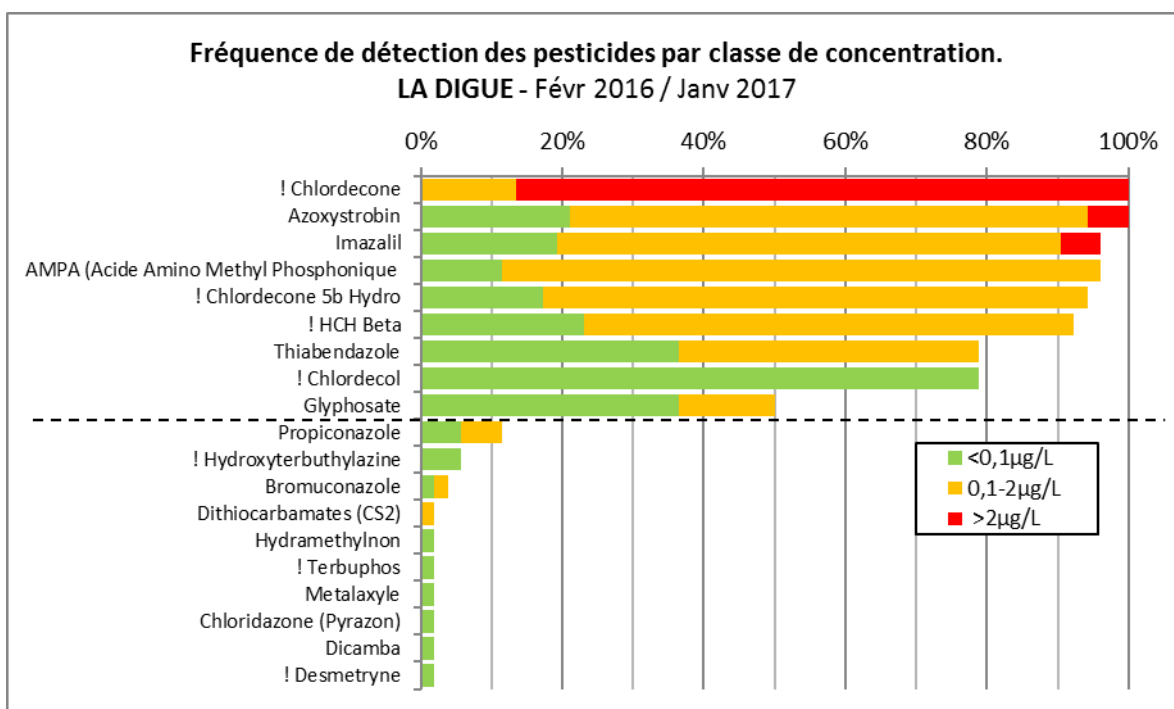


Figure 9 : Fréquence de détection des pesticides aux différentes classes de concentrations sur la station LD

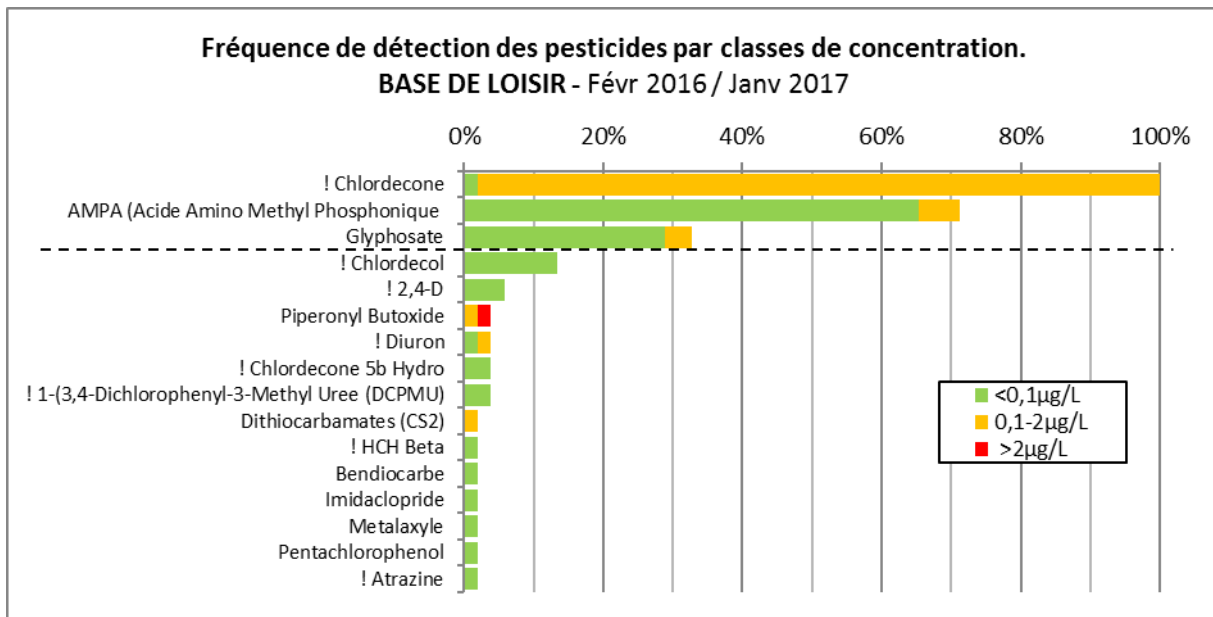


Figure 10 : Fréquence de détection des pesticides aux différentes classes de concentrations sur la station BDL

3.2 Contaminations chroniques

Les contaminations chroniques observées au niveau des différentes stations sont le fait de 4 grands types de pesticides : les pollutions historiques aux organochlorés, l’herbicide généraliste glyphosate utilisé de manière transversale dans les systèmes de culture et en particulier son métabolite l’AMPA, les fongicides utilisés en post-récolte de la banane vouée à l’exportation et certains herbicides utilisés pour contrôler les adventices en canne à sucre.

3.2.1 Pollutions historiques

Les contaminations chroniques les plus fréquentes sont les pollutions historiques liées à l’utilisation de la chlordécone (molécule active et co-produit ou métabolites de dégradation). Ces molécules ont été retrouvées sur les 3 sites de prélèvement (Figure 11).

La chlordécone est présente dans 96 à 100 % des échantillons et est détecté avec les concentrations les plus fortes : majoritairement (>96% des cas) entre 0.1 et 2 µg.L⁻¹ sur GG et BDL, majoritairement (87% des cas) > 2 µg.L⁻¹ sur LD. Elle constitue une contamination chronique permanente des cours d’eau à des niveaux supérieurs à 0.1µg.L⁻¹. LD présente les plus fortes contaminations, presque toujours supérieures au seuil de potabilisation (moyenne annuelle = 5.54 µg.L⁻¹). Viennent ensuite GG (0.75 µg.L⁻¹) et BDL (0.48 µg.L⁻¹), généralement supérieure au seuil de potabilité. Les concentrations semblent ici liées à la surface relative potentiellement polluée par la chlordécone sur chacun des sous bassin versant (Della Rossa et al., 2017).

Les métabolites et co-produits sont également présents de manière chronique mais en concentrations plus faibles avec une variabilité entre les stations : la chlordécone-5b-hydro est très présente sur GG et LD, le chlordecou principalement sur LD en raison des fortes concentrations en chlordécone au niveau de cette station. On remarque que

la concentration moyenne en chlordécone-5b-hydro correspond à 2% (GG) ou 4% (LD) de la concentration moyenne en chlordécone.

Le β -HCH est également présent sur LD. Cette molécule a été utilisée en substitution de la chlordécone.

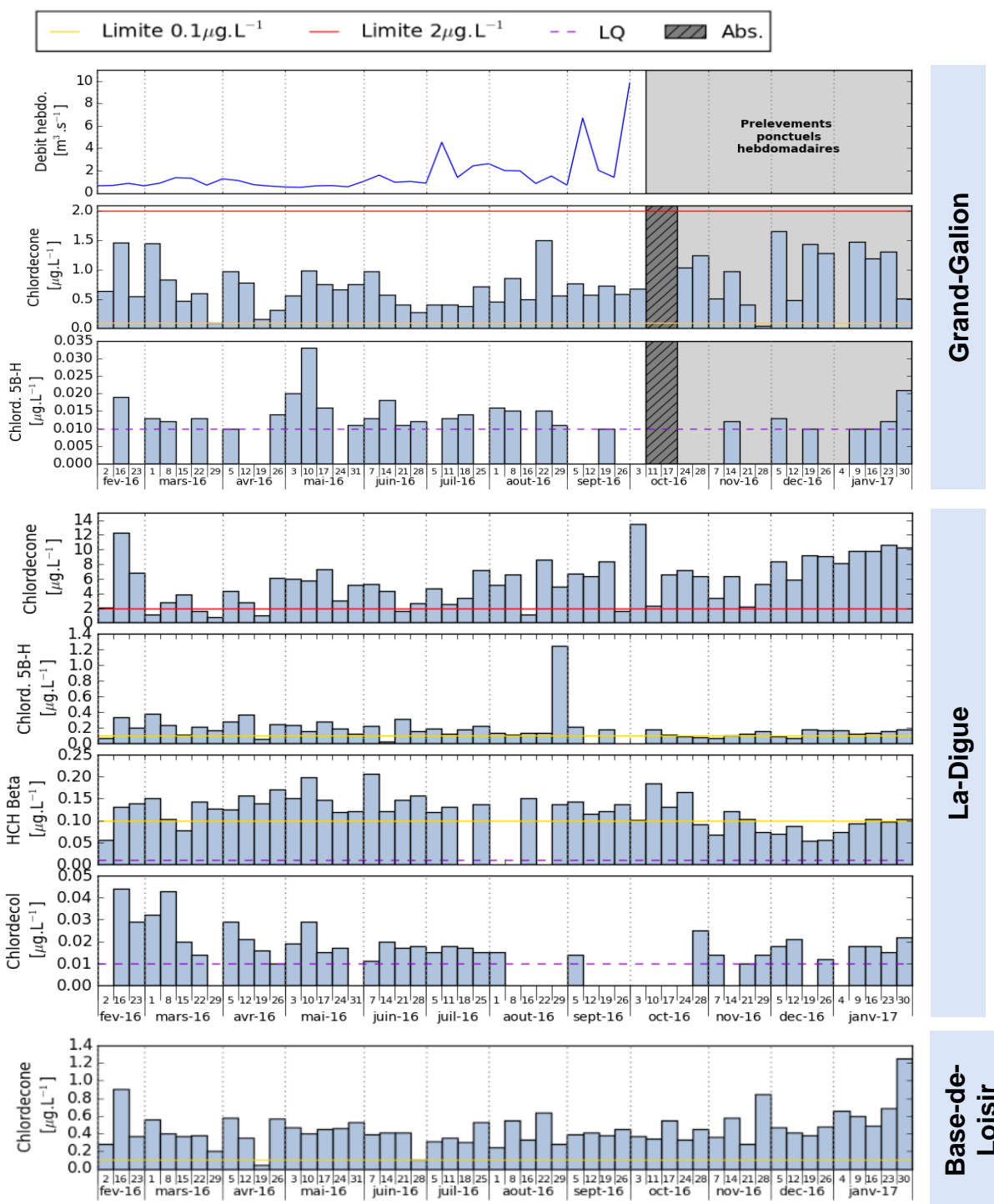


Figure 11 : Profils de contamination aux organochlorés : chlordécone, coproduits et métabolites de dégradation ; β -HCH

Les détections de chlordécone 5b-hydro sur GG sont proches de la LQ ; l'absence de détection peut masquer une contamination constante mais à une concentration trop faible pour être détectée. Le même phénomène peut exister quant au chlordécol sur

BDL. On remarque enfin une légère saisonnalité dans la contamination au chlordecol sur LD ; la baisse des fréquences et concentrations de détection d'août à octobre peut être le résultat d'un facteur de dilution plus important en saison humide.

Ces molécules ne sont plus appliquées sur les bassins versants. Elles sont présentes en grande partie dans les sols et polluent les cours d'eau de manière permanente via leur percolation dans les aquifères superficiels qui alimentent les cours d'eau (Cabidoche et al., 2009; Mottes et al., 2015; Crabit et al., 2016; Della Rossa et al., 2017).

3.2.2 Glyphosate et AMPA

Les herbicides avec le glyphosate et l'AMPA, son métabolite de dégradation, sont présents sur toutes les stations dans 70 à 90% des échantillons. L'utilisation du glyphosate est généralisée à tous les systèmes de cultures, il est donc utilisé sur l'ensemble du territoire. La dégradation du glyphosate dans le sol (Temps de demi-vie ≈ 20 j) et dans l'eau (Temps de demi-vie ≈ 10 j) étant relativement rapide (Baran and Arnaud, 2013; Footprint, 2017). L'AMPA son produit de dégradation est retrouvé plus fréquemment (Temps de demi-vie ≈ 150 j) (Footprint, 2013). La concentration de ces molécules suit les tendances par station (Figure 8, Figure 9 et Figure 10): majoritairement entre 0.1 et $2 \mu\text{g.L}^{-1}$ sur LD et $< 0.2 \mu\text{g.L}^{-1}$ sur GG et BDL. Sur la station GG, les concentrations dépassent rarement $0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Deux principales dynamiques d'application concernant le glyphosate ont été identifiées auprès des exploitants du bassin versant du Galion (Arnal, 2017) :

Les chantiers de désherbage continus sur l'année

Banane export, banane créole et horticulture florale.
Correspond à 31% de la surface du bassin versant du Galion.
Traitements en continu sur l'année. Pression relativement constante.

