

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
Sous-action « Fonctionnement des bassins versants »

Rapport Final
Juillet 2019

Caractérisation des évolutions des concentrations en pesticides dans les eaux de surface du bassin versant du Galion en Martinique : résultats sur trois années de suivi

Document élaboré dans le cadre des conventions :

ODE/CIRAD 005-03-2018

PNAC DRRT-2018-05

Anckaert Roxanne (CIRAD) & Mottes Charles (CIRAD)



Synthèse pour l'action opérationnelle

Contexte :

En Martinique, le risque de pollution par les produits phytosanitaires est d'autant plus prégnant que le contexte insulaire tropical humide favorise le développement des ravageurs et des pathogènes incitant à une utilisation conséquente des produits phytosanitaires, notamment, sur les cultures à forte valeur ajoutée. L'utilisation importante de ces produits dans des milieux favorables à leur transfert par et vers les eaux génère des pollutions. Les écosystèmes aquatiques des Antilles sont donc particulièrement exposés à la pollution par les pesticides d'origine agricole. Le suivi des eaux de surface réalisé par l'ODE depuis 2007, dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), dresse le constat préoccupant d'une pollution récurrente sur l'ensemble du territoire Martiniquais. Toutefois, les connaissances sur le devenir des pesticides dans ce type d'environnement et sur les liens entre les pratiques et la pollution restent insuffisantes, rendant difficile l'identification de potentiels leviers d'action.

Dans ce contexte, le projet OPALE pilote un réseau de stations de mesure des paramètres hydrologiques et de la contamination par les pesticides des cours d'eau sur le bassin versant du Galion en Martinique choisi pour sa représentativité de la diversité agricole et pédoclimatique rencontrée dans les Antilles françaises. L'action présentée dans ce rapport a pour objectifs de renforcer la connaissance sur les pratiques phytosanitaires de différents systèmes de culture et l'identification des facteurs jouant sur les transferts des pesticides de l'application vers les milieux aquatiques qui constitue une condition nécessaire à leur préservation.

La première campagne de prélèvement et d'analyse multi-résidus (2016) a permis d'établir les profils de référence de la contamination des cours d'eau par les pesticides en 3 points du bassin versant. La deuxième campagne de prélèvement (2017) a mesuré les évolutions de ces profils entre les années 2016 et 2017. La campagne de 2018, a, quant à elle, eu pour objectif de confirmer ou d'infirmer les tendances dégagées lors de la précédente étude et de constater les modifications de la pollution au regard des changements de pratiques et de réglementation.

Méthodologie :

Suivi de la pollution des eaux de rivière par les pesticides

Dans le cadre de l'OPALE, un réseau de 6 stations de mesure des paramètres hydrologiques de surface 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 (Grand-Galion, La Digue et Base de Loisirs). Ces échantillons sont envoyés toutes les semaines au Laboratoire Départemental d'Analyse de la Drôme (LDA26) pour une analyse multi-résidus de 476 molécules (pesticides, co-produits et métabolites). Sur la campagne de 2018, le fluopyram a été ajouté à la liste en raison de l'interdiction prévue du propiconazole.

Les résultats des trois campagnes de prélèvement ([1] févr.2016 - janv.2017 // [2] févr.2017 - janv.2018// [3] févr.2018 - janv.2019) ont été interprétés au regard des données pesticides de l'ODE à l'exutoire de la rivière Galion entre 2016 et 2019, des chroniques de pollution à l'exutoire de la rivière Galion de 2007 à 2012 (Rateau, 2013; Della Rossa et al., 2015) et des connaissances acquises sur les pratiques phytosanitaires mises en œuvre sur le territoire (Arnal, 2017).

Principaux résultats :

Les analyses multi-résidus ont révélé la présence de 54 molécules dont 52 quantifiées, sur les 3 points suivis dans les cours d'eau du bassin versant du Galion entre février 2016 et janvier 2019, treize étant responsables de contaminations chroniques sur au moins une année. Une forte baisse du nombre de molécules détectées a été constatée entre les deux dernières campagnes passant de 37 en 2017 à 21 en 2018. Une variabilité spatiale et temporelle de la pollution en pesticides est observée sur le bassin versant du Galion. 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. Des évolutions des profils de pollution ont été observées entre les campagnes 2016 et 2017 et la campagne 2018.

- Une pollution constante aux insecticides organochlorés

La chlordécone, participe avec ses co-produits et métabolites à 95 % de la pollution totale observée sur la campagne 2018. Quelle que soit la station ou la campagne, la pollution est permanente et à des concentrations élevées. L'ensemble des stations est concerné, LD et GG étant les plus touchées. Les moyennes des concentrations annuelles restent stables sur GG et BDL et l'augmentation forte constatée lors de la campagne 2017 sur LD (+80 %) s'installe, avec des niveaux de pollution qui restent supérieurs à ceux observés en 2016. Le HCH-Beta, co-produit du lindane, génère une pollution chronique sur LD, mais avec des concentrations en baisse par rapport à 2017. Les moyennes de concentration du chlordecol restent stables proches du seuil de détection ($0,01 \mu\text{g. l}^{-1}$), toutefois sur LD une pollution chronique par cette molécule est enregistrée. Enfin, on constate une baisse significative de la chlordécone-5b-Hydro sur GG et LD.

- Une contamination aux herbicides en baisse

La baisse significative de la détection du glyphosate constatée lors des deux premières campagnes se confirme ainsi qu'une diminution des concentrations moyennes. Il devient un polluant ponctuel sur l'ensemble des stations en 2018. Cette baisse peut s'expliquer par un changement de pratique et une forte affinité pour les sédiments qui peut, éventuellement, masquer une pollution plus importante. Enfin une baisse significative de la pollution chronique par l'AMPA, métabolite de dégradation du glyphosate, est enregistrée sur l'ensemble des stations.

En ce qui concerne les herbicides spécifiques à la production de la canne à sucre seule la station GG est impactée, correspondant aux usages du sol. Une baisse de la fréquence de détection du 2,4D est constatée sans toutefois d'évolution des concentrations moyennes annuelles. La pollution chronique en métolachlore est quant à elle en augmentation avec des concentrations moyennes annuelles ne dépassant pas le seuil de potabilité. Enfin, la pollution ponctuelle en mésotrione se maintient avec, toutefois, une baisse des fréquences de détection.

- Une contamination aux fongicides post-récolte stabilisée

Une stabilisation de la diminution de la pollution par les fongicides post-récolte est constatée en 2018, notamment due aux changements de pratique et à un aménagement durable de la récupération des bouillies qui limitent le transfert des polluants vers les cours d'eau.

Toutefois, la pollution chronique à l'azoxystrobin reste préoccupante sur la station LD avec des concentrations supérieures au seuil de potabilité ($0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$). Enfin, une amélioration constante de la pollution chronique en imazalil et thiabendazole sur LD et GG est enregistrée.

- Une nouvelle contamination chronique par le fluopyram

En raison de l'interdiction du propiconazole qui ne génère plus qu'une pollution ponctuelle sur LD, le fluopyram a été ajouté à la liste des pesticides recherchés à partir de janvier 2018. Les résultats 2018 font état d'une pollution chronique par cette molécule sur GG et LD et ponctuelle sur BDL avec, toutefois, des concentrations en dessous du seuil de potabilité.

Perspectives

La campagne 2018 a permis de constater le rôle déterminant des modifications des pratiques phytosanitaires et de réglementation sur l'évolution de la contamination des eaux de surface.

Une attention toute particulière devra être portée lors des campagnes suivantes sur les conséquences des interdictions de molécules, notamment utilisées pour la culture de la banane et de la canne à sucre. L'interdiction de l'asulam en 2018 (herbicide de la canne à sucre) semble créer une difficulté de gestion des adventices. L'interdiction, au plus tard fin 2019, du propiconazole, produit très utilisé dans la lutte contre la cercosporiose, pourrait intensifier un transfert d'usage vers d'autres produits comme le fluopyram déjà présent de manière chronique dans la rivière Galion.

Une réflexion pourrait être menée sur les limites de l'amélioration de la pollution par les seules modifications des pratiques phytosanitaires actuelles. La campagne de 2018 semble, en effet, faire apparaître un ralentissement de la diminution des contaminations avec une tendance à la stabilisation des fréquences de détection et des concentrations.

Il paraît donc important d'apporter aux exploitants agricoles de nouvelles solutions techniques et de prolonger l'accompagnement dont ils font l'objet pour leur mise en œuvre. Par ailleurs, il serait également intéressant de poursuivre les démarches liées à la mise en place d'innovations au niveau du territoire dans le cadre d'une vision plus globale de la gestion de la pollution (projet FEDER RIVAGE).

De nouveaux axes d'étude, en complément de l'analyse de l'évolution des profils de pollution sur le bassin versant, sont envisagés pour la campagne de 2019 :

- Mise à jour des enquêtes réalisées auprès des agriculteurs du bassin versant du Galion afin d'actualiser les connaissances sur les pratiques phytosanitaires dans le but d'analyser au mieux les évolutions des profils de pollution.
- Pérenniser le dispositif de suivi hebdomadaire en comparant deux dispositifs de prélèvement (prélèvements ponctuels dans la rivière / prélèvements composites intégratifs (prélèvements toutes les 1h16)). L'objectif étant de mesurer l'apport ou non de l'instrumentalisation du bassin, comparativement à un dispositif de suivi plus léger et moins onéreux.
- Caractériser la pollution des sols du bassin versant du Galion, par la réalisation d'analyses multi-résidus sur les différents couples sols/ systèmes culturaux représentatifs du territoire d'étude, dans le but de mieux comprendre la pollution actuelle et de prévenir la contamination future des milieux aquatiques.

TABLE DES MATIERES

<i>Synthèse pour l'action opérationnelle</i>	<i>i</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>v</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>vi</i>
<i>Acronymes</i>	<i>viii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>ix</i>
<i>Introduction</i>	<i>10</i>
1. Présentation du territoire d'étude : le bassin versant du Galion	12
1.1. Le bassin versant du Galion	12
1.2. Un bassin versant agricole	13
2. Matériel et méthode de suivi de la pollution des eaux superficielles du bassin versant du Galion	16
2.1. Les stations de prélèvement	16
2.2. Équipements des stations	17
2.3. Analyses des pesticides	18
2.4. Les données	19
2.5. Les indicateurs utilisés pour l'analyse des résultats	19
3. Les résultats	21
3.1. Caractérisation de la pollution en pesticides de 2016 à 2018 sur le bassin versant du Galion	21
3.1.1. Évolution de la pollution à l'échelle du bassin versant	21
3.1.2. Évolution spatio-temporelle de la pollution par station.....	22
3.2. Contexte hydrologique	26
3.3. Une pollution aux pesticides liée à l'évolution des pratiques agricoles	27
3.3.1. Pollution liée aux usages de produits phytosanitaires aujourd'hui interdits	27
3.3.2. Une pollution liée aux usages de produits phytosanitaires aujourd'hui autorisés	32
3.3.2.1. Les herbicides communs à toutes les cultures	32
3.3.2.2. Les fongicides post-récolte de la banane.....	36
3.3.2.3. Les produits pour lutter contre la cercosporiose.....	39
3.3.2.4. Les herbicides spécifiques à la canne à sucre.....	42
3.3.2.5. Les autres cultures : maraîchage, vergers, horticulture	45
3.3.2.6. Les molécules non détectées lors de la campagne de 2018	45
<i>Références bibliographiques</i>	<i>48</i>
<i>Annexes</i>	<i>50</i>
Annexe 1 : Fréquence de détection (en %) des molécules dans les eaux de surface du bassin versant du Galion par campagne à l'échelle du bassin et par station de prélèvement. Indications complémentaires sur l'interdiction, le type (INS: Insecticide, FONG: Fongicide, HERB : Herbicide, ND : Non déterminé) et les principaux usages identifiés spécifiques aux systèmes de culture présents à la Martinique (non-exhaustif)	50
Annexe 2 : Liste des 478 molécules analysées	53

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : ÉVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS AGRICOLES SUR LE BASSIN ET SOUS-BASSINS D'ETUDE DU GALION.	14
TABLEAU 2 : INSTRUMENTATION ET PARAMETRES DE SUIVI PAR STATION DE MESURE (BRICQUET, 2013).....	17
TABLEAU 3 : PRESENTATION DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS ($m^3.s^{-1}$) ET DE LA PLUVIOMETRIE (MM) EN SAISON SECHE, HUMIDE ET PAR ANNEE POUR CHAQUE STATION ET CAMPAGNE.	26
TABLEAU 4 : MOLECULES DETECTEES EN 2016 ET/OU 2017 ABSENTES EN 2018 AUX TROIS STATIONS DE PRELEVEMENT. .	45

Liste des figures

FIGURE 1 : CARTE DU BASSIN VERSANT DU GALION ET DE SON RESEAU HYDROGRAPHIQUE PERMANENT.....	12
FIGURE 2 : PHOTOGRAPHIES DE LA ZONE AMONT DU BASSIN VERSANT DU GALION.....	12
FIGURE 3 : PHOTOGRAPHIES DE LA ZONE MEDIANE DU BASSIN VERSANT DU GALION.....	13
FIGURE 4 : PHOTOGRAPHIES DE LA ZONE AVAL DU BASSIN VERSANT DU GALION.....	13
FIGURE 5 : CARTE DE L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS AGRICOLES SUR LE BASSIN ET SOUS-BASSINS VERSANTS DU GALION.....	14
FIGURE 6 : CARTOGRAPHIE DES MASSES D'EAU COURS D'EAU DE LA MARTINIQUE ET FOCUS SUR LES CAPTAGES PRIORITAIRES PRESENTS EN AMONT DU BASSIN VERSANT DU GALION.....	15
FIGURE 7 : CARTOGRAPHIE DES TROIS STATIONS DE PRELEVEMENT ET DES SOUS-BASSINS VERSANTS ASSOCIES.....	16
FIGURE 8 : EQUIPEMENT D'UNE STATION DE PRELEVEMENT.....	17
FIGURE 10 : SEUILS DE POTABILITE ET DE POTABILISATION.....	19
FIGURE 9 : SEUILS DE DETECTION ET DE QUANTIFICATION DES MOLECULES.....	18
FIGURE 11 : NOMBRE DE PESTICIDES DETECTES PAR GROUPE D'USAGE POUR CHAQUE CAMPAGNE D'ANALYSE.....	21
FIGURE 12 : NOMBRE DE PESTICIDES INTERDITS OU AUTORISES SUR LES CULTURES MARTINIQUEAISES DETECTES DANS LES EAUX DE SURFACE DU BASSIN VERSANT DU GALION REPRESENTE POUR CHAQUE CAMPAGNE D'ANALYSE.....	21
FIGURE 13 : REPRESENTATION DE LA POLLUTION CUMULEE AUX DIFFERENTES CLASSES DE CONCENTRATION POUR CHAQUE CAMPAGNE.....	21
FIGURE 14 : REPRESENTATION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES TOTALES ($\mu\text{G.L}^{-1}$), DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES LIEES AUX USAGES DE PESTICIDES AUJOURD'HUI AUTORISES SUR LES CULTURES PRESENTES EN MARTINIQUE ($\mu\text{G.L}^{-1}$).ET DU POURCENTAGE DE PARTICIPATION DES PESTICIDES EN FONCTION DE LEUR USAGE POUR CHAQUE CAMPAGNE.....	22
FIGURE 15 : FREQUENCE DE DETECTION DES MOLECULES (GRIS : INSECTICIDE ; VERT : HERBICIDE ; MARRON : FONGICIDE) AUX DIFFERENTES CLASSES DE CONCENTRATION SUR LA STATION BDL.....	22
FIGURE 16 : REPRESENTATION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES TOTALE ($\mu\text{G.L}^{-1}$), DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES LIEES AUX USAGES DE PESTICIDES AUJOURD'HUI AUTORISES SUR LES CULTURES PRESENTES EN MARTINIQUE ($\mu\text{G.L}^{-1}$) ET DU POURCENTAGE DE PARTICIPATION DES PESTICIDES EN FONCTION DE LEUR USAGE POUR CHAQUE CAMPAGNE SUR LA STATION BDL.....	23
FIGURE 17 : FREQUENCE DE DETECTION DES MOLECULES (GRIS : INSECTICIDE ; VERT : HERBICIDE ; MARRON : FONGICIDE) AUX DIFFERENTES CLASSES DE CONCENTRATION SUR LA STATION GG.....	23
FIGURE 18 : REPRESENTATION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES TOTALES ($\mu\text{G.L}^{-1}$) DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES LIEES AUX USAGES DE PESTICIDES AUJOURD'HUI AUTORISES SUR LES CULTURES PRESENTES EN MARTINIQUE ($\mu\text{G.L}^{-1}$) ET DU POURCENTAGE DE PARTICIPATION DES PESTICIDES EN FONCTION DE LEUR USAGE POUR CHAQUE CAMPAGNE SUR LA STATION GG.....	24
FIGURE 19 : FREQUENCE DE DETECTION DES MOLECULES (GRIS : INSECTICIDE; VERT : HERBICIDE ; MARRON : FONGICIDE) AUX DIFFERENTES CLASSES DE CONCENTRATION SUR LA STATION LD.....	24
FIGURE 20 : REPRESENTATION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES TOTALES ($\mu\text{G.L}^{-1}$), DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES LIEES AUX USAGES DE PESTICIDES AUJOURD'HUI AUTORISES SUR LES CULTURES PRESENTES EN MARTINIQUE ($\mu\text{G.L}^{-1}$) ET DU POURCENTAGE DE PARTICIPATION DES PESTICIDES EN FONCTION DE LEUR USAGE POUR CHAQUE CAMPAGNE SUR LA STATION LD.....	25
FIGURE 21 : PROFIL DE CONTAMINATION AUX ORGANOCHLORES.....	28
FIGURE 22 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LA CHLORDECONE.....	29
FIGURE 23 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LA CHLORDECONE-5B-HYDRO.....	30
FIGURE 24 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE CHLORDECOL.....	31
FIGURE 25 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE HCH-BETA.....	31
FIGURE 26 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR L'AMPA.....	33

FIGURE 27 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE GLYPHOSATE.	34
FIGURE 28 : PROFIL DE CONTAMINATION AUX HERBICIDES COMMUNS A TOUTES LES CULTURES.	35
FIGURE 29 : DYNAMIQUE TEMPORELLE DE L'UTILISATION DES FONGICIDES POST-RECOLTES.	36
FIGURE 30 : PROFIL DE CONTAMINATION DES FONGICIDES POST-RECOLTES.	37
FIGURE 31 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR L'AZOXYSTROBIN.	38
FIGURE 34 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE PROPICONAZOLE.	39
FIGURE 32 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE THIABENDAZOLE.	39
FIGURE 33 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR L'IMAZALIL.	39
FIGURE 35 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE FLUOPYRAM.	40
FIGURE 36 : PROFIL DE CONTAMINATION DES FONGICIDES CONTRE LES CERCOSPORIOSES.	41
FIGURE 37 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE 2,4D.	42
FIGURE 38 : FREQUENCE DE DETECTION A CHAQUE STATION POUR CHACUNE DES CAMPAGNES ET LES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES ASSOCIEES POUR LE METOLACHLORE.	43
FIGURE 39 : PROFIL DE CONTAMINATION DES HERBICIDES SPECIFIQUES A LA CULTURE DE CANNE A SUCRE.	44

Acronymes

BDL : Base De Loisirs (station de prélèvement)

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour de Développement

CMA : Concentration Moyenne Annuelle

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DEAL : Direction de l'Environnement de l'aménagement et du Logement

DROM : Département et Région d'Outre-Mer

FD : Fréquence de Détection

FONG : Fongicide

GG : Grand Galion (station de prélèvement)

HERB : Herbicide

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

INS : Insecticide

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

LDA : Laboratoire d'Analyse de la Drôme

LoD : Limite de détection

LD : La Digue (station de prélèvement)

LQ : Limite de quantification

NQE : Norme de Qualité Environnementale

ODE : Office De l'Eau de Martinique

OPALE : Observatoire des Pollutions Agricoles aux Antilles

Remerciements

Nous remercions dans un premier temps l'Office de l'Eau de Martinique pour son soutien technique et financier ainsi que pour la mise à disposition de la chronique de données pesticides sur la station Grand Galion.

Nous remercions les préfetures de Guadeloupe et de Martinique pour leur soutien financier.

Nous remercions Georges Adèle et Luc Rangon de l'IRD pour l'entretien des stations de prélèvement, la réalisation de certains prélèvements d'eau et leur appui nécessaire au bon fonctionnement du dispositif.

Nous remercions Météo France qui nous a fourni les données météorologiques des stations du bassin du Galion ainsi que celles situées à proximité.

