

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
Mars 2021

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

Document élaboré dans le
cadre des conventions :

ODE/CIRAD 060-03-2019

PNAC DRRT-2018-05

Lucas WINTZ (Cirad)
& Lai Ting PAK (Cirad)



Synthèse pour l'action opérationnelle

CONTEXTE

Aux Antilles, le paysage agricole s'est construit historiquement autour des monocultures d'export (banane, ananas, canne à sucre). Dans ce contexte, insulaire et tropical humide, ces cultures font face à un développement rapide et diversifié de bioagresseurs et d'adventices. Pour sécuriser leurs rendements, les exploitations agricoles qui en ont les moyens, sont donc incitées à utiliser des **PRODUITS PHYTOSANITAIRES**. Après utilisation, les molécules composant les produits phytosanitaires sont exposées aux contraintes environnementales. Leurs caractéristiques peuvent parfois être modifiées et pour certaines, mener à une dégradation totale. Cependant, d'autres molécules, stables et peu mobiles, peuvent persister dans l'environnement jusqu'à plusieurs décennies.

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. Dans ce contexte, le projet **OPALE** pilote un réseau de stations de suivi des pollutions par les pesticides agricoles dans les Antilles françaises. Le **BASSIN VERSANT DU GALION**, situé dans la zone Nord Atlantique de la Martinique, a été choisi pour sa représentativité de la diversité agricole et pédologique antillaise.

Ce rapport a pour objectif de renforcer les connaissances sur les pratiques phytosanitaires de différents systèmes de culture et sur 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.

Les résultats de trois campagnes précédentes (2016 à 2018) ont permis de dresser un état de référence et de définir des tendances d'évolution (Deffontaines & Mottes, 2017 ; Deffontaines *et al.*, 2018 ; Anckaert & Mottes, 2019). Le présent rapport intègre les données de la campagne 2019. Dans la continuité des études précédentes, nous cherchons à contribuer à la compréhension de l'**ÉVOLUTION DE LA POLLUTION** par les pesticides agricoles.

MÉTHODOLOGIE

Dans le cadre de l'OPALE, un réseau de six stations de mesure des paramètres hydrologiques a été instrumenté par l'IRD et le CIRAD sur le bassin versant du Galion. Parmi elles, **TROIS STATIONS** (Grand Galion, La Digue et Base de Loisirs) sont équipées de préleveurs automatiques calibrés pour obtenir des **ÉCHANTILLONS HEBDOMADAIRES COMPOSITES**, destinés au suivi de la pollution de l'eau par les pesticides. Ces échantillons font l'objet d'une **RECHERCHE DE 476 MOLÉCULES**. Les résultats des **QUATRE CAMPAGNES** sont interprétés au regard des connaissances acquises sur l'évolution des pratiques phytosanitaires.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Pollution toujours majoritairement due à une base stable de molécules

Du 1^{er} février 2016 au 31 janvier 2020, 601 échantillons ont pu être analysés avec succès pour une recherche multi-résidus des pesticides agricoles. En moyenne 5 ± 3 quantifications sont relevées par échantillon, permettant de caractériser la présence de **56 MOLÉCULES DIFFÉRENTES**. Parmi elles, **13 MOLÉCULES SONT QUANTIFIÉES À CHAQUE CAMPAGNE** dont plus de la **MOITIÉ SONT AUJOURD'HUI INTERDITES**.

Pollution constante aux insecticides organochlorés en forte baisse

A la campagne 2019, toujours 25 % des échantillons sont supérieurs au seuil de potabilisation en cumul de molécules (5 µg.L⁻¹). Ces concentrations sont toutes attribuées à la **CHLORDÉCONE** localisée sur la station de La Digue (LD). À l'échelle du bassin versant, la molécule **PARTICIPE À 88 % À LA POLLUTION**. Dès lors, la baisse de 62 % du niveau de pollution de la *chlordécone* sur LD a symétriquement permis une **BAISSE DE 70 % DU NIVEAU DE POLLUTION TOTALE** du bassin versant du Galion. Par ailleurs, la *chlordecol* reste une pollution chronique stable à des concentrations faibles. La *chlordécone-5b-hydro*, présente une augmentation de sa fréquence de détection. Cependant, le manque de données de quantification pour la campagne 2019 dû à un problème analytique, empêche de conclure. L'*HCH-β* reste une pollution chronique à des concentrations moyennement élevées sur Grand Galion.

Niveau de pollution totale des molécules stable depuis 2017

Herbicides communs à toutes les cultures. La campagne 2019 marque **UN RETOUR EN ARRIÈRE POUR L'AMPA** à l'amont du bassin versant et un maintien de concentrations ponctuelles faibles à l'aval. Sur la station La Digue, le métabolite est quantifié de 2 à 12 fois plus que sa molécule mère, le *glyphosate*. Au passage à la campagne 2019, le niveau de pollution augmente de 357 % pour atteindre un niveau de pollution supérieur au seuil de potabilité (0,1 µg.L⁻¹)

Herbicides spécifiques de la canne à sucre. Ce groupe de molécules est très majoritairement retrouvé à la station de Grand Galion. Les produits à base de **MÉSOTRIONE** ont été **INTERDITS** d'utilisation en novembre 2019, et n'est plus quantifié à cette campagne. Le *2,4-D* devient une pollution ponctuelle mais le *métolachlore (R+S)* reste une pollution chronique sur Grand Galion.

Fongicides de lutte contre la cercosporiose. Les produits à base de **PROPICONAZOLE** ont été **INTERDITS** d'utilisation en décembre 2019. Le *fluopyram* connaît une forte baisse des fréquences de quantification. Durant la campagne 2020, il faudra surveiller une éventuelle évolution des transferts du *fluopyram* par effet de substitution du *propiconazole*.

Fongicides post-récolte de la banane. Les produits à base d'**IMAZALIL** ont été **INTERDITS** d'utilisation en mai 2019 et semblent initier une lente diminution. La pollution par l'*azoxystrobin* et le *thiabendazole* se confirment et s'accroissent sur La Digue mais continuent à baisser sur Grand Galion.

A la campagne 2019, **L'AMPA ET L'AZOXYSTROBIN** représentent plus de la **MOITIÉ DE LA POLLUTION TOTALE HORS-CHLORDÉCONE** et ses métabolites et 80 % des concentrations potabilisables (entre 0,1 et 2 µg.L⁻¹).

PERSPECTIVES

La campagne 2020 s'est achevée au 31/01/2021, au moment de la rédaction du présent rapport. De nouvelles études, en complément de l'analyse de l'évolution des profils de pollution des eaux du bassin versant, sont envisagées pour la campagne de 2021 :

- **PÉRENNISATION** du dispositif de suivi hebdomadaire : comparaison méthodologique ;
- **MISE À JOUR DES ENQUÊTES** réalisées auprès des agriculteurs du bassin versant du Galion ;
- Caractérisation de la **POLLUTION DES SOLS** du bassin versant du Galion, réservoirs de la pollution des milieux aquatiques.

Table des matières

Liste des figures.....	6
Liste des tableaux.....	8
Sigles et acronymes.....	9
Remerciements.....	10
1 Introduction.....	11
2 Zone d'étude : le bassin versant du Galion.....	13
2.1 Observatoire des pollutions par les pesticides agricoles.....	13
2.2 Situation géographique et occupation du sol.....	13
2.3 Bassin versant agricole.....	15
3 Matériel et méthode de suivi de la pollution des eaux superficielles du bassin versant du Galion.....	19
3.1 Stations de prélèvement.....	19
3.1.1 Équipements des stations.....	20
3.1.2 Analyses des pesticides.....	20
3.2 Données de suivi des pesticides agricoles.....	22
3.2.1 Composition des données.....	22
3.2.2 Exploitation automatisée des données pour une meilleure valorisation.....	23
3.3 Indicateurs utilisés pour l'analyse des résultats.....	23
3.3.1 Indicateurs de qualité de l'eau de la rivière.....	23
3.3.2 Fréquence de détection (FD) et fréquence de quantification (FQ).....	24
3.3.3 Concentration moyenne annuelle quantifiée (CMA).....	24
3.3.4 Pourcentage de participation à la pollution totale.....	24
3.3.5 Pourcentage de la pollution liée aux usages actuels.....	25
3.4 Dates d'autorisation et d'interdiction d'une substance active.....	25
3.5 Cas des métabolites.....	25
4 Résultats.....	27
4.1 Diversité des molécules quantifiées.....	27
4.1.1 Evolution contrastée entre les périodes 2016-2017 et 2018-2019.....	27
4.1.2 Réduction du nombre de molécules liée aux usages actuels.....	28
4.2 Pollution toujours préoccupante.....	32
4.2.1 Concentration moyenne annuelle toujours supérieure aux normes de potabilité.....	32
4.2.2 Herbicides et fongicides comme composante majoritaire des pollutions liées aux usages actuels.....	32

4.3	Evolution spatio-temporelle de la pollution par station	34
4.3.1	Base de Loisirs : un niveau pollution faible engendré par un faible nombre de molécules.....	34
4.3.2	Grand Galion : un niveau de pollution intermédiaire en baisse continue	37
4.3.3	La Digue : un niveau de pollution élevé mais en forte baisse	39
4.4	Pollution liée aux usages de produits phytosanitaires aujourd’hui interdits.....	41
4.4.1	Chlordécone et ses métabolites.....	41
4.4.2	Chlordecol : une pollution chronique stable pour La Digue.....	46
4.4.3	Lindane et ses isomères : une pollution chronique de <i>HCH-β</i> stable.....	46
4.5	Herbicides communs à toutes les cultures.....	49
4.5.1	Glyphosate : une pollution ponctuelle à des concentrations souvent inférieures au seuil de potabilité	49
4.5.2	AMPA : une augmentation inégale entre l’amont et l’aval	50
4.6	Fongicides de lutte contre la cercosporiose	52
4.6.1	Propiconazole : une pollution devenue chronique sur la station de La Digue	53
4.6.2	Fluopyram : une forte baisse des fréquences de quantification.....	54
4.7	Fongicides post-récolte de la banane	55
4.7.1	Azoxystrobin : une pollution permanente, en baisse pour Grand Galion et stable pour La Digue.....	56
4.7.2	Thiabendazole : une pollution chronique marquant de faibles évolutions	57
4.7.3	Imazalil : une interdiction récente pour la banane initiant une diminution des pollutions.....	58
4.8	Herbicides spécifiques de la canne à sucre.....	61
4.8.1	2,4-D : une pollution ponctuelle en baisse sur Grand Galion.....	62
4.8.2	Métolachlore (r + s) : une pollution chronique constante sur Grand Galion.....	62
4.8.3	Mésotrione : une disparition suite au retrait de la molécule pour la canne à sucre	64
4.8.4	Diuron : une nouvelle quantification en 2019	65
5	Conclusion	67
6	Références bibliographiques	70
7	Annexes	71
	<i>ANNEXE 1 : Paramètres recherchés (N = 476)</i>	71
	<i>ANNEXE 2 : Métabolites recherchés (N = 39)</i>	78

Liste des figures

Figure 1 Zones agroécologiques du bassin versant du Galion - Martinique.....	14
Figure 2 Occupation du sol de l'année 2019 du bassin versant du Galion.....	18
Figure 3 Station météorologique (photo de gauche) et station de suivi des pesticides agricoles (photo de droite).....	20
Figure 4 Seuils de détection et de quantification des molécules.....	22
Figure 5 Seuils de pollution de référence de la DCE.....	23
Figure 6 Évolution du nombre de molécules nouvellement quantifiées	27
Figure 7 Nombre de molécules quantifiées uniques par campagne en fonction de leur statut d'autorisation et de leur catégorie d'usage	28
Figure 8 Représentation de la pollution cumulée aux différentes classes de concentrations pour chaque campagne.....	32
Figure 9 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour chaque campagne.....	33
Figure 10 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour chaque campagne pour la station Base de Loisirs.....	35
Figure 11 Fréquences de quantification des molécules (violet : insecticide ; vert : herbicide ; orange : fongicide ; bleu : divers) aux différentes classes de concentrations sur la station BDL ..	36
Figure 12 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour campagne pour la station Grand Galion.....	37
Figure 13 Fréquences de quantification des molécules (violet : insecticide ; vert : herbicide ; orange : fongicide ; bleu : divers) aux différentes classes de concentrations sur la station GG	38
Figure 14 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour campagne pour la station La Digue.....	39
Figure 15 Fréquences de quantification des molécules (violet : insecticide ; vert : herbicide ; orange : fongicide ; bleu : divers) aux différentes classes de concentrations sur la station LD	40
Figure 16 Carte de pollution des sols par la chlordécone du bassin versant du Galion	42
Figure 17 Participation de la chlordécone à la pollution totale du bassin versant du Galion.....	43
Figure 18 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordécone	43
Figure 19 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordécone-5b-hydro	44
Figure 20 Fréquences de détection par station de la chlordécone-5b-hydro pour la campagne 2019	45
Figure 21 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordecol.....	46
Figure 22 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le HCH-β.....	47
Figure 23 Profils de contamination des organochlorés	48
Figure 24 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le glyphosate	49

Figure 25 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'AMPA.....	50
Figure 26 Profils de contamination pour les herbicides communs à toutes les cultures	52
Figure 27 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le propiconazole.....	53
Figure 28 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentration moyennes annuelles associées pour le fluopyram.....	54
Figure 29 Profils de contamination des fongicides de lutte contre la cercosporiose.....	55
Figure 30 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'azoxystrobin.....	56
Figure 31 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le thiabendazole.....	57
Figure 32 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'imazalil	58
Figure 33 Profils de contamination des fongicides post-récolte.....	60
Figure 34 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le 2,4-D	62
Figure 35 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le métolachlore (R + S)	63
Figure 36 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le mésotrione.....	64
Figure 37 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le diuron.....	65
Figure 38 Profils de contamination des herbicides spécifiques de la canne à sucre	66
Figure 39 Participation à la pollution totale hors chlordécone et métabolites, par molécule, fonction, groupe d'usages, norme de potabilité et sous-bassin versant	69

Liste des tableaux

Tableau 1 Évolution de la surface agricole en fonction des catégories de culture et des zones du bassin versant du Galion pour la période 2016-2019 (vert = minimum ; jaune = médiane ; rouge = maximum).....	17
Tableau 2 Détail des molécules quantifiées à chaque campagne en fonction de leur catégorie d'usage et de leur statut d'autorisation	31
Tableau 3 Dynamique temporelle de l'utilisation des fongicides post-récolte.....	56
Tableau 4 Périodes de traitements herbicides sur la canne à sucre par stratégie (Arnal, 2017)..	61

Sigles et 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

LDA26 : Laboratoire Départemental d'Analyses 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 de la Pollution Agricole aux antilLES

RPG : Registre Parcellaire Graphique

PAC : Politique Agricole Commune

Remerciements

Dans un premier temps, nous remercions 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 préfectures 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 des 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 également l'ensemble des chercheurs, ingénieurs et techniciens pour les échanges et les discussions ainsi que les acteurs et les agriculteurs du bassin versant.

1 Introduction

Dès le début du 20^{ème} siècle, la production de pesticides de synthèse a pris son essor avec le développement de la chimie industrielle. En premier, la famille des insecticides organochlorés, suivie par de nombreuses autres, se sont alors inscrites parmi les outils d'une seconde révolution agricole (Mazoyer & Roudart, 2008). Aux Antilles, le paysage agraire s'est construit historiquement autour des monocultures d'export (banane, ananas, canne à sucre). Dans ce contexte, insulaire et tropical humide, ces cultures font face à un développement rapide et diversifié de bioagresseurs et d'adventices. Pour sécuriser leurs rendements, les exploitations agricoles qui en ont les moyens, sont donc incitées à utiliser ces outils. Aujourd'hui, l'Union Européenne recense plus de 1428 substances actives, regroupées dans 21 fonctions différentes, correspondant à autant d'usages phytosanitaires (EU Pesticides Database, 2020). Cependant, plus de deux tiers d'entre elles ont été retirées de la commercialisation. Par ailleurs, depuis le 1^{er} janvier 2019, les pesticides de synthèse tels que le glyphosate sont exclusivement destinés à l'usage agricole.

Après utilisation, les molécules composant les produits phytosanitaires sont exposées aux contraintes environnementales. En Martinique, la pluviométrie abondante et les sous-sols à forte conductivité hydraulique, favorisent leur transfert par et vers les eaux. Les caractéristiques physico-chimiques des molécules permettent alors des trajectoires différentes. Certaines de ces molécules subissent des transformations. Leurs caractéristiques peuvent parfois être modifiées et pour certaines, mener à une dégradation totale. Cependant, d'autres molécules, stables et peu mobiles, peuvent persister dans l'environnement jusqu'à plusieurs décennies. En Martinique, c'est le cas des organochlorés, et en particulier de la *chlordécone* utilisée massivement entre 1971 à 1993. Près de 30 ans après son interdiction, cette molécule fait l'objet d'un quatrième plan de lutte doté d'un budget de 90 millions d'euros (Plan Chlordécone 4).

Les écosystèmes aquatiques des Antilles sont donc particulièrement exposés à la pollution par les pesticides d'origine agricole. Le suivi des eaux de surfaces 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 des 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'actions.

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.

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'INRAe, du BRGM et de l'IRD. Dans ce cadre, deux bassins versants expérimentaux ont été instrumentés : en Guadeloupe sur les rivières Pérou et Pères et en Martinique sur le bassin versant du Galion. À la Martinique, le CIRAD en partenariat avec l'IRD, la DEAL et l'ODE ont mis en œuvre un dispositif de suivi hebdomadaire des chroniques de contamination des cours d'eau par les pesticides qui est effectif depuis février 2016.

Le présent rapport clôture les conventions ODE/CIRAD 060-03-2019 et PNAC 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 quatre campagnes de prélèvement réalisées entre février 2016 et janvier 2020. 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 & Mottes, 2017). L'étude des campagnes 2017 et 2018 ont permis de dégager des tendances d'évolution (Deffontaines *et al.*, 2018 ; Anckaert & Mottes, 2019). Le présent rapport intègre les données de la campagne 2019. Dans la continuité des études précédentes, nous cherchons à contribuer à la compréhension de l'évolution de la pollution par les pesticides agricoles.

Au préalable, le contexte de l'étude sera détaillé (Section 2) ainsi que le dispositif utilisé pour le suivi et la caractérisation de la pollution par les pesticides sur le bassin versant du Galion (Section 3). Ensuite, les résultats du suivi seront présentés à différentes échelles (Section 4). Nous progresserons du bassin versant (Sections 4.1 et 4.2) à l'échelle des sous-bassins versants (Section 4.3). En parallèle, nous caractériserons la pollution à travers le cumul des molécules quantifiées mais aussi leurs évolutions individuelles. Dès lors, nous chercherons à mettre en relation ces évolutions avec les usages agricoles et les modifications de la réglementation (Sections 4.4 à 4.8). Finalement, nous concluons sur la position la pollution par les pesticides agricoles caractérisée lors de campagne 2019 parmi les campagnes précédentes et les perspectives envisagées.