Molécules utilisées :

Glyphosate et Glufosinate d'ammonium (Plus rare : Fluazifop-P-butyl et Diquat)



Désherbages ponctuels sur période prédéfinies ou indéfinie

Maraichers vivriers et Banane export.
Majorité des petites exploitations avec utilisation de pratiques alternatives aux herbicides.
Applications ponctuelles à des périodes variables amenant à une pression continue à l'échelle du bassin versant.

Molécules utilisées :

Glyphosate (Plus rare : Glufosinate d'ammonium, Fluazifop-P-butyl et Diquat)

La première dynamique génère une pression continue d'application de glyphosate tout au long de l'année en raison d'une application continue au sein même des exploitations. La seconde dynamique peut également générer une pression d'application continue, cette fois en raison de l'agrégation d'une multitude d'applications ponctuelles non coordonnées entre elles.

Les profils de contamination au glyphosate et à l'AMPA sont présentés en Figure 12. La contamination est relativement constante au court de l'année sur GG et LD. Le profil de contamination correspond donc aux dynamiques d'application identifiées. La

concentration en glyphosate et AMPA est ici aussi plus importante sur LD (moyenne annuelle cumulée = 0.18 $\mu\text{g.L}^{-1}$) que sur GG (0.06 $\mu\text{g.L}^{-1}$).

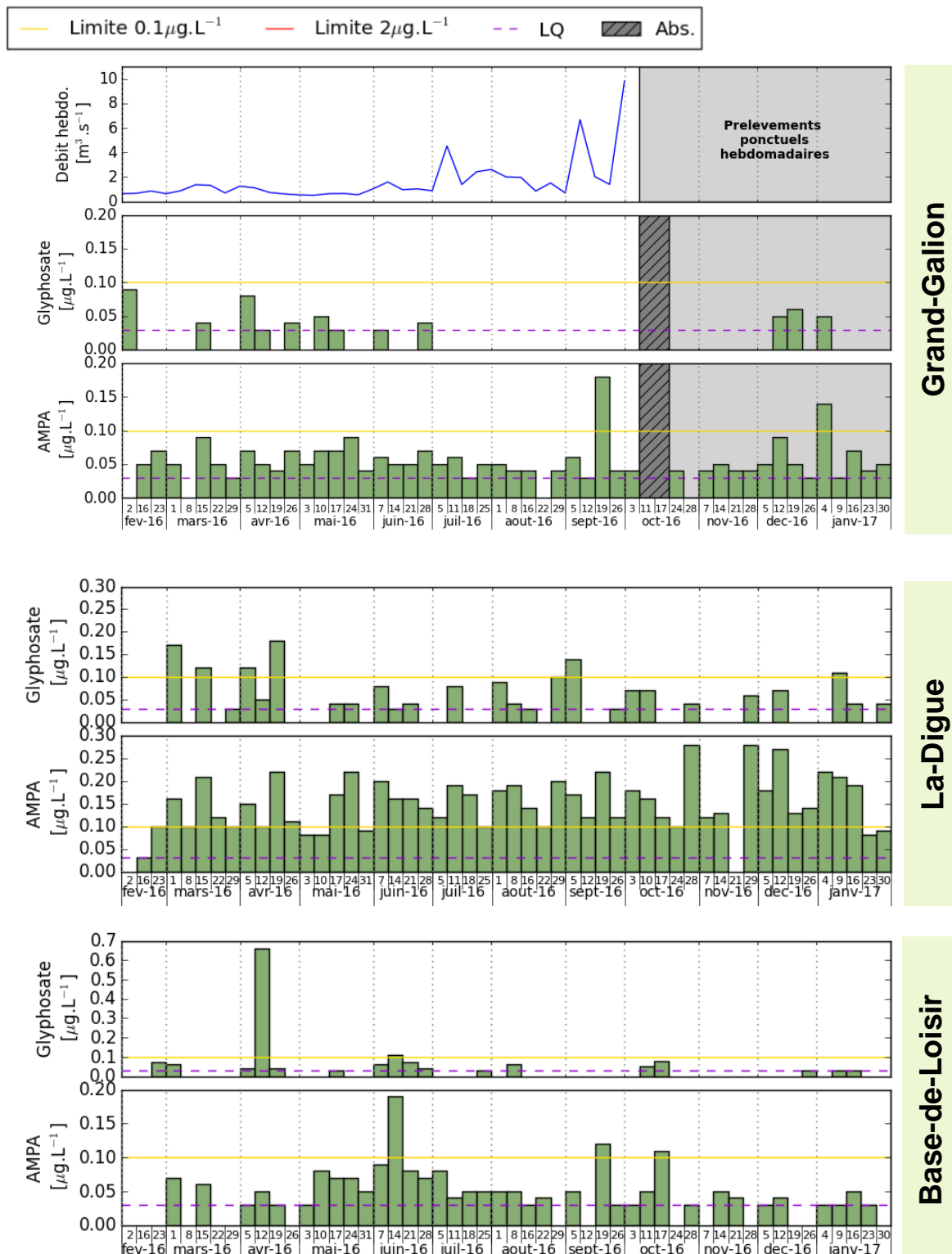


Figure 12 : Profils de contamination au Glyphosate et à l'AMPA

Seul BDL présente une variation temporelle des détections qui s'intensifient de mai à octobre. La majorité des exploitations qui occupent ce sous bassin versant sont de petites exploitations vivrières gérées selon la logique des chantiers de désherbage ponctuels. Ce mode de gestion autorise une plus grande flexibilité que les chantiers

continus et donc une meilleure concordance entre traitements et pression de l'enherbement. La période mai-octobre étant favorable à la pousse des adventices (climat chaud et humide), on observe une intensification des traitements herbicides en termes de fréquence et/ou de quantités appliquées.

Ces molécules sont aussi utilisées par les particuliers. Le glyphosate sera interdit à la vente au particulier à partir du 1^{er} janvier 2019 (loi sur la transition énergétique). Son utilisation et celles de la majorité des pesticides est interdit dans les lieux publics à partir du 1^{er} janvier 2017 (loi Labbé). La poursuite des suivis permettra d'évaluer si cette mesure réduit les concentrations et fréquences de détection de cette molécule et de son métabolite dans les eaux.

L'AMPA peut également provenir de l'utilisation de lessives. Néanmoins, l'état de l'art récent sur ce point indique que les contributions domestiques à la pollution des cours d'eau sont négligeables (Grandcoin et al., 2017). Au Canada, Struger et al. (2015) ont également conclu en analysant un traceur des lessive (l'adoucissant acesulfame) que l'AMPA retrouvé dans les cours d'eau provenait très majoritairement de la dégradation du glyphosate. Il semblerait ainsi que l'AMPA retrouvé dans les cours d'eau soit très majoritairement issus des utilisations de glyphosate sur les bassins versants. L'analyse de traceurs des autres sources permettrait de conclure sur une base expérimentale dans les conditions du bassin versant du Galion.

3.2.3 Fongicides utilisé en traitement post-récolte

Les fongicides utilisés en post-récolte sur les bananes vouées à l'exportation (imazalil, azoxystrobin et thiabendazole) sont uniquement retrouvées sur les stations GG et LD.

L'imazalil et l'azoxystrobin sont les plus fréquemment détectées : respectivement 74 et 84 % sur GG, 96 et 100 % sur LD. Le thiabendazole est légèrement moins fréquent : 44% sur GG et 79% sur LD. On retrouve ces molécules dans des concentrations généralement plus élevées que la tendance par station : les détections entre 0.1 et 2 $\mu\text{g.L}^{-1}$ sont plus fréquentes sur GG pour l'imazalil et le thiabendazole ; des pics de concentration $> 2 \mu\text{g.L}^{-1}$ apparaissent sur LD. Les concentrations sont plus élevées sur LD (somme des moyennes annuelles = 1.43 $\mu\text{g.L}^{-1}$) que sur GG (somme des moyennes annuelles = 0.18 $\mu\text{g.L}^{-1}$). La fréquence et les concentrations de ces molécules étant élevées, elles représentent un enjeu majeur pour la préservation de la qualité des rivières sur le bassin versant du Galion.

La répartition spatiale observée de la contamination aux fongicides post-récoltes s'explique en partie par la position des hangars de banane sur le territoire. Le sous bassin versant de la station BDL n'en accueille qu'un, celui de GG onze et celui de LD deux. Sur le sous bassin de BDL, le ratio "nombre de hangar/unité de surface" est ainsi 3 fois plus faible que sur GG et 10 fois plus faible que sur LD. La concentration en sources potentielles d'émission est donc faible sur BDL, moyenne sur GG et élevée sur LD. S'ajoute à cela une pluviométrie plus importante en amont amenant à une dilution relative des contaminants plus élevée sur BDL. Précisons également que les pratiques en matière de gestion des bouillies de fongicides post-récoltes évoluent. La variabilité de ces pratiques entre les différentes exploitations joue vraisemblablement un rôle notoire sur les pollutions observées. Il serait également nécessaire de prendre en compte la distance au cours d'eau de ces différents hangars qui conditionne les

quantités de pesticides qui peuvent potentiellement rejoindre directement les cours d'eau.

L'utilisation des fongicides post-récoltes de la banane est continue sur l'année mais les matières actives utilisées suivent une saisonnalité. Contre le chancre, l'imazalil est utilisé toute l'année. Contre la pourriture de la couronne, le thiabendazole est utilisé en saison sèche (janvier – juin) ; et l'azoxystrobine en saison humide (juillet – décembre).

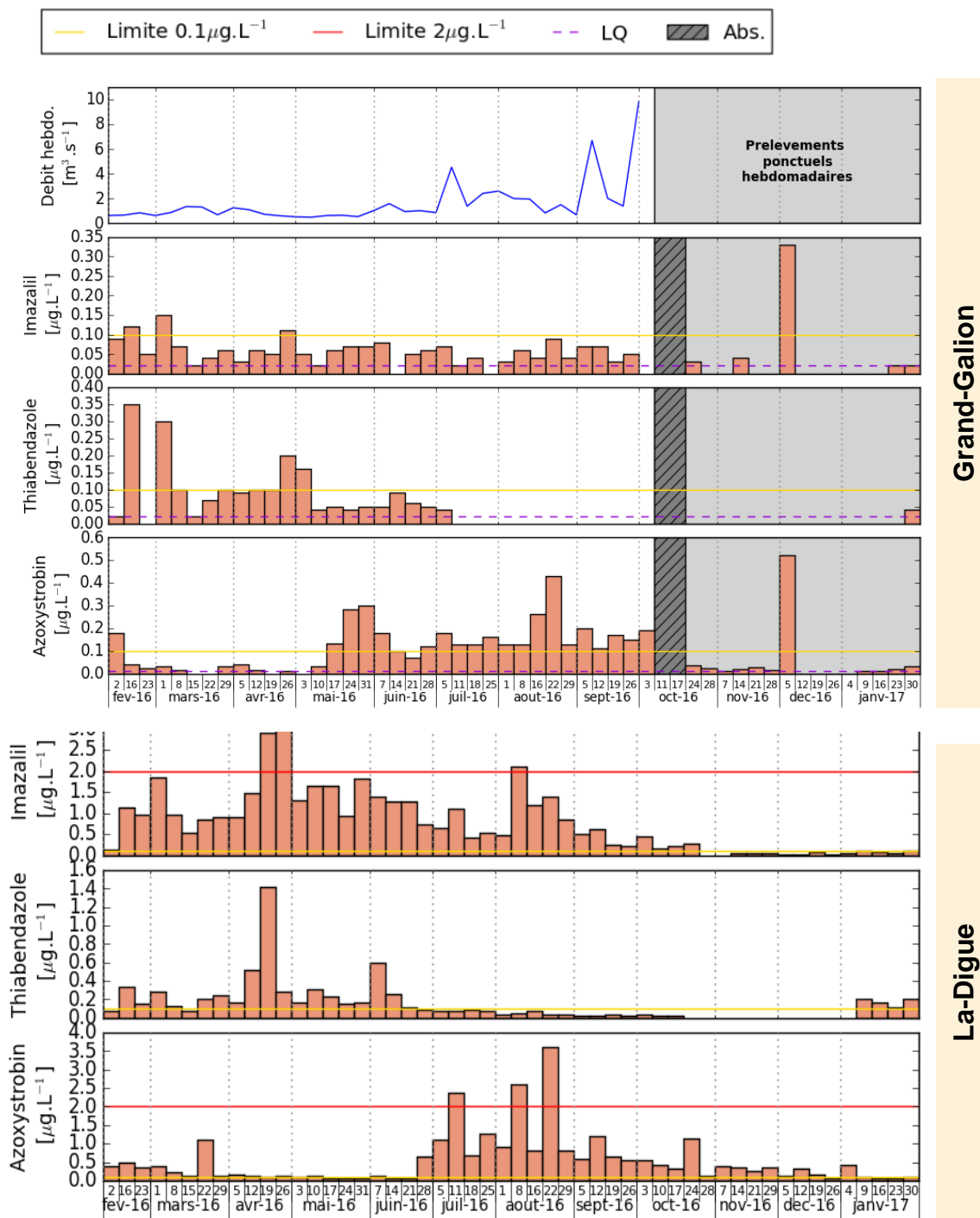


Figure 13 : Profils de contamination pour les fongicides post-récoltes

On retrouve la saisonnalité d'utilisation des produits dans les échantillons d'eau des deux stations (Figure 13) : intensification des détections de thiabendazole en saison sèche et d'azoxystrobine en saison humide. On observe tout de même une certaine persistance des produits sur LD : le thiabendazole montre une queue de pollution jusqu'en octobre alors que son utilisation s'arrête en juin ; l'azoxystrobine est retrouvée toute l'année en faible concentration.