Nous remercions la DEAL qui suit les paramètres hydrologiques au niveau de la station Grand Galion.

Nous remercions L. Nelson de l'IT2 pour les échanges sur les utilisations de fongicides post-récolte de la banane, et les évolutions des pratiques des exploitants du bassin du Galion sur ce volet.

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.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui sont intervenues de près ou de loin pour assurer le bon fonctionnement du dispositif.

Introduction

La contamination de l'environnement par les pesticides est une problématique majeure du XXI^e siècle. Les produits phytosanitaires, ou pesticides, utilisés en agriculture ont essentiellement pour objet de lutter contre les bioagresseurs des cultures (adventices, ravageurs, maladies) et ainsi sécuriser les rendements. Depuis le 1^{er} janvier 2019, les pesticides de synthèse tels que le glyphosate sont exclusivement destinés à l'usage agricole, mais ont été employés de nombreuses années pour l'entretien des espaces publics et le jardinage par les particuliers. L'évolution du nombre de pesticides homologués et de leurs utilisations varient au gré des pressions en bioagresseurs et des modifications de la réglementation. Une fois appliqués, ces produits sont soumis à des processus de rétention, de transfert, de dégradation et de transformation pouvant aboutir à la pollution des sols, de l'eau, de l'atmosphère et des denrées alimentaires ou, au contraire, à leur élimination. Cette pollution diffuse engendre des risques directs ou indirects pour l'homme et les écosystèmes.

À la Martinique, le risque de pollution par les produits phytosanitaires est d'autant plus prégnant que le contexte insulaire tropical humide favorise le développement des ravageurs et des pathogènes incitant à une utilisation conséquente de ces substances, notamment, sur les cultures à forte valeur ajoutée. L'utilisation importante de ces produits dans ces milieux où les conditions (forte pluviométrie, sol et sous-sols à fortes conductivités hydrauliques) 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. Le suivi des eaux de surface réalisé par l'ODE depuis 2007, dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE¹), dresse le constat préoccupant d'une pollution récurrente sur l'ensemble du territoire Martiniquais. Toutefois, les connaissances sur le devenir des pesticides dans ce type d'environnement et sur les liens entre les pratiques et la pollution restent insuffisantes, rendant difficile l'identification de potentiels leviers d'action. Le renforcement de la connaissance sur les pratiques phytosanitaires de différents systèmes de culture et l'identification des facteurs jouant sur les transferts des pesticides, de l'application vers les milieux aquatiques, est un enjeu primordial à leur préservation par la mise en place de plans d'action.

Notre étude s'inscrit dans la mise en œuvre de l'Observatoire de la Pollution Agricole aux Antilles françaises (OPALE) piloté par un consortium d'équipes de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens du CIRAD, de l'INRA, du BRGM et de l'IRD. Dans ce cadre, deux bassins versants expérimentaux, l'un en Guadeloupe (rivières Pérou et Pères), l'autre à la Martinique (bassin versant du Galion) ont été instrumentés afin de caractériser la pollution et de comprendre les processus de transfert des pesticides entre les différents compartiments de l'environnement. À la Martinique, le CIRAD en partenariat avec l'IRD, la DEAL et l'ODE a mis en œuvre un dispositif de suivi hebdomadaire des chroniques de contamination des cours d'eau par les pesticides qui est effectif depuis février 2016. Cette base de données est également valorisée dans le cadre du projet FEDER RIVAGE (Réduire les Impacts environnementaux des pratiques Agricoles) qui vise à construire un dispositif d'accompagnement des innovations ayant pour but de réduire les risques associés aux usages des pesticides en agriculture.

Le présent rapport clôture les conventions ODE/CIRAD n°005-03-2018 et PNAC n°DRRT-2018_05 (action 18 du Plan Chlordécone 3) : il rend compte des résultats d'analyses multi-résidus de pesticides réalisées sur les échantillons issus du dispositif OPALE sur le bassin versant du Galion. Les données correspondent aux trois campagnes de prélèvement réalisées entre février 2016 et janvier 2019 :

- Campagne de 2016 : Février 2016 –Janvier 2017
- Campagne de 2017 : Février 2017 –Janvier 2018
- Campagne de 2018 : Février 2018 –Janvier 2019

¹ La Directive européenne Cadre sur l'Eau demande pour 2015 d'atteindre le bon état chimique et écologique des masses d'eaux des États membres. Pour les pesticides, les concentrations dans les rivières doivent rester en deçà de 0,1 µg.l⁻¹ par molécule et 0,5 µg.l⁻¹ pour la somme des concentrations des différentes molécules retrouvées.

Il fait suite à deux précédentes campagnes de mesure. Pour la campagne 2016, un premier rapport a permis de dresser un état de référence de la pollution en pesticides présente sur le bassin versant du Galion (Deffontaines et Mottes, 2017). Le compte rendu 2018 a établi une première analyse de l'évolution de la pollution entre les deux premières campagnes (Deffontaines et al., 2018). Le présent rapport, qui intègre les données de la campagne de 2018 a pour objectif de consolider les résultats de la campagne 2017 afin de confirmer ou d'infirmer les tendances dégagées et d'étudier l'influence sur la pollution des changements des pratiques et des modifications de la réglementation.

La première partie du rapport expose le contexte d'étude ainsi que les matériels et méthodes utilisés pour le suivi et la caractérisation de la pollution par les pesticides sur le bassin versant de la rivière Galion. La deuxième partie présente, une analyse de la pollution en pesticides et de son évolution à l'échelle du bassin versant et de chaque sous-bassin. Enfin, nous caractériserons la pollution en fonction des types d'usage de pesticides.

1. Présentation du territoire d'étude : le bassin versant du Galion

1.1. Le bassin versant du Galion

Le bassin versant du Galion est situé au Nord-Est de la Martinique. Couvrant 45 km², sa surface le classe comme le 4^{ème} plus grand bassin du département. Il s'étend sur quatre communes : Gros Morne, Sainte Marie, Le Robert et La Trinité. La rivière Galion prend naissance à l'intersection de deux bras : le Bras Gommier et le Bras Verrier et s'écoule sur une longueur de 22,3 km jusqu'à la Baie du Galion son exutoire. Son réseau hydrographique comprend également ses trois principaux affluents, la Tracée, la Digue et le Petit Galion (Figure 1), ainsi que de nombreuses petites rivières et ravines aux flux temporaires.

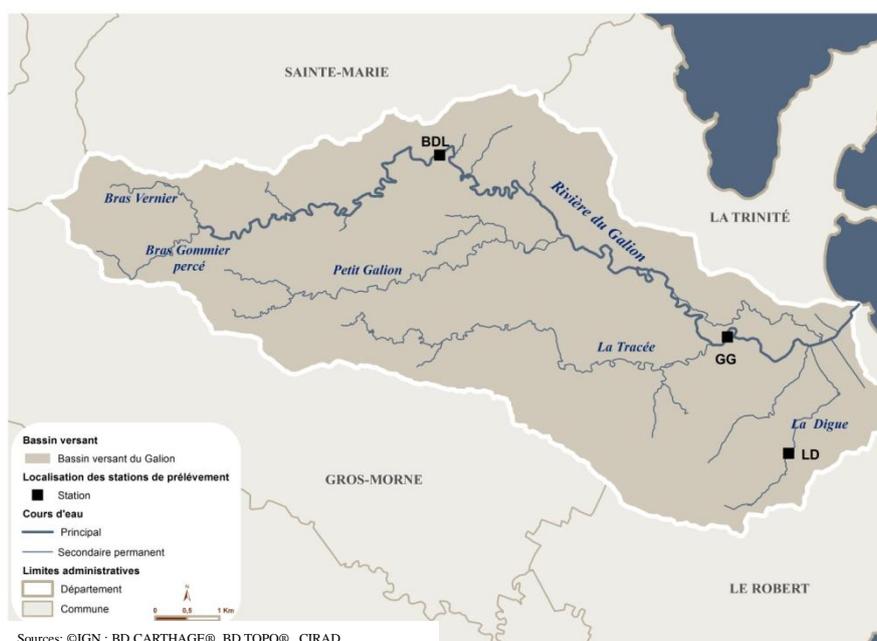


Figure 1 : Carte du bassin versant du Galion et de son réseau hydrographique permanent.

Un bassin versant structuré en trois zones agro-écologiques

D'amont en aval, le bassin versant se compose de trois grandes zones agro-écologiques qui présentent une différenciation en termes de climat, de sol, de sous-sols, d'orographie et d'occupation du sol (Della Rossa et al. 2017) : la zone amont, la zone médiane et la zone aval.

La zone amont

Au relief accidenté les premiers cours d'eau y prennent leur source dans les mornes bordant les pitons du Carbet. Sa partie la plus à l'ouest, essentiellement couverte de forêt ombrophile, est très peu peuplée. Plus en aval se situent les premières terres cultivées (Figure 2) et c'est dans cette zone qu'actuellement des prélèvements d'eau pour la consommation humaine sont effectués. En 2009, l'autorisation de prélèvement était de 6400 m³.jour⁻¹.

Principales caractéristiques :

- Pluviométrie > 3000 mm/an
- Sols à allophanes (andosols) majoritaires
- Fortes déclivités
- Élevage et productions vivrières



Figure 2 : Photographies de la zone amont du bassin versant du Galion.

La zone médiane

Il s'agit d'une partie de transition composée de mornes et de vallées entre les reliefs accidentés de l'amont et la plaine d'inondation de l'aval. L'agriculture y est présente et principalement tournée vers la banane d'exportation (Figure 3).

Principales caractéristiques :

- Pluviométrie comprise entre 2000 et 3000 mm/an
- Intergrades (sols à allophanes / ferrisols) majoritaires
- Forte variabilité des pentes
- Bananeraies, petites exploitations diversifiées, une exploitation horticole florale



Figure 3 : Photographies de la zone médiane du bassin versant du Galion.

La zone aval

Cette zone composée d'une plaine d'inondation dont l'altitude est proche du niveau de la mer (10 m) est marquée par une agriculture d'exportation industrielle (Figure 4).

Principales caractéristiques :

- Pluviométrie < 2000 mm/an
- Ferrisols et sols à alluvions majoritaires
- Altitude proche du niveau de la mer
- Cultures industrielles de la banane et de la canne à sucre, quelques petites exploitations diversifiées sur les parties les plus élevées.

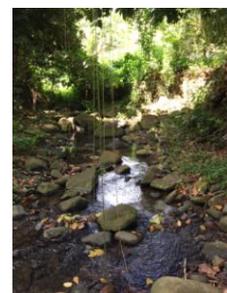


Figure 4 : Photographies de la zone aval du bassin versant du Galion.

1.2. Un bassin versant agricole

Selon les données du registre parcellaire de 2018 (Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt) le bassin versant du Galion d'une superficie totale de 4427 ha était occupé à 20 % par les activités agricoles. De légères variations sont observables entre les années (RPG 2016, 2017 et 2018), toutefois ces chiffres sont à interpréter au regard de leur origine qui est strictement déclarative pour l'attribution des aides pour l'agriculture (Figure 5, Tableau 1). Par exemple, pour l'année 2018, l'exploitation de fleurs dans laquelle se trouve notre station de prélèvement Bases de Loisirs n'étant pas répertoriée, elle a été ajoutée au RPG 2018 de référence.

Les cultures de bananes destinées à l'exportation, avec 467 ha, et de canne à sucre, avec 278 ha, essentiellement situées dans les zones « médiane et aval », sont prédominantes et représentent à elles seules 80 % de la surface agricole utile. Une centaine de petites exploitations, principalement situées en amont du bassin versant, se partage le reste de terres agricoles (Figure 5, Tableau 1).

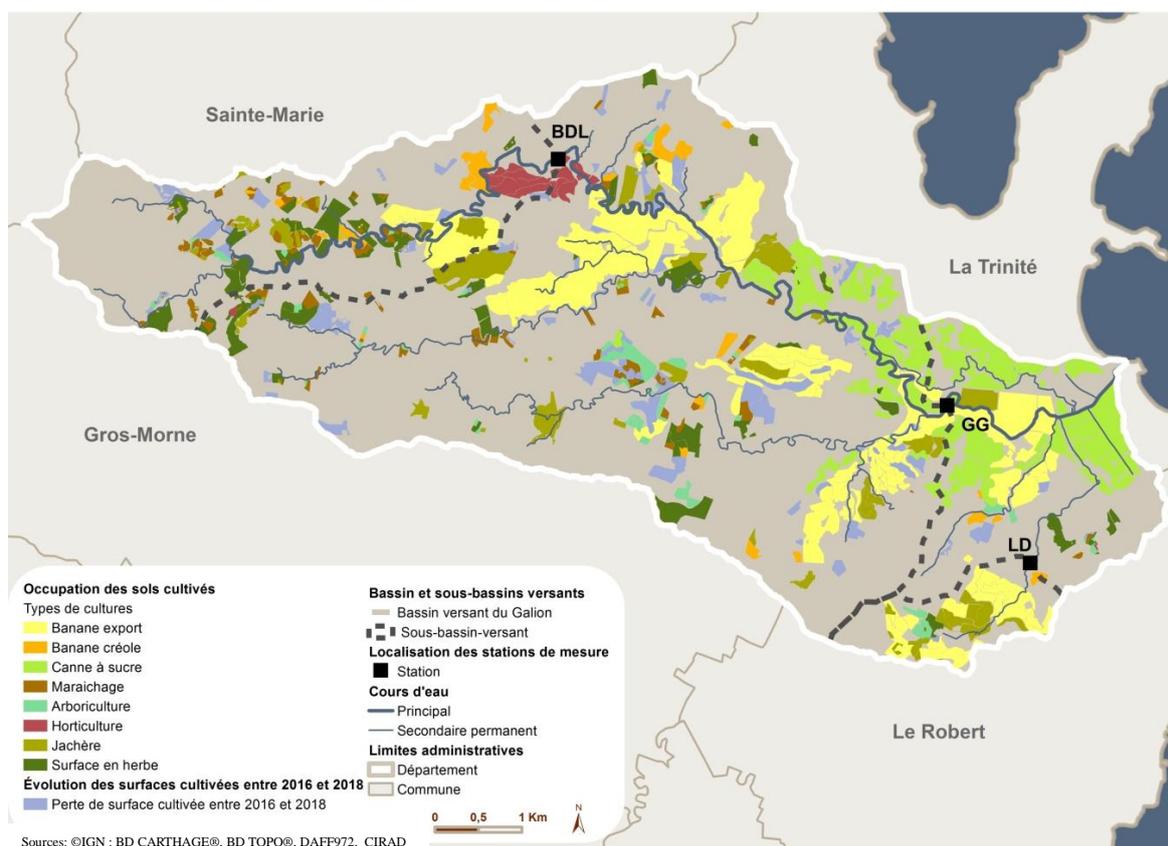


Figure 5 : Carte de l'évolution de l'occupation des sols agricoles sur le bassin et sous-bassins versants du Galion.

	Bassin versant du Galion			Sous-bassins versants								
	Grand Galion			Bases de Loisir			La Digue					
Surface (ha)	4427			3606			863			192		
Année	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Surface cultivée (ha)	1030	935	895	704	635	584	107	97	89	75	60	66
Banane créole (%)	5.6	7.3	5.1	7.5	8.7	6.8	16.3	21.6	18.6	1.9	2.3	2.1
Banane export (%)	51.9	46.6	50.4	55.2	51.0	54.7	36.6	29.6	36.7	90.3	89.0	90.0
Canne à sucre (%)	28	30.4	30.0	17.7	18.8	18.5	0.1	<0.1	0.1			
Horticulture (%)	3.6	3.8	3.5	5.2	5.6	5.2	18.3	20.0	18.0	<0.1	<0.1	
Maraichage (%)	7.1	7.3	6.3	10.0	10.7	9.3	22.3	25.9	22.9	2.9	0.2	0.1
Arboriculture (%)	3.8	4.6	4.6	4.4	5.2	5.5	6.4	2.7	3.7	4.9	8.5	7.8

Tableau 1 : Évolution de l'occupation des sols agricoles sur le bassin et sous-bassins d'étude du Galion.

La diversité des situations agro-pédo-climatiques ainsi que les caractéristiques des cultures du bassin versant du Galion en font un lieu privilégié pour procéder au suivi de la pollution des cours d'eau en pesticides en Martinique. En effet, les trois zones agro-écologiques sont assez bien représentatives de la multiformité des situations existantes sur l'île. Les résultats de l'étude de ce bassin pourront ainsi permettre de faire émerger des pistes de diagnostic et d'évolution transposables dans des zones agro-écologiques similaires présentes sur le territoire Martiniquais. De plus, le SDAGE 2016-2021 a classé l'amont du bassin du Galion comme « zone d'alimentation de captage stratégique » en raison de la

présence de trois captages nécessitant la protection de la ressource (Figure 6). Par ailleurs, le bassin du Galion accueille un contrat de rivière animé par « Cap Nord » qui permet de coordonner un programme d’actions pour la réhabilitation et la valorisation des milieux aquatiques du bassin.



Figure 6 : Cartographie des masses d'eau cours d'eau de la Martinique et focus sur les captages prioritaires présents en amont du bassin versant du Galion.

2. Matériel et méthode de suivi de la pollution des eaux superficielles du bassin versant du Galion

Afin de suivre la pollution de l'eau par les pesticides, des stations de prélèvement ont été installées sur le bassin versant de la rivière Galion.

2.1. Les stations de prélèvement

Leurs emplacements ont été déterminés en fonction de critères identifiés dans le cadre du projet OPA-C (Observatoire des pollutions aux Antilles : cas Chlordécone) 2012 (Plet, 2013) puis OPALE (Observatoire des pollutions agricoles aux Antilles) :

- Existence d'une contamination significative des sols et des eaux par la chlordécone.
- Variabilité climatique, pédologique, hydrologique et géologique entre sous-bassins.
- Relative homogénéité des paramètres influençant le transfert de la chlordécone au sein d'un même sous-bassin.

Trois stations équipées de préleveurs automatiques, exclusivement destinées au suivi de la pollution de l'eau par les pesticides, ont été installées à des emplacements correspondant aux exutoires de trois sous-bassins versants répondant aux caractéristiques spécifiées : Base de Loisirs (BDL), La Digue (LD) et Grand Galion (GG).

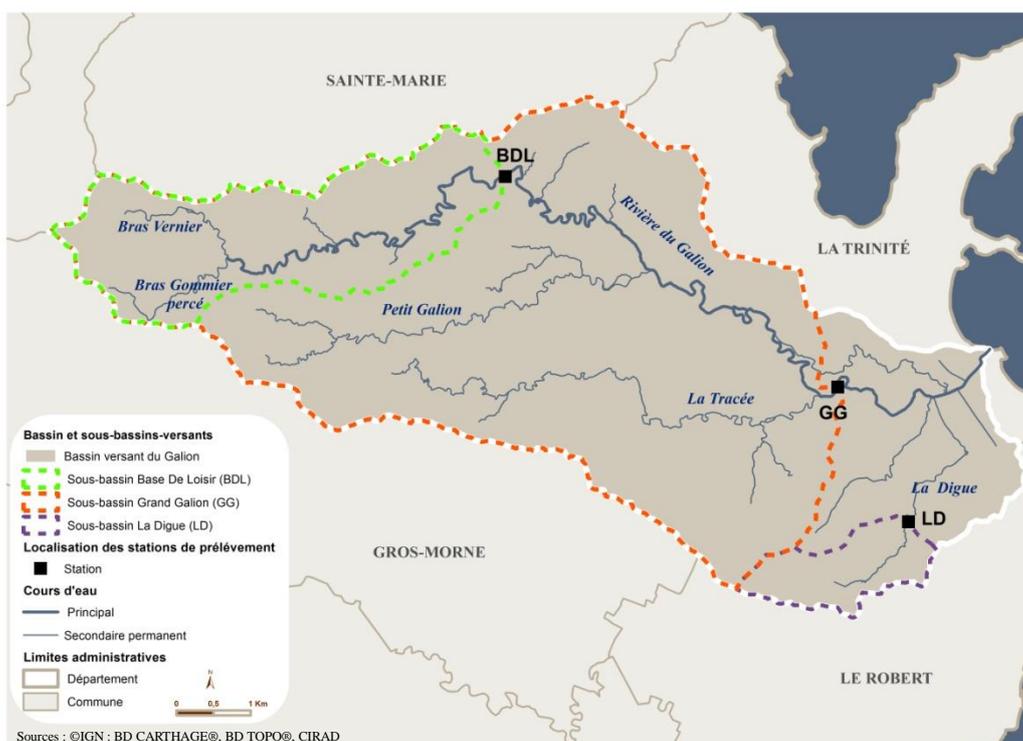


Figure 7 : Cartographie des trois stations de prélèvement et des sous-bassins versants associés.