2 Zone d'étude : le bassin versant du Galion

2.1 OBSERVATOIRE DES POLLUTIONS PAR LES PESTICIDES AGRICOLES

Le bassin versant du Galion fait partie de l'**Observatoire de la Pollution Agricole aux antilles (OPALE)**. Ce dispositif a pour objectif de suivre les pollutions engendrées par les pesticides agricoles. Le bassin versant est instrumenté depuis 2016 en trois points de prélèvements pour le suivi hebdomadaire de ces pollutions dans les cours d'eaux. L'objectif étant de constituer un dispositif de terrain grandeur nature qui permet de caractériser et comprendre les pollutions par les pesticides, mais également de concevoir des solutions aux problèmes de pollutions des sols et des eaux générées par les activités agricoles. Les résultats acquis sur l'observatoire sont ainsi mobilisés pour co-construire des solutions pour la gestion de ces pollutions avec les acteurs du territoire.

2.2 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET OCCUPATION DU SOL

Le bassin versant (BV) du Galion est situé dans la zone Nord Atlantique de la Martinique (Figure 1). Couvrant près de 44,3 km², sa surface le classe comme le **4^{ème} plus grand BV du département**. Il s'étend sur quatre communes : Sainte-Marie (au nord), Gros-Morne (à l'ouest), La Trinité (à l'est) et Le Robert (au sud).

Le BV est classiquement divisé en trois zones agroécologiques (Della Rossa *et al.*, 2017) (Figure 1) en fonction de sa pluviométrie, sa pédologie, sa topographie et son agriculture.

LA ZONE « AMONT » prend sa racine dans les **contreforts des Pitons du Carbet**. Elle en hérite une **forte pluviométrie (> 3000 mm par an) et un relief accidenté**, couvert d'une forêt ombrophile. Cette zone est la moins peuplée du bassin versant. C'est ici qu'est prélevée l'eau potable pour la consommation humaine. Les sols sont en majorité des sols à allophanes peu évolués. Les reliefs tendent ensuite à s'estomper pour laisser place à des mornes se répartissant en interfluves. Conjointement, l'espace forestier se réduit au profit d'un paysage plus ouvert et morcelé, composé de parcelles cultivées de l'ordre d'un hectare, de prairies et d'habitats dispersés. En effet, c'est une zone principalement maraîchère (RPG, 2019), dont une forte présence de production vivrière (voir Section 2.3).

LA ZONE « MEDIAN » marque une transition avec l'amont par des **reliefs moins prononcés et plus vallonnés. Les précipitations sont plus faibles** qu'à l'amont, comprises de 2000 à 3000 mm par an. Les **sols, plus évolués**, sont à des stades intermédiaires entre les sols à allophanes et les ferrisols. Le paysage agraire est composé d'une majorité de vastes îlots de culture (> 10 ha) **couvert de bananeraies** destinées à l'export (RPG, 2019). En marge, est retrouvé un morcellement de petites parcelles maraîchères et de l'arboriculture (voir Section 2.3).

LA ZONE « AVAL » se différencie par la présence d'une **plaine de basse altitude**, comportant des zones inondables en saison cyclonique. Dès lors, les sols sont composés de ferrisols et de sols à alluvions. La plaine s'ouvre sur la baie du Galion comprise dans l'Océan Atlantique, où se trouve l'estuaire de la rivière du Galion, principal cours d'eau du bassin versant. La **pluviométrie est souvent inférieure à 2000 mm par an**. Le paysage agraire est composé d'une vaste **mosaïque de bananeraies et de parcelles de canne à sucre (RPG, 2019) s'étendant sur l'ensemble de la plaine**. Par ailleurs, la zone est comprise entre les bourgs du Robert et de La Trinité, composant la **plus grande densité d'habitats du bassin versant** (voir Section 2.3).

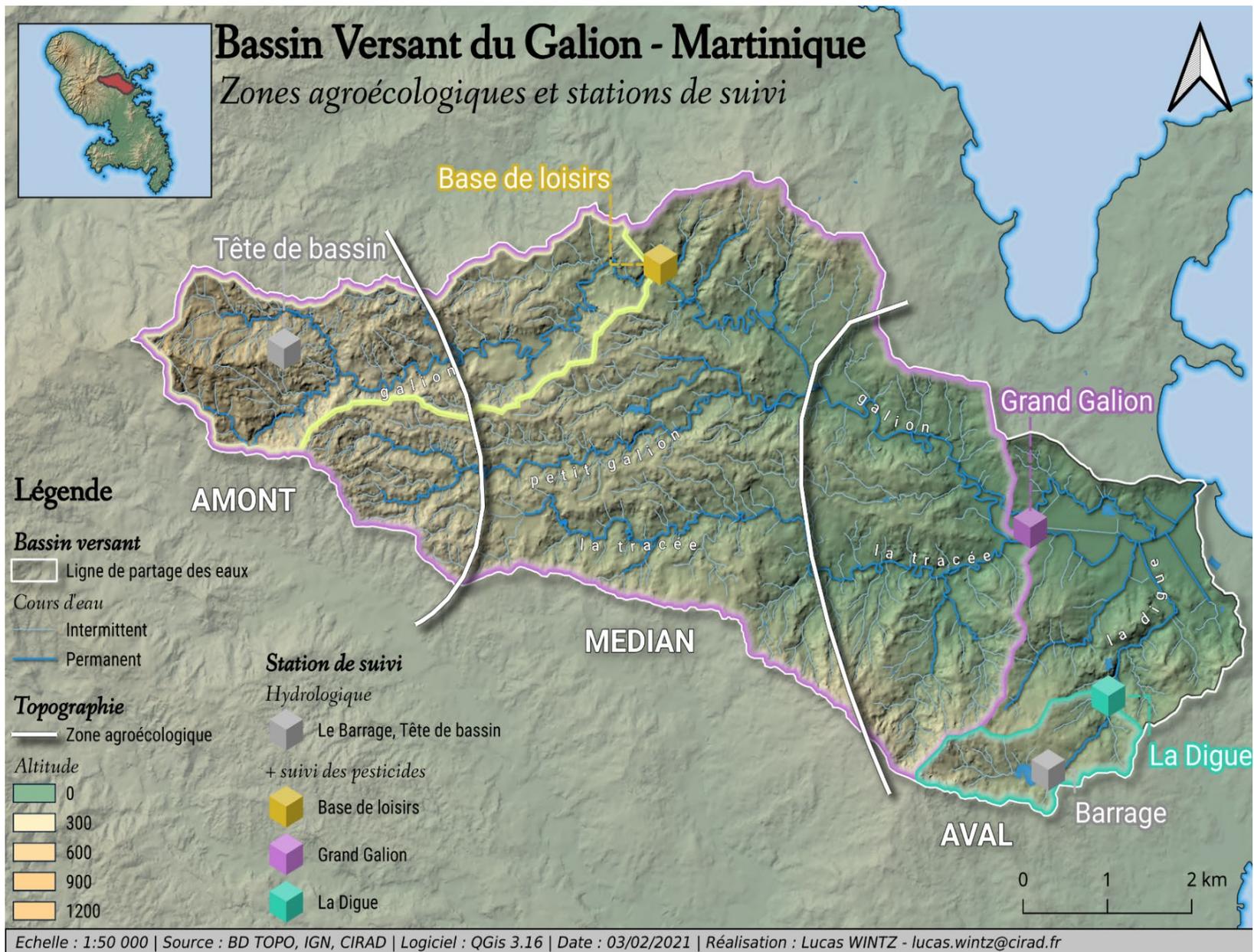


Figure 1 Zones agroécologiques du bassin versant du Galion - Martinique

2.3 BASSIN VERSANT AGRICOLE

L'occupation du sol de l'année 2019 du bassin versant du Galion est représentée sur la Figure 2 et l'évolution de la surface agricole en fonction des catégories de culture et des zones du bassin versant du Galion pour la période 2016-2019 est représentée dans le Tableau 1.

L'occupation du sol à grande échelle (OSGE) est recensée à partir de photographies aériennes orthonormées pour l'ensemble du territoire français. La dernière version a été produite en 2017. Les données géographiques de l'OSGE permettent ainsi d'avoir une photographie d'ensemble des usages du sol d'un territoire. **Le registre parcellaire graphique (RPG)**, est quant à lui mis à jour chaque année à partir des déclarations pour l'accès aux subventions de la PAC. Il permet donc une connaissance plus précise de l'assolement à un temps donné, à l'échelle de la parcelle ou de l'îlot de culture. Cependant, il ne contient de fait que le parcellaire déclaré et éligible à ces subventions. L'arboriculture et les cultures maraîchères sont, dès lors, souvent sous-représentées. En effet, d'une part, ces types de culture sont éligibles à une minorité de subventions et d'autre part, ils sont aussi observés dans un cadre non professionnel. **Les 41 libellés de culture référencés par le RPG ont été regroupés en 6 catégories (Figure 2)**. Des catégories contenant une seule entrée pour les monocultures majoritaires (banane et canne à sucre), et des catégories multiples, regroupées par similarité de leur système technique (prairies, jachères, pâtures ; non exploité ; horticulture). Le terme horticulture recense ici l'ensembles des cultures légumières, fruitières non pérennes, ornementales et les plantes à parfum, aromatiques et médicinales (PPAM). **Enfin, bien que l'OSGE disponible soit antérieure de deux années à la campagne 2019, elle nous permet de garantir une approximation des usages des surfaces non couvertes par le RPG.**

Le bassin versant du Galion est **recouvert à moitié d'espaces agricoles** dont 1332 ha ont été déclarés en 2019 (Tableau 1). Par ailleurs, la forêt compose un tiers de sa surface, le reste est occupé par du bâti (habitations, lieux de productions primaire, secondaire, tertiaire et espaces publics).

La surface agricole référencée par le RPG est en moyenne de 1334±19 ha de 2016 à 2019 et décrit une baisse de 3 % sur cette période (Tableau 1). Parmi les catégories, quatre d'entre elles affichent une baisse nette de leur surface sur cette période. En particulier, l'année 2017 marque une perte de 111 ha de banane répartis sur l'ensemble des zones. Cette évolution peut se comprendre à travers l'ouragan Irma qui a détruit de nombreuses bananeraies sur cette période. Sur la période 2017-2018, une nouvelle augmentation de 34 ha aura lieu avant de se stabiliser jusqu'en 2019. A l'inverse, la sole de prairie, pâtures et jachères a augmenté sur la période 2016-2017 de 72 ha. Cette augmentation ne se confirmera pas par la suite. De 2018 à 2019, la BV perdra à nouveau 26 ha de prairies, jachères et pâtures. Avec l'arboriculture, cette catégorie est la seule s'étant agrandi sur la période 2016 à 2018.

En 2019, les surfaces agricoles recensées par le RPG montrent une prédominance de bananeraie (41 %), de canne à sucre (23 %) et de prairies, pâtures et jachères (23 %). Nous retrouvons par ailleurs une minorité d'horticulture (5 %) et d'arboriculture (4 %). Cette répartition connaît une inégalité entre les différentes zones du bassin versant du Galion :

À L'AVANT :

- La zone de **L'EXUTOIRE** est définie comme la zone en aval du sous-bassin de la station GG et de la station LD. Avec 291 ha déclarés, elle comprend 20 % des surfaces agricoles du BV dont 60 % des surfaces de canne à sucre. La zone possède par ailleurs 15 % des bananeraies et 6 % des prairies du BV. Située à l'aval des stations, la zone ne fait pas l'objet de suivi des pesticides agricoles.

- Le sous-bassin versant de **LA DIGUE** est la plus petite zone définie avec 192 ha recouverts à 50 % de surfaces agricoles déclarées. L'agriculture de la zone comprend 68 % de bananeraies et 21 % de prairies, pâtures et jachères mais aucune culture de canne à sucre.

A LA MEDIANE ET A L'AMONT :

- Le sous-bassin versant du **GRAND GALION**, est la zone la plus vaste avec 3605 ha, **couvrant 81 % du bassin versant du Galion**. Par ailleurs, la zone couvre l'ensemble des zones agroécologiques médiane et amont. Nous retrouvons **42 % de la canne à sucre du bassin versant**, mitoyen des parcelles cannières de la zone de l'exutoire et **72 % des bananeraies** dont seulement 12 % sur la zone de BDL. Grand Galion comprend 96 % de l'horticulture du BV, dont la moitié se situe dans la zone amont, englobée par la zone de suivi de **BASE DE LOISIRS**. Cette dernière, comprend 30 % des surfaces déclarées en prairies, jachères ou pâtures et regroupe la plupart des systèmes maraîchers et vivriers présents dans le BV du Galion, ainsi qu'une exploitation de banane et une exploitation horticole florale.

Tableau 1 Évolution de la surface agricole en fonction des catégories de culture et des zones du bassin versant du Galion pour la période 2016-2019 (vert = minimum ; jaune = médiane ; rouge = maximum)

Zone	BASE DE LOISIRS				Surface 2019	GRAND GALION				Surface 2019	LA DIGUE				Surface 2019	BASSIN VERSANT				Surface 2019
	865 ha					3605 ha					192 ha					4427 ha				
	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2016-2019		2016-2017	2017-2018	2018-2019	2016-2019		2016-2017	2017-2018	2018-2019	2016-2019		2016-2017	2017-2018	2018-2019	2016-2019	
Arboriculture	-2,41	0,07	2,75	0,41	7,35	2,64	-2,43	12,29	12,5	44,71	0	-0,31	0,07	-0,24	3,42	2,64	-2,63	13,1	13,11	52,86
Banane	-19,05	-1,73	9,66	-11,12	63,32	-77,16	15,98	-5,84	-67,02	392,07	-14,11	5,69	3,19	-5,23	64,76	-111,07	34,45	-0,33	-76,95	544,77
Canne à sucre	1,88	-0,88	-0,16	0,84	1,76	-3,39	-9,31	3,04	-9,66	127,58	-	-	-	-	0	2,45	-17,79	2,27	-13,07	302,34
Horticulture	4,83	1,87	-1,02	5,68	33,61	4,96	-9,11	-2,49	-6,64	63,63	-0,61	0,31	-0,07	-0,37	1,81	4,35	-8,65	-2,95	-7,25	66,11
Non exploité	-6,28	0,85	0,94	-4,49	7,18	-7,72	-8,38	4	-12,1	47,56	0	-4,86	4,39	-0,47	4,96	-4,88	-15,6	9,38	-11,1	54,98
Prairie, pâture et jachère	24,49	0,63	-7,31	17,81	94,35	52,73	9,68	-18,84	43,57	270,06	14,47	-0,83	-7,01	6,63	20,43	71,53	8,32	-25,7	54,15	310,69
Total par période	3,46	0,81	4,86	9,13	203,99	-27,94	-3,57	-7,84	-39,35	945,62	-0,25	0	0,57	0,32	95,4	-34,98	-1,9	-4,23	-41,11	1332,12

Perte (-)  (+) Gain

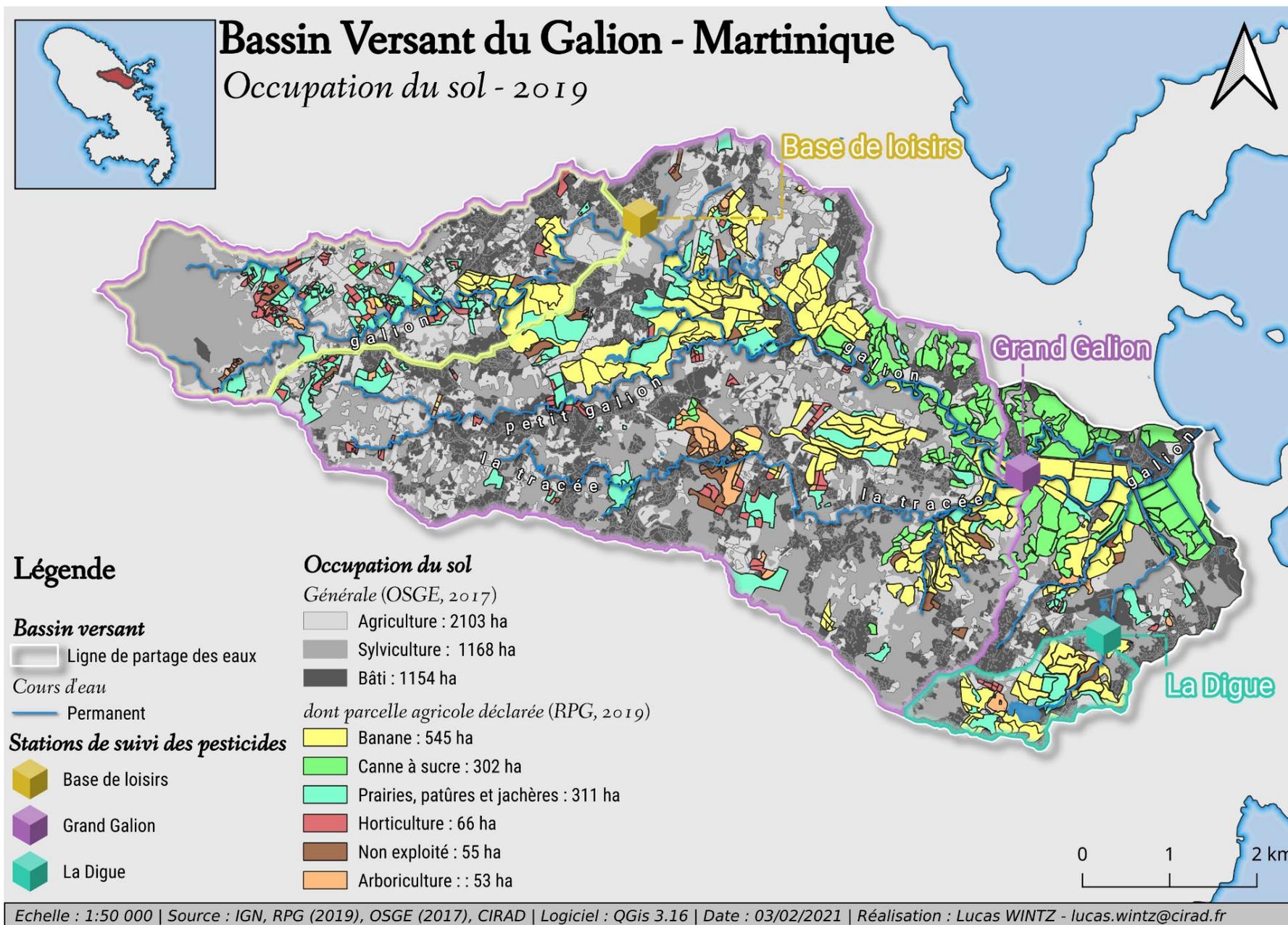


Figure 2 Occupation du sol de l'année 2019 du bassin versant du Galion

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

3.1 STATIONS DE PRELEVEMENT

Les emplacements des stations de prélèvement 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 de la Pollution Agricole aux antILLEs) :

- Existence d'une contamination significative des sols et des eaux par la chlordécone ;
- **Variabilités** 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 versant.

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 :

LA STATION BASE DE LOISIRS (BDL) permet de caractériser la pollution en pesticides de la zone amont du bassin versant du Galion (Tableau 1, Figure 2). Ce sous-bassin couvre une superficie de 865 ha dont 24 % de terres cultivées.

LA STATION LA DIGUE (LD) 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 (Tableau 1, Figure 2). Ce sous-bassin couvre une superficie de 192 ha dont 50 % de terres cultivées 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 (Tableau 1, Figure 2).