Différentes hypothèses sont possibles quant au fait que ces pollutions perdurent après l'arrêt d'utilisation des pesticides :

- Une retenue d'eau existe sur le bassin LD qui peut tamponner les flux et diluer la pollution sur un moyen terme.
- Les sols des hangars peuvent être contaminés, le lavage des hangars générant des transferts d'une fraction des pesticides adsorbés.
- La contamination d'autres compartiments environnementaux (sol, sédiments, aquifères) qui jouent le rôle de source de contamination à de plus faible niveau.

L'imazalil est théoriquement utilisé toute l'année. On remarque cependant une diminution des détections à partir d'octobre, et ce sur les deux stations. Cette tendance se retrouve également pour l'azoxystrobine, normalement utilisé à cette période. Ce phénomène peut s'expliquer par :

La tempête Matthew en septembre 2016 et les fortes pluies qui ont suivi ayant engendrées des pertes de récolte chez de nombreux exploitants cultivant de la banane. La diminution du volume de bananes traité a pu conduire à une réduction de la quantité de produits utilisés.

De nombreux changements de pratiques ont eu lieu à cette période et continuent de se faire quant aux systèmes d'application de ces produits (buses bas-volume...) et de gestion des bouillies (Heliosec®, cuve de récupération). Par exemple, l'un des exploitants du sous bassin versant de la station LD est passé en pulvérisation bas-volume en octobre 2016. Cette aire géographique n'accueillant que deux hangars, ce changement de pratique a pu réduire significativement la pollution de la rivière aux fongicides post-récoltes.

La contribution relative de chacun de ses facteurs à la modification des concentrations reste difficilement évaluable à ce stade. Il sera nécessaire de poursuivre le suivi sur une période plus longue en connaissant l'évolution des volumes de bananes effectivement traités, les quantités de produits utilisés pour le faire et l'ensemble des évolutions des pratiques de traitement et de gestion des bouillies sur le bassin versant du Galion.

3.2.4 Herbicides utilisés en canne à sucre

La canne à sucre n'utilise pas les mêmes herbicides que les autres systèmes de culture. Seul le bassin versant de GG accueille des surfaces en canne à sucre. Deux de ces herbicides sont détectés de manière chronique au point GG : le métolachlore et le 2,4-D. Les fréquences de détection sont relativement faibles en comparaison aux autres contaminations chroniques : 50 % pour le métolachlore et 28% pour le 2,4-D. Les concentrations mesurées sont également relativement faibles (majoritairement < 0.1 µg.L⁻¹). Nous notons quelques détections anecdotiques de 2,4-D sur BDL pouvant

provenir d'utilisations isolées en maraichage. Cette molécule est également disponible dans des spécialités commerciales destinées à l'entretien des gazons de particulier.

La culture de la canne à sucre est saisonnée, amenant à des dynamiques d'application de ces herbicides différentes en fonction des exploitations:

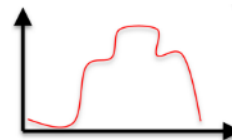
Les chantiers de désherbage continus sur 8 mois

Planteurs de canne à sucre (grandes surfaces).
Correspond à 24% de la surface du bassin versant du Galion.

Traitements en parallèle de la récolte de la canne. Pression concentrée entre mars et novembre.

Molécules utilisées :

2,4-D sur toute la période de traitement. Métolachlore (+ mésotrione et benoxacor) et pendiméthaline de mars à septembre. Asulam de mai à novembre.



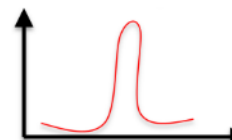
Les chantiers de désherbage continus sur 2 mois

Planteurs de canne à sucre (petites surfaces).
Correspond à 10% de la surface du bassin versant du Galion.

Traitement suite à la période de récolte. Pression concentrée sur septembre-octobre.

Molécules utilisées :

2,4-D systématique ; associé à asulam ou métolachlore (+ mésotrione et benoxacor).



Les fréquences de détection relativement plus faibles de ces herbicides peuvent s'expliquer en partie par la saisonnalité de leur application, restreinte à la période de récolte de la canne ou à la fin de cette dernière.

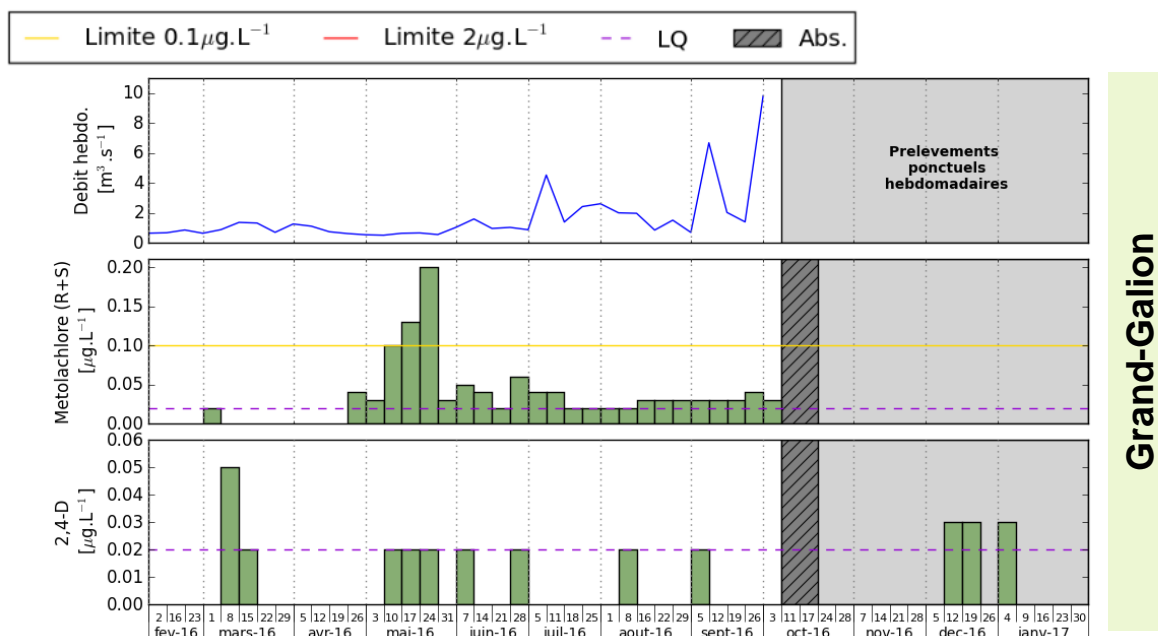


Figure 14 : Profils de contamination au métolachlore et 2,4-D sur la station Grand Galion

Le métolachlore n'est détecté que de fin avril à début octobre (Figure 14), traduisant la saisonnalité de son utilisation. Les parcelles en aval du bassin versant sont gérées selon la dynamique du désherbage continu sur 8 mois alors que les exploitants, plus en amont, concentrent ces traitements sur la période septembre - octobre. Le pic de métolachlore en mai correspondrait au traitement des parcelles les plus proches du

point de prélèvement GG, la proximité induisant des temps de transfert plus court et une plus faible dilution du pesticide. Ce pic coïncide avec 4 détections de pendiméthaline, également utilisé sur ces parcelles. La concentration se stabilise ensuite à mesure que les parcelles traitées s'éloignent de notre point de prélèvement et que les exploitants, plus en amont, prennent le relais.

Les détections de 2,4-D, plus éparées, révèlent également la saisonnalité de son utilisation. Les détections de mai à septembre suivent la même dynamique que pour le métolachlore. Le pic observé en mars correspondrait au traitement des parcelles replantées après la fin de récolte. Celui observé en décembre-janvier correspondrait à des traitements de rattrapage réalisés sur des portions de parcelles infestées par les lianes.

La mésotrione et le benoxacor ne sont pas ou peu retrouvés du fait de leur faible concentration dans les produits. L'asulam n'est pas retrouvé malgré une utilisation assez répandue. La pendiméthaline n'est retrouvée que dans 4 échantillons à des concentrations $< 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Les herbicides utilisés dans les systèmes de culture canniers illustrent bien la variabilité entre les molécules. Différentes molécules appliquées au même moment sur des parcelles ne présentent pas les mêmes dynamiques de pollution. Certaines ne sont pas retrouvées et d'autres génèrent des pollutions ponctuelles abordées dans la partie suivante.

3.3 Contaminations ponctuelles

D'autres molécules ont été retrouvées ponctuellement. Certaines sont autorisées :

- Des fongicides utilisées pour le traitement de la cercosporiose de la banane sur LD et GG (propiconazole, difénoconazole et anciennement bromuconazole).
- Du fosthiazate sur GG, nématicide de la banane.
- Divers herbicides avec de la pendiméthaline et du benoxacor (composante d'un herbicide pré-émergent en canne) sur GG ; du dicamba et de la chloridazone sur LD.
- Du metalaxyle sur GG et BDL, des dithiocarbamates sur BDL et du propamocarbe sur GG, tous trois fongicides utilisés en maraichage.
- Du piperonyl butoxide, un synergisant d'insecticide utilisé en maraichage, retrouvé 2 fois sur BDL dont un pic de concentration très élevé à $3.63 \mu\text{g.L}^{-1}$.

Certaines ne sont plus autorisées :

- Des herbicides avec le monuron et le diuron sur GG et BDL (canne et maraichage), l'hydroxyterbuthylazine sur GG et LD et la desmetryne sur LD.
- Le fongicide byphenyl sur GG.
- Des insecticides et nématicides avec de la rotenone sur GG, du bendiocarbe et du pentachlorophenol sur BDL, ainsi que du terbuphos et de l'hydraméthylnon sur LD.

L'origine de ces molécules n'est pas toujours clairement identifiable. Certaines peuvent être issues de pollutions historiques stockées dans les sols et re-larguées occasionnellement dans les cours d'eau suite à des phénomènes pluviaux ou érosifs

spécifiques. D'autres peuvent provenir d'usages isolés de produits stockés par certains agriculteurs ou particuliers ou obtenus via des voies illégales.

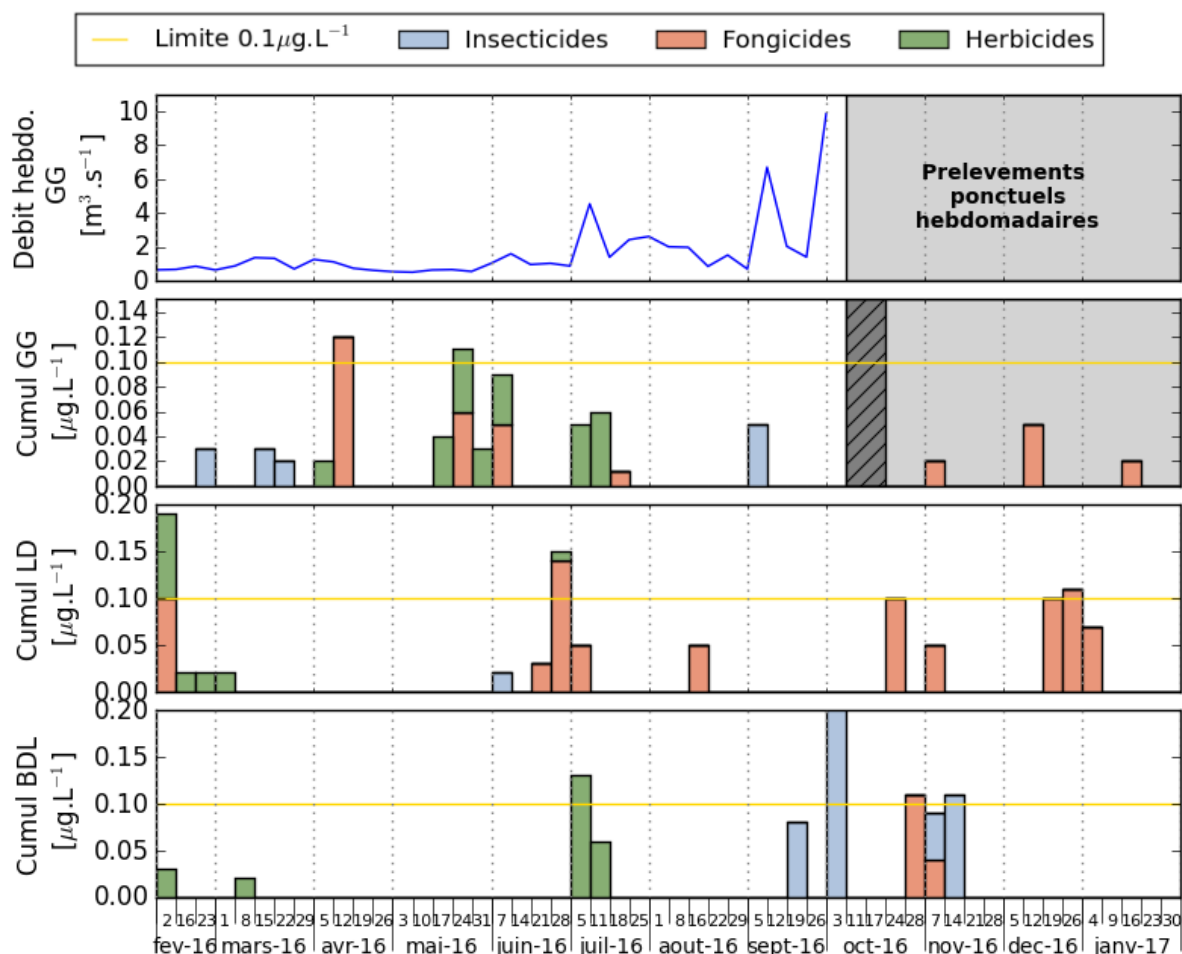


Figure 15 : Profils des contaminations ponctuelles par type de molécule

Les profils de ces contaminations ponctuelles sont présentés en Figure 15 par type de molécule. Il apparaît difficile d'en dégager un processus annuel dans leur transfert ou leur utilisation.