La station Base de Loisirs (BDL)

Elle permet de caractériser la pollution en pesticides de la zone amont du bassin versant du Galion (Figure 7). Le sous-bassin couvre une superficie 863 ha dont 10 % de terres cultivées (89 ha) et regroupe la plupart des systèmes maraîchers et vivriers présents dans le bassin du Galion ainsi qu'une exploitation de banane et une exploitation horticole florale (Figure 5, Tableau 1).

La station La Digue (LD)

Cette station permet la prise en compte de la pollution de la Digue, un affluent du Galion dont l'exutoire se situe tout en aval du bassin versant (Figure 7). Ce sous-bassin couvre une superficie de 192 ha dont 34 % de terres cultivées

exploitées par seulement 4 agriculteurs. Cette dimension modeste et le nombre restreint d'exploitants permettent de caractériser les effets des changements de pratiques agricoles sur la qualité de l'eau et d'approfondir les processus de transfert de pesticides (Figure 5, Tableau 1).

La station Grand Galion (GG)

Située à l'exutoire d'un sous-bassin versant elle permet de caractériser l'ensemble de la pollution en pesticides du bassin versant du Galion en couvrant 3606 ha, soit 81 % de sa surface totale (Figure 7). Ce sous-bassin prend en compte la pollution liée à deux affluents principaux du Galion, le Petit Galion et la Tracée. Les terres cultivées (584 ha) représentent 16 % de la surface du sous-bassin et tous les systèmes de culture du territoire étudié y sont représentés. Il convient de souligner que seule cette station intègre les systèmes canniers (Figure 5, Tableau 1). En 2016, elle était localisée au niveau de la station hydrologique de la DEAL, mais a dû être déplacée 60 m en aval en mars 2017 afin de protéger le matériel des crues (Deffontaines et al., 2018).

2.2. Équipements des stations

Les stations GG et LD sont équipées de préleveurs automatiques Sigma®-SD 900. La station BDL, quant à elle, dispose d'un préleveur ISCO®6712. Chaque préleveur comprend deux flacons en matériaux différents afin de limiter la fixation de certains pesticides sur les contenants (Amalric, 2009) (Figure 8) :

- Une dame jeanne en verre de 15 litres
- Un bidon en polytéréphtalate d'éthylène (PET) de 20 litres

Les deux flacons sont stockés chacun dans une glacière souple qui permet :

- De protéger les échantillons des rayons lumineux susceptibles de les altérer
- De limiter les variations de température pouvant, également, altérer les échantillons prélevés

Néanmoins, au niveau de la station GG, le bras du préleveur présentant un dysfonctionnement, seul 1 flacon PET de 20 L est utilisé depuis mars 2017.

Les stations sont également munies de capteurs permettant l'acquisition de données hydrologiques (hauteurs d'eau) et climatiques (pluie, température et humidité relative au minimum). L'acquisition des données sur la station GG est réalisée par la DEAL (Tableau 2).



Figure 8 : Equipement d'une station de prélèvement.

Stations	Centrale	Préleveur	Échelle limnimétrique	Capteurs (Hauteurs, T°, Conductivité, Turbidité)	Pluviométrie
Bases de Loisir (BDL)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Grand Galion (GG)	DEAL	OUI	OUI	Hauteurs uniquement	NON
La Digue (LD)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Digue Barrage	OUI	NON	OUI	OUI	OUI
Digue aval Ravine	OUI	NON	OUI	OUI	OUI
Tête de bassin	OUI	NON	NON	NON	OUI

Tableau 2 : Instrumentation et paramètres de suivi par station de mesure (Bricquet, 2013).

2.3. Analyses des pesticides

Choix des molécules analysées

Les molécules analysées ont été choisies sur la base, d'une part, des pesticides utilisés sur les différents types de culture présents en Martinique et des pesticides achetés sur le territoire et, d'autre part, sur les résultats de l'étude réalisée par l'ODE portant sur la pollution des cours d'eau par les pesticides entre 2007 et 2012 (Rateau, 2013). Les molécules mobilisant les mêmes méthodes analytiques que les molécules identifiées ont été ajoutées à la liste car n'entraînant pas de surcoût analytique. Des molécules représentant de très faibles probabilités d'être retrouvées et nécessitant des méthodes analytiques très particulières ont été écartées pour diminuer le coût d'analyse. Finalement, une liste de 476 molécules correspondant aux substances actives des pesticides et leurs métabolites de dégradation analysables par le Laboratoire Départemental d'Analyse de la Drôme (LDA26) a été établie (cf. liste complète en annexe 2). En 2018, le fluopyram a été ajouté à la liste de molécules suivies en raison de son utilisation très probable pour la gestion des cercosporioses du bananier.

Protocole d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage repose sur la réalisation d'analyses multirésidus (MR) des eaux de surface sur les trois stations équipées de préleveurs automatiques (BDL, GG, LD).

Plusieurs stratégies d'échantillonnage étaient envisageables. L'AFNOR et les Agences de l'eau préconisent un asservissement au volume écoulé, avec un volume de prise fixe (stratégie d'échantillonnage, Agence de l'eau RMC 2010). Cette méthode d'échantillonnage réduit les erreurs sur la concentration moyenne dans le cas de faibles erreurs sur l'estimation des débits. Toutefois, après étude (Deffontaines et Mottes 2018), pour sa simplicité de mise en œuvre et en raison de l'incertitude sur les débits dans les conditions de lits naturels de rivières, l'asservissement au temps a été retenu.

Des prélèvements d'échantillons hebdomadaires composites des eaux de surface sont effectués pour chacune des stations avec un asservissement au temps. Chaque échantillon hebdomadaire collecté correspond à un échantillon composite des prélèvements unitaires de 100 ml, réalisés automatiquement toutes les 1h16 pendant une semaine (soit entre 130 et 136 prélèvements unitaires en fonction des heures de passage sur les sites). L'ensemble des échantillons composites prélevés est envoyé toutes les semaines au LDA26 dans une glacière via Chronopost pour réduire les délais d'acheminement afin d'y être analysé.

Analyse des concentrations hebdomadaires

Deux méthodes d'analyse sont utilisées par le laboratoire LDA, l'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC/MS) et l'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à capture d'électron, spécifique aux composés organochlorés et à un détecteur thermoionique, spécifique aux composés organophosphorés (GC/ECD/NPD). Les résultats issus de ces procédés de mesure des concentrations présentent une marge d'erreur d'environ $\pm 35\%$.

Les seuils de détection et de quantification du laboratoire d'analyse (LDA26)

L'analyse des concentrations établit trois niveaux de résultat en fonction de la limite de détection et de quantification déterminée par le laboratoire LDA et qui est propre à chaque molécule. La limite de quantification sur les molécules analysées varie de $[0,01 \mu\text{g.l}^{-1} \text{ à } 0,25 \mu\text{g.l}^{-1}]$. Ainsi, les analyses peuvent retourner 4 types de résultat (non analysée, non détectée, traces, quantifiée), dont 3 nous renseignent sur les teneurs en pesticides dans les échantillons () :

- Non détectée : la molécule n'est pas détectée dans l'échantillon : soit la molécule est absente de l'échantillon, soit sa concentration est inférieure à la limite de détection (LoD).
- Traces : la molécule est détectée mais ne peut pas être quantifiée.
- Quantifiée : la molécule est détectée et a pu être quantifiée.

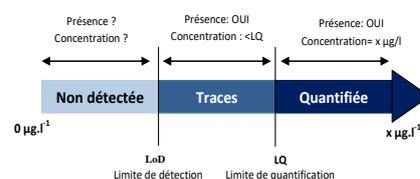


Figure 9 : Seuils de détection et de quantification des molécules.

2.4. Les données

L'étude repose sur une base de données constituée des résultats des analyses des prélèvements effectués de façon hebdomadaire. Après destruction de la station GG le 24/10/2016 et jusqu'à sa remise en service le 29/03/2017, des prélèvements ponctuels ont été effectués à son emplacement. Par ailleurs, en plus du suivi hebdomadaire, deux prélèvements ponctuels en période de crue ont été pratiqués sur LD (10/10/2016 ; 17/10/2016). Enfin, lors d'un problème technique survenu sur préleveur le 26/09/2017 sur GG, il a été procédé à un prélèvement ponctuel.

Le suivi cumule trois années d'analyses que l'on appellera chacune campagne. Elles correspondent à trois années hydrologiques débutant en février qui est statistiquement le mois le plus sec en Martinique.

- Campagne de 2016 : Février 2016 – Fin janvier 2017
- Campagne de 2017 : Février 2017 – Fin janvier 2018
- Campagne de 2018 : Février 2018 – Fin janvier 2019

Nous avons ajouté à cette base, les données issues du dispositif de suivi de l'Office de l'eau (ODE) sur la station GG. L'ODE réalise des prélèvements mensuels et depuis le mois de mars 2019 des prélèvements bimestriels.

L'analyse couplée des données issues de la base du CIRAD et celles de l'ODE permet de vérifier les tendances observées. Toutefois, cette information n'est présente qu'à titre indicatif, les bases de données n'étant pas comparables en termes de fréquence d'échantillonnage.

Pour l'analyse des données hydrologiques et météorologiques différentes sources ont été utilisées :

- Pluviométrie journalière : Les bases de données des hauteurs de précipitations quotidiennes fournies par Météo-France ont permis d'analyser la pluviométrie aux différentes stations présentes sur le bassin versant du Galion :
 - ✓ BDL : Station Sainte-Marie Morne Esse (97228005)
 - ✓ GG : Station Gros-Morne Boislez (97212007) et station Trinité Réservoir (97230007)
 - ✓ LD : Station Robert Duchesne (92220005) et station Robert Pte-fort (97222002)
- Débits : Données acquises par la DEAL (GG), l'IRD et le CIRAD (BDL, LD).

2.5. Les indicateurs utilisés pour l'analyse des résultats

➤ Indicateur de qualité de l'eau de la rivière

Dans le cadre de la DCE, les concentrations en pesticides des eaux sont comparées à des concentrations de références appelées Normes de Qualité Environnementales (NQE). En l'absence de NQE, pour l'ensemble des molécules détectées, le seuil de potabilisation de l'eau est utilisé pour caractériser l'état de la pollution des rivières du bassin (Figure 10). Ces seuils (potable, potable avec traitement, non potable) permettent d'identifier, au mieux, la pollution actuelle et, plus particulièrement, de déterminer les pollutions émergentes et spécifiques aux contextes des DROM.

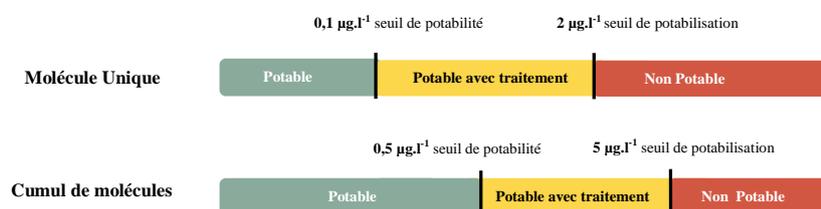


Figure 10 : Seuils de potabilité et de potabilisation

- **Fréquence de détection (FD) :** Cet indicateur permet de déterminer si la molécule recherchée est présente de façon chronique (fréquence de détection supérieure ou égale à 20 %) ou de manière ponctuelle (fréquence de détection strictement inférieure à 20 %) dans la rivière. Ce calcul a été réalisé sur des séries comportant au moins 50 échantillons.

$$\text{Fréquence de détection} = \frac{\text{Nombre d'analyses où la molécule est détectée (Concentration > LD)}}{\text{Nombre d'analyses où la substance est recherchée}}$$

- **Concentration moyenne annuelle quantifiée (CMA) :** La moyenne des concentrations annuelles résultant de la somme des concentrations de l'ensemble des substances actives quantifiées permet de déterminer le niveau de pollution moyen par an présent sur le bassin versant ou sur un sous-bassin. Cet indicateur est particulièrement intéressant afin de caractériser les évolutions du niveau de pollution entre les différentes campagnes de prélèvement.

$$\text{Concentration moyenne} = \frac{\text{Somme des concentrations (Concentrations > LQ)}}{\text{Nombre de fois où au moins une molécule est quantifiée dans la rivière (Concentrations > LQ)}}$$

L'analyse conjointe de ces deux indicateurs (FD, CMA) permet de caractériser la pollution des eaux de surface en produits phytosanitaires et d'observer les évolutions entre les différentes campagnes.

- **Pourcentage de participation à la pollution totale :** Cet indicateur caractérise la contribution d'une molécule ou d'un ensemble de molécules (insecticides, fongicides, herbicides) à la pollution totale sur le bassin ou sur un sous-bassin.

$$\text{Pourcentage de participation à la pollution totale} = \frac{\text{Concentration d'une molécule ou somme des concentrations des molécules étudiée(s)}}{\text{Somme des concentrations de l'ensemble des molécules quantifiées}}$$

- **Pourcentage de la pollution liée aux usages actuels :** Cet indicateur caractérise la contribution d'une molécule ou d'un ensemble de molécules (insecticide, fongicides, herbicides) à la pollution issue des pesticides autorisés sur le bassin ou un sous-bassin. Il ne prend pas en compte les usages actuels de produits interdits.

$$\text{Pourcentage de la pollution liée aux usages actuels} = \frac{\text{Concentration d'une ou des molécules autorisé(s) étudiée(s)}}{\text{Somme des concentrations des molécules autorisées et quantifiées}}$$

- **Test de significativité :** Dans un premier temps un test ANOVA est effectué. Si les valeurs résiduelles issues du modèle ANOVA ne suivent pas une loi normale un test de Kruskal-Wallis est réalisé permettant de déterminer une différence significative entre les trois campagnes puis le test de Nemenyi est utilisé pour définir quelles campagnes sont significativement différentes. Le seuil de significativité retenu est de 0,05. **Dans l'analyse, les évolutions désignées comme significatives répondent positivement à ce test de significativité.**

3. Les résultats

3.1. Caractérisation de la pollution en pesticides de 2016 à 2018 sur le bassin versant du Galion

3.1.1. Évolution de la pollution à l'échelle du bassin versant

Un nombre de molécules détectées en baisse

Au cours des trois campagnes, un total de 54 molécules a été détecté dont 52 quantifiées. On observe une forte baisse du nombre de ces molécules entre la campagne de 2018 et les deux précédentes (2016-2017), diminution particulièrement visible pour les herbicides. (Figure 11). Cette réduction est également observable sur l'évolution du nombre de pesticides autorisés ou interdits (Figure 12). Toutefois, l'analyse de chaque campagne prise indépendamment, révèle un équilibre entre le nombre de pesticides autorisés et interdits. La diminution du nombre de molécules lors de la campagne 2018 indique soit une dynamique positive de réduction des usages soit une diminution des transferts de pesticides vers les rivières, soit les deux.

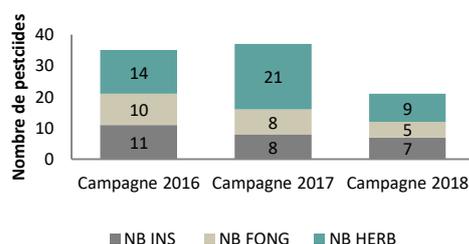


Figure 11 : Nombre de pesticides détectés par groupe d'usage pour chaque campagne d'analyse.

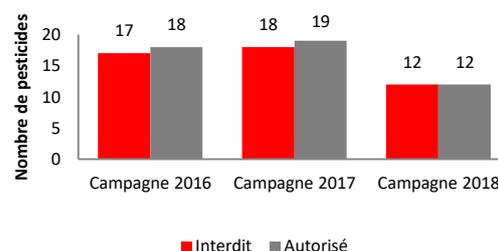


Figure 12 : Nombre de pesticides interdits ou autorisés sur les cultures martiniquaises détectés dans les eaux de surface du bassin versant du Galion représenté pour chaque campagne d'analyse.

Une concentration moyenne annuelle toujours supérieure aux normes de potabilisation

En raison du grand nombre de molécules détectées, la pollution moyenne annuelle dépasse toujours très largement la norme européenne fixée par la Directive Cadre sur l'Eau. Lors de la campagne de 2018, 71 % des prélèvements ont encore une somme des concentrations de substances actives au-dessus du seuil de potabilité dont 29 % se trouvent au-dessus du seuil de potabilisation (Figure 13). Ces résultats indiquent, qu'en dépit d'une diminution du nombre de molécules détectées, la qualité de l'eau du bassin versant de la rivière Galion reste préoccupante.

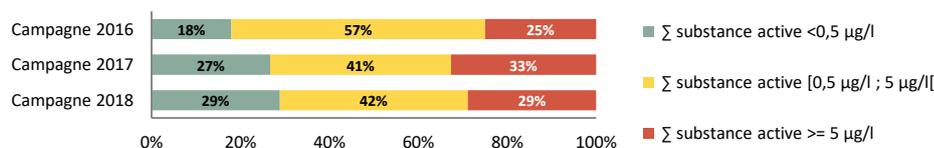


Figure 13 : Représentation de la pollution cumulée aux différentes classes de concentration pour chaque campagne.

Une pollution totale dominée par les insecticides : les conséquences des pratiques agricoles passées

Sur la campagne de 2018, les insecticides participent à 96 % de la pollution totale dont 94,5 % est due à la chlordécone et ses métabolites (chlordécol, chlordécone 5b hydro). En 2017, une hausse de la participation des insecticides à la pollution totale du bassin de la rivière Galion avait été observée. Elle était principalement due à une augmentation significative des concentrations moyennes annuelles en chlordécone sur la station LD. A contrario, sur cette même période, une baisse de la participation des fongicides avait été constatée s'expliquant par une diminution significative des concentrations moyennes annuelles des fongicides post-récolte sur LD. En 2018, la participation des insecticides et des fongicides tend à se stabiliser.

Une pollution liée aux usages actuels dominée par les fongicides

La pollution liée aux usages actuels est générée principalement par les fongicides (Figure 14), en particulier, par les matières actives utilisées dans le cadre de la culture de la banane. La forte proportion de surfaces utilisées pour cette culture (Figure 5), ainsi que la présence de hangars de traitement post-récolte et de conditionnement de la banane vouée à l'exportation sur le bassin expliquent cette contribution. On retrouve ensuite les herbicides utilisés de manière transversale sur l'ensemble des systèmes culturaux auxquels s'ajoutent les herbicides spécifiques à la canne à sucre et enfin, les insecticides principalement utilisés en maraîchage. En 2017, une baisse significative des concentrations moyennes annuelles des pesticides dont l'usage est autorisé avait été observée. Sur la campagne de 2018, celle-ci tend à se stabiliser autour de $0.2 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Figure 14).

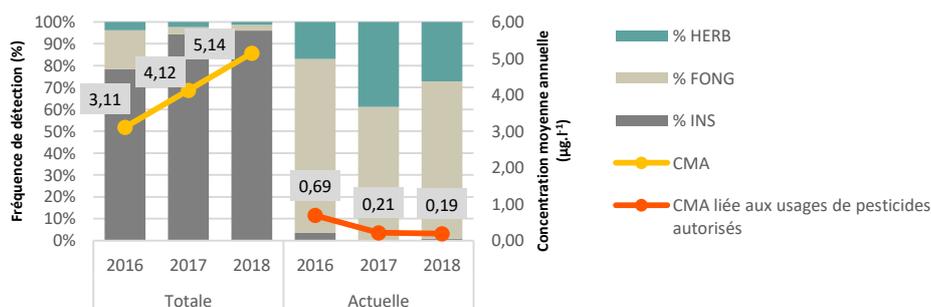


Figure 14 : Représentation des concentrations moyennes annuelles totales ($\mu\text{g.l}^{-1}$), des concentrations moyennes annuelles liées aux usages de pesticides aujourd'hui autorisés sur les cultures présentes en Martinique ($\mu\text{g.l}^{-1}$), et du pourcentage de participation des pesticides en fonction de leur usage pour chaque campagne.

3.1.2. Évolution spatio-temporelle de la pollution par station

Une analyse combinée sur les trois stations a permis de caractériser l'évolution temporelle interannuelle de la pollution en pesticides présente sur le bassin versant du Galion. Toutefois, il a été démontré dans le rapport de 2017 que cette pollution s'inscrit dans le temps mais également dans l'espace. Cette évolution spatio-temporelle est particulièrement visible à l'échelle des stations de prélèvement, chacune présentant des caractéristiques agropédoclimatiques propres.