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 3605 ha, soit 81 % de sa surface totale (Tableau 1). Ce sous-bassin prend en compte la pollution liée à deux affluents principaux du Galion, le Petit Galion et la Tracée. Les terres cultivées (946 ha) représentent 26 % 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 (Tableau 1, Figure 2). 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).

3.1.1 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 3) :

- 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 un flacon PET de 20 L est utilisé depuis mars 2017.

En juillet 2020, l'ensemble des préleveurs ont été remplacés par des préleveurs automatiques HACH® Sampler AS950.

Les stations sont également munies de capteurs permettant l'acquisition de données hydrologiques (hauteur d'eau) et climatiques (pluie, température et humidité relative au minimum) (Figure 3). L'acquisition des données sur la station GG est réalisée par la DEAL.



Figure 3 Station météorologique (photo de gauche) et station de suivi des pesticides agricoles (photo de droite)

3.1.2 ANALYSES DES PESTICIDES

3.1.2.1 Choix des molécules analysées

Les molécules analysées ont été choisies sur la base des :

- Pesticides utilisés sur les différents types de culture présents en Martinique ;
- Pesticides achetés sur le territoire (OFB, 2020) ;
- 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).

- Molécules mobilisant les mêmes méthodes analytiques que les molécules identifiées ont été ajoutées à la liste car n'entraînant pas de surcoût analytique ;
- 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.

Enfin, **une liste de 476 molécules correspondant aux substances actives des pesticides et leurs métabolites** de dégradation analysables par le Laboratoire Départemental d'Analyses de la Drôme (LDA26) a été établie (cf. liste complète en Annexe 1). 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.

3.1.2.2 Protocole d'échantillonnage

Le protocole d'échantillonnage repose sur la réalisation d'analyses multi-résidus (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 al.*, 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.

3.1.2.3 Analyse des concentrations hebdomadaires

Deux méthodes d'analyse sont utilisées par le laboratoire LDA26, 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 $\pm 35\%$.

3.1.2.4 Seuils de détection et de quantification du laboratoire d'analyses (LDA26)

L'analyse des concentrations établit trois niveaux de résultat en fonction de la limite de détection et de quantification déterminée par le laboratoire LDA26 et qui est propre à chaque molécule. La limite de quantification sur les molécules analysées varie de $0,01 \mu\text{g.l}^{-1}$ 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 (Figure 4) :

NON DETECTEE : 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). La LoD est généralement supposée comme inférieure d'un tiers à la LQ.

TRACES : la molécule est détectée mais ne peut pas être quantifiée.

QUANTIFIÉE : la molécule est détectée et a pu être quantifiée. La **limite de quantification (LQ)** définit la concentration seuil en-dessous de laquelle la méthode analytique ne permet plus de quantifier la ou les molécules recherchées. Par conséquent, elle dresse la limite entre les molécules qui sont caractérisables quantitativement ou non.

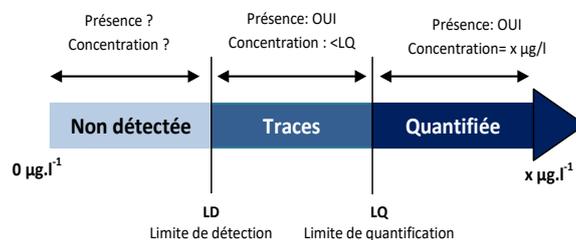


Figure 4 Seuils de détection et de quantification des molécules

Nous avons donc fait deux choix de représentation :

- En présence de la mention de **molécule (substance active ou métabolite) quantifiée**, cela signifie que la molécule a été caractérisée quantifiée à une concentration supérieure ou égale de la LQ.
- En l'**absence de cette mention**, en particulier pour les indicateurs agrégés, nous avons représenté la limite « < LQ ».

3.2 DONNEES DE SUIVI DES PESTICIDES AGRICOLES

3.2.1 COMPOSITION DES DONNEES

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). Par la suite, lors d'un problème technique survenu sur préleveur le 26/09/2017 sur GG, il a été procédé à un prélèvement ponctuel. Enfin, la fin de la campagne 2019 n'a pas pu être enregistrée suite à de nouveaux problèmes techniques sur les stations. Les données du rapport s'arrêtent donc à la date du 30/12/2019. De nouveaux préleveurs ont été installés en juillet 2020 sur les trois stations.

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

- Campagne de 2016 : 01/02/2016 – 31/01/2017
- Campagne de 2017 : 01/02/2017 – 31/01/2018
- Campagne de 2018 : 01/02/2018 – 31/01/2019
- Campagne de 2019 : 01/02/2019 – 31/01/2020

L'ODE possède une station de suivi des pesticides au niveau de la station Grand Galion pour lequel elle réalise des prélèvements mensuels et depuis le mois de mars 2019 des prélèvements bimestriels. Par ailleurs, un suivi des données hydrologiques (débit, hauteur d'eau, pluviométrie, hygrométrie) est effectué sur l'ensemble des stations du bassin versant. L'ensemble de ces données, concernant la campagne 2019, seront traitées dans le prochain rapport incluant la campagne 2020.

3.2.2 EXPLOITATION AUTOMATISEE DES DONNEES POUR UNE MEILLEURE VALORISATION

Aujourd'hui, sur les trois stations instrumentées, 605 rapports d'analyses ont été produits pour 478 paramètres (476 molécules et 2 paramètres calculés), représentant près de 300 000 lignes de recherche de molécules (substances actives et métabolites). Par ailleurs, ces données ont été produites et valorisées par différentes équipes se succédant au sein du projet OPA-C puis OPAL. Dès lors, il est nécessaire d'avoir un protocole standardisé de traitement de données, permettant de garantir dans le temps et au sein de l'équipe la répétabilité des résultats produits.

Au regard du volume d'information produite, il a été décidé de réaliser un **traitement automatisé des données acquises depuis 2016**. Une série d'utilitaires informatiques a été produite en langage open-source *Python 3*, permettant l'extraction et la vérification des données acquises mais aussi la production des graphiques présents dans ce rapport. Ce protocole permet ainsi un accès, à des données, difficilement envisageable précédemment, tel que l'évolution de la limite de quantification par molécule.

En cours de réalisation, ces utilitaires permettront à terme de **réduire la part de temps** allouée au traitement de données en faveur d'autres activités tout en **améliorant la qualité de traitement**.

3.3 INDICATEURS UTILISES POUR L'ANALYSE DES RESULTATS

3.3.1 INDICATEURS DE QUALITE DE L'EAU DE LA RIVIERE

Dans le cadre de la DCE, les concentrations en pesticides des eaux sont comparées à des concentrations de référence appelées Normes de Qualité Environnementale (NQE). En l'absence de NQE, pour l'ensemble des molécules détectées, les seuils de potabilité et potabilisation de l'eau sont utilisés pour caractériser l'état de la pollution des cours d'eau du BV (Figure 5). Ces seuils (potable, potable avec traitement ou potabilisable, non potable) permettent d'identifier, au mieux, la pollution actuelle et, plus particulièrement, de déterminer les pollutions émergentes et spécifiques aux contextes des DROM.

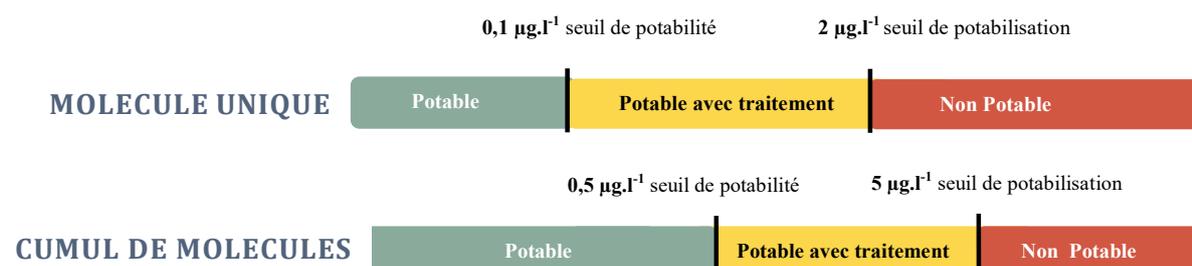


Figure 5 Seuils de pollution de référence de la DCE

3.3.2 FREQUENCE DE DETECTION (FD) ET FREQUENCE DE QUANTIFICATION (FQ)

Cet indicateur, réalisé sur des séries comportant au moins 50 répétitions, permet de déterminer si la molécule recherchée représente une :

POLLUTION CHRONIQUE : FQ ou FD supérieure ou égale à 20 % ;

POLLUTION PONCTUELLE : FQ ou FD strictement inférieure à 20 % dans la rivière.

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

$$\text{Fréquence de quantification} = \frac{\text{Nombre d'analyses où la molécule est quantifiée} \\ (\text{Concentration} > \text{LQ})}{\text{Nombre d'analyses où la substance est recherchée}}$$

3.3.3 CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE QUANTIFIEE (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 versant. Cet indicateur est particulièrement intéressant afin de caractériser les évolutions du niveau de pollution entre les différentes campagnes de prélèvement.

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

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

3.3.4 POURCENTAGE DE PARTICIPATION A LA POLLUTION TOTALE

Cet indicateur caractérise la **CONTRIBUTION D'UNE MOLECULE OU D'UN ENSEMBLE DE MOLECULES** (insecticides, fongicides, herbicides) à la pollution totale sur le bassin ou sur un sous-bassin.

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

3.3.5 POURCENTAGE DE LA POLLUTION LIEE AUX USAGES ACTUELS

Cet indicateur caractérise la **CONTRIBUTION D'UNE MOLECULE OU D'UN ENSEMBLE DE MOLECULES** (insecticide, fongicides, herbicides) à la pollution issue des **PESTICIDES AUTORISES** sur le bassin ou un sous-bassin. Il ne prend pas en compte les usages actuels de produits interdits.

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

3.4 DATES D'AUTORISATION ET D'INTERDICTION D'UNE SUBSTANCE ACTIVE

Dans l'Union Européenne, la procédure de mise sur le marché et le cadre d'utilisation des produits phytopharmaceutiques est régi par le règlement CE/1107/2009. La mise sur le marché présuppose que chaque substance active soit sûre sur le plan de la santé, y compris les résidus dans la chaîne alimentaire, la santé animale et l'environnement. Il incombe à l'industriel de fournir les preuves attestant qu'une substance peut être utilisée sans danger pour la santé humaine et l'environnement. L'autorisation de mise sur le marché se construit en deux étapes :

- a. Les **substances actives sont autorisées au niveau de l'Union Européenne** ;
- b. Les **produits commerciaux sont autorisés au niveau des états membres** : ces produits sont autorisés dans le cadre **d'usages spécifiquement encadrés** (ex. culture, nombre d'applications, dose).

A l'inverse, l'interdiction peut être prononcée pour une substance active ou un produit au niveau d'un état ou de l'Union Européenne. De plus, l'état peut intervenir sur le retrait ou la modification d'un usage spécifique ou d'un groupe d'usages. Dès lors qu'un retrait est prononcé, trois dates sont à respecter, mettant fin à : la production, puis la distribution, et finalement à l'utilisation. Néanmoins, un usage interdit peut obtenir une dérogation pour une période de 120 jours pour une situation « d'urgence phytosanitaire ». Il en vient un nombre important de cas particuliers et il n'est pas toujours évident de qualifier une molécule comme totalement interdite ou autorisée. Par exemple, *l'imazalil* a été retiré pour les usages concernant la canne à sucre en 2019, mais conserve des autorisations pour des usages liés à d'autres cultures (tomates, pomme de terre). Bien que la canne à sucre soit la deuxième culture majoritaire sur le bassin versant, nous l'avons par défaut considéré comme toujours autorisé. Nous qualifierons par la suite les molécules en fonction de leur autorisation ou non pour comprendre la part des usages passés et actuels sur la pollution du bassin versant du Galion.

3.5 CAS DES METABOLITES

Les **MÉTABOLITES**, considérés au sens large, sont l'ensemble des molécules obtenues à partir d'une molécule mère à la suite de transformation d'origine biologique (ex. dégradation microbiologique) ou physico-chimique (ex. hydrolyse) dans l'environnement de production ou d'utilisation. L'Union Européenne propose une définition de **métabolite « pertinent » ou « non-pertinent »** pour justifier leur suivi dans les ressources en eau. Afin qu'une substance active soit approuvée, ses métabolites pertinents ne doivent pas dépasser une concentration prédite de 0,1 µg.L⁻¹ dans les eaux souterraines et inférieure aux seuils de toxicité pour les organismes

aquatiques (ANSES, 2019). De façon générale, les métabolites suivent donc la même réglementation que leur molécule mère. La liste complète des métabolites recherchés dans le cadre du suivi du bassin versant du Galion est disponible en Annexe 2.

Dans le cadre de notre analyse, nous considérerons l'ensemble des substances actives et métabolites comme **molécules interdites si l'ensemble de leurs usages pour la molécule mère sont retirés** à la date ou pendant la campagne en cours. Les **molécules autorisées** sont donc celles qui possèdent **au moins un usage autorisé** à la date de rédaction de ce rapport.

4 Résultats

4.1 DIVERSITE DES MOLECULES QUANTIFIEES

Les résultats de cette section présentent une analyse et une interprétation globales des données acquises sur les trois sites (Base de Loisirs, La Digue et Grand Galion) confondus.

4.1.1 EVOLUTION CONTRASTEE ENTRE LES PERIODES 2016-2017 ET 2018-2019

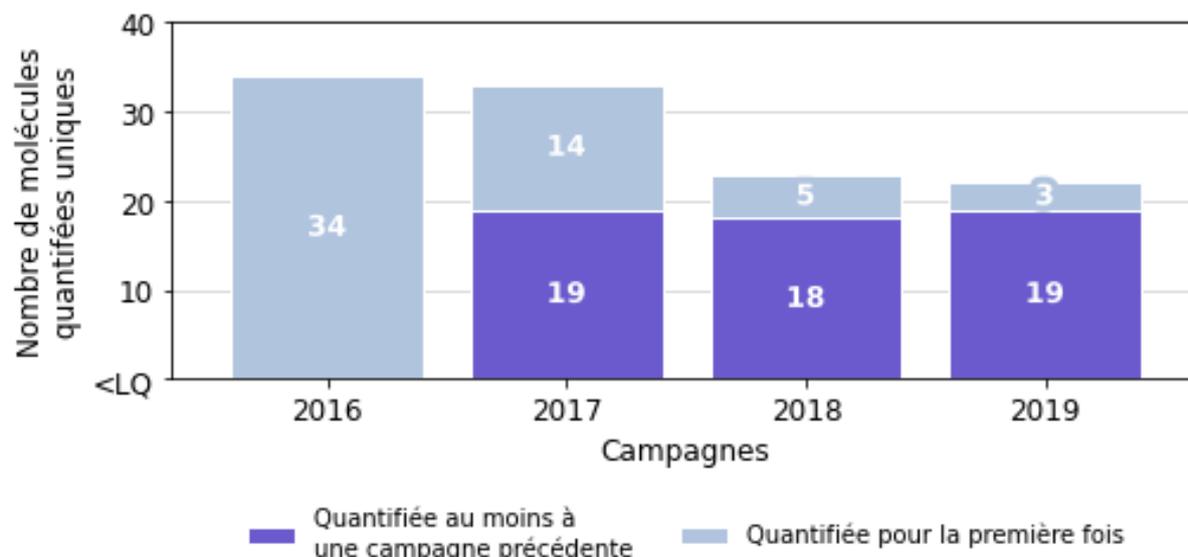


Figure 6 Évolution du nombre de molécules nouvellement quantifiées

La Figure 6 présente l'évolution du nombre de molécules uniques quantifiées par campagne en fonction de l'évolution du nombre de molécules nouvellement quantifiées. Au total, **56 molécules différentes ont été quantifiées** sur l'ensemble des campagnes. La campagne 2016 a connu la plus grande diversité de molécules quantifiées. C'est aussi la première campagne réalisée, les 34 molécules sont donc toutes quantifiées pour la première fois. La campagne 2017, avec un nombre de molécules similaire présente cependant 14 nouvelles molécules quantifiées. Le passage à la campagne 2018 marque une baisse significative de 10 molécules sur le total. Cette baisse se compte alors principalement sur la réduction de 9 de molécules nouvelles. **Cette observation se confirme en 2019, laissant supposer une définition de deux périodes contrastées :**

- De la campagne 2016 à 2017 : Un nombre de molécules quantifié élevé avec une majorité de molécules quantifiées pour la première fois ;
- De la campagne 2018 à 2019 : Un nombre de molécules quantifié d'un tiers plus faible avec une minorité de molécules quantifiées pour la première fois ;

Nous pouvons alors nous demander **quelles** sont ces molécules ? Leur présence ou absence de quantification est-elle due à une **modification de méthodologie** (ajout de la recherche d'une molécule, modification de la LQ) ? A contrario, **quelles** sont alors leurs caractéristiques ? Enfin, peut-on les relier à un **changement de pratiques phytosanitaires** à l'échelle du bassin versant du Galion ?

4.1.2 REDUCTION DU NOMBRE DE MOLECULES LIEE AUX USAGES ACTUELS

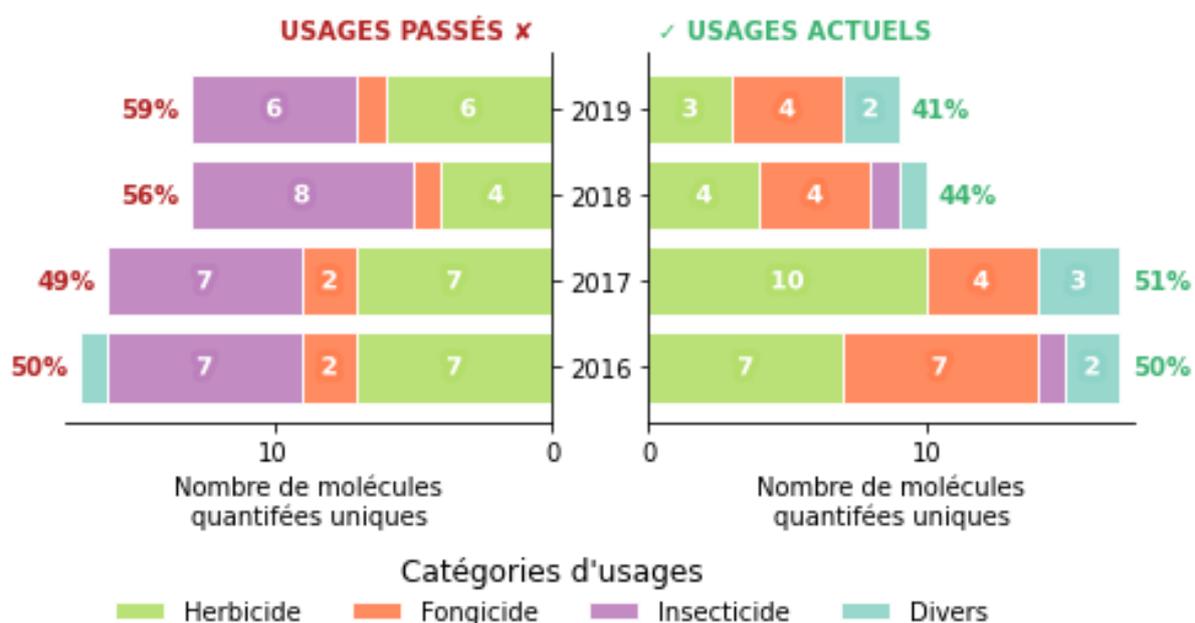


Figure 7 Nombre de molécules quantifiées uniques par campagne en fonction de leur statut d'autorisation et de leur catégorie d'usage

La Figure 7 présente l'évolution du nombre de molécules uniques quantifiées par campagne en fonction des usages passés et actuels par catégorie d'usages. Les usages passés correspondent aux molécules interdites à la date de la rédaction du présent rapport et à contrario, les usages actuels correspondent aux molécules autorisées (voir Section 3.4). La catégorie d'usage « divers » correspond à un regroupement de catégories (molécule synergiste, phytoprotecteur, molluscicide, rodenticide) représentées par une à deux molécules.