On retrouve une grande diversité de molécules sur l'ensemble des stations. Nous avons noté quatre détections consécutives de pendimethaline <0.1 µg.L⁻¹ (herbicide canne) sur GG au début de la période de récolte de la canne. Les fongicides utilisés pour le traitement de la cercosporiose dépassent les 0.1 µg.L⁻¹ une semaine sur GG et 5 semaines sur LD.

Le cumul des concentrations est généralement faible (<0.1 µg.L⁻¹ dans 93% des cas) et ponctuellement très élevé (pic de piperonyl butoxide à 3.63 µg.L⁻¹ sur BDL 03/10/2016). Les détections surviennent cependant toute l'année avec une diversité de sources potentielles. Les usages correspondants sont inégalement caractérisés et mériteraient d'être approfondis. Ces pollutions constituent donc un enjeu de gestion complexe pour la préservation de la qualité des rivières.

4. Evolution des tendances

De 2007 à 2012, des prélèvements d'eau ponctuels et mensuels ont été réalisés par l'ODE à l'exutoire de la rivière Galion (station GG). Les 72 échantillons générés ont fait l'objet d'analyses de multi-résidus de pesticides, effectués par le LDA26. Les résultats de ces analyses ont été traités par Della Rossa et al. (2015) et mis en relations avec les données obtenues sur les pratiques phytosanitaires présentes sur le bassin versant (Raimbault, 2014). Nos résultats permettent de suivre l'évolution des tendances décrites entre 2007 et 2012.

4.1 Dissipation de certaines contaminations

Della Rossa et al. (2015) avaient identifié deux molécules présentant un profil de contamination décroissant : le diuron (herbicide) et le bitertanol (fongicide post-récolte), interdits en 2008 et 2011.

Nos analyses permettent de confirmer ces tendances. Le bitertanol n'a pas été retrouvé dans nos échantillons. Le diuron n'a été détecté que deux fois sur GG ($< 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$) et deux fois sur BDL ($< 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$ et entre 0.1 et $2 \mu\text{g.L}^{-1}$). Ces molécules ont pu disparaître suite à leur interdiction et ont entraîné des contaminations chroniques sur le moyen terme uniquement. Il n'est cependant pas possible de définir l'origine des détections de diuron (réminiscences, remobilisation suite à des travaux du sol ou usages isolés).

Le monuron (herbicide) fait l'objet du même type d'évolution. Interdit en 1998 mais durablement stocké dans les sols, il est apparu dans la rivière de manière chronique entre 2007 et 2012 avec plusieurs pics de contamination $> 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$. Il a été détecté au cours de notre campagne à 4 reprises sur GG à une concentration toujours $< 0.1 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le phénomène de réminiscence tend donc à se résorber mais demande tout de même une attention particulière.

4.2 Des contaminations chroniques à la hausse

4.2.1 Confirmation des tendances chroniques

De 2007 à 2012, deux molécules présentaient un profil de contamination chronique avec des teneurs relativement constantes toute l'année : la chlordécone et l'imazalil (fongicide post-récolte). Aucun lien n'avait pu être identifié entre leur détection et les paramètres hydrologiques du milieu.

Notre campagne d'analyses permet de confirmer cette tendance pour la chlordécone et ses métabolites de dégradation. Des profils similaires ont été identifiés sur LD et BDL, confirmant la dimension territoriale de la problématique de pollution des milieux aquatiques à la chlordécone.

Les profils issus de nos analyses révèlent une tendance à la baisse des détections d'imazalil à partir d'octobre 2016. Comme évoqué précédemment, deux hypothèses subsistent quant à l'origine de cette tendance. Un suivi sur plus long terme est donc nécessaire.

4.2.2 *Emergences de contaminations chroniques suite aux transferts d'usages*

De 2007 à 2012, deux fongicides post-récoltes présentaient un profil de détections croissant : le thiabendazole, apparu en juillet 2010 avec une tendance chronique ; et l'azoxystrobine, apparue en juillet 2012 suite à son homologation en janvier 2012. Ces substances sont aujourd'hui utilisées par la grande majorité des exploitants cultivant de la banane export en substitution du bitertanol, interdit en 2011. Les tendances se confirment avec l'établissement de contaminations chroniques selon un profil saisonné d'alternance entre les deux molécules.

Ce phénomène met en lumière l'effet des changements de réglementation sur les transferts d'usage à la manière de vases communicants : l'interdiction d'un produit pousse les exploitants à se tourner vers un autre (ou une combinaison de plusieurs autres) présentant des caractéristiques similaires. Le problème de pollution des milieux aquatiques n'est donc que déplacé avec l'apparition de nouvelles contaminations. Pour avoir un effet réel sur les pratiques, l'interdiction d'une substance doit s'accompagner du développement de pratiques alternatives évitant ce transfert d'usage. C'est ce qui peut expliquer la tendance à la baisse observée en fin de campagne sur l'azoxystrobine. Cette tendance doit être confirmée par un suivi sur le long terme.

4.2.3 *Mise en évidence de contaminations chroniques suite au changement de méthode*

Nous remarquons certaines évolutions dans les profils de contamination liées au changement de méthode pour les prélèvements. Le suivi de 2007 à 2012 révélait des contaminations ponctuelles aux herbicides : DCPU, AMPA, métolachlore, 2,4-D, asulam et glyphosate. Notre nouvelle campagne de prélèvement révèle des contaminations chroniques au glyphosate et à l'AMPA sur l'ensemble des stations, ainsi qu'au métolachlore et au 2,4-D sur GG.

La méthode de prélèvement explique en grande partie le changement de profil de ces contaminations. Le passage de prélèvements ponctuels mensuels à un échantillonnage composite hebdomadaire rend la méthode plus intégrative par nature. Elle permet d'intégrer à l'échantillon des pics de contamination lié aux usages ou à un événement hydrologique particulier et lisse l'ensemble des pics captés en une concentration hebdomadaire moyenne. Elle donne ainsi une meilleure image des flux de résidus de pesticides circulant par les cours d'eau. Ceci se confirme par la disparition du métolachlore sur la station GG après le passage en prélèvements ponctuels (Figure 14).

5. Mise en perspectives

5.1 Les apports du dispositif de suivi

Le dispositif mis en place sur le bassin versant du Galion marque une évolution dans le pilotage des projets visant à réduire l'impact de l'agriculture sur l'environnement en Martinique. La méthode employée présente certains avantages qui permettent d'affiner la connaissance des mécanismes de pollution des milieux aquatiques.

Comme évoqué précédemment, l'échantillonnage hebdomadaire composite agrégeant des prélèvements unitaires réalisés tous les 1h16 permet un suivi continu des pollutions par les pesticides. Il limite les risques de non-détection et donne une idée des flux de polluants, permettant un gain de résolution dans la compréhension des dynamiques temporelles de contamination des eaux. Cette visibilité des flux pourrait encore s'améliorer avec des méthodes d'échantillonnage composite asservis au volume plutôt qu'au temps. Ce type de méthode établit la corrélation directe entre débit et pollution, permettant d'estimer les quantités de contaminants circulant dans les cours d'eau. Un nouveau protocole du type et en développement et sera testé sur LD à partir d'Août 2017.

En suivant la contamination en 3 points du bassin versant, le dispositif intègre une dimension géographique à la compréhension de la problématique. Couplé à l'étude des pratiques phytosanitaires et des caractéristiques du milieu sur chaque sous bassin versant instrumenté, cela nous ouvre une porte vers l'identification des sources et des conditions d'émission des polluants. La station LD présente en ce sens un intérêt particulier. Intégrant les pratiques de peu d'exploitants (4), qu'il est plus facile de suivre, elle permet de mesurer l'effet direct des changements de pratiques sur la qualité de l'eau. Son sous bassin versant pourrait devenir un terrain pilote pour caractériser la pertinence des changements de pratiques sur la qualité des eaux.

5.2 Perspectives d'avenir du dispositif

Notre première campagne de prélèvements et d'analyses nous a permis de dégager des profils de contamination validant et complétant les tendances observées par l'ODE (Rateau, 2013) et Della Rossa et al. (2015) entre 2007 et 2012 :

- La pollution historique par la chlordécone impacte durablement et de façon constante la qualité des milieux aquatiques en zone contaminée.
- La contamination des cours d'eau par les herbicides est une problématique territoriale, plus ou moins saisonnée selon les systèmes de culture.
- L'évolution de la réglementation amène à des transferts d'usage, modifiant les profils de contamination des cours d'eau.
- La contamination aux fongicides post-récoltes est une problématique majeure des zones accueillant des hangars de conditionnement de banane.

Nous avons émis plusieurs hypothèses quant à l'effet des pratiques phytosanitaires sur les contaminations observées. Cependant, certaines interrogations persistent quant à la part de ces phénomènes imputable aux aléas climatiques ou aux changements de pratiques. Cette première année de suivi doit donc être considérée comme une campagne de référence pour le nouveau dispositif. Les prochaines campagnes nous renseigneront sur l'évolution de ces tendances et les phénomènes en jeu. Selon nous, deux dynamiques de changement de pratiques à l'œuvre sur le territoire doivent à l'avenir bénéficier d'une attention particulière :

- La substitution des traitements herbicide par la fauche de couverts spontanés ou implantés pourrait permettre une diminution de la contamination aux herbicides.
- Les changements de pratiques sur les fongicides post-récoltes, dont le lien avec la tendance décroissante de contamination reste incertain.

Tache 2 : Communication et animation

1. Animation du bassin

Trois autres travaux de recherche ont été menés par l'unité HortSys du Cirad sur le bassin versant du Galion entre janvier 2016 et février 2017 :

- **Landry DEFFONTAINES** – Analyse des processus d'évolution des pratiques de gestion de l'enherbement : Compréhension des dynamiques individuelles et collectives au sein du réseau d'acteurs du bassin versant du Galion.
- **Jessica MENCE** – Evaluation technico-économique des pratiques de gestion de l'enherbement.
- **Carole ARNAL** – Dynamiques d'application des pesticides : Analyse de la gestion temporelle des applications de pesticides par les agriculteurs du bassin versant du Galion.

Ces travaux ont fait l'objet d'un total de 69 entretiens auprès de 38 agriculteurs du territoire et de 8 organismes liés au développement agricole. L'animation du bassin sur l'exercice de cette convention a principalement consisté aux restitutions de ces travaux auprès des acteurs concernés. L'objectif de ces restitutions était de maintenir le dialogue entre le Cirad et les différents acteurs du territoire (agriculteurs et organismes chargés du développement agricole). Elles visaient à les informer des projets de recherche menés par le Cirad sur le bassin versant du Galion, à leur permettre un accès aux résultats des recherches et à échanger sur leurs éventuelles revendications ou interrogations concernant nos actions.

1.1 Réunion de restitution

Une réunion de restitution des travaux de Landry DEFFONTAINES a été organisée le 23 Juin 2016 à la Maison des Associations de Gros-Morne. Y étaient conviés tous les agriculteurs ayant participé à cette étude. L'objectif était de présenter les résultats obtenus quant aux processus d'évolution des pratiques de gestion de l'enherbement et d'ouvrir la discussion sur les freins et leviers rencontrés par les agriculteurs dans le changement de pratique. La réunion a également permis une information plus générale sur les projets menés par le Cirad sur le territoire.

Face à la faible mobilisation des agriculteurs pour cet évènement (seules 3 personnes présentes sur les 31 invitées), une réflexion a été amorcée pour structurer les échanges entre le Cirad et les agriculteurs. En est ressorti la difficulté de trouver des disponibilités communes pour les rencontres d'un grand nombre d'agriculteurs. La décision a été prise de réserver ce type de réunion pour des ateliers impliquant au maximum les agriculteurs et pour lesquels ils pourraient retirer un bénéfice personnel (ateliers techniques, jeux de rôle...). La restitution des travaux du Cirad s'est par la suite orientée vers des entretiens individuels, maximisant nos chances de rencontrer l'ensemble des personnes impliquées et d'amorcer un véritable échange.