Une pollution croissante d'amont en aval

Une pollution globale proche de la limite de potabilité en amont du bassin versant de la rivière Galion (BDL)

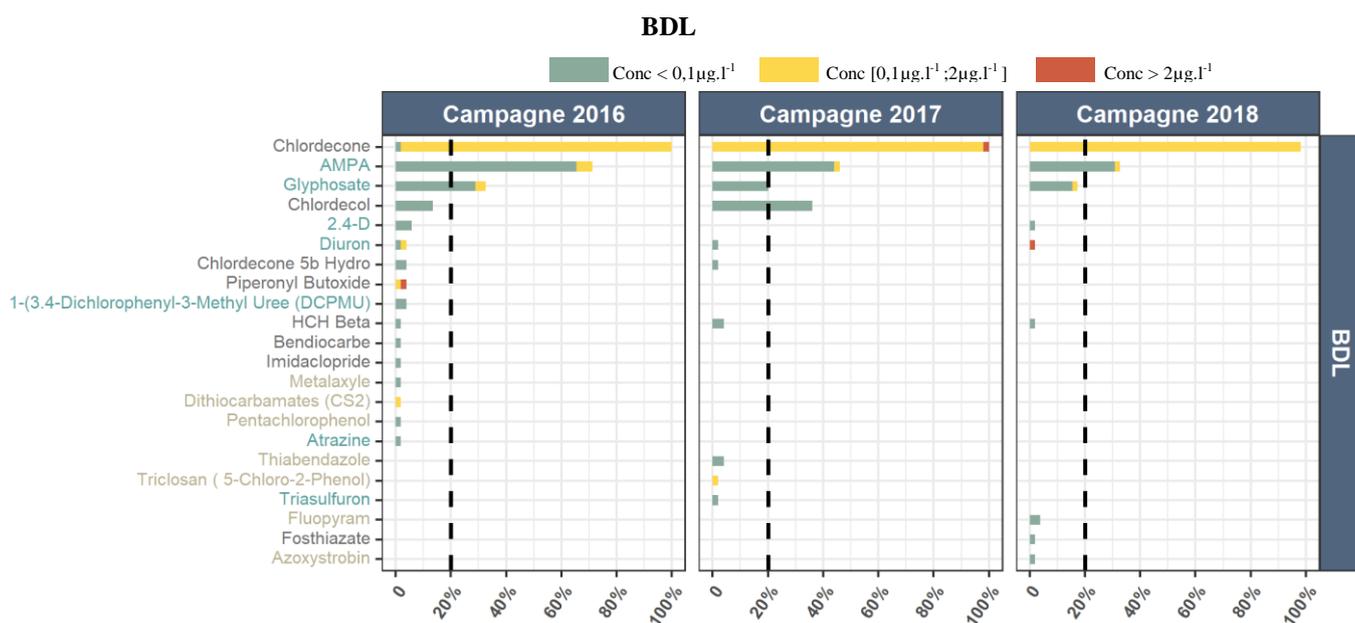


Figure 15 : Fréquence de détection des molécules (Gris : Insecticide ; Vert : Herbicide ; marron : Fongicide) aux différentes classes de concentration sur la station BDL.

Au total, 22 molécules ont été détectées dont 21 quantifiées. En 2017, une baisse du nombre de substances actives avait été observée, notamment, au niveau des insecticides et des herbicides. En 2018, le nombre de pesticides tend à se stabiliser et seules deux substances génèrent encore une pollution chronique (Figure 15). Il est à noter que la campagne de 2018 a mis en évidence une pollution ponctuelle en diuron à une concentration très élevée ($3 \mu\text{g.L}^{-1}$).

En 2017, une baisse significative de la concentration moyenne annuelle avait été observée par rapport à la campagne 2016. En 2018 elle se stabilise à une valeur proche de la limite de potabilité : $0.51 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figure 16).

En ne considérant que la pollution liée aux usages de produits aujourd'hui autorisés, générée principalement par les herbicides, suivis par les fongicides utilisés en banane, on retrouve la même dynamique que précédemment avec une baisse de la concentration moyenne annuelle puis une stabilisation mais à un niveau de pollution très nettement en dessous du seuil de potabilité (Figure 16).

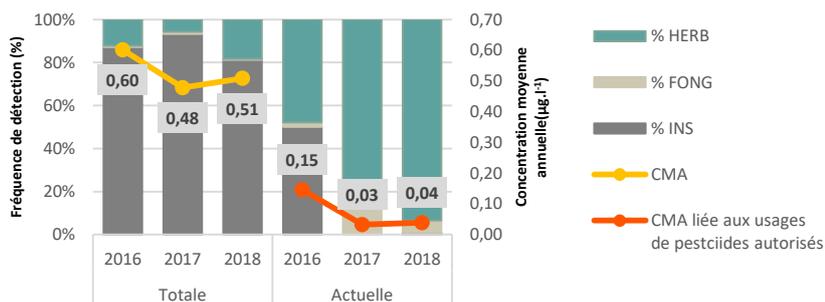


Figure 16 : Représentation des concentrations moyennes annuelles totale ($\mu\text{g.L}^{-1}$), des concentrations moyennes annuelles liées aux usages de pesticides aujourd'hui autorisés sur les cultures présentes en Martinique ($\mu\text{g.L}^{-1}$) et du pourcentage de participation des pesticides en fonction de leur usage pour chaque campagne sur la station BDL.

Une pollution intermédiaire sur la station GG

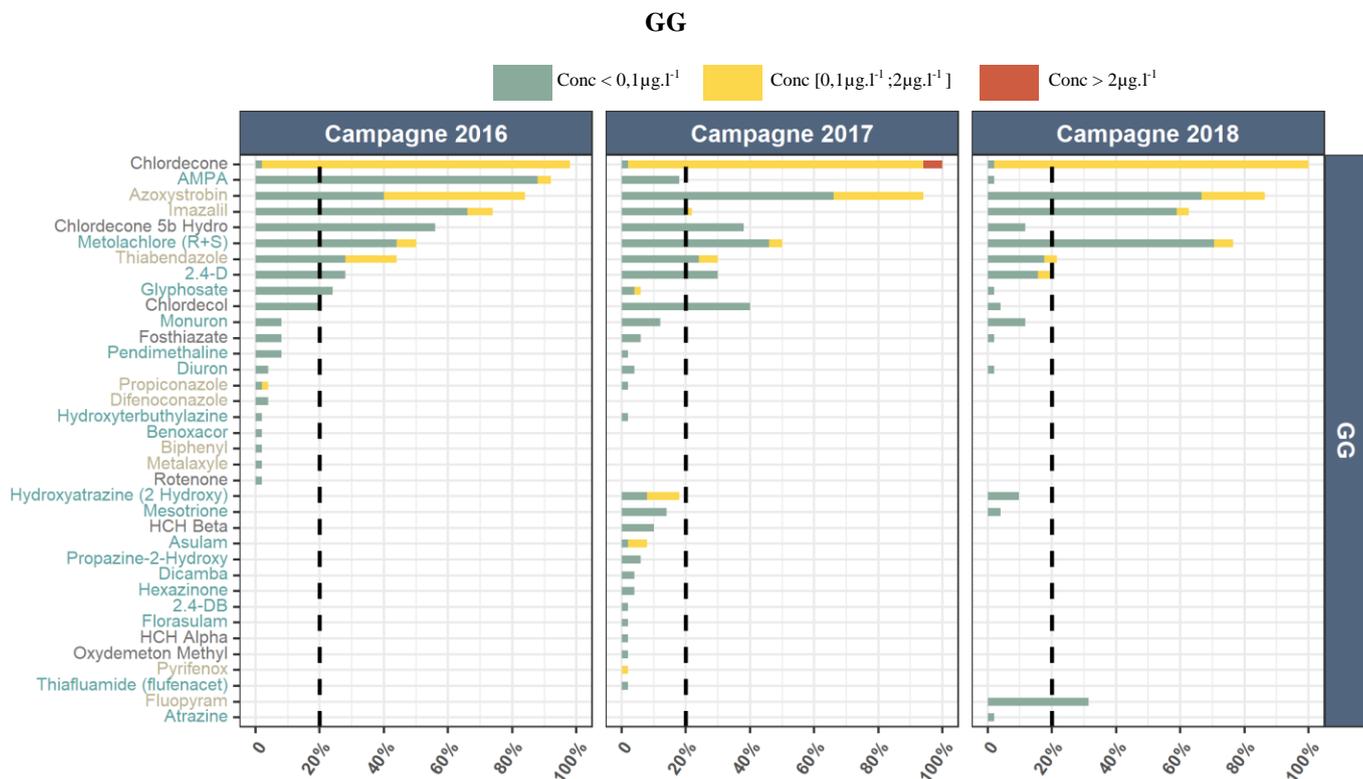


Figure 17 : Fréquence de détection des molécules (Gris : Insecticide ; Vert : Herbicide ; marron : Fongicide) aux différentes classes de concentration sur la station GG.

Au total, 36 molécules ont été détectées dont 34 quantifiées. En 2017, une hausse du nombre de pesticides avait été constatée par rapport à la campagne 2016, liée, notamment, à la remobilisation ou à l'utilisation illégale de pesticides et, plus particulièrement, d'herbicides, dont l'usage est aujourd'hui interdit (tel que l'atrazine). En 2018, on remarque une dynamique inverse, rétablissant un nombre de molécules détectées proche de la valeur de référence. Par ailleurs, le nombre de substances générant une pollution chronique décroît entre la campagne de 2016 et celle de 2018. On retiendra, notamment, une baisse de 90 % de la fréquence de détection de l'AMPA ainsi que la disparition du chlordécol (métabolite de la chlordécone) et l'apparition du fluopyram (substance active ajoutée en janvier 2018) comme polluants chroniques sur la station GG (Figure 17).

En 2018, une baisse significative de la concentration moyenne annuelle est enregistrée par rapport à la campagne de 2016. Malgré cette dynamique positive, cette valeur reste au-dessus du seuil de potabilité sans toutefois dépasser le seuil de potabilisation (Figure 18).

En ne considérant que la pollution liée aux usages de produits aujourd'hui autorisés, générée principalement par les fongicides utilisés pour la culture de la banane suivis par les herbicides, on observe une baisse significative de la concentration moyenne annuelle entre les campagnes de 2016 et 2017, puis une stabilisation en 2018 à une valeur se trouvant en dessous du seuil de potabilité (Figure 18).

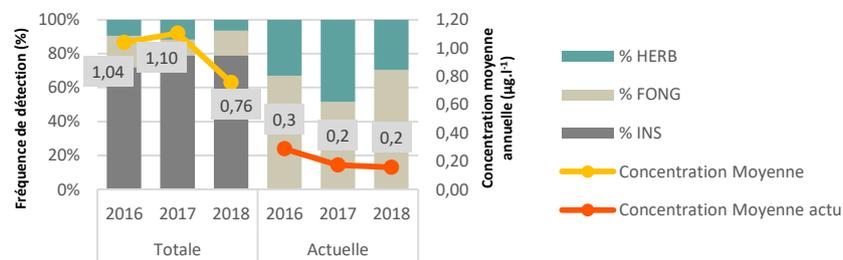


Figure 18 : Représentation des concentrations moyennes annuelles totales ($\mu\text{g.l}^{-1}$) des concentrations moyennes annuelles liées aux usages de pesticides aujourd'hui autorisés sur les cultures présentes en Martinique ($\mu\text{g.l}^{-1}$) et du pourcentage de participation des pesticides en fonction de leur usage pour chaque campagne sur la station GG.

Une pollution au-dessus du seuil de potabilisation sur LD

LD

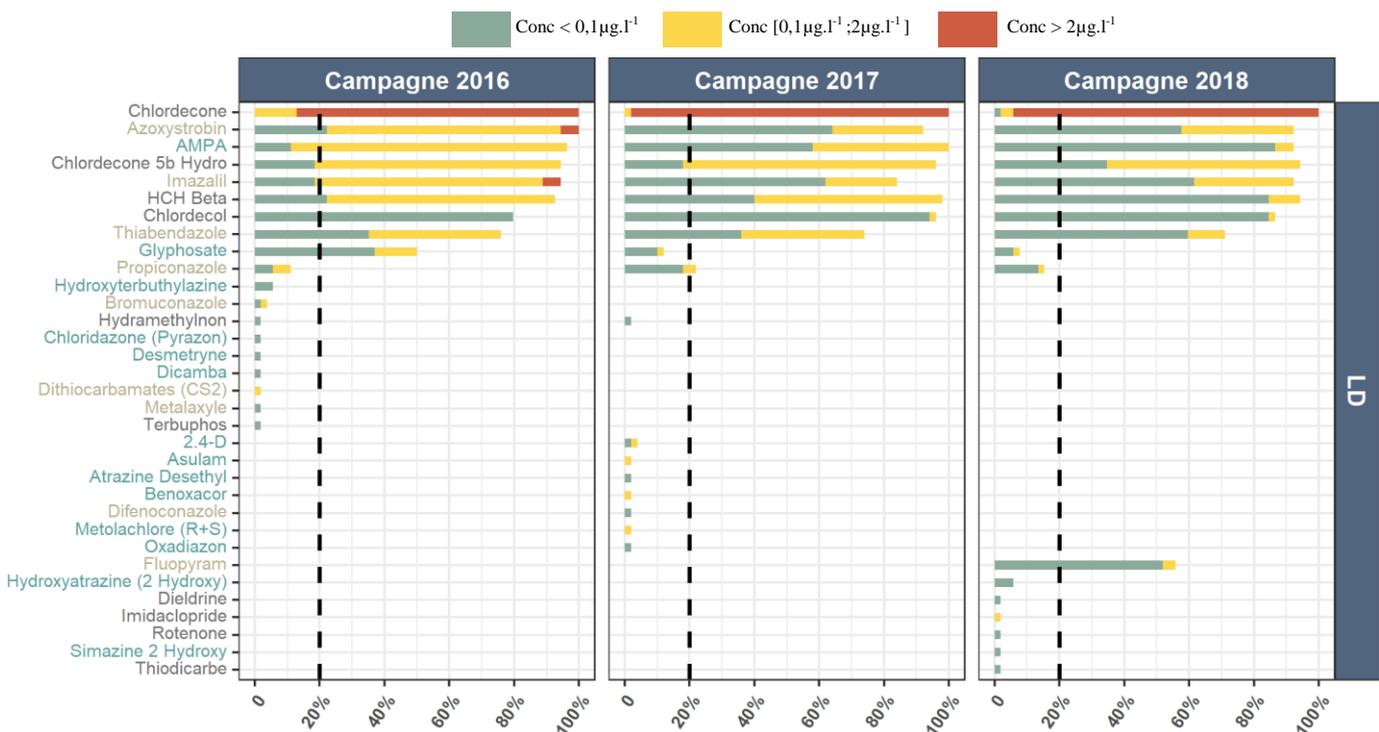


Figure 19 : Fréquence de détection des molécules (Gris : Insecticide; Vert : Herbicide ; marron : Fongicide) aux différentes classes de concentration sur la station LD.

Au total, 33 molécules ont été détectées dont 32 quantifiées. Le nombre de substances actives induisant une pollution ponctuelle ou chronique reste stable sur les trois campagnes d'analyse, du fait d'un jeu de compensation entre l'évolution du nombre d'insecticides, d'herbicides et de fongicides. Sur la campagne de 2018, on note le passage du propiconazole de polluant chronique à ponctuel et l'apparition du fluopyram (substance active ajoutée en 2018) sur la station LD (Figure 19).

En 2017, une hausse significative de la concentration moyenne annuelle est observée. En 2018, elle tend à se stabiliser mais à une concentration très largement au-dessus du seuil de potabilisation (Figure 20).

En ne considérant que la pollution liée aux usages de produits aujourd'hui autorisés, on remarque qu'elle est dominée par les fongicides utilisés pour la culture de la banane suivis par les herbicides. En 2017, une baisse significative de la concentration moyenne annuelle est constatée, faisant passer le niveau de pollution en dessous de la limite de potabilité. Cette situation se stabilise sur la campagne de 2018 (Figure 20).

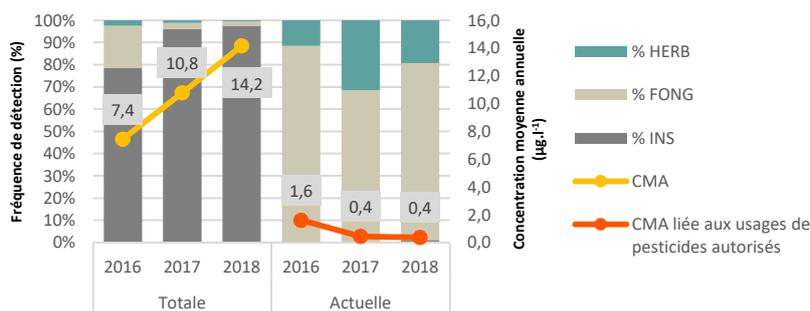


Figure 20 : Représentation des concentrations moyennes annuelles totales ($\mu\text{g.l}^{-1}$), des concentrations moyennes annuelles liées aux usages de pesticides aujourd'hui autorisés sur les cultures présentes en Martinique ($\mu\text{g.l}^{-1}$) et du pourcentage de participation des pesticides en fonction de leur usage pour chaque campagne sur la station LD.

Synthèse sur les 3 stations

L'analyse interannuelle et par station des fréquences de détection et des concentrations moyennes annuelles a permis de mettre en évidence le caractère hétérogène de la pollution. Il peut s'expliquer par la combinaison de deux principaux facteurs :

- Les facteurs climatiques et hydrologiques qui influent sur les dynamiques de transfert des substances actives dans les différents compartiments de l'environnement.
- Les pratiques culturales et phytosanitaires qui influent sur le type et les quantités de molécules appliquées dans les milieux, mais, également, sur les processus associés aux transferts (tels que le ruissellement, la désorption) vers les eaux de surface et/ou la remobilisation des polluants aujourd'hui autorisés et interdits.

La pollution liée aux produits phytosanitaires semble toutefois s'améliorer entre la campagne de 2016 et celle de 2018, avec, notamment, une baisse du nombre de polluants chroniques mais, également, la diminution des concentrations moyennes annuelles liées aux usages de pesticides aujourd'hui autorisés. En revanche, la perspective de l'apparition d'un palier dans l'amélioration de la pollution liée aux pratiques phytosanitaires actuelles laisse entrevoir la nécessité de tester de nouvelles innovations techniques ou encore de mettre en place de nouvelles organisations à l'échelle des exploitations et du territoire afin de limiter encore la pression phytosanitaire (cf. projet FEDER RIVAGE). Une sensibilisation constante auprès des agriculteurs sur les pratiques limitant les transferts et la remobilisation des polluants pourra également permettre de dépasser ce seuil.

3.2. Contexte hydrologique

Les facteurs climatiques et hydrologiques, tels que la pluviométrie ou le débit, influent sur les dynamiques de transfert des polluants des différents compartiments de l'environnement vers les eaux de surface. À la Martinique deux saisons peuvent être distinguées : la saison sèche qui s'étale de février à juin et la saison humide allant de juillet à janvier (Météo France).

- L'année hydrologique de 2016 présente une saisonnalité marquée, comparativement aux deux autres années, avec un débit moyen et une pluviométrie inférieurs durant la période sèche (02/2016 - 06/2016) et supérieurs lors la période humide (07/2016 - 01/2016) (Tableau 3).
- L'année hydrologique de 2017 est caractérisée par une saisonnalité marquée et par une pluviométrie plus importante que lors des deux autres années. On observe une courte saison sèche entre janvier 2017 et mars 2017, puis une succession d'épisodes pluvieux d'intensités variables de mars à janvier 2018 (Tableau 3).
- L'année hydrologique de 2018 est très peu marquée, la période sèche étant beaucoup plus arrosée par rapport celles de 2016 et 2017 en raison d'un phénomène pluvieux de grande intensité en avril 2018. En dehors de cet événement les débits moyens et la pluviométrie sont globalement plus faibles (Tableau 3).

En période sèche, les rivières sont principalement alimentées par les aquifères. La contamination en pesticides dépend ainsi fortement des flux souterrains qui soutiennent une contamination sous la forme d'un bruit de fond de la rivière. Les molécules transférées par ces voies sont, la plupart du temps, retrouvées de façon chronique dans les eaux de la rivière (Calvet 2005, Carles et al. 2013, Mottes et al. 2014, Mottes et al. 2017).

Les pollutions ponctuelles sont, quant à elles, principalement liées aux flux de surface (incluant les transferts de subsurface). Lors de fortes pluies, les molécules les plus solubles, particulièrement mobiles et sensibles à tous les types de transfert, sont transportées majoritairement par ruissellement (de surface et hypodermique) vers les cours d'eau. Par ailleurs, les molécules ayant une forte affinité pour la matière organique (Koc élevé) peuvent être acheminées par des flux érosifs via le transport des particules de sol (matières en suspension MES). Ces flux de surface viennent alimenter la rivière, créant ainsi un phénomène de crue. Les concentrations seront d'autant plus importantes que les pluies surviennent sur des parcelles polluées, après une période de sécheresse, un travail du sol, ou encore, après un traitement par des produits phytosanitaires (Calvet 2005, Carles et al. 2013, Mottes et al. 2014, Guéné 2013).