À travers l'ensemble des campagnes, nous pouvons observer une répartition des molécules relativement égale entre les usages passés et actuels. Par ailleurs :

LES USAGES PASSES sont toujours caractérisés par une part égale d'insecticides et d'herbicides, avec une part minoritaire de fongicides et un molluscicide en 2016.

LES USAGES ACTUELS sont quant à eux **toujours composés d'une part majoritaire d'herbicides et de fongicides**, au plus un insecticide et une part minoritaire de molécules diverses.

Pour les usages passés et actuels, ce sont les herbicides qui présentent la plus grande variation de molécules. En effet, les herbicides représentent la plus grande diversité de molécules quantifiées et parmi elles, 16 herbicides sur 26 sont quantifiés à une unique campagne.

Nous l'avons vu précédemment (voir Section 4.1.1), à partir de la campagne 2017, de 18 à 19 molécules ont déjà été rencontrées précédemment. Parmi elles, 13 molécules sont quantifiées au moins une fois par campagne depuis 2016 sur le bassin versant du Galion, composant là une base stable de molécules toujours quantifiées. Cette base est composée de :

✗ 7 molécules interdites :

- 4 insecticides organochlorés : l'*HCH-β*, la *chlordécone* et ses métabolites (la *chlordécol* et la *chlordécone 5b hydro*) ;
- 2 herbicides : *monuron*, *métolachlore (R+S)* ;
- 1 fongicide : *propiconazole* ;

✓ 6 molécules autorisées :

- 3 herbicides : le *2,4-D*, le *glyphosate*, son métabolite l'*AMPA* ;
- 3 fongicides : le *thiabendazole*, l'*imazalil* et l'*azoxystrobin*.

Nous l'avons vu précédemment (voir Section 4.1.1), le palier marqué au passage de 2017 à 2018 est caractérisé par une diminution du nombre de molécules, en particulier des nouvelles molécules quantifiées. Conjointement, nous observons une baisse de 3 molécules interdites. Cette baisse globale est majoritairement due à une réduction du nombre d'herbicides. En effet, de 17 herbicides quantifiés lors de la campagne 2017, plus que 8, puis 9 sont quantifiés aux campagnes 2018 et 2019. La différence est principalement due à un ensemble de molécules quantifiées à une unique campagne et nous le verrons, pour des fréquences de quantification très basses (Tableau 2).

Lors de la campagne 2019, 3 nouvelles molécules sont rencontrées (voir section 4.1.1) :

✓ 1 molluscicide autorisé (divers) :

- Le *metaldéhyde*, employé contre les gastéropodes, dont les produits commerciaux sont généralement présentés sous forme de granules.

✗ 2 herbicides interdits :

- Le *dinoterbe*, interdit depuis 1995-1996, est un herbicide de contact qui était utilisé contre les dicotylédones, dans une grande variété de cultures.
- Le *chlorprophame*, interdit entre 2005 et 2020 (pour de rares usages), était utilisé sur de nombreuses cultures maraîchères. La substance active possède un métabolite, le *dichloroaniline 3,4*, qui est recherché dans le cadre du suivi du bassin versant du Galion mais n'a jamais été détecté.

		Paramètre (LDA26)	Code Sandre	Autorisation	2016	2017	2018	2019
14 INSECTICIDES	13 X	HCH beta	1201	X				
		chlordécone	1866	X				
		chlordecol	7527	X				
		chlordecone 5b hydro	6577	X				
		hydramethylon	5644	X				
		rotenone	2029	X				
		dieldrine	1173	X				
		chlorfluazuron	2950	X				
		thiodicarbe	1093	X				
		HCH Alpha	1200	X				
		oxydémeton méthyl	1231	X				
		terbuphos	1267	X				
		bendiocarbe	1329	X				
		✓	imidaclopride	1877	✓			
4 DIVERS	X	piperonyl butoxide	1709	X				
	3 ✓	fosthiazate	2744	✓				
		benoxacor	2074	✓				
		metaldéhyde	1796	✓				

Tableau 2 Détail des molécules quantifiées à chaque campagne en fonction de leur catégorie d'usage et de leur statut d'autorisation (case colorée = au moins une quantification par campagne ; autorisation = statut d'autorisation de la molécule à la date du rapport)

		Paramètre (LDA26)	Code Sandre	Autorisation	2016	2017	2018	2019
12 FONGICIDE	3X	<i>propiconazole</i>	1257	X				
		<i>biphenyl</i>	1584	X				
		<i>pyrifénox</i>	1663	X				
	9√	<i>thiabendazole</i>	1713	✓				
		<i>imazalil</i>	1704	✓				
		<i>azoxystrobin</i>	1951	✓				
		<i>difénoconazole</i>	1905	✓				
		<i>fluopyram</i>	7649	✓	ND	ND		
		<i>triclosan</i>	5430	✓				
		<i>Dithiocarbamates (CS2)</i>	2066	✓				
		<i>bromuconazole</i>	1860	✓				
		<i>métalaxyle</i>	1706	✓				
26 HERBICIDES	14X	<i>monuron</i>	1228	X				
		<i>métolachlore (R+S)</i>	1221	X				
		<i>hydroxyatrazine (2 hydroxy)</i>	1832	X				
		<i>diuron</i>	1177	X				
		<i>propazine-2-hydroxy</i>	5968	X				
		<i>atrazine déséthyl (dea)</i>	1108	X				
		<i>chloridazone (pyrazon)</i>	1133	X				
		<i>desmétryne</i>	1155	X				
		<i>dinoterbe</i>	1176	X				
		<i>pentachlorophénol</i>	1235	X				
		<i>chlorpropham</i>	1474	X				
		<i>oxadiazon</i>	1667	X				
		<i>hexazinone</i>	1673	X				
		<i>atrazine</i>	1107	X				
	12√	<i>ampa</i>	1907	✓				
		<i>glyphosate</i>	1506	✓				
		<i>2,4-D</i>	1141	✓				
		<i>dicamba</i>	1480	✓				
		<i>mésotrione</i>	2076	✓				
		<i>pendimethaline</i>	1234	✓				
		<i>asulam</i>	1965	✓				
		<i>hydroxyterbutylazine</i>	1954	✓				
		<i>thiaflumide (flufenacet)</i>	1940	✓				
		<i>dcpmu</i>	1929	✓				
		<i>florasulam</i>	2810	✓				
		<i>2,4-DB</i>	1142	✓				

Tableau 2 Détail des molécules quantifiées à chaque campagne en fonction de leur catégorie d'usage et de leur statut d'autorisation

4.2 POLLUTION TOUJOURS PREOCCUPANTE

Les résultats de cette section présentent une analyse et une interprétation globales des données acquises sur les trois sites (Base de Loisirs, La Digue et Grand Galion) confondus.

4.2.1 CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE TOUJOURS SUPERIEURE AUX NORMES DE POTABILITE

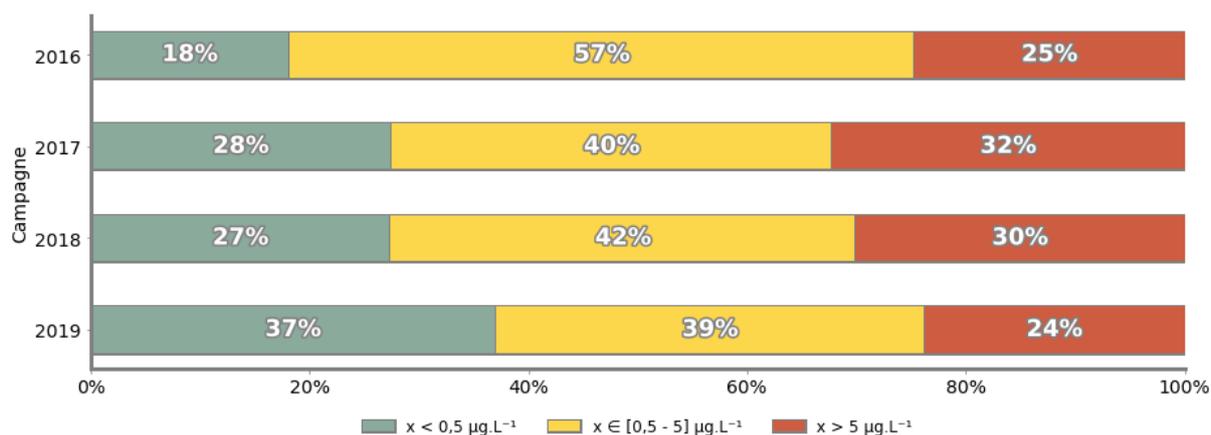


Figure 8 Représentation de la pollution cumulée aux différentes classes de concentrations pour chaque campagne

À chaque campagne, **plus de deux tiers des échantillons révèlent une pollution cumulée supérieure à la norme de potabilité (0,5 µg.L⁻¹)** (Figure 8). De la campagne 2016 à 2019, nous pouvons cependant noter une augmentation progressive de 19 points en faveur de la classe de concentrations d'une eau potable (classe verte) sur la classe de concentrations d'une eau potabilisable (classe jaune). Cependant, il en reste toujours **environ un quart d'échantillons présentant des concentrations cumulées supérieures au seuil de potabilisation** (classe rouge).

Nous l'avons vu, le nombre de molécules quantifiées dans le bassin versant du Galion semble se diviser en deux périodes (Section 4.1.1). En particulier, à partir de la campagne 2018, le nombre de molécules quantifiées chute d'un tiers pour arriver à 23, puis 22 molécules différentes. Cependant, ce nombre reste toujours élevé et peut permettre d'expliquer **une pollution cumulée toujours élevée et préoccupante**.

4.2.2 HERBICIDES ET FONGICIDES COMME COMPOSANTE MAJORITAIRE DES POLLUTIONS LIEES AUX USAGES ACTUELS

Le niveau de pollution pour le total des molécules (Figure 9), quantifié par la concentration moyenne annuelle (CMA) a augmenté de près de 100 % entre les campagnes 2016 à 2018 pour atteindre le maximum 6,07 µg.L⁻¹, puis marque une baisse de 60 % pour atteindre des valeurs proches de 2016. Nous pouvons remarquer qu'**au minimum (2,24 µg.L⁻¹), le niveau de pollution des molécules interdites est quatre fois plus élevé que le maximum (0,65 µg.L⁻¹) de la pollution engendrée par les molécules autorisées**. De plus, **pour les molécules autorisées, ce maximum est atteint à la première campagne**. Par la suite, **le niveau de pollution baisse de 70 % pour se stabiliser autour de 0,20 µg.L⁻¹ jusqu'à la campagne 2019**. En effet, la participation aux pollutions du bassin versant est très inégale entre catégories d'usages.

Nous l'avons vu, en nombre de molécules, les usages passés (composés des molécules aujourd'hui interdites) sont toujours caractérisés par une part égale d'insecticides et d'herbicides (voir Section 4.1.2). Cependant, à chaque campagne, la **participation de ces molécules à la pollution totale est très majoritairement dominée par les insecticides interdits (> 98 %)** malgré leur variation en nombre (de 6 à 8). Elle semble donc majoritairement due à un nombre réduit et invariant de molécules. Nous l'avons vu (Section 4.1.2), 4 insecticides organochlorés sont quantifiés à chaque campagne sur le bassin versant du Galion.

Pour les usages actuels (liés aux molécules autorisées), les fongicides et les herbicides représentent la participation majoritaire à la pollution du bassin versant. Cependant, si les fongicides ont participé à hauteur 83 % à la campagne 2016, cette valeur tend à diminuer à travers les campagnes pour atteindre 44 % à la campagne 2019. **Pour la dernière campagne, ce sont les herbicides qui représentent la plus grande participation avec 54 %**, malgré un nombre de molécules en baisse pour les herbicides et stable pour les fongicides (Section 4.1.2).

Au total, sur le bassin versant du Galion, nous pouvons observer que les insecticides interdits représentent la participation majoritaire (> 77 %) pour l'ensemble des campagnes, atteignant son maximum à 97 % en 2018.

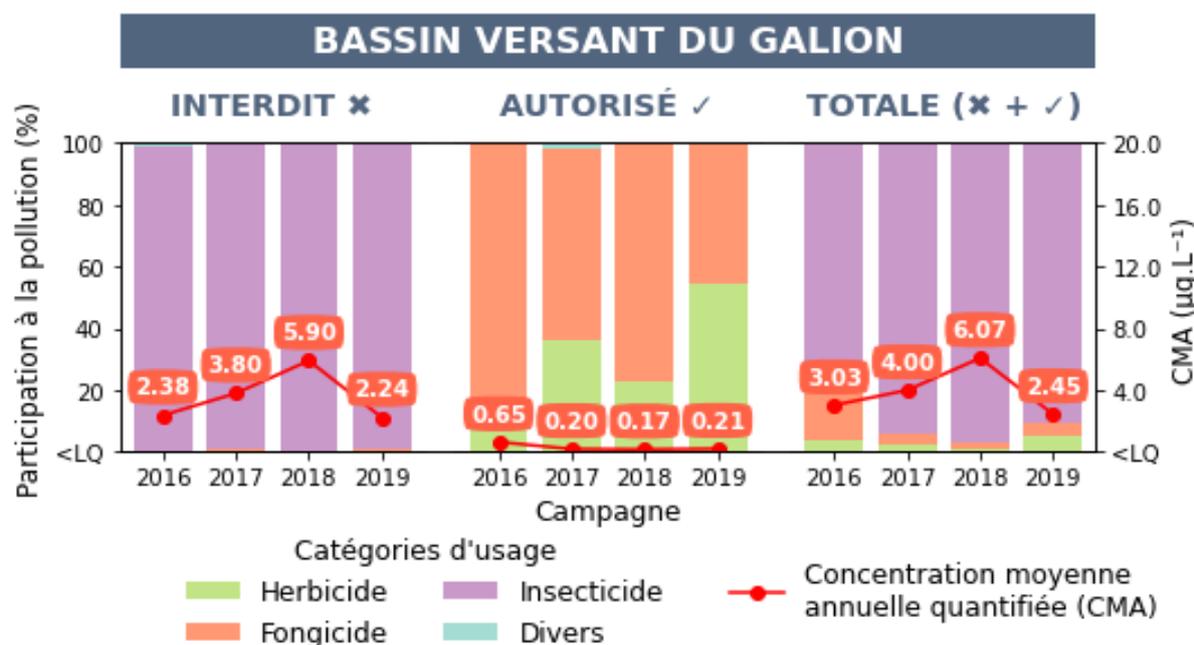


Figure 9 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour chaque campagne

La pollution par les pesticides agricoles à l'échelle du BASSIN VERSANT DU GALION est caractérisée par une **base stable de 13 molécules toujours quantifiées** à chaque campagne sur **56 quantifiées depuis 2016**. À partir de la campagne 2018, moins de 5 nouvelles molécules sont rencontrées. Chaque campagne, la moitié des molécules quantifiées sont aujourd'hui interdites. Ces **usages passés**, à travers les insecticides, participent toujours majoritairement à la pollution du BV. En 2019, **ils participent à hauteur de 91 % à la pollution totale**. Il s'agit alors du *HCH-β*, de la *chlordécone* et ses métabolites, du *roténone* et de la *dieldrine*. À l'opposé, les molécules liées aux usages actuels, participent en 2019 à 9 % à la pollution totale. En effet, leur niveau de pollution qui leur est dû s'est stabilisé depuis 2017 autour de 0,20 µg.L⁻¹. Infléchi par la participation des insecticides interdits, le niveau de pollution du bassin versant a diminué de 60 % en 2019. **Cependant, cette campagne est toujours composée à 25 % de concentrations supérieures au seuil de potabilisation.**

4.3 EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA POLLUTION PAR STATION

Nous allons désormais nous demander comment la pollution par les pesticides agricoles se répartit à l'échelle des stations.

Les analyses portées par les rapports précédents ont mis en évidence une pollution globale proche de la limite de potabilité en amont du bassin versant du Galion (BDL), intermédiaire sur la station GG mais encore au-dessus du seuil de potabilisation sur LD.

4.3.1 BASE DE LOISIRS : UN NIVEAU POLLUTION FAIBLE ENGENDRE PAR UN FAIBLE NOMBRE DE MOLECULES

Le **niveau de pollution a connu son maximum à la campagne 2016 avec une CMA de 0,60 µg.L⁻¹** (Figure 10). A la campagne 2017, il connaît une baisse de 21 %, puis à la campagne 2018 une nouvelle hausse de 21 %. A la dernière **campagne 2019, le niveau de pollution atteindra son niveau le plus bas à 0,39 µg.L⁻¹**. Nous pouvons constater que cette évolution suit le niveau de pollution des molécules interdites. Par ailleurs, les molécules autorisées, présentent des CMA toujours basses (< 0.07 µg.L⁻¹) et de près de 80 % inférieures au minimum des CMA des molécules interdites. Cependant, après une diminution de 60 %, à la campagne 2017, conservée en 2018, la campagne 2019 marque une nouvelle augmentation de 50 %, se rapprochant des valeurs connues en 2016.