1.2 Restitution auprès des acteurs du développement agricole

Les travaux de Landry DEFFONTAINES ont fait l'objet d'une restitution auprès des acteurs du développement agricole : IT2, BANAMART, CTCS et Chambre d'agriculture.

Ces restitutions se sont déroulées sous forme d'entretiens individuels entre décembre 2016 et janvier 2017 avec les personnes rencontrées. Ils ont permis de :

- Clarifier des résultats et conclusions de l'étude
- Valider et approfondir ses résultats via le retour d'expérience des acteurs rencontrés
- Amorcer une discussion sur les implications éventuelles de ces résultats dans le travail d'accompagnement technique de ces organismes.

Ces retours ont donné lieu à d'importantes discussions permettant un enrichissement mutuel quant aux méthodes d'accompagnement des agriculteurs.

1.3 Restitution auprès des agriculteurs

Un retour auprès de chaque agriculteur rencontré dans le cadre de ces travaux de recherche est actuellement en cours. Des livrets individuels sur les conclusions de chacune des 3 études ont été réalisés. Ces supports ont été enrichis par les discussions advenues lors des restitutions auprès des acteurs institutionnels. Leur diffusion s'est faite sous forme d'entretiens individuels donnant lieu à :

- Une présentation des conclusions générales de chaque étude suivie d'une discussion sur leurs implications dans le travail des agriculteurs,
- Une présentation des résultats individuels de chaque agriculteur suivi d'une discussion afin de les valider, de les approfondir et de juger des éventuelles évolutions faites depuis nos dernières rencontres.

Ces entretiens ont permis de maintenir le dialogue avec les agriculteurs du bassin versant du Galion amorcé depuis 2014. Ils constituent un espace d'échange plus informel que les entretiens réalisés dans le cadre des études, nous permettant d'être plus à l'écoute de leurs attentes et de leurs problématiques. Nous notons pour l'instant un intérêt de la part des agriculteurs pour ces restitutions qui leurs permettent de comprendre les implications des travaux pour lesquels nous les sollicitons.

2. Vulgarisation

Dans l'exercice de cette convention, différents supports de vulgarisation ont été réalisés :

- Un poster de sensibilisation aux enjeux de pollution des milieux aquatiques par les pesticides et aux mécanismes de transfert (annexe 3)
- Un poster de sensibilisation sur les alternatives permettant de réduire l'impact de l'agriculture sur les milieux aquatiques (annexe 4)
- Une maquette synthétisant les informations présentes sur les posters (Figure 16).

Ces supports sont exposés en permanence prêt de l'accueil du CAEC, bâtiment hébergeant le Cirad. Ils ont également été présentés sur le stand du Cirad à la fête de la science en octobre 2016 et lors d'une visite du CAEC par des collégiens vainqueurs du concours « C.Génial » en juin 2017.



Figure 16 : Maquette de sensibilisation aux enjeux environnementaux liés aux pesticides

Conclusion

Le projet a permis de mener la première année de suivi hebdomadaire des pesticides dans les eaux en trois points du bassin versant du Galion. Il a permis d'identifier différents types de pollution aux origines très diverses et nécessitant des stratégies de gestion adaptées. L'approfondissement de ces questions et l'intégration des connaissances générées dans le dispositif d'accompagnement est attendu via le projet RIVAGE. Ce projet devrait permettre d'intégrer des études plus fines sur les processus de transfert de pesticides et s'intéresser également aux aspects socio-économiques de cette problématique (freins au changement de pratiques, accès à l'information, représentation du bassin).

Bibliographie

- Amalric, L., 2009. Analyse des pesticides dans les eaux. *Géologues* 162, 14-21.
- Arnal, C., 2017. Développement d'une méthodologie d'estimation de la dynamique de pression liée aux utilisations des pesticides à l'échelle de grands bassins versants. *AgroParisTech*. AgroParisTech, p. 46.
- Baran, N., Arnaud, L., 2013. Cartographie des risques de contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires en Martinique. BRGM.
- Bricquet, J.-P., 2013. Mise en place de bassins versants instrumentés en Guadeloupe et en Martinique - Rapport d'installation des équipements hydrologiques. IRD, p. 61.
- Cabidoche, Y.M., Achard, R., Cattan, P., Clermont-Dauphin, C., Massat, F., Sansoulet, J., 2009. Long-term pollution by chlordane of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environ. Pollut.* 157, 1697-1705.
- Colmet-Daage, F., 1969. Carte pédologique de la Martinique 1/20 000.
- Crabit, A., Cattan, P., Colin, F., Voltz, M., 2016. Soil and river contamination patterns of chlordane in a tropical volcanic catchment in the French West Indies (Guadeloupe). *Environ. Pollut.* 212, 615-626.
- Deffontaines, L., 2016. Analyse des processus d'évolution des pratiques de gestion de l'enherbement. Compréhension des dynamiques individuelles et collectives au sein du réseau d'acteurs d'un bassin versant des Antilles françaises. ISARA, Lyon, France, p. 68.
- Della Rossa, P., Jannoyer, M., Mottes, C., Plet, J., Bazizi, A., Arnaud, L., Jestin, A., Woignier, T., Gaude, J.-M., Cattan, P., 2017. Linking current river pollution to historical pesticide use: Insights for territorial management? *Sci. Total Environ.* 574, 1232-1242.
- Della Rossa, P., Mottes, C., Lesueur Jannoyer, M., 2016. Appui au pilotage et au suivi du dispositif d'instrumentation pour la caractérisation des pesticides Cirad, ODE, p. 48.
- Della Rossa, P., Raimbault, M., Lesueur Jannoyer, M., Mottes, C., 2015. Rapport de Synthèse. Appui au pilotage et au suivi du dispositif d'instrumentation pour la caractérisation des pesticides au sein du bassin versant de la rivière Galion (Action 9 PNA 2 chlordécone). p. 31.
- Footprint, 2013. The Pesticide Properties Database (PPDB) developed by the Agriculture & Environment Research Unit (AERU), University of Hertfordshire, funded by UK national sources and the EU-funded FOOTPRINT project (FP6-SSP-022704).
- Footprint, 2017. The Pesticide Properties Database (PPDB) developed by the Agriculture & Environment Research Unit (AERU), University of Hertfordshire, funded by UK national sources and the EU-funded FOOTPRINT project (FP6-SSP-022704).
- Grandcoin, A., Piel, S., Baurès, E., 2017. AminoMethylPhosphonic acid (AMPA) in natural waters: Its sources, behavior and environmental fate. *Water Research* 117, 187-197.

Mottes, C., 2013. Evaluation des effets des systèmes de culture sur l'exposition aux pesticides des eaux à l'exutoire d'un bassin versant. Proposition d'une méthodologie d'analyse appliquée au cas de l'horticulture en Martinique. AgroParisTech - ABIES, Paris, p. 209 + annexes.

Mottes, C., Lesueur-Jannoyer, M., Charlier, J.-B., Carles, C., Guéné, M., Le Bail, M., Malézieux, E., 2015. Hydrological and pesticide transfer modeling in a tropical volcanic watershed with the WATPPASS model. *J. Hydrol.* 529, Part 3, 909-927.

Mottes, C., Lesueur Jannoyer, M., Le Bail, M., Guene, M., Carles, C., Malezieux, E., 2017. Relationships between past and present pesticide applications and pollution at a watershed outlet: The case of a horticultural catchment in Martinique, French West Indies. *Chemosphere* 184, 762-773.

Raimbault, M., 2014. Diagnostic des pratiques phytosanitaires à l'échelle d'un bassin versant et pression potentielle sur le qualité de l'eau de rivière. Cas du bassin versant du Galion, Martinique. AgroParisTech. AgroParisTech, Paris, p. 68.

Rateau, F., 2013. Les produits phytosanitaires dans les cours d'eau de Martinique - Atlas des pesticides. in: Martinique, O. (Ed.). ODE, p. 48.

Struger, J., Van Stempvoort, D.R., Brown, S.J., 2015. Sources of aminomethylphosphonic acid (AMPA) in urban and rural catchments in Ontario, Canada: Glyphosate or phosphonates in wastewater? *Environ. Pollut.* 204, 289-297.

Table des illustrations

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Le bassin versant du Galion - Instrumentation, hydrographie et occupation des sols (RPG, 2015) | 11 |
| Figure 2 : Equipement des stations de prélèvement..... | 14 |
| Figure 3 : Destruction de la station GG | 15 |
| Figure 4 : Nouvelle station GG | 15 |
| Figure 5 : Synthèse des délais d'acheminement et des températures de réception des échantillons par le LDA26. En vert : gamme optimale de température de réception par le LDA26..... | 17 |
| Figure 6 : Description des seuils de potabilité et de potabilisation vis-à-vis des pesticides..... | 18 |
| Figure 7 : Profils de pollution en concentrations cumulées sur les trois stations GG, LD et BDL. (Source débits GG : DEAL Martinique)..... | 20 |
| Figure 8 : Fréquence de détection des pesticides aux différentes classes de concentrations sur la station GG | 22 |
| Figure 9 : Fréquence de détection des pesticides aux différentes classes de concentrations sur la station LD | 22 |
| Figure 10 : Fréquence de détection des pesticides aux différentes classes de concentrations sur la station BDL | 23 |
| Figure 11 : Profils de contamination aux organochloré : chlordécone, coproduits et métabolites de dégradation ; β -HCH | 24 |
| Figure 12 : Profils de contamination au Glyphosate et à l'AMPA..... | 26 |
| Figure 13 : Profils de contamination pour les fongicides post-récoltes | 28 |
| Figure 14 : Profils de contamination au métolachlore et 2,4-D sur la station Grand Galion | 30 |
| Figure 15 : Profils des contaminations ponctuelles par type de molécule | 32 |
| Figure 16 : Maquette de sensibilisation aux enjeux environnementaux liés aux pesticides..... | 38 |