		Débits moyens journaliers ($m^3 \cdot s^{-1}$)			Pluviométrie (mm)		
		Saison sèche	Saison humide	Annuelle	Saison sèche	Saison humide	Annuelle
Campagne 2016	BDL	$1,02 \pm 2,6 \cdot 10^{-1}$	$1,44 \pm 5,0 \cdot 10^{-1}$	$1,26 \pm 4,6 \cdot 10^{-01}$	834	2523	3357
	GG	$0,88 \pm 6,3 \cdot 10^{-1}$	$2,46 \pm 4,3$	$1,69 \pm 3,2$	1020	2259	3279
	LD	$0,03 \pm 4,0 \cdot 10^{-2}$	$0,15 \pm 4,0 \cdot 10^{-1}$	$0,11 \pm 3,3 \cdot 10^{-01}$	580	1512	2093
Campagne 2017	BDL	$1,15 \pm 4,7 \cdot 10^{-1}$	$1,28 \pm 4,1 \cdot 10^{-1}$	$1,23 \pm 4,4 \cdot 10^{-01}$	1084	2069	3153
	GG	$1,99 \pm 3,4$	$2,48 \pm 4,8$	$2,34 \pm 4,5$	1268	2230	3499
	LD	$0,05 \pm 1,1 \cdot 10^{-1}$	$0,10 \pm 2,1 \cdot 10^{-1}$	$0,08 \pm 1,8 \cdot 10^{-01}$	611	1357	1968
Campagne 2018	BDL	$1,09 \pm 3,6 \cdot 10^{-1}$	$1,07 \pm 2,9 \cdot 10^{-1}$	$1,08 \pm 3,2 \cdot 10^{-01}$	1249	1615	2864
	GG	$1,72 \pm 4,1$	$1,48 \pm 1,8$	$1,58 \pm 3,0$	1361	1692	3053
	LD	$0,07 \pm 1,4 \cdot 10^{-1}$	$0,04 \pm 4,0 \cdot 10^{-2}$	$0,05 \pm 1,0 \cdot 10^{-01}$	859	844	1702

Tableau 3 : Présentation des débits moyens journaliers ($m^3 \cdot s^{-1}$) et de la pluviométrie (mm) en saison sèche, humide et par année pour chaque station et campagne.

3.3. Une pollution aux pesticides liée à l'évolution des pratiques agricoles

Lors des précédentes études, il a été démontré que les dynamiques spatiales et temporelles étaient fortement influencées par l'évolution des pratiques agricoles. Ces études ont mis en évidence le rôle des stratégies d'adaptation adoptées par les agriculteurs face aux modifications de la réglementation, à l'apparition de nouveaux ravageurs et de leur prise de conscience environnementale entraînant des modifications sur les pratiques culturales (Deffontaines et al., 2018).

Cette partie présentera une analyse de l'évolution spatio-temporelle des molécules détectées lors des trois campagnes en fonction des pratiques agricoles enquêtées sur le bassin versant du Galion. Dans un premier temps, l'analyse portera sur les molécules liées à l'usage des produits phytosanitaires aujourd'hui interdits puis, dans un deuxième temps, sur les molécules dont l'usage est autorisé en distinguant 5 familles :

- Les fongicides post-récolte de la banane
- Les herbicides communs à toutes les cultures
- Les fongicides utilisés contre les cercosporioses (banane)
- Les herbicides spécifiques à la canne à sucre
- Les pesticides associés aux autres cultures (maraîchage, horticulture et vergers)

Enfin, nous présenterons l'ensemble des molécules présentes lors des campagnes 2016, 2017, ou les deux, mais non détectées en 2018.

3.3.1. Pollution liée aux usages de produits phytosanitaires aujourd'hui interdits

La pollution liée aux usages de produits phytosanitaires aujourd'hui interdits constitue la principale source de pollution des eaux de surface du bassin versant (cf. §3.1). En effet, les insecticides organochlorés sont extrêmement persistants dans l'environnement, occasionnant un impact environnemental sur le long terme.

Une pollution constante par les insecticides organochlorés anciennement utilisés contre le charançon du bananier.

Deux insecticides organochlorés (chlordécone et HCH Beta), métabolite et co-produit (chlordecol, chlordécone-5b-hydro) dont l'utilisation est aujourd'hui interdite ont été détectés de manière chronique au cours des campagnes de prélèvement (Figure 21).



Figure 21 : Profil de contamination aux organochlorés.

➤ **Chlordécone : une pollution chronique constante à des concentrations importantes sur toutes les stations du bassin versant du Galion**

La pollution du bassin versant du Galion est due, en grande partie, à la présence de la chlordécone. Il s'agit d'un insecticide organochloré qui a été utilisé dans la lutte contre le charançon du bananier jusqu'en 1993. Cette molécule, en raison de ses caractéristiques physico-chimiques (solubilité faible (3mg.l^{-1}), durée de demi-vie dans le sol très élevée et difficilement estimable (Baran et al., 2013) et une mobilité réduite ($K_{oc} > 2500 \text{ l.kg}^{-1}$), FOOTPRINT), se révèle très persistante dans l'environnement. On retrouve également, bien que dans une moindre mesure, son métabolite et co-produit: le chlordecol et la chlordécone-5b-hydro.

Présente sur l'ensemble des stations, elle participe, à elle seule, à plus de 94 % de la pollution totale pour la campagne de 2018 et à plus de 95 % en comptant ses métabolites. Il s'agit de la pollution la plus importante en termes de fréquence de détection et de concentration (Figure 22). LD, qui a été et qui demeure marquée par une forte proportion de cultures de banane export, est la station la plus polluée par la chlordécone (Figure 22). Cette observation correspond aux usages passés des terres agricoles (Della Rossa et al., 2017).

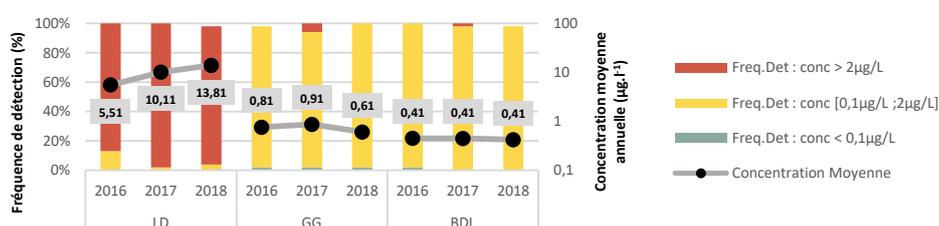


Figure 22 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordécone.

Une augmentation significative de 81 % des concentrations moyennes annuelles avait été observée entre 2016 et 2017 sur la station LD avec des concentrations supérieures au seuil de potabilisation. Eu égard à la date de début de l'augmentation de la contamination, novembre 2016, la principale hypothèse avancée avait alors été le passage de la tempête Matthew. En effet, cette tempête avait entraîné d'importants dégâts sur les cultures de banane et avait pu induire une intensification du travail des sols dans le but de remodeler les parcelles et de procéder à la replantation. Cette situation aurait pu générer différents processus de transfert:

- Le transfert érosif ayant des concentrations élevées en chlordécone a pu être facilité.
- Un meilleur accès du flux infiltrant à la porosité du sol.
- Une augmentation des flux d'infiltration accompagnée d'une réduction de l'évapotranspiration pouvant induire un transfert plus important vers les aquifères de surface.
- Une remontée des nappes atteignant des zones polluées
- D'importants flux de subsurface à des profondeurs contaminées

Au cours de la campagne de 2018, les profils de contamination à la chlordécone par station et sur l'ensemble des campagnes, indiquent une pollution chronique permanente et à des concentrations élevées (Figure 21). Cette dynamique de contamination peut s'expliquer par une alimentation du cours d'eau par des aquifères souterrains fortement contaminés par la chlordécone. Des pics de concentration, plus ou moins importants, sont également observables, certains semblant liés à des épisodes de crue tandis que d'autres non. Les pics de concentration associés à des périodes de crue surviennent, principalement, après des épisodes de sécheresse et seraient liés à des flux de surface transportant les molécules rendues plus accessibles par les travaux du sol réalisés durant la période sèche. Les pics de concentrations observés en périodes de basses eaux seraient, quant à eux, dus à de fortes contributions des nappes couplées à une faible dilution par les pluies. Des profils similaires pour la chlordecone-5b-Hydro et le chlordecol sont également rencontrés, mais à des concentrations nettement inférieures (Figure 21).

Sur la station LD, un profil de contamination proche de celui de la campagne de 2017 est retrouvé, soit donc une pollution constante et chronique avec des pics de concentration très importants qui semblent consécutifs à des épisodes de crue. L'hypothèse émise en 2017 pour expliquer la remobilisation en surface de chlordécone et transportée par des flux de surface est confortée lors de la campagne de 2018. L'augmentation de la concentration entre 2017 et 2018

résultant d'évènements exceptionnels (19/02/2018 : 94,5 µg.l⁻¹, 02/07/2018 : 78,9 µg.l⁻¹) n'est pas significative. Cette stabilisation de la concentration moyenne annuelle, nettement supérieure à celle de la campagne de 2016, peut également s'expliquer par une remobilisation importante de la chlordécone dans les sols, suite à la tempête Matthew ayant engendré un changement de régime hydrologique plus favorable à l'alimentation du cours d'eau par des compartiments contaminés par cette molécule (aquifère ou subsurface).

La contamination des eaux par la chlordécone reste donc stable depuis 2016 sur GG et BDL et la forte augmentation enregistrée sur LD en 2017 s'installe dans le temps puisque les niveaux de pollution enregistrés en 2018 demeurent identiques voire supérieurs à ceux de 2017.

Suivi ODE : Le suivi de l'ODE, révèle également une pollution chronique en chlordécone sur la station GG à des concentrations élevées (Figure 21).

La contamination par les trois autres herbicides organochlorés présents dans les eaux de surfaces du bassin versant du Galion, présente une variabilité spatiale et temporelle, *a contrario* de la chlordécone qui constitue une pollution permanente sur toutes les campagnes et stations du territoire d'étude.

➤ Baisse significative de la chlordecone-5b-Hydro sur GG et LD

Métabolite et coproduit de la chlordécone, la chlordecone-5b-Hydro est présente en 2018 de façon chronique sur LD et ponctuelle sur GG (Figure 21).

Sur GG, elle représentait sur les campagnes de 2016 et 2017 une pollution chronique avec des moyennes de concentrations annuelles nettement inférieures au seuil de potabilité. Une baisse des fréquences de détection avait été établie entre ces deux campagnes mais n'avait pas été jugée, pour autant, significative. En 2018, la tendance se confirme et on observe une baisse significative des fréquences de détection avec la campagne de 2016 (Figure 23).

Sur LD, la pollution reste chronique avec des concentrations moyennes annuelles supérieures au seuil de potabilité. Toutefois, une baisse significative est établie en 2018 avec les campagnes de 2016 et 2017 à des concentrations moyennes annuelles qui tendent vers la limite de potabilité (Figure 23).

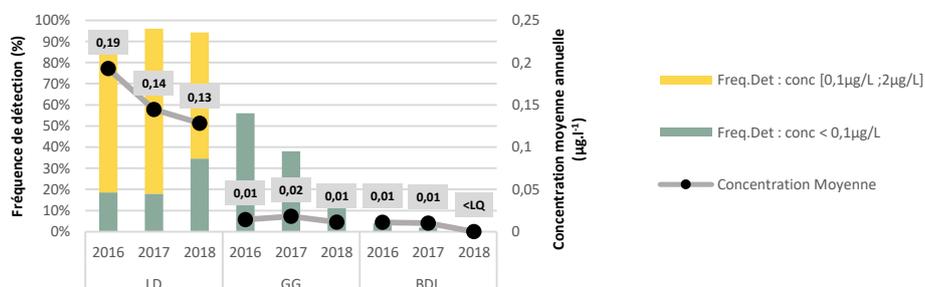


Figure 23 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordecone-5b-Hydro.

La contamination des eaux de surface par la chlordecone-5b-Hydro est marquée par une baisse significative des concentrations moyennes annuelles sur LD et GG. La molécule reste chronique sur LD mais devient ponctuelle sur GG.

Suivi ODE : Le suivi de l'ODE, montre une contamination chronique en chlordecone-5b-Hydro avec des concentrations du même ordre que celles retrouvées lors du suivi hebdomadaire (Figure 21).

➤ Chlordecol : une forte variabilité temporelle

Le chlordecol, présente une grande variabilité temporelle en termes de fréquence de détection, passant de polluant chronique à ponctuel d'une année à l'autre sur GG et BDL. Les moyennes de concentration annuelle sont, quant à elles, relativement stables sur toutes les stations à des concentrations proches du seuil de détection. Tout comme pour la chlordécone, et la chlordecone-5b-hydro, la contamination en chlordecol est plus importante sur LD, où l'on observe

une pollution chronique avec un seul dépassement de la limite de potabilité. Les détections proches de la limite de quantification, peuvent sous-entendre une pollution chronique sur toutes les stations, mais à des concentrations en dessous de 0,01 µg/l (Figure 24).

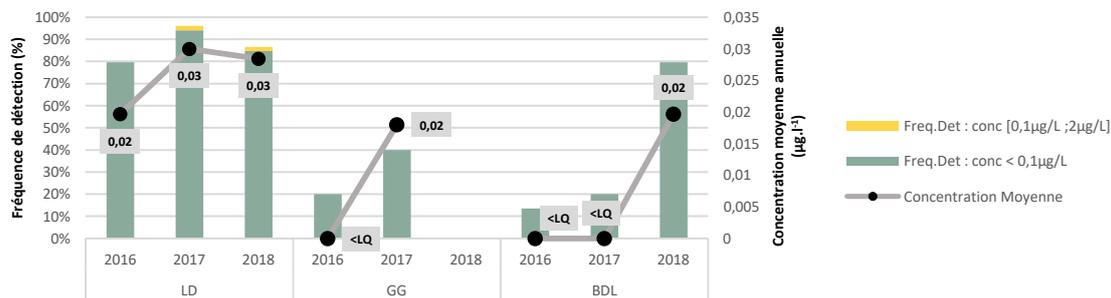


Figure 24 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le chlordecol.

Suivi ODE : Le suivi de l'ODE, montre une contamination chronique en chlordécol sur GG à des concentrations proches de la limite de quantification. L'hypothèse d'une pollution chronique à des concentrations faibles est confortée (Figure 21).

➤ Baisse significative de la concentration moyenne en HCH-Beta sur LD

Utilisé principalement entre 1966 et 1972, le lindane a été employé pour lutter contre le charançon du bananier pour être ensuite remplacé par la chlordécone. Tout comme cette dernière molécule, il possède des caractéristiques intrinsèques le rendant persistant dans l'environnement (solubilité faible (8,5 mg l⁻¹), durée de demi-vie dans le sol importante (DT50 : 121 jours) et une mobilité réduite (Koc : 1100 l.kg⁻¹), FOOTPRINT). La campagne de 2017 montrait une stabilité des concentrations moyennes annuelles et des fréquences de détection sur l'ensemble des stations. Une baisse des concentrations faisant suites aux deux événements hydrologiques majeurs (Tempête Matthew et Ouragan Irma) avait été observée en fin de campagne. L'hypothèse d'une contribution d'un compartiment souterrain contaminé qui serait dilué par les flux superficiels avait été émise.

Sur la campagne de 2018, le HCH-Beta n'est pas détecté sur GG. Sur BDL, il représente une pollution ponctuelle avec des concentrations et des fréquences de détection qui restent stables. Sur LD, il est détecté de façon chronique. De plus, une baisse significative des moyennes de concentrations annuelles est constatée avec les campagnes 2016 et 2017 (Figure 25). Les profils de contamination sur LD, présentent une pollution constante sur l'année 2018 à des concentrations inférieures à celles de la campagne de 2016 et 2017. L'hypothèse avancée lors de la campagne de 2017 peut être validée. La stabilité des concentrations dans le temps et les caractéristiques de la molécule laissent penser que les dynamiques de transfert sont liées prioritairement à des transferts de nappes (Figure 21).

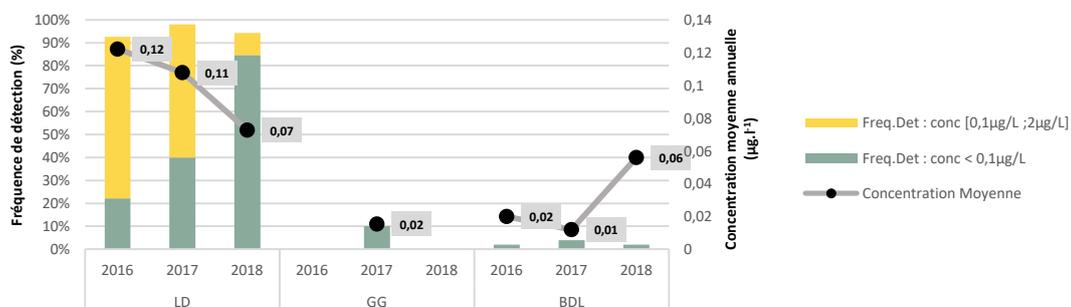


Figure 25 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le HCH-Beta.

➤ Une pollution ponctuelle multiple

La pollution ponctuelle liée aux pesticides dont l'usage est aujourd'hui interdit, présente, comme les molécules précédentes, une variabilité spatiale et temporelle (Annexe 1). Cette pollution ponctuelle est marquée par :

✓ Une pollution au-dessus du seuil de potabilisation par le diuron sur BDL

Le diuron avait été détecté une fois en 2017 sur GG. Il s'agit d'un herbicide ayant été utilisé principalement dans les cultures de canne à sucre et de banane. Sur la campagne de 2018, il est détecté une seule fois sur BDL mais à une concentration nettement supérieure au seuil de potabilisation ($3 \mu\text{g.l}^{-1}$).

Cette pollution ponctuelle peut être le résultat d'un usage isolé d'un produit stocké par un agriculteur ou par un particulier, ou de la réapparition de la molécule à la suite d'un phénomène pluvieux ou érosif. Toutefois, l'hypothèse de l'usage illégal est privilégiée sur cette station peu marquée par les cultures de banane et de canne à sucre et où s'applique un fort gradient de dilution des concentrations.

✓ Un retour à la normale de la contamination en triazine

En 2017, des métabolites issus de triazines anciennement autorisés en canne à sucre (hydroxyatrazine, hexazinone, propazine-2-hydroxy) avaient été détectés sur GG et/ou LD avec, notamment, une contamination préoccupante en hydroxyatrazine dont la concentration moyenne annuelle dépassait la limite de potabilité. Les détections semblaient correspondre aux périodes de traitement de la canne à sucre. Une hypothèse avait été émise d'une utilisation illégale afin de répondre à l'interdiction de l'asulam.

Sur la campagne de 2018, des détections sur LD et/ou BDL en atrazine (GG), hydroxyatrazine (LD, GG) et nouvellement en simazine-2-hydroxy (LD) sont observées mais à des concentrations proches ou inférieures à la limite de quantification (une seule quantification de l'hydroxyatrazine sur GG : $0,04 \mu\text{g.l}^{-1}$). Ces molécules n'étant pas aussi persistantes dans l'environnement que la chlordécone, il est possible d'envisager la présence de reliquats non dégradés de matières actives entraînant une pollution chronique des nappes de subsurface qui se déchargent dans les cours d'eau de manière ponctuelle.

Suivi ODE: Le suivi réalisé par l'ODE, montre une pollution chronique en hydroxyatrazine sur la campagne de 2016 et 2017 qui devient ponctuelle en 2018 à des concentrations moyennes annuelles proches de la limite de quantification. Cette observation, vient confirmer l'hypothèse d'une pollution chronique des nappes de subsurface entraînant par transfert une contamination des eaux de surface. Au vu de la pollution chronique sur la campagne de 2016 et 2017, une alimentation via des aquifères souterrains peut également être envisagée.

3.3.2. Une pollution liée aux usages de produits phytosanitaires aujourd'hui autorisés

3.3.2.1. Les herbicides communs à toutes les cultures

Le climat tropical favorise une pousse rapide et nécessite une gestion de l'enherbement permanente. L'utilisation des herbicides est une pratique commune à toutes les cultures pour la gestion des adventices.

L'analyse des résultats de la campagne de 2016 et 2017, indique que le glyphosate et l'AMPA, son métabolite de dégradation, étaient présents sur l'ensemble des stations en raison d'une utilisation généralisée et régulière sur l'ensemble du territoire. Le suivi de l'année 2016 avait révélé une contamination chronique à ces deux molécules sur les trois stations, celui de la campagne de 2017 avait permis, quant à lui, l'observation d'une diminution généralisée des concentrations. Ces constatations avaient toutefois été mises en doute par les résultats 2017 des prélèvements réalisés par l'ODE qui ne révélaient pas d'amélioration.