Cette pollution est composée à chaque campagne pour les molécules interdites, d'une majorité d'insecticides (> 86 %), et pour les molécules autorisées, d'une majorité d'herbicides (> 85 %). **Cependant, ce sont bien les insecticides interdits, qui participent toujours entre 75 % et 93 % à la pollution totale de la station.**

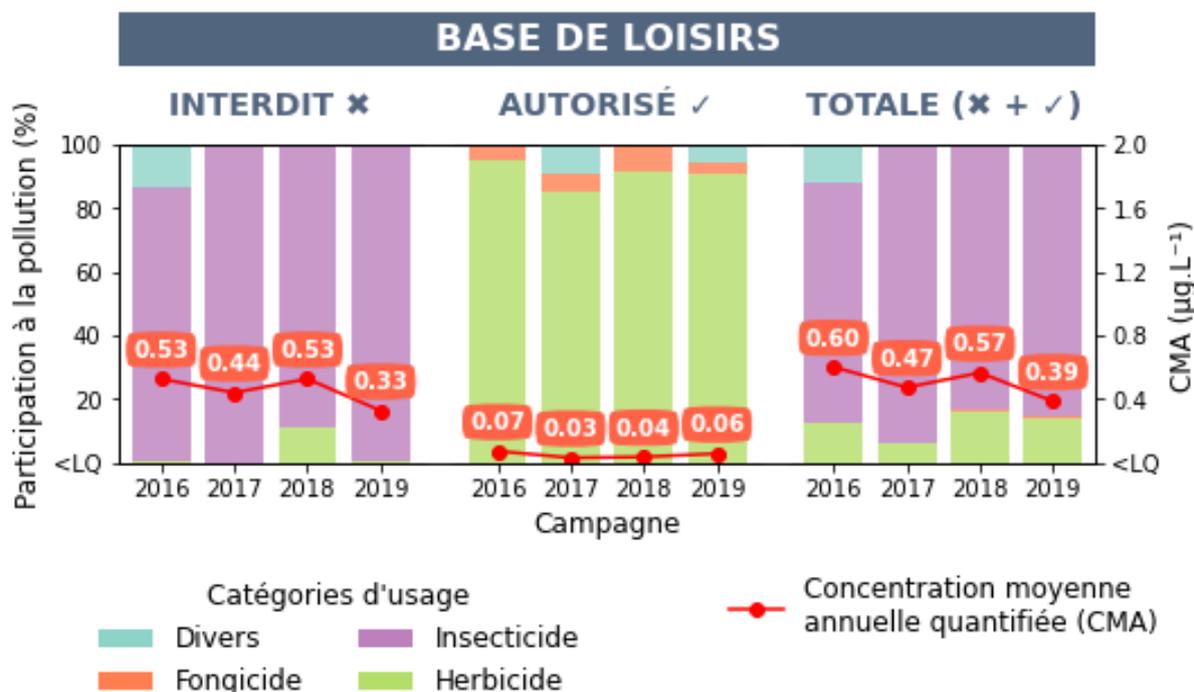


Figure 10 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour chaque campagne pour la station Base de Loisirs

Depuis la campagne 2016, la station BDL a permis de quantifier 25 molécules uniques, comprenant 10 herbicides dont 6 interdits, 6 insecticides interdits, 6 fongicides autorisés et 3 divers dont une molécule interdite (Figure 11). Parmi elles, seulement 3 molécules présentent des fréquences de quantification chroniques : la *chlordécone*, le *glyphosate* et son métabolite l'*AMPA*. A la campagne 2019, la zone de BDL voit par ailleurs la disparition des concentrations non potabilisables (classe rouge) dues précédemment à la *chlordécone*.

Nous pouvons noter la présence exceptionnelle du *piperonyl butoxyde*, quantifié deux fois à des concentrations élevées (3,63 µg.L⁻¹ et 0,11 µg.L⁻¹) sur le bassin versant en mars et novembre 2016, au niveau de la station BDL. Cette molécule est utilisée comme synergiste de nombreux pesticides et est interdite aujourd'hui dans la majorité des produits commerciaux. Nous la retrouvons encore dans des produits contenant des insecticides tel que les *pyrethrines* (ANSES, 2020).

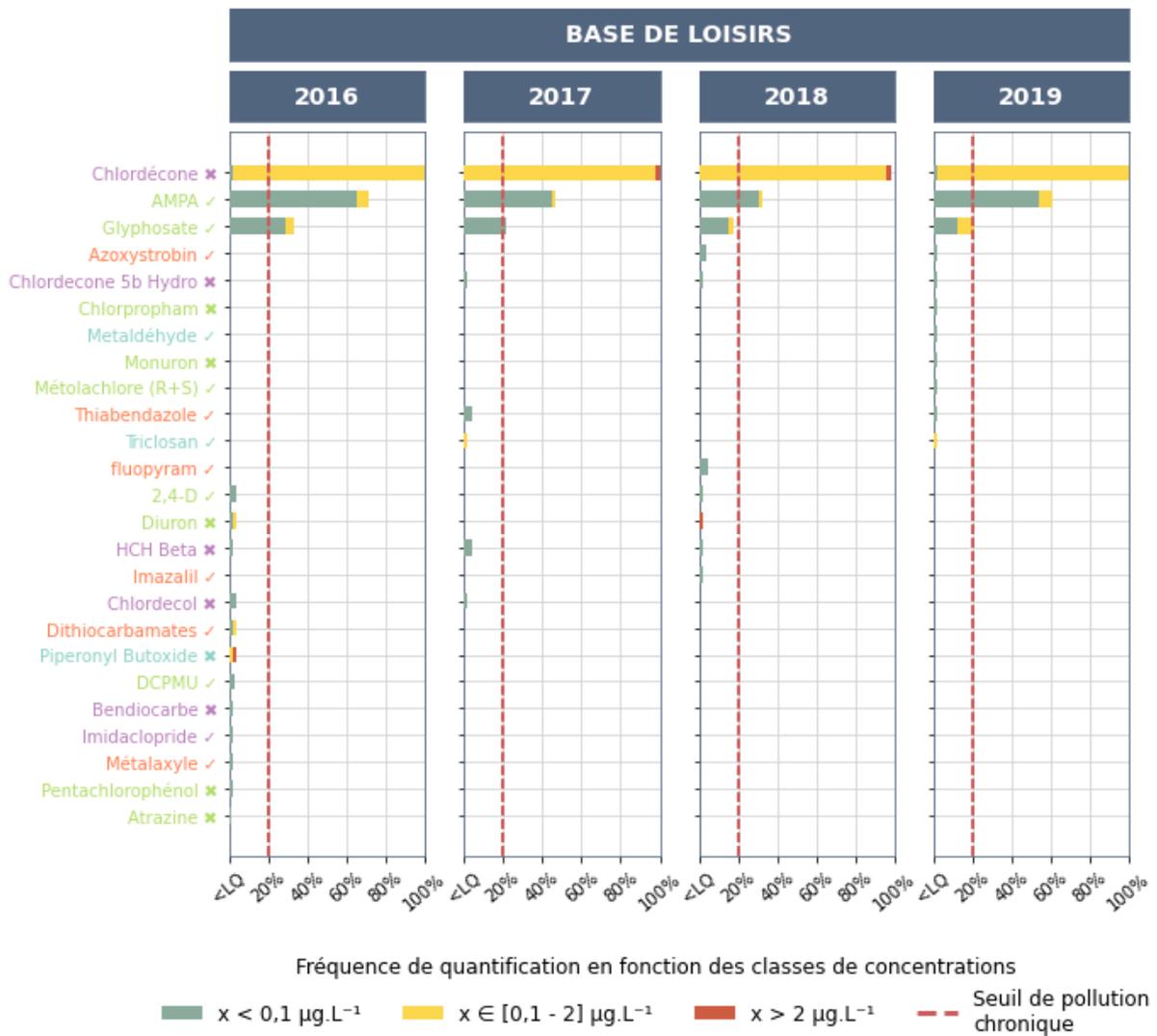


Figure 11 Fréquences de quantification des molécules (violet : insecticide ; vert : herbicide ; orange : fongicide ; bleu : divers) aux différentes classes de concentrations sur la station BDL

4.3.2 GRAND GALION : UN NIVEAU DE POLLUTION INTERMEDIAIRE EN BAISSÉ CONTINUE

Le **niveau de pollution totale a connu son maximum à la campagne 2016** (Figure 12) avec une CMA de **1,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$** . Par la suite, la CMA décrit une diminution linéaire ($R^2 = 0,98$) de **0,14 $\mu\text{g.L}^{-1}$** par campagne pour atteindre **0,56 $\mu\text{g.L}^{-1}$** à la campagne 2019. Dans le même temps, les molécules interdites diminuent plus rapidement que les molécules autorisées. En effet, les molécules interdites baissent de **0,09 $\mu\text{g.L}^{-1}$** ($R^2 = 0,90$) par campagne contre **0,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$** ($R^2 = 0,94$) pour les molécules autorisées. De plus, les CMA des molécules interdites sont de 3 à 6 fois plus élevées que celles des molécules autorisées.

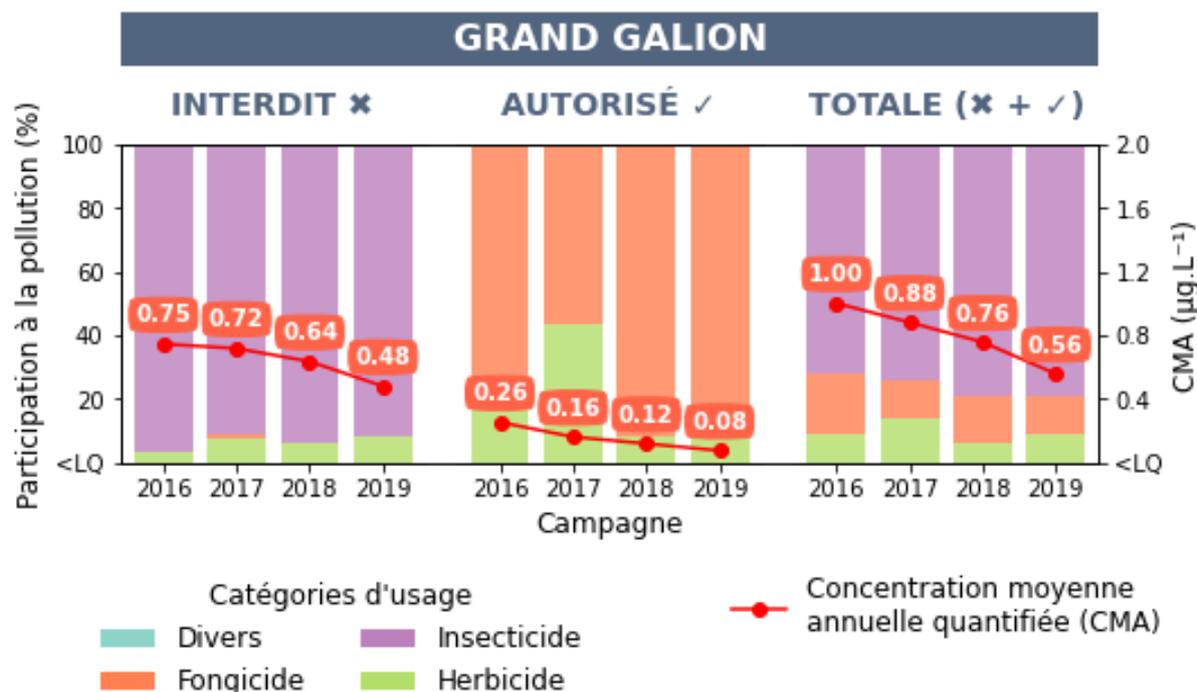


Figure 12 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour campagne pour la station Grand Galion

Cette pollution est composée en moyenne pour les molécules interdites de 93 ± 2 % d'insecticides et de 7 ± 2 % d'herbicides. Pour les molécules autorisées, ce sont les herbicides et les fongicides qui participent majoritairement à la pollution. Cependant, ces groupes marquent de plus fort écarts (11-12 %). En particulier, à la campagne 2017, ces deux groupes présentent une participation équivalente de 56 % pour les fongicides contre 43 % pour les herbicides. La participation à la pollution des fongicides augmentera ensuite de 80 % pour atteindre 91 % à la campagne 2018, puis 83 % en 2019. Malgré ces évolutions, ce sont les insecticides qui composent toujours plus de 72 % de la pollution de la station. Les différentes catégories d'usage ont une participation relativement stable à travers les campagnes avec un écart de 2-3 points en moyenne. La contribution à la diminution de la pollution semble donc également répartie entre les catégories d'usages.

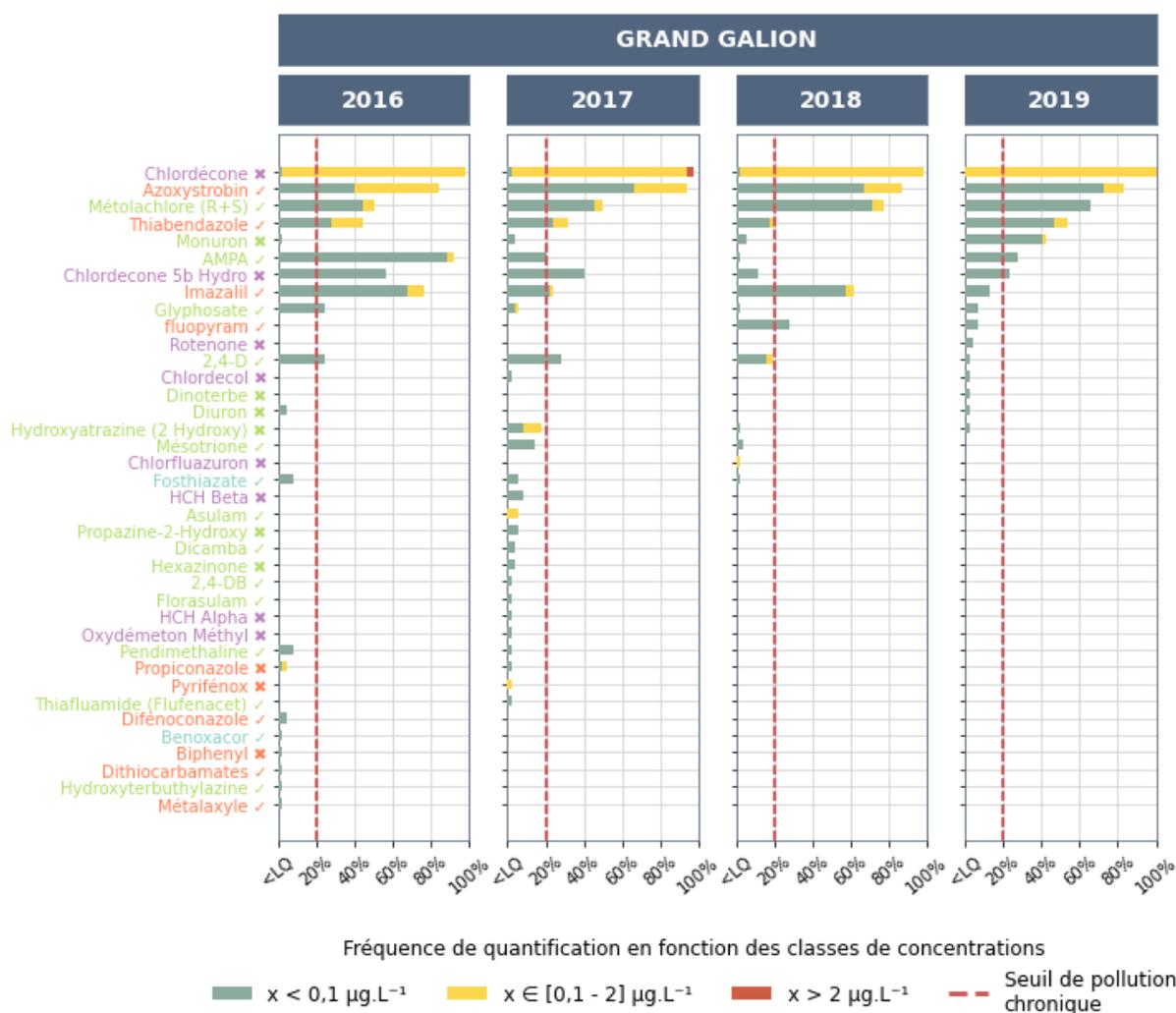


Figure 13 Fréquences de quantification des molécules (violet : insecticide ; vert : herbicide ; orange : fongicide ; bleu : divers) aux différentes classes de concentrations sur la station GG

Depuis la campagne 2016, la station GG a permis de quantifier 38 molécules uniques, comprenant 18 herbicides dont 6 interdits, 8 insecticides interdits, 10 fongicides dont 3 interdits et 2 divers (Figure 13). Parmi elles, 10 molécules sont quantifiées tous les ans dont 7 en moyenne de manière chronique. Compte tenu du grand nombre de molécules quantifiées à cette station, les détails de l'analyse et de l'interprétation des données ne seront pas abordés dans cette section mais dans les sections suivantes (composant les Sections 4.4 à 4.8) consacrées au traitement individuel par molécule.

4.3.3 LA DIGUE : UN NIVEAU DE POLLUTION ELEVE MAIS EN FORTE BAISSSE

Le niveau de pollution de la station a connu de fortes variations à travers les campagnes (Figure 14). En effet, de la campagne 2016 à la campagne 2018, le niveau de pollution a augmenté drastiquement de 126 % pour atteindre la concentration record, toutes stations confondues, de 16,89 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. **Le passage à la campagne 2019, marque une nouvelle diminution de 62 % pour atteindre, un niveau de pollution similaire à 2016 de 6,40 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.** Cette évolution est **due très majoritairement aux molécules interdites**. En effet, la contribution au niveau de pollution des molécules autorisées est très faible. A la campagne 2016, pour ces dernières, elle a atteint son niveau maximum à 1,63 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Après une diminution de 76 % au passage à la campagne 2017, le niveau de pollution reste stable à une moyenne de $0,41\pm 0,06 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ jusqu'en 2019.

Cette pollution est toujours composée entièrement d'insecticides pour les molécules interdites. Pour les molécules autorisées, ce sont une majorité d'herbicides et de fongicides qui participent à la pollution avec une évolution inégale entre les années. De la campagne 2016 à 2018, ce sont les fongicides qui sont majoritaires avec en moyenne $79\pm 13\%$ de participation à la pollution. Le passage à la campagne 2019 voit une diminution de 60 % de leur participation, pour atteindre 40 %. Au total, ce sont les insecticides interdits qui participent en moyenne à $91\pm 6\%$ à travers les campagnes. Symétriquement à la baisse des CMA pour les molécules autorisées, leur participation diminue de 21 % en 2016 pour se stabiliser à une moyenne de $5\pm 2\%$.