Annexes

Annexe 1 : Liste des molécules recherchées par le LDA26

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|---|--|
| 1930 | 1-(3,4-DichloroPhényl Urée) (DCPU) | Insecticide |
| 1929 | 1-(3,4-Dichlorophényl-3-Méthyl Urée (DCPMU) | Métabolite |
| 2847 | 1-(4-IsopropylPhényl) Urée | Métabolite |
| 2872 | 2,4 D - Isopropyl-Ester | Herbicide, Plant Growth Regulator, Metabolite |
| 2873 | 2,4 D - Methyl-Ester | Herbicide |
| 1143 | 2,4' DDD | |
| 1145 | 2,4' DDE | |
| 1147 | 2,4' DDT | |
| 1264 | 2,4,5-T | Herbicide, Plant growth regulator |
| 1141 | 2,4-D | Herbicide, Plant Growth Regulator, Metabolite |
| 1142 | 2,4-DB | Herbicide |
| 1212 | 2,4-MCPA | |
| 1213 | 2,4-MCPB | |
| 2011 | 2,6 Dichlorobenzamide | Fongicide |
| 1144 | 4,4' DDD | |
| 1146 | 4,4' DDE | |
| 1148 | 4,4' DDT | |
| 2007 | Abamectine | Insecticide, Acaricide, Nematicide, Metabolite, Veterinary treatment |
| 5579 | Acetamiprid | Insecticide |
| 1903 | Acetochlor | Herbicide |
| 5581 | Acibenzolar-s-Méthyl | Fongicide, Insecticide |
| 1970 | Acifluorfen | Herbicide |
| 1688 | Aclonifen | Herbicide |
| 1310 | Acrinathrine | Insecticide, Acaricide |
| 1101 | Alachlore | Herbicide |
| 1102 | Aldicarbe | Insecticide, Acaricide, Nematicide |
| 1807 | Aldicarbe Sulfone | Insecticide, Acaricide, Nematicide |
| 1806 | Aldicarbe Sulfoxyde | Insecticide, Acaricide, Nematicide |
| 1103 | Aldrine | Insecticide |
| 1697 | Allethrine | Insecticide |
| 1812 | Alphaméthrine | Insecticide, Veterinary treatment |
| 1104 | Amétryne | Herbicide |
| 2012 | Amidosulfuron | Herbicide |
| 1105 | Aminotriazole | Herbicide |
| 1308 | Amitraze | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 1907 | AMPA (Acide Amino Méthyl Phosphonique | Métabolite |
| 2013 | Anthraquinone | Repellent |
| 1965 | Asulam | Herbicide |
| 1107 | Atrazine | Herbicide |
| 1109 | Atrazine Déisopropyl | Herbicide |
| 1108 | Atrazine Déséthyl | Herbicide |
| 2014 | Azaconazol | Fongicide |
| 2015 | Azamétiphos | Insecticide, Veterinary treatment |
| 2937 | Azimsulfuron | Herbicide |
| 1110 | Azinphos Ethyl | Insecticide, Acaricide |
| 1111 | Azinphos Méthyl | Insecticide |
| 1951 | Azoxystrobin | Fongicide |
| 1687 | Bénalaxyl | Fongicide |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|------------------------|--|
| 1329 | Bendiocarbe | Insecticide, Veterinary treatment |
| 1112 | Benfluraline | Herbicide |
| 2924 | Benfuracarbe | Insecticide |
| 1407 | Bénomyl | Fongicide, Miticide |
| 2074 | Benoxacor | Herbicide safener, Other product constituent |
| 5512 | Bensulfuron-Méthyl | Herbicide |
| 1113 | Bentazone | Herbicide |
| 1764 | Benthiocarbe | |
| 3209 | Béta-Cyfluthrine | Insecticide |
| 5545 | Bifenazate | Insecticide, Acaricide |
| 1119 | Bifénox | Herbicide |
| 1120 | Bifentrine | Insecticide, Acaricide |
| 1502 | Bioesmétrine | Insecticide |
| 1584 | Biphenyl | Fongicide |
| 1529 | Bitertanol | Fongicide |
| 5526 | Boscalid | Fongicide |
| 5546 | Brodifacoum | Rodenticide |
| 1686 | Bromacil | Herbicide |
| 1859 | Bromadiolone | Rodenticide |
| 1123 | Bromophos Ethyl | Insecticide |
| 1124 | Bromophos Méthyl | Insecticide |
| 1685 | Bromopropylate | Acaricide |
| 1125 | Bromoxynil | Herbicide, Metabolite |
| 1941 | Bromoxynil Octanoate | Herbicide |
| 1860 | Bromuconazole | Fongicide |
| 1861 | Bupirimate | Fongicide |
| 1862 | Buprofézine | Insecticide, Acaricide |
| 1126 | Butraline | Herbicide, Plant growth regulator |
| 1531 | Buturon | Herbicide |
| 1863 | Cadusaphos | Insecticide, Nematicide |
| 1127 | Captafol | Fongicide |
| 1128 | Captane | Fongicide, Bactericide |
| 1463 | Carbaryl | Insecticide, Plant growth regulator |
| 1129 | Carbendazime | Fongicide, Metabolite |
| 1333 | Carbétamide | Herbicide |
| 1130 | Carbofuran | Insecticide, Nematicide, Acaricide, Metabolite |
| 1805 | Carbofuran-3-Hydroxy | Insecticide, Nematicide, Acaricide, Metabolite |
| 1131 | Carbophénothion | Insecticide, Acaricide |
| 1864 | Carbosulfan | Insecticide, Nematicide |
| 2975 | Carboxine | Fongicide |
| 2976 | Carfentrazone-Ethyl | Herbicide |
| 1865 | Chinométhionate | Fongicide, Acaricide, Miticide |
| 2016 | Chlorbromuron | Herbicide |
| 1336 | Chlorbufame | Herbicide |
| 1132 | Chlordane | Insecticide |
| 7010 | Chlordane alpha | |
| 1757 | Chlordane Béta | |
| 1758 | Chlordane gamma | |
| 7527 | Chlordecol | |
| 1866 | Chlordécone | Insecticide, Fongicide, Metabolite |
| 6577 | Chlordecone 5b Hydro | |
| 1464 | Chlorfenvinphos | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 2950 | Chlorfluazuron | Insecticide |
| 1133 | Chloridazone (Pyrazon) | Herbicide |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|------------------------------|---|
| 1134 | Chlorméphos | Insecticide |
| 1341 | Chloroneb | Fongicide |
| 1684 | Chlorophacinone | Rodenticide |
| 1473 | Chlorothalonil | Fongicide |
| 1683 | Chloroxuron | Herbicide |
| 1474 | Chlorpropham | Herbicide, Plant growth regulator |
| 1083 | Chlorpyrifos Ethyl | Insecticide |
| 1540 | Chlorpyrifos Méthyl | Insecticide, Acaricide |
| 1353 | Chlorsulfuron | Herbicide |
| 2966 | Chlorthal Diméthyl | Herbicide |
| 1813 | Chlorthiamide | Herbicide |
| 1136 | Chlortoluron | Herbicide |
| 2938 | Cinidon-Ethyl | Herbicide |
| 2978 | Clethodim | Herbicide |
| 2095 | Clodinafop-Propargyl | Herbicide |
| 1868 | Clofentézine | Acaricide |
| 2017 | Clomazone | Herbicide |
| 1810 | Clopyralide | Herbicide |
| 2018 | Cloquintocet Méxyl | Herbicide safener |
| 1682 | Coumaphos | |
| 2019 | Coumatétralyl | Rodenticide |
| 1137 | Cyanazine | Herbicide |
| 5567 | Cyazofamide | Fongicide |
| 2729 | Cycloxydime | Herbicide |
| 1696 | Cycluron | Herbicide |
| 1681 | Cyfluthrine | Insecticide |
| 5569 | Cyhalofop Butyl | Herbicide |
| 1139 | Cymoxanil | Fongicide |
| 1140 | Cyperméthrine | Insecticide, Veterinary Treatment |
| 1680 | Cyproconazol | Fongicide |
| 1359 | Cyprodinil | Fongicide |
| 1869 | Dazomet | Insecticide, Fongicide, Herbicide, Fumigant |
| 1149 | Deltaméthrine | Insecticide, Metabolite, Veterinary treatment |
| 1550 | Déméton (O+S) | Insecticide, Acaricide |
| 1150 | Demeton O | Insecticide, Acaricide |
| 1153 | Déméton S Methyl | Insecticide, Acaricide |
| 1154 | Déméton S Methyl Sulfone | Insecticide, Acaricide, Metabolite |
| 2980 | Desmedipham | Herbicide |
| 2738 | Desméthylisoproturon (IPPMU) | Metabolite |
| 1155 | Desmétryne | Herbicide |
| 1156 | Diallate | Herbicide |
| 1157 | Diazinon | Insecticide, Acaricide, Repellent, Veterinary treatment |
| 1480 | Dicamba | Herbicide |
| 1679 | Dichlobenil | Herbicide, Metabolite |
| 1159 | Dichlofenthion | Insecticide |
| 1360 | Dichlofluanide | Fongicide |
| 1171 | Dichlofop Méthyl | Herbicide |
| 1586 | Dichloroaniline 3,4 | |
| 2981 | Dichlorophène | Fongicide, Algicide, Bactericide, Veterinary treatment |
| 1169 | Dichlorprop | Herbicide |
| 1170 | Dichlorvos | Insecticide, Acaricide, Metabolite |
| 1172 | Dicofol | Acaricide |
| 1173 | Dieldrine | Insecticide, Metabolite |
| 1402 | Diethofencarbe | Fongicide |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|---------------------------|------------------------------------|
| 2982 | Difenacoum | Rodenticide |
| 1905 | Difénoconazole | Fongicide |
| 2983 | Difethialone | Rodenticide |
| 1488 | Diflubenzuron | Insecticide |
| 1814 | Diflufénicanil | Herbicide |
| 1870 | Diméfuron | Herbicide |
| 2546 | Dimétachlor | Herbicide |
| 1678 | Diméthénamide | Herbicide |
| 1175 | Diméthoate | Insecticide, Acaricide, Metabolite |
| 1403 | Diméthomorphe | Fongicide |
| 1698 | Dimetilan | |
| 1871 | Diniconazole | Fongicide |
| 1490 | DiNitroOrthoCrésol (DNOC) | Herbicide, Insecticide, Acaricide |
| 5619 | Dinocap | Fongicide, Acaricide |
| 1491 | Dinosèbe | Herbicide |
| 1176 | Dinoterbe | Herbicide |
| 1699 | Diquat | Herbicide |
| 1492 | Disulfoton | Insecticide, Acaricide |
| 1966 | Dithianon | Fongicide |
| 6235 | Dithiocarbamates (CS2) | |
| 1177 | Diuron | Herbicide |
| 5622 | Dodemorphe | Fongicide |
| 1178 | Endosulfan Alpha | Insecticide, Acaricide |
| 1179 | Endosulfan Béta | |
| 1742 | Endosulfan Sulfate | |
| 1181 | Endrine | Insecticide, Avicide, Rodenticide |
| 1744 | Epoxyconazole | Fongicide |
| 1182 | EPTC | Herbicide |
| 1809 | Esfenvalérate | Insecticide |
| 1763 | Ethidimuron | Herbicide |
| 1183 | Ethion (Diethion) | Insecticide, Acaricide, Metabolite |
| 1874 | Ethiophencarbe | Insecticide |
| 1184 | Ethofumésate | Herbicide |
| 1495 | Ethoprophos | Insecticide, Nematicide |
| 5624 | Etofenprox | Insecticide |
| 5625 | Etoxazole | Acaricide |
| 2020 | Famoxadone | Fongicide |
| 2057 | Fénamidone | Fongicide |
| 1185 | Fénarimol | Fongicide |
| 2742 | Fénazaquin | Acaricide, Insecticide |
| 1906 | Fenbuconazole | Fongicide |
| 1186 | Fenchlorphos | Insecticide, Veterinary treatment |
| 2743 | Fenhéxamide | Fongicide |
| 1187 | Fénitrothion | Insecticide |
| 1973 | Fénoxaprop Ethyl | Herbicide |
| 1967 | Fénoxycarbe | Insecticide |
| 1188 | Fenpropathrine | Insecticide, Acaricide |
| 1700 | Fenpropidine | Fongicide |
| 1189 | Fenpropimorphe | Fongicide |
| 5630 | Fenpyroximate E | Acaricide |
| 1190 | Fenthion | Insecticide |
| 1500 | Fénuron | Herbicide |
| 2009 | Fipronil | Insecticide, Veterinary treatment |
| 1939 | Flazasulfuron | Herbicide |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|--|-----------------------------------|
| 5633 | Flocoumafén | Rodenticide |
| 2810 | Florasulam | Herbicide |
| 1404 | Fluazifop-p-Butyl | Herbicide |
| 2984 | Fluazinam | Fongicide |
| 2022 | Fludioxonil | Fongicide |
| 1676 | Flufénoxuron | Insecticide, Acaricide |
| 2023 | Flumioxazine | Herbicide |
| 2565 | Flupyrulfuron Méthyl | Herbicide |
| 2056 | Fluquinconazole | Fongicide |
| 1974 | Fluridone | Herbicide |
| 1675 | Flurochloridone | Herbicide |
| 1765 | Fluroxypyr | Herbicide |
| 2547 | Fluroxypyr Methyl Heptyl Ester | Herbicide |
| 2024 | Flurprimidol | Plant growth regulator |
| 2008 | Flurtamone | Herbicide |
| 1194 | Flusilazole | Fongicide |
| 2985 | Flutolanil | Fongicide |
| 1503 | Flutriafol | Fongicide |
| 1192 | Folpel | Fongicide |
| 2075 | Fomesafen | Herbicide |
| 1674 | Fonofos | Insecticide |
| 2806 | Foramsulfuron | Herbicide |
| 1703 | Formétanate Hydrochloride | Insecticide, Acaricide |
| 1504 | Formothion | Insecticide, Acaricide |
| 1975 | Fosetyl Aluminium | Fongicide |
| 2744 | Fosthiazate | Insecticide |
| 1908 | Furalaxyl | Fongicide |
| 2567 | Furathiocarbe | Insecticide |
| 2731 | Glufosinate d'ammonium | Herbicide |
| 1506 | Glyphosate | Herbicide |
| 2047 | Haloxypop | Herbicide |
| 1200 | HCH Alpha | |
| 1201 | HCH Beta | |
| 1202 | HCH Delta | |
| 2046 | HCH Epsilon | |
| 1203 | HCH Gamma (Lindane) | |
| 1197 | Heptachlore | Insecticide |
| 1749 | Heptachlore Endo Epoxyde | |
| 1198 | Heptachlore Epoxyde (Somme des isomères) | |
| 1748 | Heptachlore Exo Epoxyde | |
| 1910 | Hepténophos | Insecticide |
| 1199 | Hexachlorobenzène | Fongicide, Metabolite |
| 1405 | Hexaconazole | Fongicide, Wood Preservative |
| 1875 | Hexaflumuron | Insecticide |
| 1673 | Hexazinone | Herbicide |
| 1876 | Hexythiazox | Acaricide |
| 5644 | Hydramethylnon | Insecticide |
| 1832 | Hydroxyatrazine (2 Hydroxy) | Metabolite |
| 1954 | Hydroxyterbutylazine | Metabolite |
| 1704 | Imazalil | Fongicide, Veterinary treatment |
| 1911 | Imazamétabenz-Méthyl | Herbicide |
| 2090 | Imazapyr | Herbicide |
| 2860 | Imazaquine | Herbicide, Plant growth regulator |
| 1877 | Imidaclopride | Insecticide, Veterinary treatment |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|---------------------------------------|--|
| 5483 | Indoxacarbe | Insecticide |
| 2025 | Iodofenphos | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 2563 | Iodosulfuron Méthyl | Herbicide |
| 1205 | Ioxynil | Herbicide, Metabolite |
| 2871 | Ioxynil Methyl Ester | Metabolite |
| 1942 | Ioxynil Octanoate | Herbicide |
| 1206 | Iprodione | Fongicide |
| 2951 | Iprovalicarbe | Fongicide |
| 1976 | Isazofos | Insecticide, Nematicide |
| 1207 | Isodrine | Insecticide |
| 1829 | Isophenphos | Insecticide |
| 1208 | Isoproturon | Herbicide |
| 1672 | Isoxaben | Herbicide |
| 1945 | Isoxaflutole | Herbicide |
| 1950 | Kresoxim Méthyl | Fongicide, Bacteriacide |
| 1094 | Lambda Cyhalothrine | Insecticide |
| 1406 | Lénacile | Herbicide |
| 1209 | Linuron | Herbicide |
| 2026 | Lufénuron | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 1210 | Malathion | Insecticide, Acaricide |
| 2745 | MCPA-1-Butyl Ester | Herbicide, Metabolite |
| 2746 | MCPA-2-Ethyl Hexyl Ester | Herbicide, Metabolite |
| 2747 | MCPA-Butoxy Ethyl Ester | Herbicide, Metabolite |
| 2748 | MCPA-Ethyl-Ester | Herbicide, Metabolite |
| 2749 | MCPA-Methyl-Ester | Herbicide, Metabolite |
| 1214 | Mecoprop (MCP) | Herbicide |
| 2750 | Mecoprop-1-Octyl Ester | Herbicide |
| 2751 | Mecoprop-2,4,4-Trimethyl Pentyl Ester | Herbicide |
| 2752 | Mecoprop-2-butoxy Ethyl Ester | Herbicide |
| 2753 | Mecoprop-2-Ethyl Hexyl Ester | Herbicide |
| 2754 | Mecoprop-2-Octyl Ester | Herbicide |
| 2755 | Mecoprop-Methyl Ester | Herbicide |
| 2870 | Mecoprop-n iso-Butyl Ester | Herbicide |
| 1968 | Mefénacet | Herbicide |
| 2930 | Mefenpyr-diéthyl | Herbicide safener |
| 2568 | Mefluidide | Herbicide, Plant growth regulator |
| 5533 | Mepanipyrim | Fongicide, Bactericide, Wood preservative |
| 1878 | Mépronil | Fongicide |
| 1510 | Mercaptodiméthur | |
| 2578 | Mésosulfuron Méthyl | Herbicide |
| 2076 | Mésotrione | Herbicide |
| 1706 | Métalaxyle | Fongicide |
| 1796 | Metaldéhyde | Molluscicide |
| 1215 | Métamitron | Herbicide |
| 1670 | Métazachlore | Herbicide |
| 1879 | Metconazole | Fongicide |
| 1216 | Methabenzthiazuron | Herbicide |
| 1671 | Methamidophos | Insecticide, Acaricide, Metabolite |
| 1217 | Méthidathion | Insecticide, Acaricide |
| 1218 | Méthomyl | Insecticide, Acaricide, Metabolite |
| 1511 | Méthoxychlore | Insecticide |
| 1515 | Métobromuron | Herbicide |
| 1221 | Métolachlore (R+S) | Herbicide |
| 1912 | Métosulam | Herbicide |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|-----------------------|---|
| 1222 | Métoxuron | Herbicide |
| 5654 | Metrafenone | Fongicide |
| 1225 | Métribuzine | Herbicide |
| 1797 | Metsulfuron méthyl | Herbicide, Metabolite |
| 1226 | Mévinphos | Insecticide, Acaricide |
| 5438 | Mirex | Insecticide |
| 1707 | Molinate | Herbicide |
| 1880 | Monocrotophos | Insecticide, Acaricide |
| 1227 | Monolinuron | Herbicide |
| 1228 | Monuron | Herbicide |
| 1881 | Myclobutanyl | Fongicide |
| 1516 | Naled | Insecticide, Acaricide |
| 1519 | Napropamide | Herbicide |
| 1937 | Naptalam | Herbicide |
| 1520 | Néburon | Herbicide |
| 1882 | Nicosulfuron | Herbicide |
| 1669 | Norflurazon | Herbicide |
| 2737 | Norflurazon Desméthyl | Insecticide |
| 1883 | Nuarimol | Fongicide |
| 2027 | Ofurace | Fongicide |
| 1230 | Ométhoate | Insecticide, Acaricide, Metabolite |
| 1668 | Oryzalin | Herbicide |
| 2068 | Oxadiargyl | Herbicide |
| 1667 | Oxadiazon | Herbicide |
| 1666 | Oxadixyl | Fongicide |
| 1850 | Oxamyl | Insecticide, Acaricide, Nematicide |
| 1231 | Oxydémeton Méthyl | Insecticide |
| 1952 | Oxyfluorène | Herbicide |
| 2545 | Pacloutrazole | Plant growth regulator |
| 1522 | Paraquat | Herbicide |
| 1232 | Parathion Ethyl | Insecticide, Acaricide |
| 1233 | Parathion Méthyl | Insecticide |
| 1762 | Penconazole | Fongicide |
| 1887 | Pencycuron | Fongicide |
| 1234 | Pendimethaline | Herbicide |
| 6394 | Penoxsulam | Herbicide |
| 1888 | Pentachlorobenzène | Herbicide |
| 1235 | Pentachlorophénol | Insecticide, Herbicide, Fongicide, Molluscicide, Plant growth regulator |
| 1523 | Perméthrine | Insecticide, Veterinary treatment |
| 1236 | Phenmediphame | Herbicide |
| 1525 | Phorate | Insecticide, Acaricide, Nematicide |
| 1237 | Phosalone | Insecticide, Acaricide |
| 1971 | Phosmet | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 1238 | Phosphamidon | Insecticide, Acaricide |
| 1665 | Phoxime | Insecticide, Disinfectant |
| 1708 | Picloram | Herbicide |
| 5665 | Picolinafen | Herbicide |
| 2669 | Picoxystrobine | Fongicide |
| 1709 | Piperonyl Butoxide | Insecticide |
| 1528 | Pirimicarbe | Insecticide |
| 5531 | Pirimicarbe Desmethyl | Metabolite |
| 1949 | Prétilachlore | Herbicide |
| 1253 | Prochloraze | Fongicide |
| 1664 | Procymidone | Fongicide |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|---------------------------------------|--|
| 1889 | Profenophos | Insecticide, Acaricide |
| 1710 | Promecarbe | Insecticide |
| 1254 | Prométhryne | Herbicide |
| 1711 | Prométon | Herbicide |
| 1712 | Propachlor | Herbicide |
| 6398 | Propamocarbe | Fongicide |
| 2988 | Propamocarbe Hydrochloride (Hcl) | Fongicide |
| 1532 | Propanil | Herbicide |
| 1972 | Propaquizafop | Herbicide |
| 1255 | Propargite | Acaricide |
| 1256 | Propazine | Herbicide |
| 5968 | Propazine-2-Hydroxy | Metabolite |
| 1533 | Propétamphos | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 1257 | Propiconazole | Fongicide |
| 1535 | Propoxur | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 5602 | Propoxycarbazone Sodium | Herbicide |
| 1414 | Propyzamide | Herbicide |
| 1092 | Prosulfocarbe | Herbicide |
| 2534 | Prosulfuron | Herbicide |
| 5416 | Pymetrozine | Insecticide |
| 2576 | Pyraclostrobin | Fongicide |
| 1258 | Pyrazophos | Fongicide |
| 1890 | Pyridabène | Insecticide, Acaricide |
| 1259 | Pyridate | Herbicide |
| 1663 | Pyrifénox | Fongicide |
| 1432 | Pyriméthanil | Fongicide |
| 1260 | Pyrimiphos Ethyl | Insecticide, Acaricide |
| 1261 | Pyrimiphos Méthyl | Insecticide, Acaricide |
| 5499 | Pyriproxyfen | Insecticide, Veterinary treatment |
| 1891 | Quinalphos | Insecticide, Acaricide |
| 2087 | Quinmerac | Herbicide |
| 2028 | Quinoxifène | Fongicide |
| 1538 | Quintozène | Fongicide |
| 2069 | Quizalofop | Herbicide |
| 2070 | Quizalofop Ethyl | Herbicide |
| 1892 | Rimsulfuron | Herbicide |
| 2029 | Rotenone | Insecticide, Acaricide |
| 1923 | Sébutylazine | Herbicide |
| 1262 | Secbuméton | Herbicide |
| 5609 | Silthiopham | Fongicide |
| 1263 | Simazine | Herbicide |
| 1831 | Simazine 2 Hydroxy | Metabolite |
| 3268 | Somme des DDT | Insecticide |
| 1743 | Somme Endosulfan (Alpha+Béta+Sulfate) | Insecticide |
| 5610 | Spinosad | Insecticide |
| 2664 | Spiroxamine | Fongicide |
| 1662 | Sulcotrione | Herbicide |
| 2085 | Sulfosulfuron | Herbicide |
| 1894 | Sulfotep | Insecticide, Acaricide |
| 1193 | Tau-Fluvalinate | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 1694 | Tébuconazole | Fongicide |
| 1895 | Tébufénozide | Insecticide |
| 1896 | Tébufenpyrad | Acaricide |
| 1661 | Tébutame | Herbicide |