➤ Une baisse significative de la pollution chronique en AMPA sur l'ensemble des stations

Sur l'ensemble des stations, la baisse significative des concentrations moyennes annuelles entre la campagne de 2016 et celles de la campagne de 2018 est constatée confirmant la tendance observée en 2017 (Figure 26).

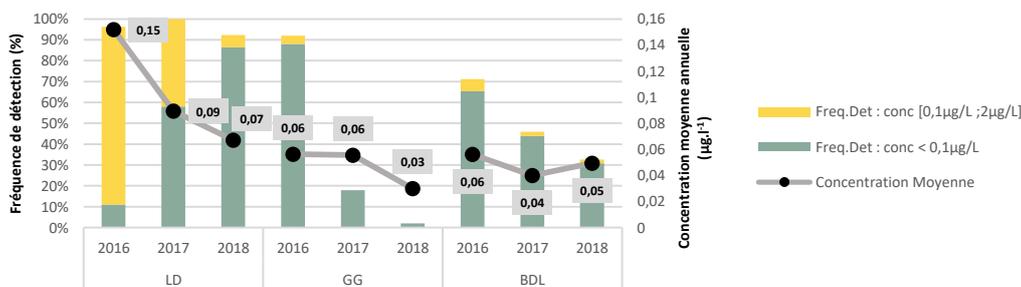


Figure 26 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'AMPA.

Station LD. En 2016 cette station enregistrait les concentrations les plus élevées. En 2017, la concentration moyenne de l'AMPA avait baissé de 40 %. En 2018, la tendance se confirme avec une nouvelle baisse de la concentration moyenne de 22 % par rapport à 2017. Cette molécule reste toutefois un polluant chronique, mais avec une concentration moyenne annuelle légèrement inférieure au seuil de potabilité (Figure 26).

Station BDL. 2017 avait déjà enregistré une baisse de la fréquence de détection de l'AMPA avec des concentrations ne dépassant pas le seuil de potabilité. En 2018, la tendance de diminution de la fréquence de détection se confirme tandis que la concentration moyenne reste stable ($0,05 \mu\text{g.L}^{-1}$) (Figure 26).

Station GG. Une baisse significative des concentrations moyennes et des fréquences de détection avait été constatée en 2017 mais semblait principalement résulter de la modification de la configuration du préleveur. En 2018, la fréquence de détection se situe à 2 % et avec une moyenne de concentration qui se stabilise, proche de la limite de quantification. La tendance à la baisse par rapport aux constatations de 2016 est donc confirmée. En 2019, un double échantillonnage (composite et ponctuel) aura, pour objectif de confirmer cette forte diminution (Figure 26).

Le profil de contamination de l'AMPA (Figure 28) montre une pollution permanente sur la station LD qui peut s'expliquer par une contribution des flux hypodermiques à l'alimentation du cours d'eau. Sur BDL et GG, la contamination se présente sous forme de pics survenant lors d'épisodes pluvieux (crues) ou non. Les pics de concentrations lors d'épisodes de crue peuvent être liés à des transferts de surface de type ruissellement, notamment après des épisodes de sécheresse ou d'un traitement phytosanitaire et peuvent, également, être causés par des flux d'infiltration puisque l'AMPA est très soluble. La contribution des flux hypodermiques peut, quant à elle, expliquer les pics de concentration observés en dehors des périodes de crue (transferts retardés).

Suivi ODE: Le suivi ODE, indique une baisse des fréquences de détection (2016 :100 %, 2017 : 83 %, 2018 :71 %) et de la concentration moyenne de l'AMPA sur GG ($0,052 \mu\text{g/l}$ sur les campagnes de 2016 et 2017 et $0,036 \mu\text{g/l}$ en 2018). La concentration moyenne est similaire à celle relevée lors de la campagne de 2018 réalisée par le CIRAD mais les fréquences de détection sont beaucoup plus élevées. Toutefois, il reste ici un polluant chronique (Figure 28).

➤ **Le glyphosate passe sous le seuil des 20 % de fréquence de détection et devient un polluant ponctuel**

L'évolution entre la première et la deuxième campagne avait révélé une baisse de la fréquence de détection du glyphosate. Sur LD une baisse significative des concentrations moyennes avait été observée. Cette tendance se confirme sur la dernière campagne et il perd son caractère chronique en devenant un polluant ponctuel sur l'ensemble des stations (Figure 27).

Le profil de contamination en glyphosate (Figure 27) de la rivière se révèle sous forme de pics de concentration. Cette molécule présente une forte affinité pour la matière organique ce qui suppose un transfert par flux érosif (pics lors des épisodes de crue) ou dissous lors d'évènements pluvieux, même de relativement faible intensité, après une application de glyphosate.

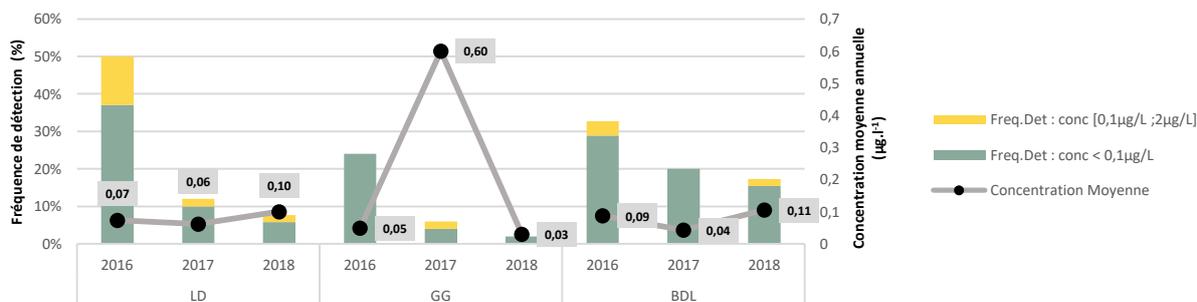


Figure 27 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le glyphosate.

Suivi ODE: Le suivi réalisé par l'ODE, confirme cette analyse. En effet, aucune détection en glyphosate n'est constatée sur la campagne de 2018 (Figure 28).

➤ **Une diminution multifactorielle de la pollution en glyphosate et de son produit de dégradation.**

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'évolution de la pollution résultant de la présence de glyphosate et de l'AMPA.

- ✓ Un changement de pratique opéré sur l'amont du bassin versant
- ✓ Les enquêtes auprès des agriculteurs réalisés en 2017 par Landry Deffontaines ont permis d'identifier des changements des pratiques de gestion de l'enherbement notamment dans les petites exploitations maraîchères et dans les exploitations bananières situées en amont du bassin avec une utilisation privilégiée de la fauche.
- ✓ Une forte affinité pour les sédiments pouvant masquer une pollution plus importante
- ✓ L'affinité à la matière organique et aux éléments siliceux du glyphosate peut masquer une pollution plus importante que celle présente dans la rivière en raison de la fixation aux sédiments. À noter que des carottes sédimentaires ont été réalisées dans le cadre d'une autre étude et sont en cours d'analyse (Sabatier et al. 2018). Il sera intéressant, par la suite, de confronter les résultats avec la pollution en glyphosate de la rivière.

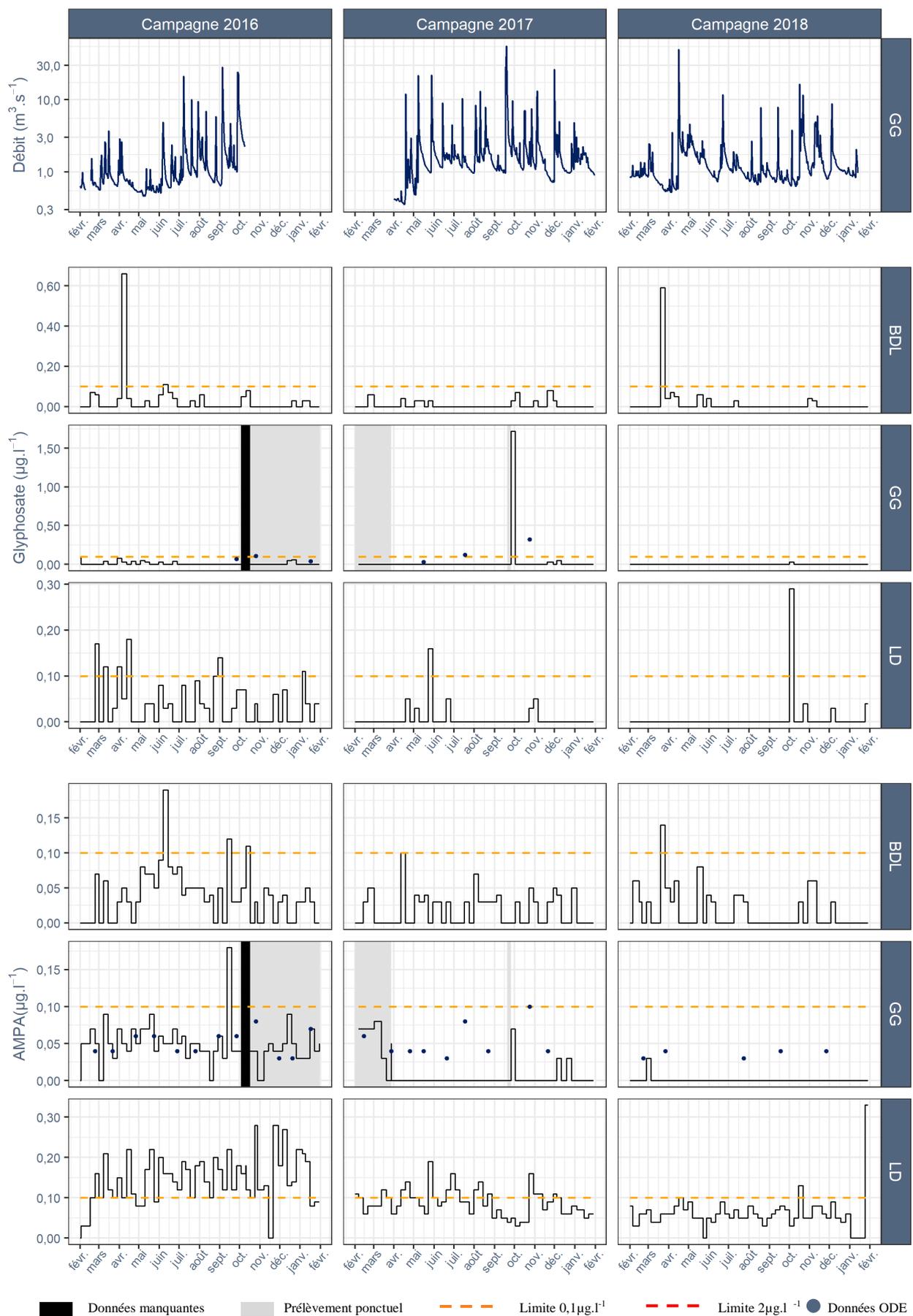


Figure 28 : Profil de contamination aux herbicides communs à toutes les cultures.

3.3.2.2. Les fongicides post-récolte de la banane

Les fongicides post-récolte sont utilisés pour traiter les bananes destinées à l'exportation et ont pour objectif de lutter contre l'anthracnose (ou chancre du fruit) et les pourritures de couronnes. Les trois fongicides détectés sur le bassin versant du Galion sont l'imazalil pour lutter contre le chancre, et le couple thiabendazole et azoxystrobin contre la pourriture des couronnes.

Une contamination chronique à ces trois fongicides avait été constatée lors des campagnes 2016 et 2017 sur les stations GG et LD. Les informations transmises par l'IT2 et par Banamart sur les périodes d'utilisation des différents fongicides post-récolte ont permis d'établir les dynamiques d'application des fongicides post-récolte (Figure 29) expliquant la dynamique temporelle des contaminations (Figure 30).

L'analyse des profils de contamination de 2016 et 2017 des fongicides post-récoltes détectés, a montré que la dynamique temporelle des contaminations concordait avec l'utilisation des produits prévus à cet usage (Figure 29) : utilisation constante de l'imazalil contre le chancre, en saison sèche une intensification de l'utilisation du thiabendazole et en période humide de l'azoxystrobin, tous deux utilisés contre la pourriture de la couronne.

Sur la période 2018 une corrélation entre les concentrations en fongicides post-récolte quantifiées dans la rivière et les dynamiques d'application est toujours enregistrée (Figure 30).

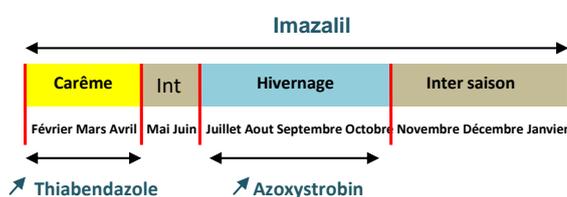


Figure 29 : Dynamique temporelle de l'utilisation des fongicides post-récoltes.



Figure 30 : Profil de contamination des fongicides post-récoltes.

➤ **Une pollution corrélée à la position et au nombre de hangars de conditionnement**

L'analyse des résultats entre 2016 et 2017 avaient révélé une corrélation entre la concentration des hangars de conditionnement de la banane et la somme des concentrations moyennes des trois pesticides aux différentes stations de prélèvement. Le nombre de hangars par unité de surface est trois fois plus élevé sur le sous-bassin versant LD que celui de GG. Un seul hangar est présent sur BDL. Cette corrélation est toujours observable pour l'année 2018. Toutefois, la baisse des concentrations moyennes enregistrées tend à lisser cette variabilité spatiale.

➤ **Une baisse de la pollution en fongicides post-récolte qui tend à se stabiliser.**

L'étude des résultats entre 2016 et 2017, mettait en évidence une importante diminution de la pollution sur GG et LD à partir d'octobre 2016. Deux hypothèses avaient alors été avancées :

- ✓ Le passage de la tempête Matthew qui a entraîné d'importantes pertes de récoltes et donc une diminution du volume de bananes à traiter et par conséquent des produits utilisés.
- ✓ La modification des systèmes d'application des fongicides et de la gestion des bouillies dans les hangars de conditionnement.

Après échanges avec les agriculteurs et L. Nelson de l'IT2 ces deux hypothèses ont été confirmées.

En 2017, le retour de ces pollutions avait été constaté mais à des concentrations largement inférieures à celles enregistrées précédemment.

Lors de la dernière campagne on observe une stabilisation des concentrations ce qui confirme un changement de pratique et un aménagement durable de récupération des bouillies limitant le transfert des polluants vers les cours d'eau (Figure 31, Figure 32, Figure 33).

➤ **Une pollution chronique en azoxystrobin qui reste préoccupante sur LD**

En 2017, une baisse significative des moyennes de concentration a été observée sur LD restant néanmoins, supérieures à la limite de potabilité. En 2018, la pollution se stabilise générant toujours une pollution préoccupante pour la rivière Galion (Figure 31).

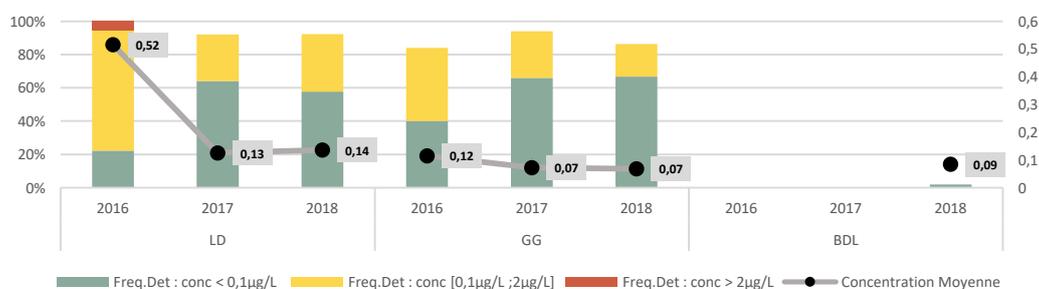


Figure 31 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'azoxystrobin.

➤ **Une amélioration constante de la pollution chronique en imazalil et thiabendazole sur LD et GG**

Station GG. Lors de la campagne de 2017, une baisse significative des concentrations moyennes et des fréquences de détection pour les deux molécules a été observée. En 2018, elle se stabilise avec des valeurs proches de la limite de quantification pour le thiabendazole (Figure 32). L'imazalil connaît une nouvelle baisse significative de la concentration moyenne, mais ses fréquences de détection augmentent de 35%, suggérant un transfert chronique inscrit dans le temps de cette molécule vers les eaux de surface (Figure 33).

Station LD. Lors de la campagne de 2017, une baisse significative de la concentration moyenne en imazalil a été enregistrée (figure 31). En 2018, une baisse significative des moyennes de concentration par rapport à la campagne de

2016 est observée pour le thiabendazole (Figure 32). L'imazalil tend à se stabiliser mais à une valeur égale à la limite de potabilité (Figure 33).

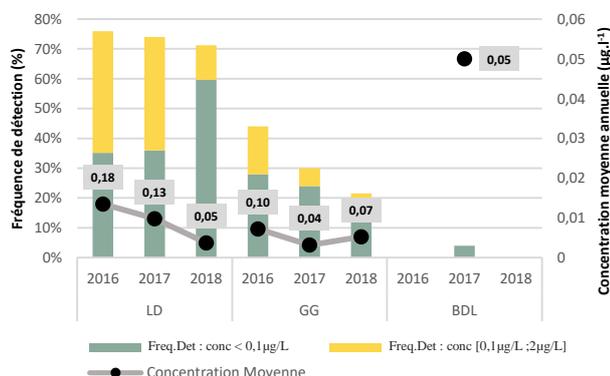


Figure 32 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le thiabendazole.

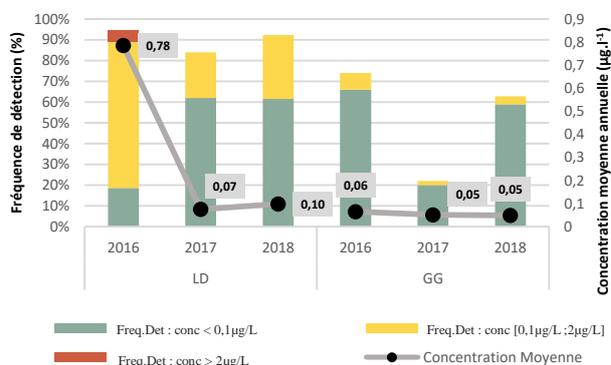


Figure 33 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'imazalil.

Une attention toute particulière devra être portée à l'évolution de l'imazalil lors de la prochaine campagne en raison de l'interdiction en 2019 du fungaflo®[®], produit à base d'imazalil.

Suivi ODE : Le suivi ODE est conforme aux résultats issus des prélèvements hebdomadaires effectués par le CIRAD (Figure 30).

3.3.2.3. Les produits pour lutter contre la cercosporiose

La cercosporiose noire du bananier est une maladie provoquée par un champignon conduisant à une maturation précoce du fruit et à la diminution de la photosynthèse qui entraînent la baisse des rendements et de la qualité des fruits. La maladie se développe principalement lors des périodes chaudes et humides.

➤ Le propiconazole redevient un polluant ponctuel sur LD

Déjà détecté de façon ponctuelle en 2016, la campagne 2017 avait révélé sur LD une contamination chronique au propiconazole utilisé pour le traitement des cercosporioses. Le retrait au plus tard fin juin 2019, des produits phytosanitaires contenant cette substance, peut expliquer la baisse observée sur la dernière campagne de ce polluant qui redevient ponctuel (Figure 34 et Figure 36).

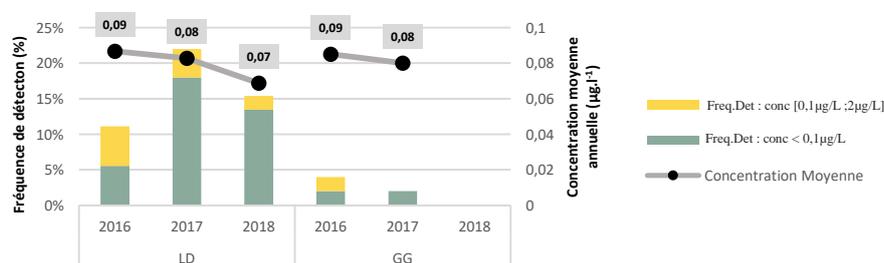


Figure 34 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le propiconazole.

Suivi ODE : Le suivi ODE révèle aucune détection en propiconazole autrefois détecté de manière ponctuelle. Cette tendance vient conforter notre analyse et l'hypothèse posée (Figure 36).