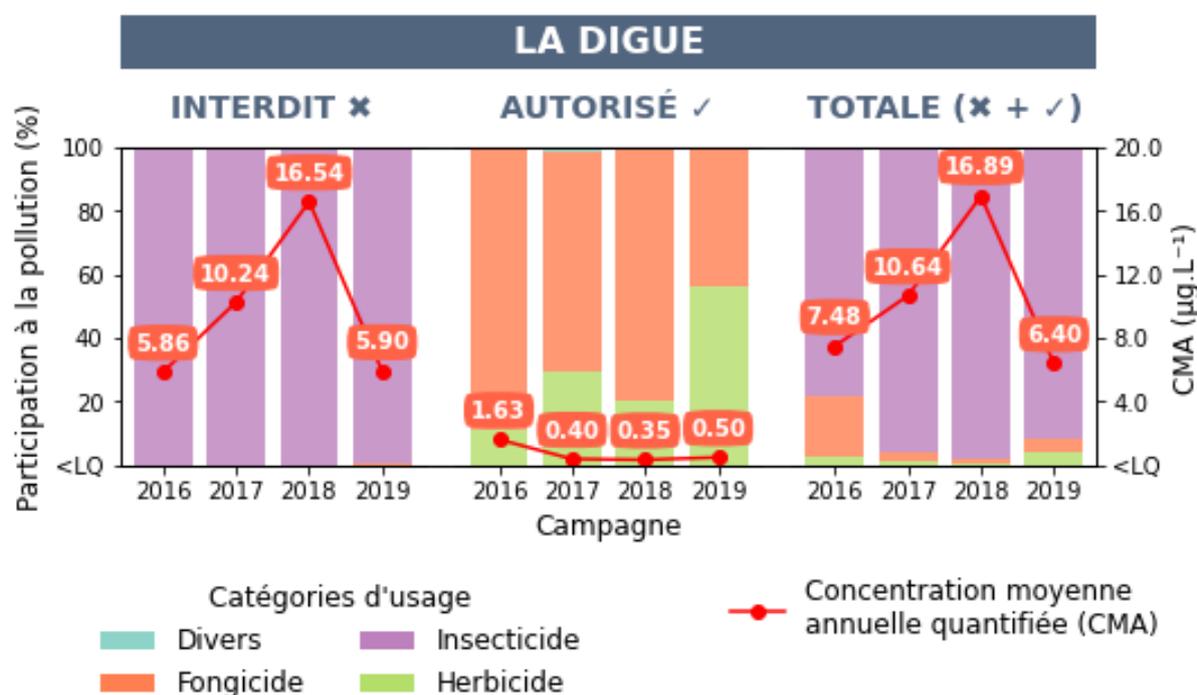


Figure 14 Représentation des concentrations moyennes annuelles (CMA) liées aux pesticides aujourd'hui interdits, puis aux pesticides liés aux usages actuels et enfin au total des pesticides, avec le pourcentage de leur participation en fonction de leur usage pour campagne pour la station La Digue

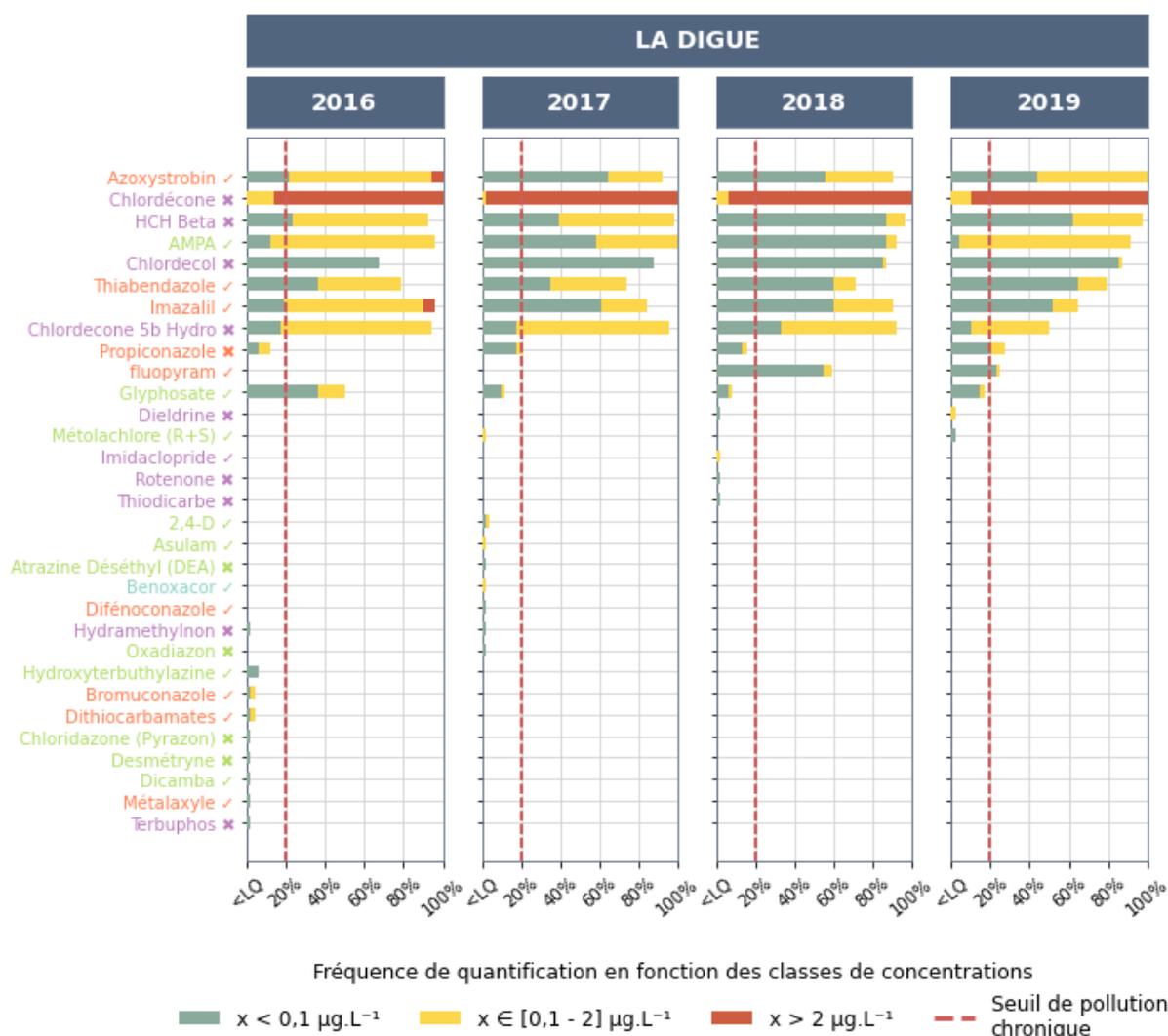


Figure 15 Fréquences de quantification des molécules (violet : insecticide ; vert : herbicide ; orange : fongicide ; bleu : divers) aux différentes classes de concentrations sur la station LD

Depuis la campagne 2016, **la station LD a permis de quantifier 31 molécules comprenant : 10 insecticides dont 9 interdits, 11 herbicides dont 5 interdits, 9 fongicides dont 1 interdit (Figure 15) et 1 divers autorisé.** Parmi elles, **10 molécules sont quantifiées à toutes les campagnes en tant que pollution chronique (> 20 %).** Compte tenu du grand nombre de molécules quantifiées à cette station, les détails de l'analyse et de l'interprétation des données ne seront pas abordés dans cette section mais dans les sections suivantes (composant les Sections 4.4 à 4.8) consacrées au traitement individuel par molécule.

4.4 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 (voir Section 4.2). En effet, les insecticides organochlorés sont extrêmement persistants dans l'environnement, occasionnant un impact environnemental sur le long terme.

4.4.1 CHLORDECONE ET SES METABOLITES

Les analyses portées par les rapports précédents ont mis en évidence une pollution chronique constante de la chlordécone à des concentrations importantes sur toutes les stations du bassin versant du Galion. Une baisse significative de la chlordécone-5b-hydro sur GG et LD et de l'HCH- β sur LD.

La pollution du bassin versant du Galion est composée, en grande partie, de la présence de la **chlordécone**. Il s'agit d'un **insecticide organochloré persistant**, potentiellement cancérigène. Utilisé de 1971 à 1993 aux Antilles pour lutter contre le charançon du bananier, cette molécule a engendré une pollution des sols, des cultures, des eaux et des écosystèmes. Nous retrouvons également, bien que dans une moindre mesure, son métabolite et coproduit : la *chlordécone* et la *chlordécone-5b-hydro*. La *chlordécone* se révèle très persistante dans l'environnement en raison de ses caractéristiques physico-chimiques :

- Une solubilité faible : 3 mg.L⁻¹ (FOOTPRINT) ;
- Une demi-vie dans le sol très élevée et difficilement estimable (Baran & Arnaud, 2013) ;
- Une mobilité réduite : $K_{oc} > 2500$ L.kg⁻¹ (FOOTPRINT).

De fait, plus de 25 ans après l'arrêt de son utilisation, nous la retrouvons toujours dans les sols et les cours d'eau martiniquais. En effet, depuis 2010, des campagnes d'analyses de sol sont réalisées sur l'ensemble du territoire pour quantifier les concentrations de *chlordécone* dans les sols et le BRGM les cartographie. Sur le bassin versant du Galion, 902 analyses de sol en *chlordécone* ont été réalisées, recouvrant 932 ha soit 22 % de sa surface totale et **34 % de sa surface agricole** (OSGE, 2017). Les concentrations **s'étendent jusqu'à 9,6 mg.kgS⁻¹ et 47 % sont supérieures à la limite de quantification** (LQ = 0.01 mg.kgS⁻¹) mais environ **un quart sont supérieures au seuil interdisant les cultures dites « sensibles »** (0,1 mg.kgS⁻¹, ex. tubercules). Les sols fortement contaminés (Figure 16) sont regroupés principalement au niveau du sous-bassin versant de La Digue et en aval de l'exutoire du sous-bassin versant de Base de Loisirs, sur la zone de la station Grand Galion. L'amont du bassin versant du Galion est cependant peu contaminé. Cette répartition correspond aux usages passés des terres agricoles (Della Rossa *et al.*, 2017). Par ailleurs, elle permet de mieux comprendre la localisation des zones sources engendrant des transferts de molécules dans les cours d'eau.

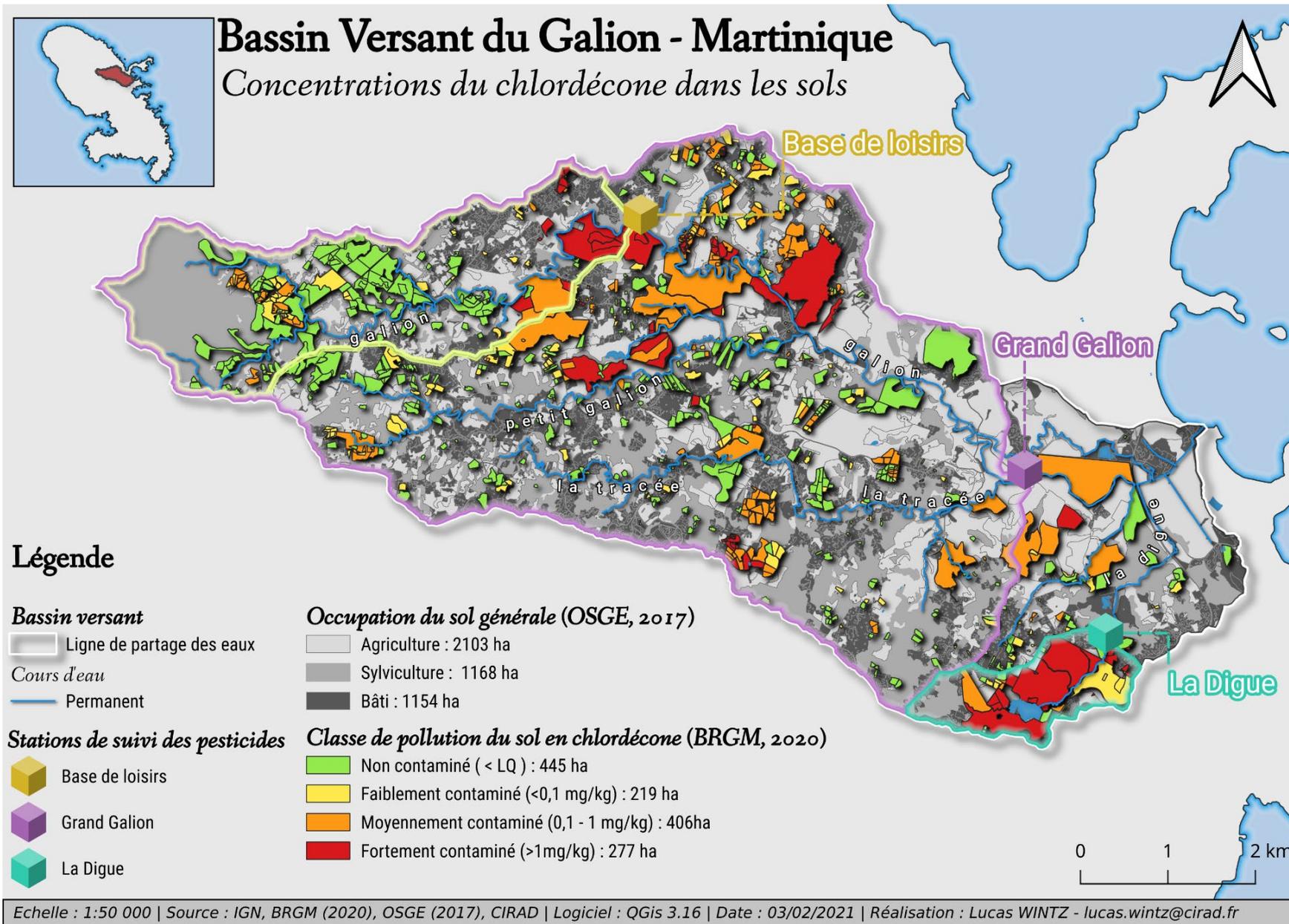


Figure 16 Carte de pollution des sols par la chlordécone du bassin versant du Galion

Pour la campagne 2019, la chlordécone et ses métabolites participent à 89 % de la pollution totale du bassin versant, marquant une baisse de 13 points par rapport à la campagne 2018 (Figure 17). Cette baisse est due à une diminution de 63 % de la pollution liée à la chlordécone et ses métabolites et d'une augmentation de 13 % de la pollution liée aux autres molécules quantifiées.

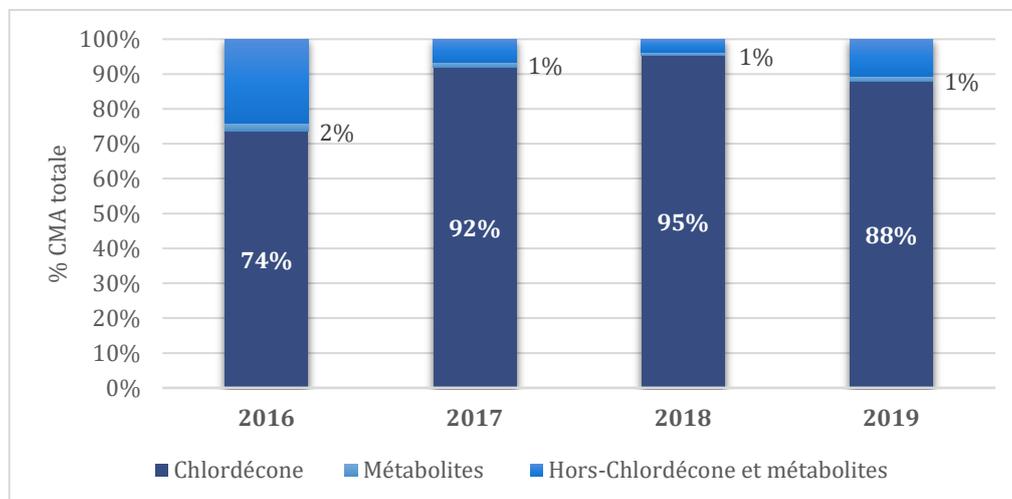


Figure 17 Participation de la chlordécone à la pollution totale du bassin versant du Galion

4.4.1.1 Chlordécone : une forte baisse du niveau de pollution sur LD

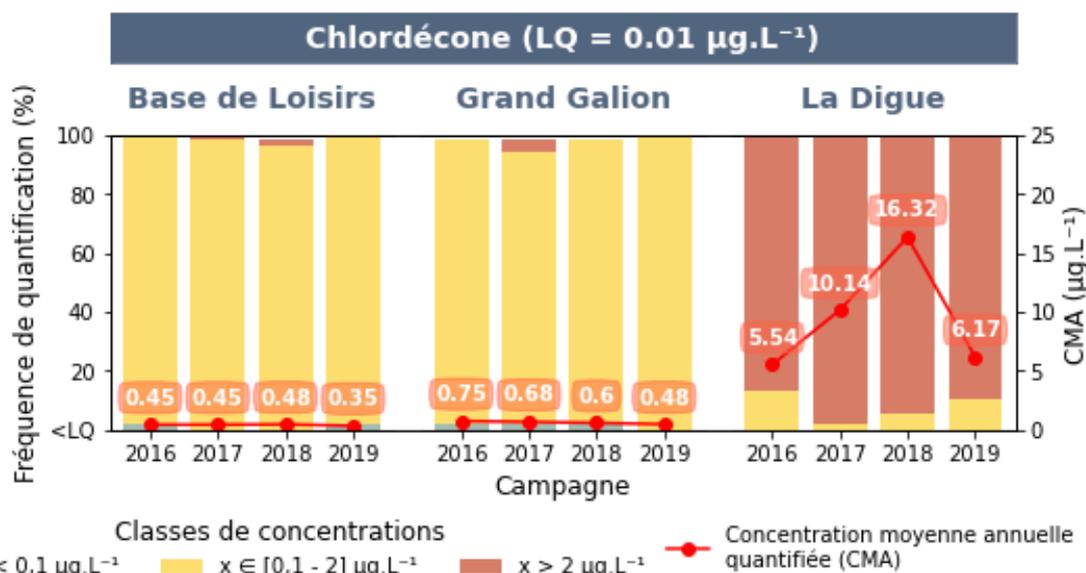


Figure 18 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordécone

La chlordécone est quantifiée presque à chaque fois qu'on la recherche (> 98 %), sur l'ensemble des stations (Figure 18). LD et GG, se détachent à chaque campagne par une fréquence de quantification majoritairement situées (entre 92 % et 100 %) dans l'intervalle de concentrations potabilisables (classe jaune). Alors que pour LD, la majorité des fréquences de quantification (entre 86 % et 94 %) se situent au-dessus du seuil de potabilisation (classe rouge) à des concentrations très élevées.

La participation à la pollution engendrée (ou part de la CMA) par la *chlordécone* par les différentes stations varie peu entre campagnes. En effet, **LD participe toujours entre 82 % et 94 % de la pollution engendrée par la *chlordécone***, le reste est réparti relativement équitablement entre BDL et GG. Cependant, les CMA connaissent des évolutions contrastées :

LA DIGUE. La station enregistre les CMA et les concentrations les plus élevées toutes molécules et stations confondues. En effet, seul 2 % des concentrations répertoriées à l'heure actuelle sont supérieures à $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ et elles sont toutes attribuées au *chlordécone* sur La Digue. De la campagne 2016 à 2018, la CMA a augmenté de 83 % puis 61 % pour atteindre $16,32 \mu\text{g.L}^{-1}$. En effet, précédemment le maximum de concentration d'un échantillon hebdomadaire atteint était de $29,4 \mu\text{g.L}^{-1}$. Durant la campagne 2018, cinq concentrations le dépassent largement. En particulier, **deux maxima historiques à $94,5 \mu\text{g.L}^{-1}$ mi-février 2018 et à $145,7 \mu\text{g.L}^{-1}$ début janvier 2019**. Ces deux concentrations sont à considérer comme des événements extrêmes. Nous étudierons plus en détail leurs causes probables dans le prochain rapport. Il n'est actuellement pas exclu qu'elles proviennent d'un effet aléatoire de l'échantillonnage. L'analyse de cette augmentation a été détaillée dans le rapport précédent (Anckaert & Mottes, 2019). Elle est analysée par les auteurs comme des processus hydrologiques consécutifs à la tempête Matthew de novembre 2016. Les pics de concentrations sont considérés comme des événements exceptionnels et non significatifs (Deffontaines *et al.*, 2018). Lors de la campagne 2019, aucune concentration hebdomadaire ne sera quantifiée au-dessus de $12,6 \mu\text{g.L}^{-1}$. De fait, **la CMA marque une forte baisse de 62 % jusqu'à $6,17 \mu\text{g.L}^{-1}$ retrouvant un niveau de pollution proche de celui de 2016**.