| Code Sandre | Molécule | Type |
|-------------|--------------------------------|--|
| 1542 | Tébuthiuron | Herbicide |
| 1897 | Téflubenzuron | Insecticide, Veterinary treatment |
| 1898 | Teméphos | Insecticide |
| 1659 | Terbacile | Herbicide |
| 1266 | Terbuméton | Herbicide |
| 2051 | Terbumeton Desethyl | Metabolite |
| 1267 | Terbuphos | Insecticide, Nematicide |
| 1269 | Terbutryne | Herbicide |
| 1268 | Terbutylazine | Herbicide, Microbiocide, Algicide |
| 2045 | Terbutylazine Déséthyl | Metabolite |
| 2735 | Tétrachlorobenzène | |
| 2010 | Tétrachlorobenzène 1,2,3,4 | |
| 1631 | Tétrachlorobenzène 1,2,4,5 | |
| 1277 | Tétrachlorvinphos | Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment |
| 1660 | Tétraconazole | Fongicide |
| 1900 | Tétradifon | Acaricide |
| 5921 | Tétraméthrine | Insecticide |
| 1713 | Thiabendazole | Fongicide |
| 5671 | Thiaclopride | Insecticide, Molluscicide |
| 1940 | Thiafluamide (flufenacet) | |
| 6390 | Thiametoxam | Insecticide |
| 1714 | Thiazasulfuron | Herbicide |
| 1913 | Thifensulfuron Méthyl | Herbicide |
| 1093 | Thiodicarbe | Insecticide, Molluscicide, Ovicide |
| 1715 | Thiofanox | Insecticide, Acaricide |
| 5476 | Thiofanox Sulfone | |
| 5475 | Thiofanox Sulfoxyde | |
| 2071 | Thiométon | Insecticide, Acaricide |
| 1717 | Thiophanate Méthyl | Fongicide |
| 5675 | Tolclofos Methyl | Fongicide |
| 1719 | Tolyfluanide | Fongicide |
| 1658 | Tralométhrine | Insecticide |
| 1544 | Triadimefon | Fongicide, Metabolite |
| 1280 | Triadimenol | Fongicide |
| 1281 | Triallate | Herbicide |
| 1914 | Triasulfuron | Herbicide |
| 1901 | Triazamate | Insecticide |
| 1657 | Triazophos | Insecticide, Acaricide, Nematicide |
| 2990 | Triazoxide | Fongicide |
| 2064 | Tribénuron Méthyle | Herbicide |
| 1287 | Trichlorfon | Insecticide |
| 1288 | Triclopyr | Herbicide |
| 5430 | Triclosan (5-Chloro-2-Phenol) | |
| 2678 | Trifloxystrobine | Fongicide |
| 1902 | Triflumuron | Insecticide |
| 1289 | Trifluraline | Herbicide |
| 2096 | Trinexapac éthyl | Plant growth regulator |
| 2992 | Triticonazole | Fongicide |
| 1291 | Vinchlozoline | Fongicide |
| 2858 | Zoxamide | Fongicide |