➤ **Une nouvelle pollution chronique en fluopyram sur LD et GG (molécule ajoutée dans les analyses de la campagne de 2018)**

En raison de l'interdiction possible du propiconazole, le fluopyram a été ajouté à la liste des pesticides à analyser. L'examen de la fréquence de détection de cette molécule conclut à une pollution ponctuelle sur BDL, mais chronique sur GG et LD. Toutefois, les concentrations moyennes ne dépassent pas le seuil de potabilité (Figure 35 et Figure 36).

Compte tenu de l'interdiction prévue fin juin 2019 du propiconazole, il sera intéressant de suivre l'évolution de cette nouvelle pollution au cours de la prochaine campagne. Les agriculteurs devront s'adapter soit par des pratiques alternatives à l'usage de pesticides, soit en substituant cette molécule par une autre. On peut ainsi s'attendre à un transfert d'usage vers le fluopyram ou encore le diféconazole. Il faudra également être attentif aux autorisations de mise sur le marché d'autres produits pouvant lutter contre cette maladie du bananier.

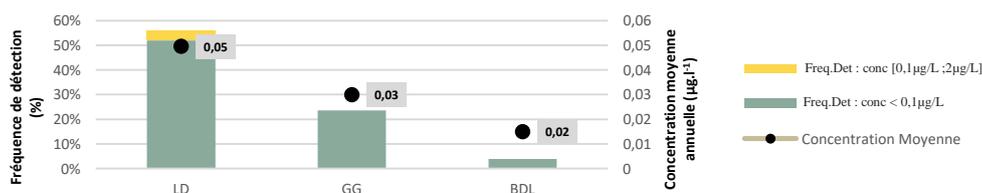


Figure 35 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le fluopyram.

➤ **Une dynamique de pollution liée au développement de la maladie**

La SICA-Cercoban réalise le suivi de la maladie et informe les agriculteurs lorsqu'il est nécessaire de traiter. L'examen des profils de contamination du propiconazole et du fluopyram, permet d'observer des pics de pollution par ces deux molécules corrélées en période de traitement. Toutefois, il est important de rappeler que les limites de quantification du propiconazole sont plus élevées (0.05 µg/l) que celle du fluopyram (0.020 µg/l) ce qui peut être un facteur important pour expliquer les différences en termes de fréquence de quantification entre ces deux molécules (Figure 34 et Figure 35).

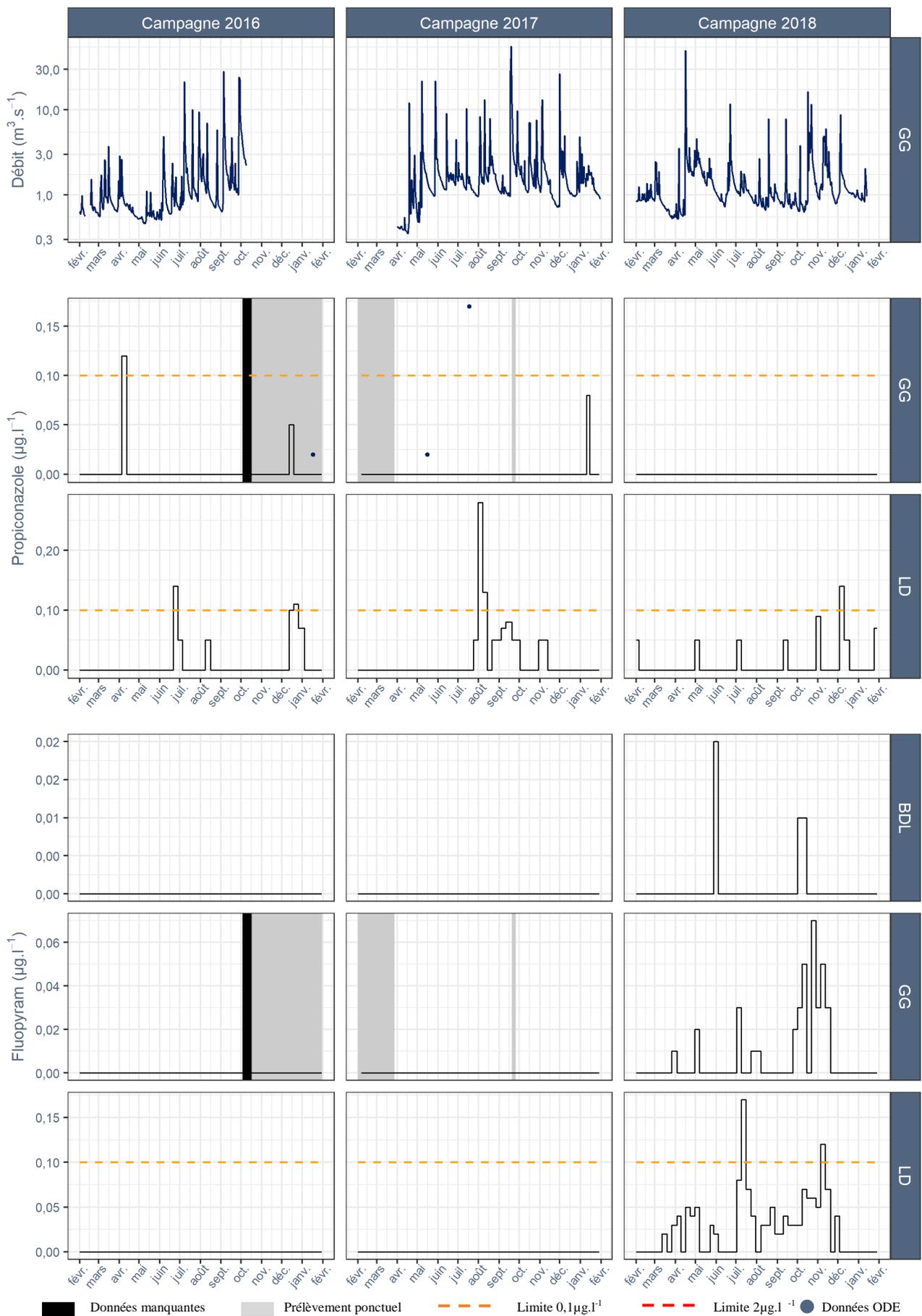


Figure 36 : Profil de contamination des fongicides contre les cercosporioses.

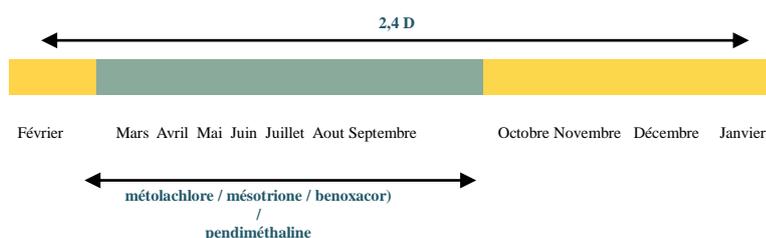
3.3.2.4. Les herbicides spécifiques à la canne à sucre

Les producteurs de canne à sucre, présents uniquement sur le bassin GG utilisent des herbicides spécifiques. Les enquêtes auprès des agriculteurs (Arnal, 2017) ont permis d'établir les dynamiques d'application. Deux dynamiques se distinguent en fonction des exploitations : les chantiers de désherbage continus sur 8 mois ou concentrés dans la durée. A l'échelle du bassin, une dynamique de 4 mois est observée. Les traitements se déroulant pendant ou après la récolte les temporalités peuvent varier en fonction des aléas de la récolte.

Les molécules utilisées selon les dynamiques d'utilisation choisies sont le 2,4D, le métolachlore, la mésotrione, le benoxacor et la pendiméthaline.

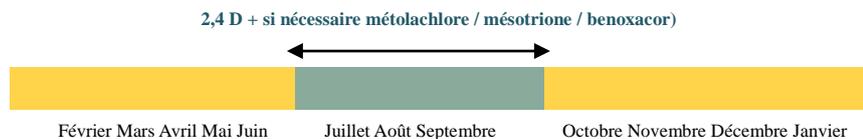
Chantiers de désherbage continus sur 8 mois

- Grandes surfaces (24 % BV)
- Traitement pendant la récolte de la canne



Chantiers de désherbage concentrés sur 4 mois à l'échelle du bassin

- ✓ Petites surfaces (10 % BV)
- ✓ Traitement après la récolte
- ✓ Deuxième traitement possible avant la fermeture du couvert (4-6 mois après)



- **Baisse de la fréquence de détection du 2,4D sur GG.**

La fréquence de détection baisse de 10 % entre les campagnes de 2017 et 2016 et celle de 2018 (Figure 37). L'examen des profils de concentration permet d'observer une détection du 2,4D concentrée entre août et décembre 2018. Toutefois, aucune évolution des concentrations moyennes annuelles n'a été constatée. La difficulté de gestion des adventices peut entraîner une utilisation des produits phytosanitaires autorisés dans des quantités plus élevées qu'auparavant.

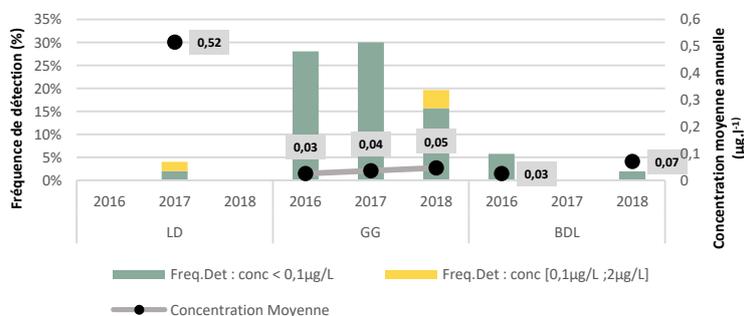


Figure 37 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le 2,4D.

➤ Une augmentation de la pollution chronique en métolachlore sur GG

Sur la station Grand Galion on constate une augmentation significative des fréquences de détection (+27 %) et des concentrations moyennes annuelles qui ne dépassent, toutefois, pas le seuil de potabilité (Figure 38).

Sur la campagne de 2016 et 2017, des pics de concentration dépassant le seuil de potabilité avaient été observés sur le mois de mai. Ces valeurs, correspondaient aux traitements des parcelles les plus proches du point de prélèvement. Cette proximité à la fois de la rivière et de la station de prélèvement induit un temps de transfert plus court vers les eaux de surface et une dilution plus faible. Sur la campagne de 2018, ces mêmes pics de concentration et à la même période ont été constatés (Figure 39).

Toutefois, il apparaît que la saisonnalité est moins marquée que les autres années. Sur les deux premières années, le métolachlore n'était plus détecté à partir du moins de novembre. Lors de la campagne de 2018 on observe que la pollution reste constante jusqu'à fin janvier, date de la fin de la campagne de 2018 (Figure 39). L'interdiction de l'asulam, pourrait expliquer une gestion plus difficile des adventices et donc des traitements plus fréquents. Il est également possible que les applications répétées de ce pesticide aux cours des différentes années aient généré une augmentation progressive de la contamination chronique du cours d'eau, qui est passée au-dessus de la limite de quantification.

Suite à l'interdiction de l'asulam, il semble apparaître une modification de la gestion des adventices dans les cultures de la canne. Il serait intéressant d'actualiser les enquêtes de pratiques auprès des producteurs de canne afin de mieux comprendre et expliquer ces nouvelles dynamiques de traitement.

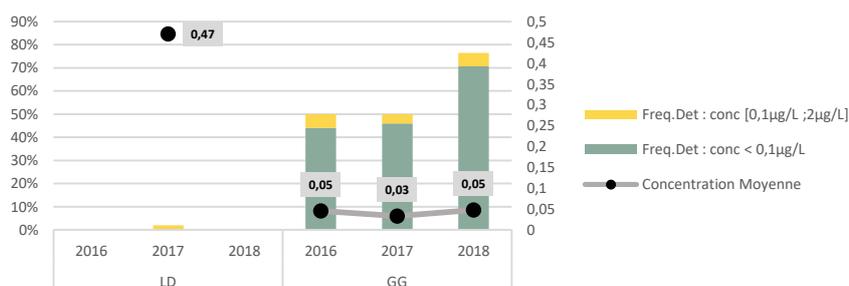


Figure 38 : Fréquence de détection à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le métolachlore.

Suivi ODE : Le suivi ODE montre en 2018 une pollution ponctuelle en S-métolachlore détectée à des concentrations proches de la limite de quantification (Figure 39).

➤ Une pollution ponctuelle en mésotrione sur GG

On observe une baisse des fréquences de détection en mésotrione sur GG entre la campagne de 2017 et 2018 (2017 : 14 %, 2018 : 4 %). Toutefois la concentration moyenne reste proche du seuil de quantification (0.01 µg/l) (Figure 39).

Suivi ODE: Le suivi réalisé par l'ODE ne révèle pas de détection de 2,4D ni de mésotrione. De plus, on observe une baisse des fréquences de détection et de la concentration moyenne en métolachlore qui atteint tout juste le seuil de quantification. La campagne de 2018 révèle une baisse de la contamination en herbicides de la canne à sucre (Figure 39).

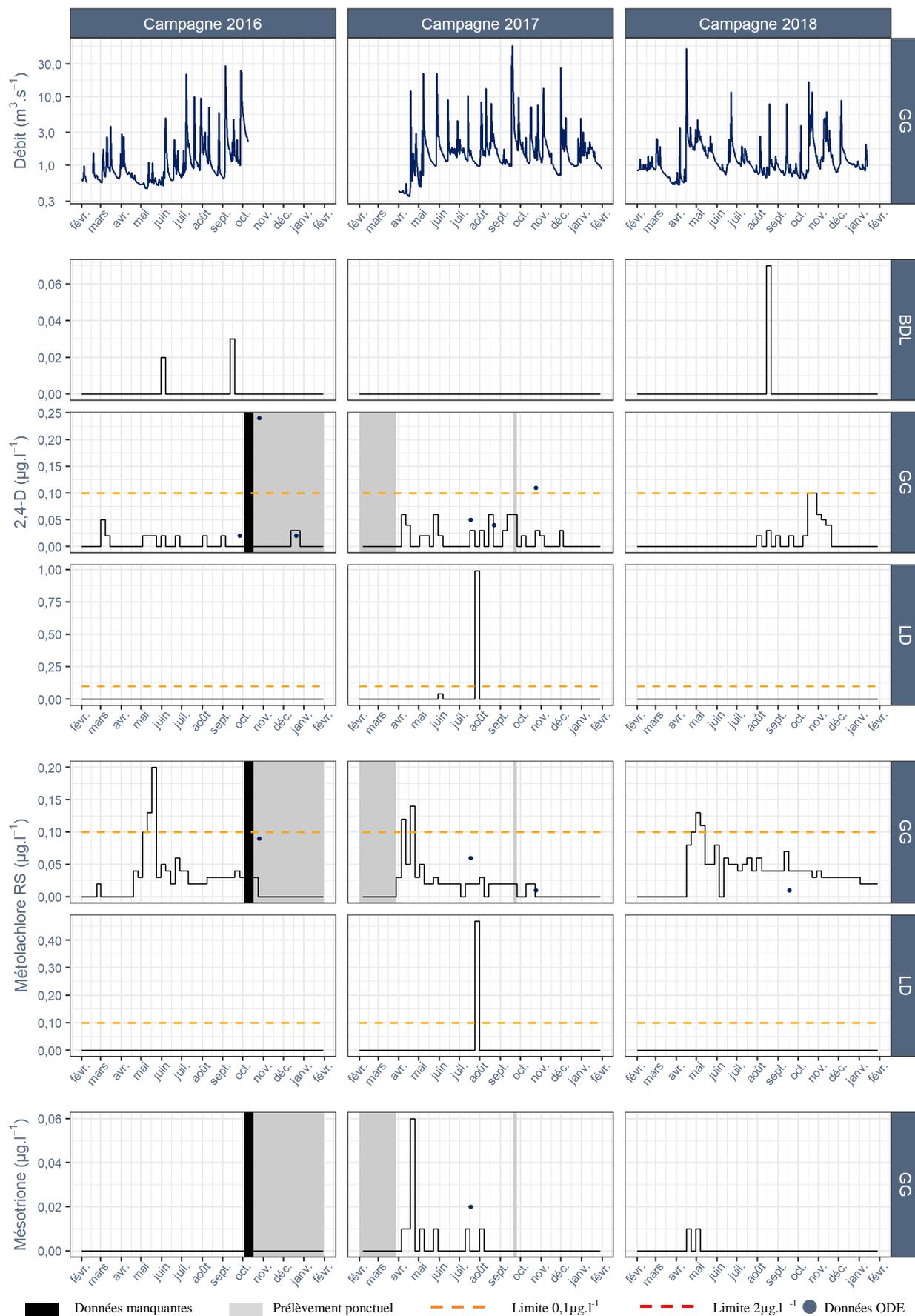


Figure 39 : Profil de contamination des herbicides spécifiques à la culture de canne à sucre.

3.3.2.5. Les autres cultures : maraîchage, vergers, horticulture

Les pollutions générées par des molécules spécifiques aux cultures maraîchères, horticolas et de vergers sont peu nombreuses et, également, peu détectées dans les eaux de surface du bassin versant du Galion. En 2018, seul l'imidaclopride est relevé, une seule fois sur LD, mais à une concentration supérieure au seuil de potabilité (0.2 µg/l). Ce pic de concentration est lié à un épisode de crue de faible amplitude. La faible représentativité de ces pesticides peut être due au fait que ces cultures se concentrent principalement en amont du bassin où s'applique une forte dilution des concentrations.

3.3.2.6. Les molécules non détectées lors de la campagne de 2018

	2016			2017		
	BDL	GG	LD	BDL	GG	LD
Asulam (HERB)	ND	ND	ND	ND	●	●
Atrazine Desethyl ((HERB)	ND	ND	ND	ND	ND	●
Bendiocarbe (INS)	●	ND	ND	ND	ND	ND
Biphenyl (FONG)	ND	●	ND	ND	ND	ND
Bromuconazole (FONG)	ND	ND	●	ND	ND	ND
DCPMU (HERB)	●	ND	ND	ND	ND	ND
Desmetryne (HERB)	ND	ND	●	ND	ND	ND
HCH Alpha (INS)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Hexazinone (HERB)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Hydaméthylon (INS)	ND	ND	●	ND	ND	●
Hydroxyterbutylazine (HERB)	ND	●	●	ND	●	ND
Oxadiazon (HERB)	ND	ND	ND	ND	ND	●
Oxydemeton Methyl (INS)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Pentachlorophenol (FONG)	●	ND	ND	ND	ND	ND
Propazine-2-Hydroxy (HERB)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Pyrifénox (FONG)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Terbuphos (INS)	ND	ND	●	ND	●	ND
Thiaflumide (flufenacet) (HERB)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Triasulfuron (HERB)	ND	ND	ND	●	ND	ND
2,4-DB (HERB)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Benoxacor (HERB)	ND	●	ND	ND	ND	●
Chloridazone (Pyrazon) (HERB)	ND	ND	●	ND	ND	ND
Dicamba (HERB)	ND	ND	●	ND	●	ND
Difenoconazole (FONG)	ND	●	ND	ND	ND	●
Dithiocarbamates (CS2) (FONG)	●	ND	ND	ND	ND	●
Florasulam (HERB)	ND	ND	ND	ND	●	ND
Metalaxyle (FONG)	●	●	●	ND	ND	ND
Pendiméthaline (HERB)	ND	●	ND	ND	●	ND
Piperonyl Butoxide (INS)	●	ND	ND	ND	ND	ND
Triclosan (FONG)	ND	ND	ND	●	ND	ND

● Molécule détectée ND Molécule non détectée

Tableau 4 : Molécules détectées en 2016 et/ou 2017 absentes en 2018 aux trois stations de prélèvement.

Lors de la campagne 2018, on observe une baisse importante du nombre de molécules constituant la pollution dans les eaux de surfaces du bassin versant du Galion et ce à toutes les stations de prélèvement. Il faut noter que la détection des molécules est variable dans l'espace mais surtout dans le temps. Tous les ans des molécules ne sont plus détectées et de nouvelles apparaissent (cf. §3.1.2). Ces substances actives ont toutes été détectées de façon ponctuelle (Tableau 4). Plusieurs causes peuvent expliquer cette variabilité :

- **Un transfert en fonction du climat** : Comme nous avons pu le voir précédemment (cf. §3.2), la campagne de 2018 se caractérise par des débits et une pluviométrie inférieurs par rapport aux deux autres années hydrologiques (2016, 2017), réduisant ainsi les flux de surface par ruissellement ou flux érosif, ce qui pourrait expliquer la non détection de ces molécules dans la rivière.
- **Une présence, mais à des concentrations inférieures au seuil de détection** : Il est possible, également, d'émettre l'hypothèse de l'existence d'une pollution chronique de substances actives mais à des concentrations en dessous de la limite de quantification. Les caractéristiques intrinsèques de la molécule (DT50, Koc, solubilité), la rendant plus ou moins mobile et persistante dans les différents compartiments de

l'environnement couplées aux dynamiques d'application (fréquences, quantité), influent sur les niveaux de contamination des différents compartiments de l'environnement et, par conséquent, de la pollution des cours d'eaux. Une pollution latente provenant de molécules non détectées en 2018 peut être envisagée. Par ailleurs, certaines molécules possèdent une limite de détection supérieure à la moyenne (0,01 µg.l⁻¹). Cette limite de détection élevée pourrait potentiellement occulter une pollution plus importante dans la rivière.