BASE DE LOISIRS. La CMA, restée stable de la campagne 2016 à 2018, marque une baisse de 26 % en 2019. Le niveau de pollution reste cependant dans le même ordre de grandeur ($0,35 \mu\text{g.L}^{-1}$), autour d'une moyenne de $0,43 \pm 0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$.

GRAND GALION. Depuis la campagne 2016 à 2019, la CMA marque une baisse progressive de $0,75 \mu\text{g.L}^{-1}$ à $0,48 \mu\text{g.L}^{-1}$. Le niveau de pollution reste cependant dans le même ordre de grandeur, autour d'une moyenne de $0,62 \pm 0,08 \mu\text{g.L}^{-1}$.

4.4.1.2 Chlordécone 5b hydro : un défaut technique empêchant un suivi complet

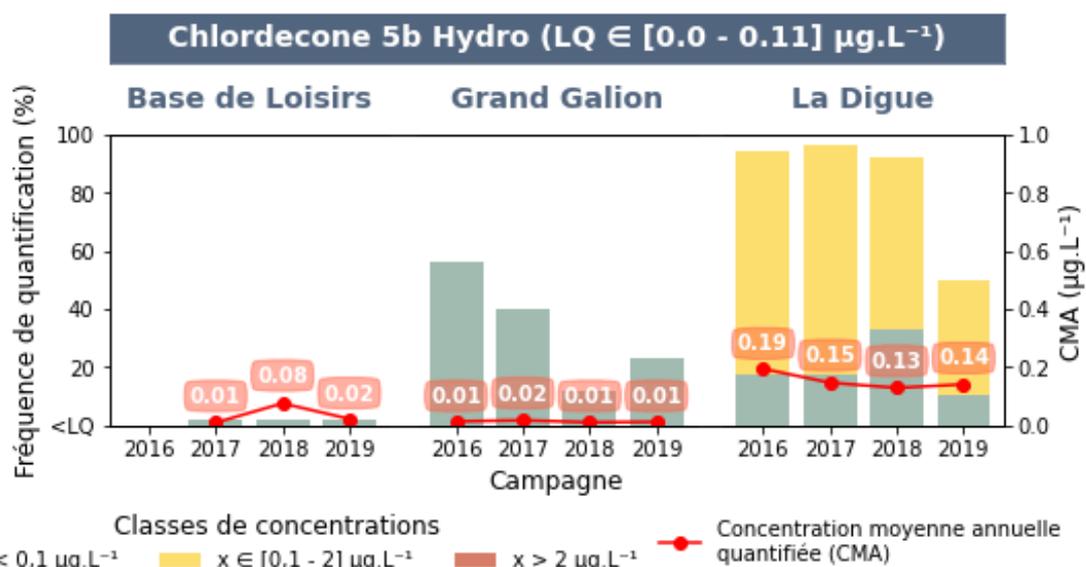


Figure 19 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordécone-5b-hydro

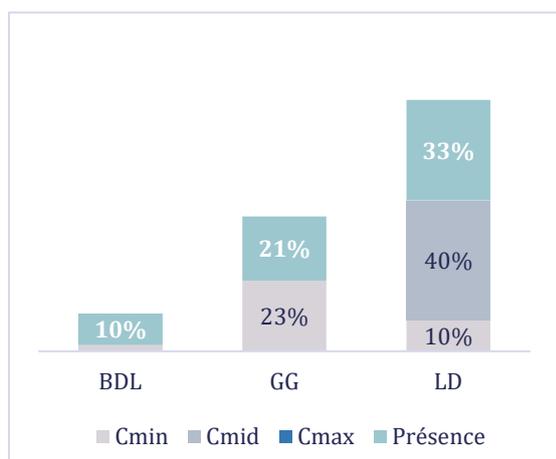


Figure 20 Fréquences de détection par station de la chlordécone-5b-hydro pour la campagne 2019

De début juillet à fin novembre 2019, 20 échantillons pour GG et LD et 22 échantillons pour BDL, n'ont pas abouti à une quantification de la chlordécone-5b-hydro pour cause de rupture de réactif. Cependant, le laboratoire a pu établir la présence de la molécule quand elle dépasse le seuil de détection. Pour cette campagne nous pouvons donc considérer une fréquence de quantification additionnée d'une fréquence de détection (Figure 20 ; vert), correspondant à la période donnée. Dès lors qu'une molécule recherchée est détectée, nous parlerons alors de fréquence de détection pour faciliter le discours. Il faut alors lire la Figure 19 en tenant compte de l'absence de données durant la campagne 2019.

À la différence de la chlordécone, la fréquence de quantification de la chlordécone-5b-hydro montre une différenciation géographique :

LA DIGUE. La chlordécone-5b-hydro représente une pollution chronique à chaque campagne. En effet, de la campagne 2016 à 2018, le métabolite est quantifié en moyenne à une fréquence 94 ± 1 %. Après une forte baisse de 57 % au passage à la campagne 2019, il n'est plus que quantifié à une fréquence de 40 %. De plus, quand elle est quantifiée, en moyenne 63 ± 14 % des concentrations sont comprises dans l'intervalle potabilisable (classe jaune). Depuis la première campagne, la CMA a progressivement diminué de 26 % pour atteindre $0,14 \mu\text{g.L}^{-1}$ en 2018. Cette diminution ne peut cependant pas être confirmée avec certitude en considérant le manque de données.

BASE DE LOISIRS. Une quantification a eu lieu par campagne de 2017 à 2018 de l'ordre du centième de microgramme par litre (Figure 19). La CMA correspond donc à une unique valeur par campagne. Elle n'est donc pas comparable aux CMA calculées, par exemple sur LD. Pour LD, les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 48 et 24 échantillons par campagne.

GRAND GALION. De la campagne 2016 à 2018, la fréquence de quantification a diminué de 80 % et devient une pollution ponctuelle. A la campagne 2019, la fréquence de détection augmente à nouveau à 44 %, devenant à nouveau une pollution chronique. Le niveau de pollution de la station est stable autour de la limite de quantification depuis 2016. Cette observation ne peut pas être confirmée en 2019 avec certitude en considérant le manque de données.

4.4.2 CHLORDECOL : UNE POLLUTION CHRONIQUE STABLE POUR LA DIGUE

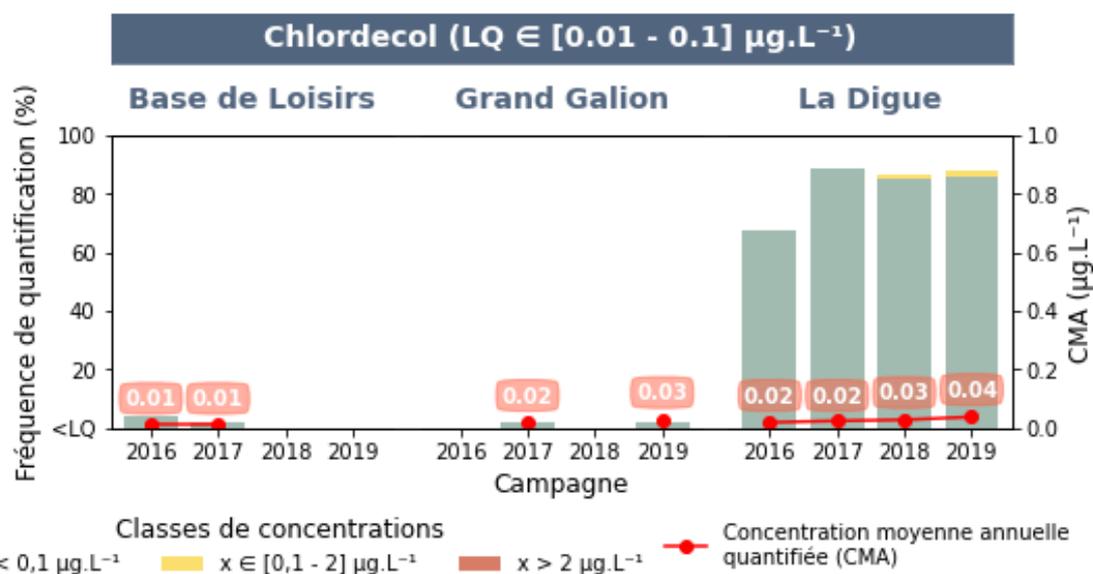


Figure 21 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour la chlordecou

LA DIGUE. Après une augmentation de 21 points de pourcentage entre la campagne 2016 et 2017, la molécule se stabilise à une fréquence de quantification moyenne 82 ± 8 % (Figure 21). Cependant, elle est très majoritairement quantifiée à des concentrations sous le seuil de potabilité (classe verte). En effet, uniquement deux quantifications dépassent ce seuil ($0,318 \mu\text{g.L}^{-1}$ et $0,118 \mu\text{g.L}^{-1}$). **Le niveau de pollution double progressivement entre les campagnes 2016 et 2019 pour atteindre une valeur toujours faible de $0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$.**

GRAND GALION & BASE DE LOISIRS. Pour ces stations, la *chlordecou* est quantifiée jusqu'à deux fois par campagne à des concentrations proches de la limite de quantification ($\text{LQ} = 0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$). Elle n'est donc pas comparable aux CMA calculées, par exemple sur LD, où les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 35 et 45 échantillons par campagne.

4.4.3 LINDANE ET SES ISOMERES : UNE POLLUTION CHRONIQUE DE HCH-B STABLE

Dans les Antilles, le *lindane* (ou *HCH- γ*) a été employé principalement entre 1966 et 1972 pour lutter contre le charançon du bananier avant d'être remplacé par la *chlordercone*. Il a également été employé pour ses propriétés antiparasitaires dans les mesures d'hygiène humaine et vétérinaire (INERIS, 2007). Son utilisation a été interdite en 1998. Tout comme la *chlordercone*, il possède des caractéristiques physico-chimiques le rendant persistant dans l'environnement :

- Une solubilité faible : $8,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (FOOTPRINT) ;
- Une demi-vie relativement importante dans le sol : $\text{DT}_{50} = 121$ jours (FOOTPRINT);
- Une mobilité réduite : $\text{K}_{\text{oc}} = 1100 \text{ L.kg}^{-1}$ (FOOTPRINT).

Le *lindane* possède six isomères et coproduits, dont principalement : le *HCH- α* , le *HCH- β* , le *HCH- δ* , et le *HCH- ϵ* . Ces derniers sont tous recherchés dans le cadre du suivi du bassin versant du Galion. Le *lindane* est le seul isomère considéré comme substance active à propriété insecticide. De plus, le HCH (tous isomères confondus) retrouvé dans l'environnement est uniquement d'origine anthropique (INERIS, 2007).

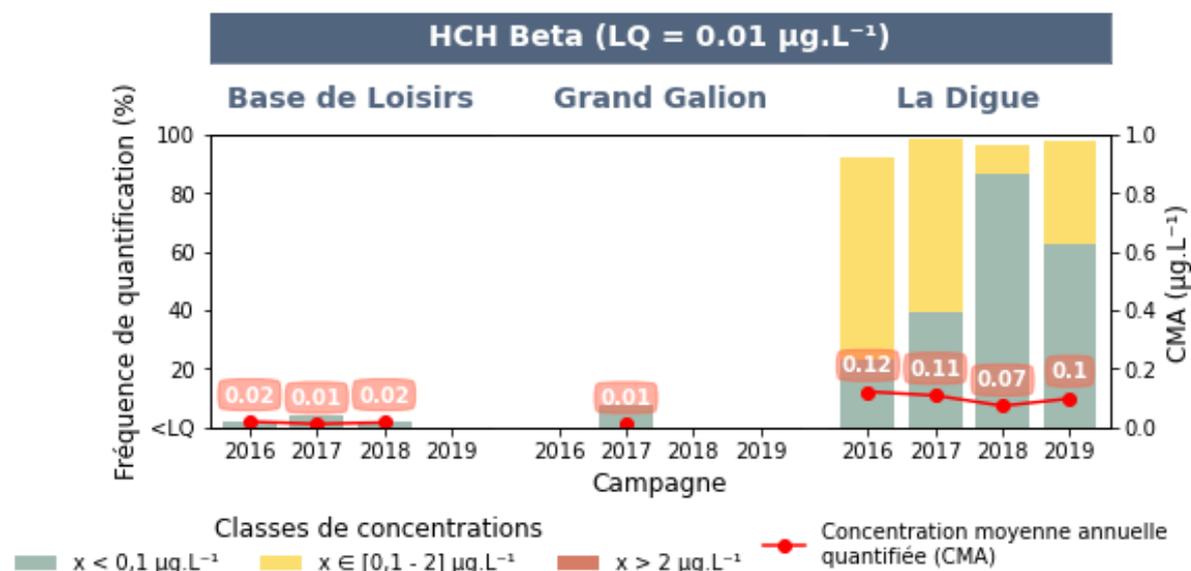


Figure 22 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le HCH- β

Lors des rapports précédents (Deffontaines & Mottes, 2017 ; Deffontaines et al., 2018), les auteurs ont émis **l'hypothèse d'une contribution d'un compartiment souterrain contaminé et dilué par les flux superficiels**. En effet, la baisse des concentrations faisait suite à deux évènements hydrologiques majeurs (tempête Matthew et ouragan Irma). Les auteurs suggèrent que les dynamiques de transfert sont liées prioritairement à des transferts de nappes (Deffontaines et al., 2018).

LA DIGUE. Le HCH- β représente une pollution chronique **est quantifié quasiment à chaque fois qu'on le recherche (96±2 %)** (Figure 22). De la campagne 2016 à 2018, la part des concentrations comprises dans l'intervalle potabilisable (classe jaune) a diminué de 69 % à 9 %. La campagne 2019 voit une nouvelle augmentation de cette part à 35 %. Le profil de pollution montre un étalement des concentrations maximales tout au long des campagnes (Figure 23). Le niveau de pollution moyen sur l'ensemble des campagnes est de $0,1 \pm 0,015 \mu\text{g.L}^{-1}$, est assez stable. En effet, la baisse de 40 % connue en 2018 est compensée par une augmentation du même ordre à la campagne suivante.

GRAND GALION & BASE DE LOISIRS. Ces deux stations rencontrent des quantifications très ponctuelles (jusqu'à 4) à des concentrations proches de la limite de quantification. Alors qu'à la station LD, les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 47 et 50 échantillons par campagne.

LES ORGANOCHLORÉS liés aux usages aujourd'hui interdits représentent toujours une des sources de pollution majeure du bassin versant du Galion. La *chlordécone*, bien qu'ayant marqué une diminution drastique de son niveau de pollution sur LD, représente toujours 88 % des pollutions du bassin versant du Galion. La *chlordécol* reste une pollution chronique stable à des concentrations faibles. La *chlordécone-5b-hydro*, présente une augmentation de sa fréquence de détection et présente un manque de données de quantification dû à un problème analytique. L'HCH- β reste une pollution chronique à des concentrations moyennement élevées sur GG.

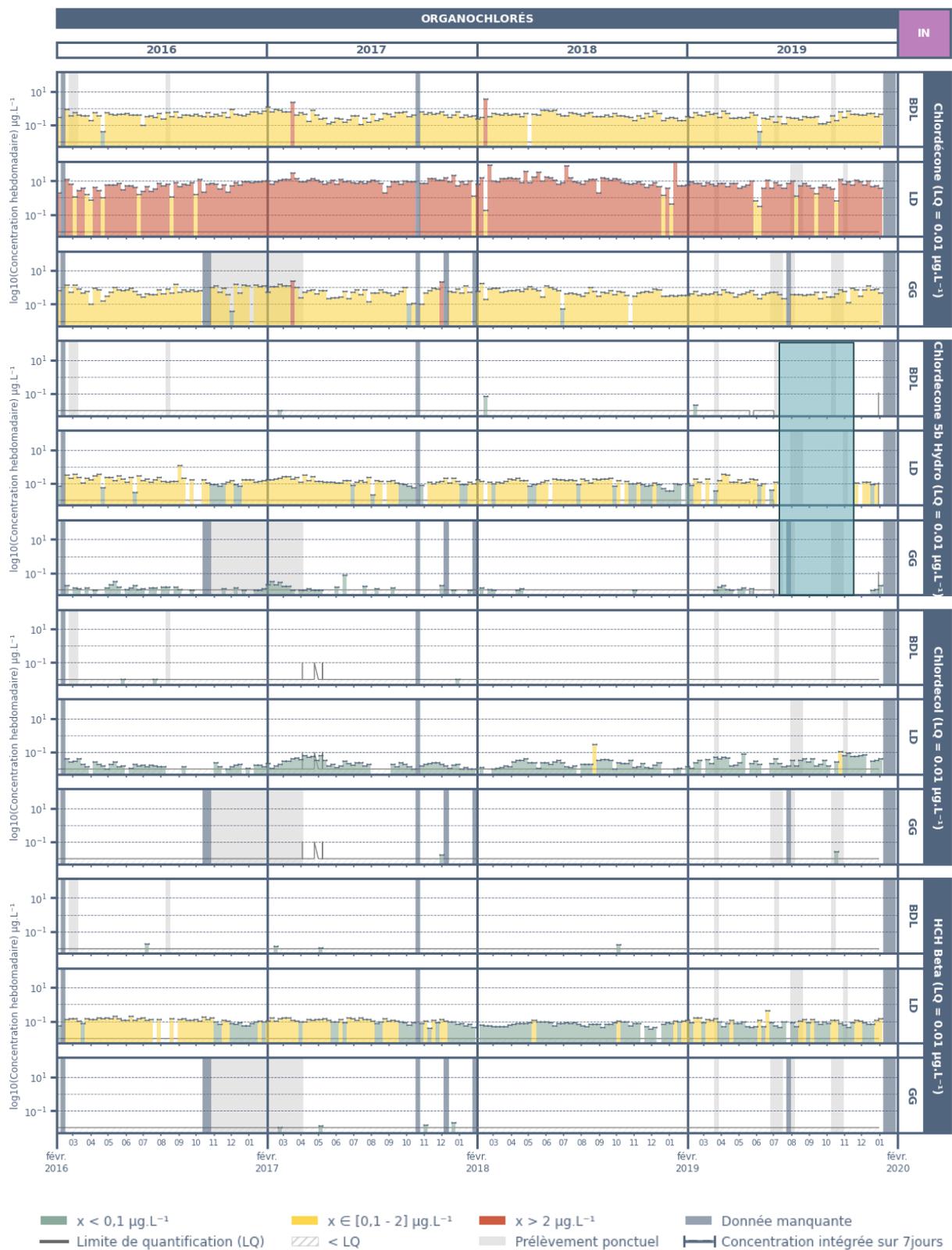


Figure 23 Profils de contamination des organochlorés

4.5 HERBICIDES COMMUNS A TOUTES LES CULTURES

Les conditions climatiques tropicales favorisent une croissance rapide des végétaux. La gestion de **l'enherbement devient alors une des principales priorités** pour limiter la compétition entre adventices et plantes cultivées, et dès lors, limiter les pertes de productions. **Une des stratégies de gestion de l'enherbement est l'application de produits herbicides.**

En 2019, le *glyphosate* est la première substance active vendue en Martinique avec 46 % de la masse des substances actives vendues (OFB, 2020). C'est un herbicide foliaire non sélectif, efficace contre une grande variété de plantes. De ce fait, il est utilisé comme désherbant dans une grande diversité d'exploitations agricoles et de systèmes de culture. La dégradation de cette molécule produit plusieurs métabolites. L'AMPA (acide aminométhylphosphonique) est l'un de ces principaux métabolites et est le seul que nous recherchons dans le dispositif du bassin versant du Galion.