Annexe 2 : Molécules retrouvées sur le Galion (usages et/ou contamination)

| Code Sandre | Molécules (vert = usage identifié) | Type | Régl. | Freq. Det. GG | Freq. Det. LD | Freq. Det. BDL | Freq. Det. TOT. | Système de culture (usage) |
|-------------|--|---|----------|---------------|---------------|----------------|-----------------|---|
| 1866 | Chlordecone | Insecticide | Interdit | 98% | 100% | 100% | 99% | Banane |
| 1907 | AMPA (Acide Amino Méthyl Phosphonique) | Herbicide (metabolite) | Autorisé | 92% | 71% | 71% | 78% | |
| 1951 | Azoxystrobin | Fongicide | Autorisé | 84% | 100% | 0% | 61% | Maraîchage, Traitement post récolte Banane dès 2012 |
| 1704 | Imazalil | Fongicide | Autorisé | 74% | 96% | 0% | 57% | Banane, agrumes (traitement post-récolte) |
| 6577 | Chlordecone 5b Hydro | Insecticide (metabolite) | Interdit | 56% | 94% | 4% | 51% | Banane |
| 1713 | Thiabendazole | Fongicide | Autorisé | 44% | 79% | 0% | 41% | Banane (traitement post-récolte) |
| 7527 | Chlordecol | Insecticide (metabolite) | Interdit | 20% | 79% | 13% | 37% | |
| 1506 | Glyphosate | Herbicide | Autorisé | 24% | 50% | 33% | 36% | Multiples usages agricoles et non-agricoles |
| 1201 | HCH Beta | Insecticide (metabolite) | Interdit | 0% | 92% | 2% | 31% | |
| 1221 | Métolachlore (R+S) | Herbicide | Autorisé | 50% | 0% | 0% | 17% | Canne à sucre |
| 1141 | 2,4-D | Herbicide | Autorisé | 28% | 0% | 6% | 11% | Canne à sucre |
| 1257 | Propiconazole | Fongicide | Autorisé | 4% | 12% | 0% | 5% | Banane (cercosporiose) |
| 2744 | Fosthiazate | Insecticide, Nematicide | Autorisé | 8% | 0% | 0% | 3% | Banane |
| 1228 | Monuron | Herbicide | Interdit | 8% | 0% | 0% | 3% | Canne à sucre |
| 1234 | Pendimethaline | Herbicide | Autorisé | 8% | 0% | 0% | 3% | |
| 1177 | Diuron | Herbicide | Interdit | 4% | 0% | 4% | 3% | Banane, canne à sucre, ananas, ZNA, voiries |
| 1954 | Hydroxyterbuthylazine | Herbicide (metabolite) | Interdit | 2% | 6% | 0% | 3% | Vigne |
| 1706 | Metalaxyle | Fongicide | Autorisé | 2% | 2% | 2% | 2% | |
| 1905 | Difénoconazole | Fongicide | Autorisé | 4% | 0% | 0% | 1% | Banane (cercosporiose) |
| 1709 | Piperonyl butoxide | Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 4% | 1% | Multiples cultures (molluscide, dératisation, désinfection) |
| 1929 | 1-(3,4-Dichlorophenyl)-3-Methyl Uree (DCPMU) | Metabolite | Interdit | 0% | 0% | 4% | 1% | |
| 1860 | Bromuconazole | Fongicide | Autorisé | 0% | 4% | 0% | 1% | |
| 6235 | Dithiocarbamates (CS2) | | | 0% | 2% | 2% | 1% | |
| 2074 | Benoxacor | Herbicide | Autorisé | 2% | 0% | 0% | 1% | Canne à sucre |
| 1584 | Biphenyl | Fongicide | Interdit | 2% | 0% | 0% | 1% | |
| 6398 | Propamocarbe | Fongicide | Autorisé | 2% | 0% | 0% | 1% | |
| 2029 | Rotenone | Insecticide | Interdit | 2% | 0% | 0% | 1% | |
| 1480 | Dicamba (sel de diméthylamine) | Herbicide | Autorisé | 0% | 2% | 0% | 1% | Canne à sucre |
| 1329 | Bendiocarbe | Insecticide | Interdit | 0% | 0% | 2% | 1% | |
| 1133 | Chloridazone (Pyrazon) | Herbicide | Autorisé | 0% | 2% | 0% | 1% | |
| 1155 | Desmetryne | Herbicide | Interdit | 0% | 2% | 0% | 1% | |
| 1877 | Imidaclopride | Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 2% | 1% | |
| 1235 | Pentachlorophenol | Insecticide, Herbicide, Fongicide, Molluscicide, Plant growth regulator | Interdit | 0% | 0% | 2% | 1% | |
| 1267 | Terbuphos | Insecticide, Nematicide | Interdit | 0% | 2% | 0% | 1% | |
| 5644 | Hydramethylnon | Insecticide | Interdit | 0% | 2% | 0% | 1% | |
| 2007 | Abamectine | Insecticide, Nematicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Maraîchage |
| 1965 | Asulam | Herbicide | Interdit | 0% | 0% | 0% | 0% | Canne à sucre |
| 1859 | Bromadiolone | Rodenticide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Traitements généraux |

| Code Sandre | Molécules (vert = usage identifié) | Type | Régl. | Freq. Det. GG | Freq. Det. LD | Freq. Det. BDL | Freq. Det. TOT. | Système de culture (usage) |
|-------------|------------------------------------|------------------------|----------|---------------|---------------|----------------|-----------------|----------------------------|
| 1149 | Deltamethrine | Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Maraîchage |
| 1699 | Diquat | Herbicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Banane |
| 1404 | Fluazifop-p-butyl | Herbicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Banane |
| 1765 | Fluroxypyr | Herbicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Grandes cultures, prairies |
| 2731 | Glufosinate ammonium | Herbicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Traitements généraux |
| 5483 | Indoxacarbe | Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Maraîchage |
| 1945 | Isoxaflutole | Herbicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Canne à sucre |
| 1094 | Lambda-cyhalothrine | Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Maraîchage |
| 1225 | Metribuzine | Herbicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Canne à sucre |
| 1528 | Pirimicarbe | Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Maraîchage |
| 5416 | Pymétrozine | Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Maraîchage |
| 2678 | Trifloxystrobine | Fongicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Banane (cercosporiose) |
| 2076 | Mésotrione | Herbicide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Canne à sucre |
| 5581 | Acibenzolar-s-Méthyl | Fongicide, Insecticide | Autorisé | 0% | 0% | 0% | 0% | Banane (cercosporiose) |

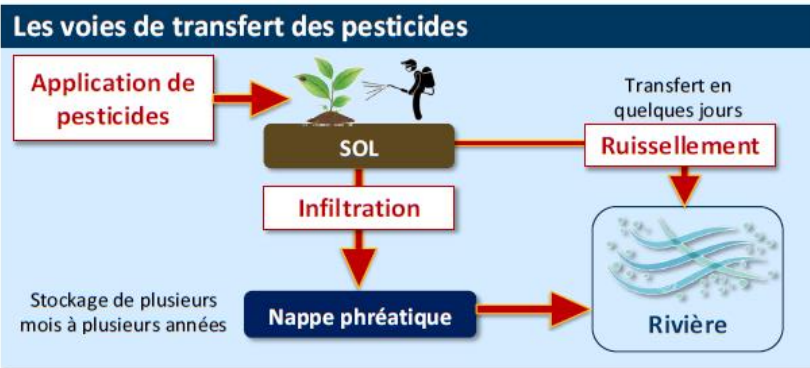
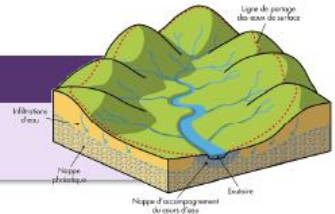
Annexe 3 : Poster – Pollution des milieux aquatiques par les pesticides

Pollution des milieux aquatiques par les pesticides à l'échelle d'un bassin versant

Processus de transfert, enjeux et solutions associées

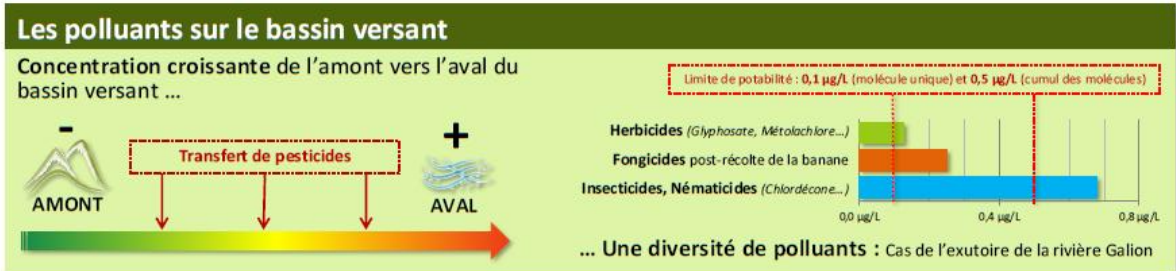


Le bassin versant
Territoire délimité par des lignes de crête où l'écoulement des eaux de pluie converge vers un même point de sortie appelé exutoire.



Les risques de transfert
Le risque de transfert des pesticides vers les milieux aquatiques dépend de :

- Pratiques agricoles**
Quantité de pesticides, toxicité et dégradabilité des molécules, travail du sol...
- Milieu environnant**
Pluie, pente, proximité du cours d'eau, nature du sol...



Comment limiter les risques ?!
Limiter les risques de transfert est possible (Couverture végétale du sol, barrières biologiques...)

RISQUE DE DEPLACER LE PROBLEME DE POLLUTION (Warning icon)

Une approche alternative : **Limiter l'utilisation des pesticides via des pratiques agroécologiques !**




Annexe 4 : Poster – Réduction de la pollution des milieux aquatiques

Réduction de la pollution des milieux aquatiques par les pesticides

Les leviers mobilisables

A l'échelle de l'exploitation agricole

De nombreuses techniques mobilisant des processus agroécologiques permettent de limiter l'emploi de pesticides ...

Push-Pull

Cibles : Insectes ravageurs.

Mode d'action : Une plante répulsive implantée dans la culture repousse le ravageur. Une plante attractive à l'extérieur de la culture l'attire. Le ravageur est détourné de la plante cultivée.

Fauchage mécanique

Cibles : Adventices (plantes indésirables).

Mode d'action : Substitution du traitement herbicide par un fauchage (désherbeuse, gyrobroyeur...)

Associations et successions culturales

Cibles : MULTIPLES !

Mode d'action : Diversification des plantes cultivées sur une même parcelle dans le temps (succession) et dans l'espace (association). Permet de rompre le cycle de développement et de limiter la propagation des insectes et maladies. Optimise l'utilisation des ressources du sol ce qui favorise le rendement et les défenses immunitaires de la plante cultivée. Présente parfois un effet répulsif ou bloquant sur les populations de ravageurs.

Piégeage / Phéromones

Cibles : Insectes ravageurs.

Mode d'action : Attire et piège les insectes ravageurs ou perturbe leur cycle de reproduction via l'utilisation de phéromones.

Jachère

Cibles : MULTIPLES !

Mode d'action : Année temporaire de la culture. Permet d'assainir le sol en rompant le cycle de développement de certaines maladies et ravageurs (cercosporiose, nématodes du sol...). Peut-être combinée avec l'implantation d'une plante dont l'intérêt agronomique est reconnu (enrichissement en azote, sécrétion du sol, assainissement...)

Le hangar à bananes

Source principale de fongicides pos-récolte pour lutter contre le pourrissement du fruit.

Limiter l'utilisation :
Epistilage au champ
Limite la contamination.
Buse bas-volume
Optimise le traitement.

Gérer la pollution :
Aménagement du hangar
Limite les fuites vers l'environnement.
Heliosec
Concentre les polluants pour une évacuation facilitée.

Plantes de couverture

Cibles : Adventices (plantes indésirables).

Mode d'action : Implantation ou sélection d'une plante couvrant le sol. Entre en compétition avec les adventices pour l'accès aux ressources (lumière et nutriments du sol) limitant leur développement. Peut-être combiné avec l'implantation d'une plante dont l'intérêt agronomique est reconnu (enrichissement en azote, aération du sol...)

Paillage

Cibles : Adventices (plantes indésirables).

Mode d'action : Mise en place d'une couche de matière végétale morte à la surface du sol. Offre une couverture empêchant la lumière de passer, ce qui limite le développement des adventices.

Effeillage

Cibles : Cercosporiose (champignon de la banane)

Mode d'action : Élimination des parties du feuillage du bananier affectées par la cercosporiose afin de limiter sa propagation.

Sélection de variétés tolérantes/résistantes

Cibles : Maladies et insectes ravageurs.

Mode d'action : Sélection de plantes présentant naturellement une tolérance (l'agresseur n'affecte pas la production) ou une résistance (la plante est capable de combattre l'agresseur) contre une maladie ou un ravageur donné.

... Chacune présente à la fois des avantages et des inconvénients. Théoriquement, elles peuvent être appliquées à tous les systèmes de productions mais demandent d'être adaptées et rationalisées scientifiquement.

A l'échelle du territoire

Diversifier le paysage et les activités.

Développer les interrelations entre activités.

Optimisation des mécanismes agroécologiques.
Résilience du système agricole territorial.

Approche territoriale au sein d'un système complexe !

Les pesticides au sein d'un système complexe

L'usage des pesticides implique une diversité de ...

... interdépendants.

Un enjeu clé :

Réfléchir et agir en collectif avec l'ensemble des acteurs afin de permettre une réduction cohérente et coordonnée de l'utilisation des pesticides à toutes les échelles du territoire !



Remerciements

Nous remercions dans un premier temps l'Office De l'Eau de Martinique pour son soutien technique et financier et la mise à disposition de la chronique de données pesticides.

Nous remercions tout particulièrement l'équipe technique de l'IRD Martinique pour l'appui à la mise en œuvre du protocole de suivi de la qualité de l'eau de rivière, P. Martine et G. Adèle.

Nous remercions V. Corré, A. Gillet, L. Louis, P. Marras et M. Gouyer, ainsi que P. Martine et G. Adèle pour leurs implications et leurs conseils indispensables à l'installation de la nouvelle station de prélèvement d'eau de Grand Galion.

Nous remercions L. Nelson pour les échanges sur les fongicides post-récolte.

Nous remercions également l'ensemble des chercheurs, ingénieurs et techniciens pour les échanges et les discussions ainsi que les acteurs et les agriculteurs du bassin qui ont accepté d'être enquêtés.

Office De l'Eau de Martinique
Avenue Condorcet,
Fort-de-France, Martinique
Tel : 05 96 48 47 20



Institut de Recherche pour le Développement
Centre IRD Martinique-Caraïbe
Quartier Petit Morne – BP 214
97285 Le Lamentin Cedex 2
Tél : 05 96 42 30 00
Fax : 05 96 42 31 00



CIRAD
Quartier Petit Morne – BP 214
97285 Le Lamentin Cedex 2
Tél : 05 96 42 30 00
Fax : 05 96 42 31 00



Service mixte de police de l'environnement (Onafs/ AFB (ex-Onema))
5, rue de la dorade, Anse à l'âne
97229 Trois Ilets