- **Une modification des caractéristiques du sol** : Le travail du sol, d'autant plus qu'il soit profond, a pour conséquence une remobilisation de certains pesticides. Il modifie la structure du sol en entraînant à la surface des molécules anciennement stockées dans des horizons plus profonds. Il permet, également, un transfert rapide par infiltration et favorise le transport par les flux de surface. L'année 2017, a été marquée par des événements climatiques importants (tempêtes Matthew) ayant généré des dégâts dans les parcelles agricoles du bassin engendrant un travail important du sol. Celui-ci aurait, éventuellement, permis ponctuellement la remobilisation de substances actives.
- **Des pollutions ponctuelles liées à des comportements individuels** : Des pollutions ponctuelles peuvent également être dues à des usages illégaux de produits aujourd'hui interdits, ou encore, à des applications en bordure de rivière. Il s'agit d'actions isolées et pas obligatoirement récurrentes dans le temps (diuron). Elles peuvent provenir d'usages agricoles, mais, également, de particuliers.
- **Une incertitude liée aux prélèvements et à l'analyse des échantillons d'eau** : Une incertitude peut résulter des méthodes d'analyse (35 %). Des erreurs de mesure lors de la recherche et de la quantification des matières actives pour des valeurs proches de la limite de quantification sont éventuellement possibles. Lors de la manipulation des échantillons sur le terrain, une contamination extérieure peut modifier les résultats (par exemple par des particules de terre), bien que toutes les précautions soient prises pour limiter ces apports extérieurs.
- **Un réservoir à la baisse** : Les différents compartiments de l'environnement et, notamment, les sols et les nappes, constituent un « réservoir » en pesticides. Il est possible d'émettre l'hypothèse que la réserve de certaines molécules, aujourd'hui interdites, soit épuisée ou présente dans des très faibles quantités et concentrations ou encore présente de façon très localisée dans les sols.
- **Évolution réglementaire** : La disparition et l'apparition de certaines molécules peuvent être dues à l'évolution de la réglementation comme c'est le cas, notamment, pour l'asulam.
- **Une évolution des pratiques** : L'évolution des pratiques, engendrant une baisse des fréquences et des concentrations, peut entraîner l'absence de détection de ces molécules dans les eaux de surface.

CONCLUSIONS

Entre février 2016 et janvier 2019, 462 analyses multi-résidus ont été réalisées et ont révélé la présence de 54 molécules dont 52 quantifiées, sur les 3 points suivis dans les cours d'eau du bassin versant du Galion, treize étant responsables de contaminations chroniques sur au moins une année. Les évolutions des profils de pollution observées entre les campagnes 2016/2017 avec la campagne 2018 ont permis d'infirmer ou de confirmer les tendances dégagées et de constater les modifications de la pollution au regard des changements de pratique et de réglementation. On retiendra les tendances suivantes :

- Une baisse importante et multifactorielle du nombre de molécules détectées dans la rivière,
- Une pollution constante aux insecticides organochlorés,
- Une contamination aux herbicides en baisse attestant de la substitution des traitements herbicides par la fauche du couvert spontané ou implanté,
- Une contamination aux fongicides post-récoltes qui se stabilise entre 2017 et 2018 confirmant un changement de pratique et un aménagement durable de la récupération des bouillies limitant le transfert des polluants vers les cours d'eaux,
- Une nouvelle contamination chronique au fluopyram.

Perspectives

De nouveaux axes d'études, en complément de l'analyse de l'évolution des profils de pollution sur le bassin versant, sont envisagés pour la campagne de 2019 :

- **Mise à jour des enquêtes réalisées auprès des agriculteurs du bassin versant du Galion**
Les pratiques phytosanitaires semblent en perpétuelle mutation en raison des changements des pratiques et de la réglementation, il est donc nécessaire d'actualiser notre connaissance afin d'analyser au mieux les évolutions des profils de pollution. C'est pourquoi des enquêtes auprès des agriculteurs pourront être menées lors de la campagne de 2019.
- **Pérennisation du dispositif de suivi hebdomadaire : comparaison méthodologique.**
Dans le but de conforter la stratégie de suivi de la pollution mise en place sur le bassin versant du Galion, une comparaison méthodologique entre des analyses réalisées sur des échantillons ponctuels hebdomadaires et des échantillons composites intégratifs hebdomadaires sera réalisée au cours de la campagne 2019. L'objectif sera de comparer ces deux méthodes de prélèvement dans le cas de la caractérisation d'évolution de la pollution des eaux de surface par les pesticides. En effet, la réalisation de prélèvements ponctuels plus légère, moins onéreuse peut se révéler plus facile à mettre en œuvre dans certaines conditions ou dans des pays disposant de moins de ressources que la collecte d'échantillons intégratifs hebdomadaires.
- **Caractérisation de la pollution des sols du bassin versant du Galion réservoirs de la pollution des milieux aquatiques**
La pollution par les pesticides est principalement perçue au travers de leur présence dans les eaux. Or, le sol occupe une position centrale dans la régulation du devenir des pesticides dans l'environnement et plus spécifiquement dans les milieux aquatiques. Il constitue actuellement le lieu de stockage privilégié de la pollution d'hier, d'aujourd'hui et de demain. Dans le but de mieux comprendre la pollution observée mais, également, de prévenir celle à venir, il semble important de dresser un état des lieux de la pollution en pesticides des différents couples sols/systèmes culturels représentatifs du bassin versant du Galion. C'est dans cet objectif que des analyses de sol en multi-résidus seront effectuées lors de la campagne de 2019.

Références bibliographiques

- 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, p. 108
- 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.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P., Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol : Conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricole, 637 p.
- Carles, C, Jannoyer, M., Mottes, C, 2013. Mise en place d'un dispositif de suivi de la pollution des eaux de surface par les pratiques en horticulture à l'exutoire d'un petit bassin versant.
- 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.
- Deffontaines L, Mottes C, 2017. Appui au pilotage et au suivi du dispositif d'instrumentation pour la caractérisation des pesticides du bassin versant pilote martiniquais du Galion. Cirad - ODE, Martinique
- Deffontaines L, Mottes C, Comte I, 2018, Appui au pilotage et au suivi du dispositif d'instrumentation pour la caractérisation des pesticides du bassin versant pilote martiniquais du Galion. Cirad - ODE, Martinique
- 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., 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).
- Mottes, C, Carles, C, Jannoyer, M., 2014. Évaluation de l'influence des crues sur les transferts de pesticides à l'exutoire d'un petit bassin versant.
- 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.
- Rateau, F., 2013. Les produits phytosanitaires dans les cours d'eau de Martinique - Atlas des pesticides. in: Martinique, O. (Ed.). ODE, p. 48.

Sabatier P, Evrard O, Mottes C, Comte I, Arnaud F, Lefèvre I, Rapuc W, Deffontaines L, Poulenard J, 2018. Effet à long terme de l'utilisation des pesticides aux Antilles françaises : rétro-observation de pollution et d'érosion. Colloque scientifique et d'information sur la pollution par la chlordécone (Chlordecone 2018), Schoelcher, Martinique, 2018-10-16 / 2018-10-17

Annexes

Annexe 1 : Fréquence de détection (en %) des molécules dans les eaux de surface du bassin versant du Galion par campagne à l'échelle du bassin et par station de prélèvement. Indications complémentaires sur l'interdiction, le type (INS: Insecticide, FONG: Fongicide, HERB : Herbicide, ND : Non déterminé) et les principaux usages identifiés spécifiques aux systèmes de culture présents à la Martinique (non-exhaustif).

Code Sandre	Molécule	Type	Interdit / autorisés Cultures martiniques	Principaux usages (non-exhaustifs)	Fréquence de détection															
					Bassin versant				BDL				GG				LD			
					2016-2018	2016	2017	2018	2016-2018	2016	2017	2018	2016-2018	2016	2017	2018	2016-2018	2016	2017	2018
1866	Chlordecone	INS	Non	Banane	99,4%	99,4%	100,0%	98,7%	99,4%	100,0%	100,0%	98,1%	99,3%	98,0%	100,0%	100,0%	99,4%	100,0%	100,0%	98,1%
1951	Azoxystrobin	FONG	Oui	Banane post-récolte, maraîchage	61,3%	61,5%	62,0%	60,3%	0,6%			1,9%	88,2%	84,0%	94,0%	86,3%	94,9%	100,0%	92,0%	92,3%
1907	AMPA	HERB	Oui	Multi-usages (toutes cultures)	61,3%	86,5%	54,7%	42,3%	50,0%	71,2%	46,0%	32,7%	36,8%	92,0%	18,0%	2,0%	96,2%	96,3%	100,0%	92,3%
1704	Imazalil	FONG	Oui	Banane post récolte, agrumes, horticulure	47,8%	56,4%	35,3%	51,3%					52,6%	74,0%	22,0%	62,7%	90,4%	94,4%	84,0%	92,3%
6577	Chlordecone 5b Hydro	INS	Non	Banane	44,2%	51,9%	45,3%	35,3%	1,9%	3,8%	2,0%		34,9%	56,0%	38,0%	11,8%	94,9%	94,4%	96,0%	94,2%
7527	Chlordecol	INS	Non	Banane	41,8%	38,5%	57,3%	30,1%	16,2%	13,5%	36,0%		21,1%	20,0%	40,0%	3,9%	87,2%	79,6%	96,0%	86,5%
1713	Thiabendazole	FONG	Oui	Banane post-récolte	35,7%	40,4%	36,0%	30,8%	1,3%		4,0%		31,6%	44,0%	30,0%	21,6%	73,7%	75,9%	74,0%	71,2%
1201	HCH Beta	INS	Non	Multi-usages (banane substitution chlordecone)	34,0%	32,7%	37,3%	32,1%	2,6%	1,9%	4,0%	1,9%	3,3%		10,0%		94,9%	92,6%	98,0%	94,2%
1221	Metolachlore (R+S)	HERB	Oui	Canne à sucre	19,7%	16,0%	17,3%	25,6%					59,2%	50,0%	50,0%	76,5%	0,6%			2,0%
1506	Glyphosate	HERB	Oui	Multi-usages (toutes cultures)	19,3%	35,9%	12,7%	9,0%	23,4%	32,7%	20,0%	17,3%	10,5%	24,0%	6,0%	2,0%	23,7%	50,0%	12,0%	7,7%
7649	Fluopyram	FONG	Oui	Banane cercosporioses	10,2%			30,1%	1,3%			3,8%	10,5%			31,4%	18,6%			55,8%
1141	2,4-D	HERB	Oui	Canne à Sucre	9,7%	10,9%	11,3%	7,1%	2,6%	5,8%		1,9%	25,7%	28,0%	30,0%	19,6%	1,3%			4,0%
1257	Propiconazole	FONG	Oui	Banane cerco	6,1%	5,1%	8,0%	5,1%					2,0%	4,0%	2,0%		16,0%	11,1%	22,0%	15,4%
1832	Hydroxyatrazine (2 Hydroxy)	HERB	Non	Canne à sucre	3,7%		6,0%	5,1%					9,2%		18,0%	9,8%	1,9%			5,8%
1228	Monuron	HERB	Non	Canne à sucre	3,5%	2,6%	4,0%	3,8%					10,5%	8,0%	12,0%	11,8%				
2744	Fosthiazate	INS	Oui	Banane (charançon, nématodes)	1,9%	2,6%	2,0%	1,3%	0,6%			1,9%	5,3%	8,0%	6,0%	2,0%				
1177	Diuron	HERB	Non	Multi-usages (canne, banane, ananas)	1,9%	2,6%		1,3%	2,6%	3,8%	2,0%	1,9%	3,3%	4,0%	4,0%	2,0%				
2076	Mesotrione	HERB	Oui	Canne à sucre	1,9%		4,7%	1,3%					5,9%		14,0%	3,9%				
1954	Hydroxyterbutylazine	HERB	Non	Vergers, horticulure	1,1%	2,6%							1,3%	2,0%	2,0%		1,9%	5,6%		

Caractérisation des évolutions des concentrations en pesticides dans les eaux de surface du bassin versant du Galion en Martinique : résultats sur trois années de suivi.

1234	Pendimethaline	HERB	Oui	Canne à sucre, maraîchage	1,1%	2,6%	0,7%			3,3%	8,0%	2,0%		
1965	Asulam	HERB	Non	Canne à sucre	1,1%		3,3%			2,6%		8,0%	0,6%	2,0%
1706	Metalaxyle	FONG	Oui	Maraîchage	0,6%	1,9%		0,6%	1,9%	0,7%	2,0%		0,6%	1,9%
1905	Difenoconazole	FONG	Oui	Banane cercosporioses	0,6%	1,3%	0,7%			1,3%	4,0%		0,6%	2,0%
1480	Dicamba	HERB	Oui	Canne à sucre	0,6%	0,6%	1,3%			1,3%		4,0%	0,6%	1,9%
5968	Propazine-2-Hydroxy	HERB	Non	Canne à sucre	0,6%		2,0%			2,0%		6,0%		
1877	Imidaclopride	INS	Oui	Vergers, horticulture	0,4%	0,6%		0,6%	1,9%				0,6%	1,9%
1709	Piperonyl Butoxide	INS	Oui	Multi-usages	0,4%	1,3%		1,3%	3,8%					
2029	Rotenone	INS	Non	Maraîchage	0,4%	0,6%		0,6%		0,7%	2,0%		0,6%	1,9%
5644	Hydraméthylnon	INS	Non	ND	0,4%	0,6%	0,7%						1,28%	1,9%
1860	Bromuconazole	FONG	Non	Banane cercosporioses	0,4%	1,3%							1,3%	3,7%
6235	Dithiocarbamates (CS2)	FONG	Oui	Maraîchage	0,4%	1,3%		0,6%	1,9%				0,6%	1,9%
1929	1-(3,4-Dichlorophenyl-3-Methyl Uree (DCPMU)	HERB	Non	Multi-usages (canne, banane, ananas)	0,4%	1,3%		1,3%	3,8%					
2074	Benoxacor	HERB	Oui	Canne à sucre	0,4%	0,6%	0,7%			0,7%	2,0%		0,6%	2,0%
1673	Hexazinone	HERB	Non	Canne à sucre	0,4%		1,3%			1,3%		4,0%		
1107	Atrazine	HERB	Non	Canne à sucre	0,4%	0,6%		0,6%	1,9%	0,7%		2,0%		
1329	Bendiocarbe	INS	Non	ND	0,2%	0,6%		0,6%	1,9%					
1267	Terbuphos	INS	Non	Banane	0,2%	0,6%							0,6%	1,9%
1200	HCH Alpha	INS	Non	Multi-usages (banane substitution chlordecone)	0,2%		0,7%			0,7%		2,0%		
1584	Biphenyl	FONG	Non	ND	0,2%	0,6%				0,7%	2,0%			
1663	Pyrifénox	FONG	Non	Horticulture, arboriculture	0,2%		0,7%			0,7%		2,0%		
1235	Pentachlorophenol	FONG	Non	ND	0,2%	0,6%		0,6%	1,9%					
5430	Triclosan (5-Chloro-2-Phenol)	FONG	Oui	ND	0,2%		0,7%	0,6%		0,6%		2,0%		
1133	Chloridazone (Pyrazon)	HERB	Oui	Horticulture	0,2%	0,6%							0,6%	1,9%
2810	Florasulam	HERB	Oui	Graminées fourragères	0,2%		0,7%			0,7%		2,0%		
1155	Desmetryne	HERB	Non	Maraîchage	0,2%	0,6%							0,6%	1,9%
1667	Oxadiazon	HERB	Non	Vergers, horticulture	0,2%		0,7%						0,6%	2,0%

1231	Oxydemeton Methyl	INS	Non	Vergers	0,2%	0,7%		0,7%	2,0%	
1940	Thiaflumide (flufenacet)	HERB	Non	ND	0,2%	0,7%		0,7%	2,0%	
1914	Triasulfuron	HERB	Non	ND	0,2%		0,6%	2,0%		
1108	Atrazine Desethyl	HERB	Non	Canne à sucre	0,2%	0,7%				0,6%
1142	2,4-DB	HERB	Oui	Canne à sucre	0,2%	0,7%		0,7%	2,0%	
1831	Simazine 2 Hydroxy	HERB	Non	ND	0,2%	0,6%				0,6%
1173	Dieldrine	INS	Non	ND	0,2%	0,6%				0,6%
1093	Thiodicarbe	INS	Non	ND	0,2%	0,6%				0,6%

Annexe 2 : Liste des 478 molécules analysées

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, MetaboliteVeterinary 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	Azaméthipos	Insecticide, Veterinary treatment
2937	Azimsulfuron	Herbicide
1110	Azinphos Ethyl	Insecticide, Acaricide
1111	Azinphos Méthyl	Insecticide
1951	Azoxystrobin	Fongicide
1687	Bénalaxyl	Fongicide
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	Benthioicarbe	
3209	Béta-Cyfluthrine	Insecticide
5545	Bifenazate	Insecticide, Acaricide
1119	Bifénox	Herbicide
1120	Bifentrine	Insecticide, Acaricide
1502	Bioresméthrine	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

Code Sandre	Molécule	Type
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
1134	Chlorméphas	Insecticide
1341	Chloroneb	Fongicide
1684	Chlorophacinone	Rodenticide
1473	Chlorothalonil	Fongicide
1683	Chloroxuron	Herbicide
1474	Chlorpropham	Herbicide, Plant growth regulator
1083	Chlorpyriphos Ethyl	
1540	Chlorpyriphos 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	Dichlofluamide	Fongicide
1171	Dichlofop Méthyl	Herbicide
1586	Dichloroamiline 3,4	
2981	Dichlorophène	Fongicide, Algicide, Bactericide, Veterinary treatment
1169	Dichlorprop	Herbicide
1170	Dichlorvos	Insecticide, Acaricide, Metabolite
1172	Dicofol	Acaricide

Code Sandre	Molécule	Type
1173	Dieldrine	Insecticide, Metabolite
1402	Diethofencarbe	Fongicide
2982	Difénacoum	Rodenticide
1905	Difénoconazole	Fongicide
2983	Diféthialone	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
5633	Flocoumafen	Rodenticide
2810	Florasulam	Herbicide
1404	Fluazifop-p-Butyl	Herbicide
2984	Fluazinam	Fongicide
2022	Fludioxonil	Fongicide
1676	Flufénoxuron	Insecticide, Acaricide
2023	Flumioxazine	Herbicide
7649	Fluopyram	Fongicide
2565	Flupyrsulfuron 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

Code Sandre	Molécule	Type
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	Hydraméthylon	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
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	Mepanipyrin	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

Code Sandre	Molécule	Type
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
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	Oflurace	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	Procyimidone	Fongicide
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

Code Sandre	Molécule	Type
2534	Prosulfuron	Herbicide
5416	Pymetrozine	Insecticide
2576	Pyraclostrobin	Fongicide
1258	Pyrazophos	Fongicide
1890	Pyridabène	Insecticide, Acaricide
1259	Pyridate	Herbicide
1663	Pyrifénox	Fongicide
1432	Pyriméthail	Fongicide
1260	Pyrimiphos Ethyl	Insecticide, Acaricide
1261	Pyrimiphos Méthyl	Insecticide, Acaricide
5499	Pyriproxyfen	Insecticide, Veterinary treatment
1891	Quinalphos	Insecticide, Acaricide
2087	Quinmerac	Herbicide
2028	Quinoxifen	Fongicide
1538	Quintozène	Fongicide
2069	Quizalofop	Herbicide
2070	Quizalofop Ethyl	Herbicide
1892	Rimsulfuron	Herbicide
2029	Rotenone	Insecticide, Acaricide
1923	Sébuthylazine	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
1542	Tébutiuron	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, Microbicide, 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	Thiaflumide (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)	

Code Sandre	Molécule	Type
2678	Trifloxystrobine	Fongicide
1902	Triflumuron	Insecticide
1289	Trifluraline	Herbicide
2096	Trinexapac éthyl	Plant growth regulator
2992	Triticonazole	Fongicide
1291	Vinchlozoline	Fongicide
2858	Zoxamide	Fongicide