*Les analyses portées par les rapports précédents ont mis en évidence une **diminution multifactorielle de la pollution** en glyphosate et de l'AMPA entre les campagnes 2016 et 2018. Nous le verrons, cette tendance **ne se poursuit pas pour l'AMPA lors de la campagne 2019.***

4.5.1 GLYPHOSATE : UNE POLLUTION PONCTUELLE A DES CONCENTRATIONS SOUVENT INFÉRIEURES AU SEUIL DE POTABILITÉ

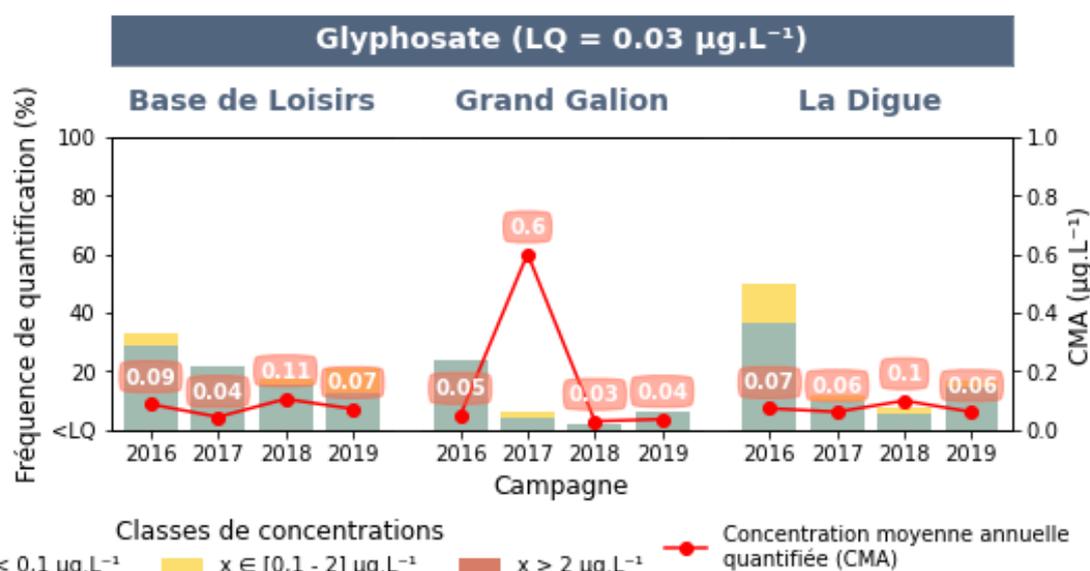


Figure 24 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le glyphosate

A la campagne 2016, le *glyphosate* représentait une pollution chronique (seuil 20 %) sur l'ensemble des stations (Figure 24). En effet, il était alors quantifié en moyenne à une fréquence de 36 ± 10 %. **Depuis la campagne 2017 et pour l'ensemble des stations, le *glyphosate* est devenu une pollution ponctuelle** avec une fréquence de quantification moyenne de 12 ± 6 %. Cependant, pour les stations GG et LD, la campagne 2019 rompt avec cette diminution, avec une augmentation respective de 235 % et 111 % de leurs fréquences de quantification. Par ailleurs, à

l'exclusion de la campagne 2016 pour LD, il est rarement rencontré à des valeurs supérieures au seuil de potabilité (3 ± 1 %).

Il en vient une CMA toujours inférieure ou égale à $0,1 \mu\text{g.L}^{-1}$ à l'exception de la campagne 2017 sur Grand Galion. Ce pic de CMA ($0,6 \mu\text{g.L}^{-1}$) est composé de trois valeurs quantifiées, dont une concentration à $1,72 \mu\text{g.L}^{-1}$. Cette concentration se positionne comme le maximum toutes campagnes et toutes stations confondues. De plus, ce prélèvement a été conduit de manière ponctuelle, à la différence de la méthode utilisée classiquement, composée de prélèvements intégratifs sur une semaine (voir Section 3.1.2.2). **Il est alors possible qu'un évènement très ponctuel (ex. traitement précédent le prélèvement) soit surreprésenté dans cette CMA de la campagne 2017.**

4.5.2 AMPA : UNE AUGMENTATION INEGALE ENTRE L'AMONT ET L'AVAL

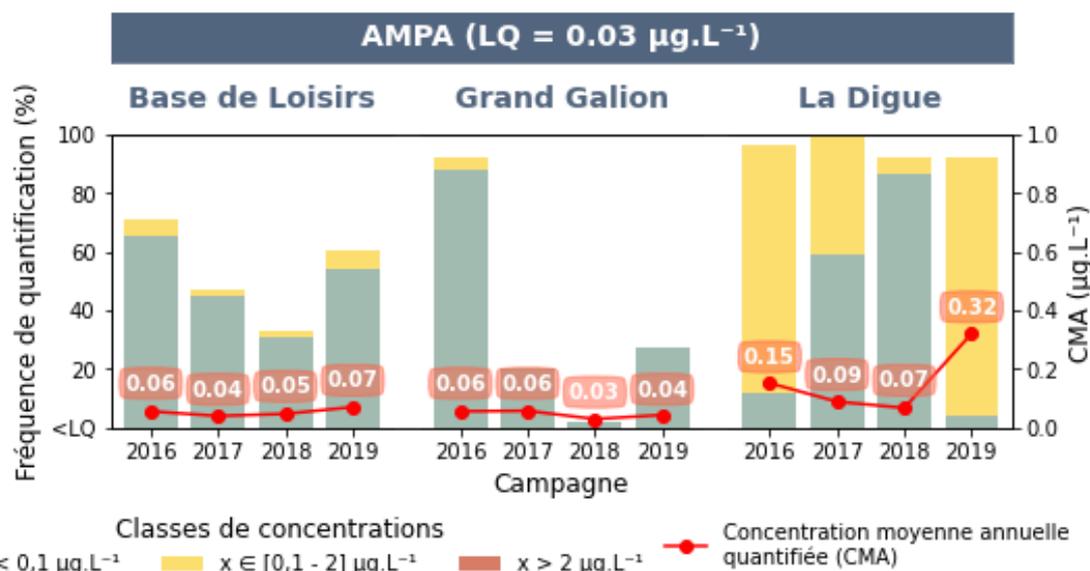


Figure 25 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'AMPA

LA DIGUE. L'AMPA est **quantifié à une fréquence moyenne de 95 ± 3 % et de 2 à 12 fois plus que le *glyphosate*** (Figure 25). Cependant, à la campagne 2016, il était quantifié pour 85 % à des concentrations situées dans l'intervalle de concentrations potabilisables (classe jaune). Jusqu'à la campagne 2018, cette classe diminuera drastiquement de 93 % pour ne concerner plus que 6 % des échantillons. Finalement, à la campagne 2019, cette classe de concentrations concerne à nouveau 88 % des quantifications. Le niveau de pollution a suivi une évolution similaire. De la campagne 2016 à 2018, il a baissé 53 % pour atteindre $0,07 \mu\text{g.L}^{-1}$. **Au passage à la campagne 2019, le niveau de pollution augmente de 357 % pour atteindre un maximum de $0,32 \mu\text{g.L}^{-1}$.**

BASE DE LOISIRS. L'AMPA est quantifié de manière chronique à toutes les campagnes et de 2 à 4 fois plus que le *glyphosate*. En dépit d'une baisse de 55 % de la fréquence de quantification entre 2016 et 2018, **l'année 2019 marque un retour aux valeurs de 2016 avec une fréquence de quantification 60 %.** Le niveau de pollution est stable autour d'une moyenne de $0,06 \pm 0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$.

GRAND GALION. Le métabolite est **quantifié à des fréquences de 1 à 4 fois plus élevées que sa molécule mère.** Comme pour sa molécule mère, l'AMPA a atteint sa fréquence maximale en 2016 avec 92 % de quantifications. A la campagne 2017, malgré une baisse drastique de 80 %, il reste une pollution chronique. La molécule atteindra sa fréquence de quantification minimale de

2 % à la campagne 2018. Finalement, de la même façon que LD et de BDL, **l'année 2019 marque une ré-augmentation de la fréquence de quantification (28 %)**. Cependant, **à la différence de ces dernières, cette augmentation d'un facteur 14 ne permet pas d'atteindre le même ordre de grandeur qu'à la campagne 2016**. Le niveau de pollution est toujours inférieur au seuil de potabilité et stable autour d'une moyenne de $0,04 \pm 0,01 \mu\text{g.L}^{-1}$.

La comparaison entre les campagnes 2016 et 2019 (Figure 26) permet d'observer des fréquences de quantification :

- Très semblables à l'amont du bassin versant (BDL et LD) ;
- Dissimilaire à l'exutoire (GG):
 - Très élevée en 2016 ;
 - Faible en 2019.

La campagne 2019 nous permet d'observer que des quantifications chroniques de l'*AMPA* à des concentrations parfois supérieures au seuil de potabilité à l'amont du bassin versant ne se traduisent pas par une quantification symétrique à l'aval. La dilution cumulée jusqu'à la station GG amène majoritairement les concentrations d'*AMPA* à des seuils inférieurs à la LQ ($0,03 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Dès lors, la quantification élevée et chronique de l'*AMPA* en 2016 à la station GG est due principalement à des processus localisés dans la partie aval du bassin versant, proche de l'exutoire. Ces processus n'étant plus à l'œuvre en 2019. L'hypothèse d'une différence de vitesse de transfert entre campagnes peut être écartée dès lors que nous étudions une différence interne au bassin versant. Nous pouvons alors émettre l'hypothèse d'une plus forte utilisation de *glyphosate*, sa molécule mère, à l'aval du bassin versant lors de la campagne 2016, ne se retrouvant plus en 2019. En effet, à la station GG, la fréquence de quantification pour la *glyphosate* est de 18 points de pourcentage plus faible en 2019 par rapport à 2016.

À partir de la campagne 2017, **LES HERBICIDES COMMUNS A TOUTES LES CULTURES** avaient entamé une diminution importante qui s'était confirmée en 2018. Cette évolution avait été attribuée à un changement des pratiques de gestion de l'enherbement, notamment dans les petites exploitations maraîchères (Deffontaines & Mottes, 2017). **La campagne 2019 marque un retour en arrière pour le *glyphosate* et l'*AMPA* à l'amont du bassin versant et un maintien de concentrations ponctuelles faibles à l'aval**. Il serait alors intéressant d'étudier quels changements se sont opérés à partir de cette campagne. Par ailleurs, il est nécessaire de rappeler que le *glyphosate* a une forte affinité pour les sédiments, pouvant cacher une pollution plus élevée.

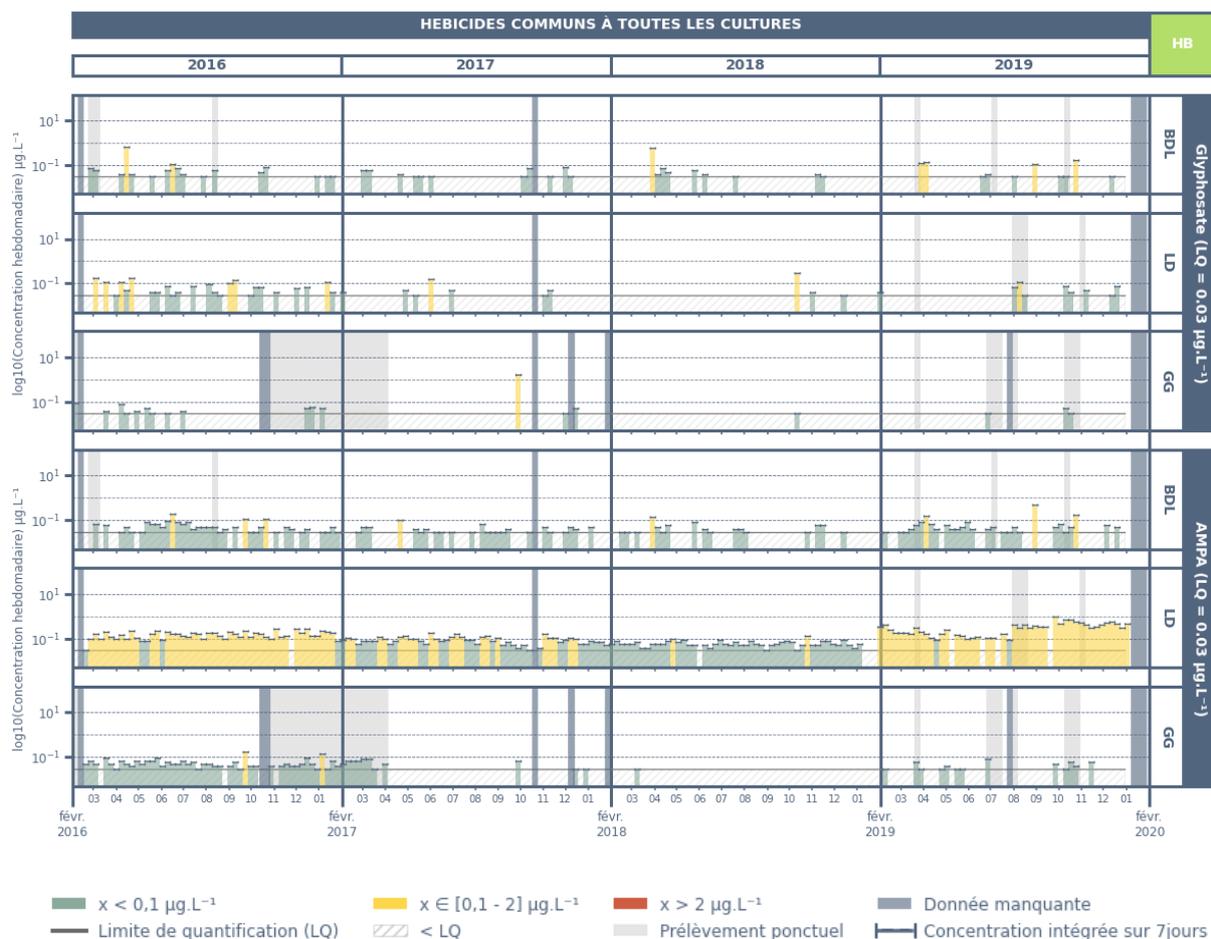


Figure 26 Profils de contamination pour les herbicides communs à toutes les cultures

4.6 FONGICIDES DE LUTTE CONTRE LA CERCOSPORIOSE

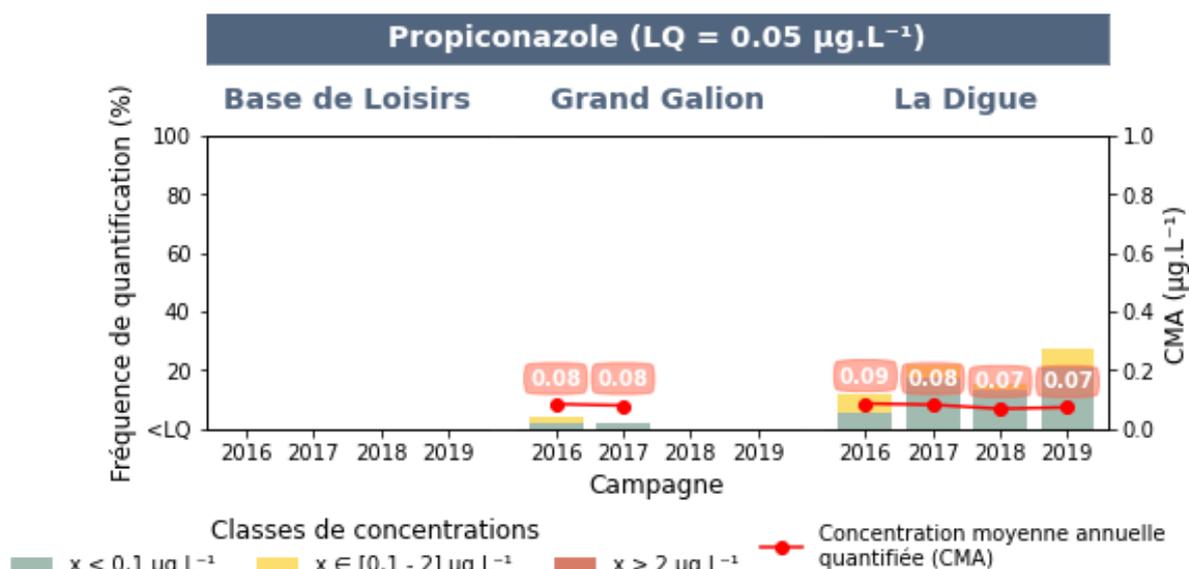
La **cercosporiose noire du bananier** est une **maladie foliaire provoquée par un champignon**. Elle est arrivée en 2009-2010 et représente désormais **un poste de travail central pour les planteurs**. En effet, l'infection provoque la nécrose des feuilles conduisant à une diminution de la photosynthèse. De ce fait, la maladie engendre une baisse des rendements et un raccourcissement de la durée de maturation, centrale pour cette culture d'export.

Les principaux moyens de lutte sont actuellement la pulvérisation de fongicides, rendue obligatoire par arrêté préfectoral, et l'effeuillage manuel des plants infectés.

Dans le cadre du suivi du bassin versant du Galion, deux de ces fongicides sont recherchés : le *propiconazole* et le *fluopyram*. Il convient de rappeler que le **fluopyram n'est recherché qu'à partir de la campagne 2018**. Par ailleurs, les produits à base de *propiconazole* ont été retirés de la vente le 19/09/2019, et interdit d'utilisation trois mois plus tard.

Les analyses portées par les rapports précédents ont mis en évidence des pics de pollution par ces deux molécules corrélés aux périodes de traitement.

4.6.1 PROPICONAZOLE : UNE POLLUTION DEVENUE CHRONIQUE SUR LA STATION



DE LA DIGUE

Figure 27 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le propiconazole

LA DIGUE Ce fongicide post-récolte de la banane est **quantifié à une fréquence oscillant autour du seuil de pollution chronique (> 20 %) avec une moyenne de 22±5 %** (Figure 27). A la campagne 2019, il repasse au-dessus de celui-ci. Le niveau de pollution est faible et stable autour d'une moyenne 0,08±0,01 µg.L⁻¹. Le profil de contamination (Figure 29) se situe entre octobre et décembre, correspondant à la période habituelle de traitement. A la campagne 2019, le **propiconazole a été quantifié à une fréquence de 27 %**, uniquement sur la période comprise de septembre à février, **après l'interdiction de sa vente**.

BASE DE LOISIRS. Jamais quantifié sur l'ensemble des campagnes.

GRAND GALION. Après une quantification très ponctuelle à des concentrations moyennes (entre 0,05 et 0,12 µg.L⁻¹) en 2016 et 2017, la molécule **ne sera plus quantifiée jusqu'à 2019**. Les CMA sont donc calculées sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées, par exemple sur LD. Pour LD, les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 6 et 13 échantillons par campagne.

4.6.2 FLUOPYRAM : UNE FORTE BAISSÉ DES FREQUENCES DE QUANTIFICATION

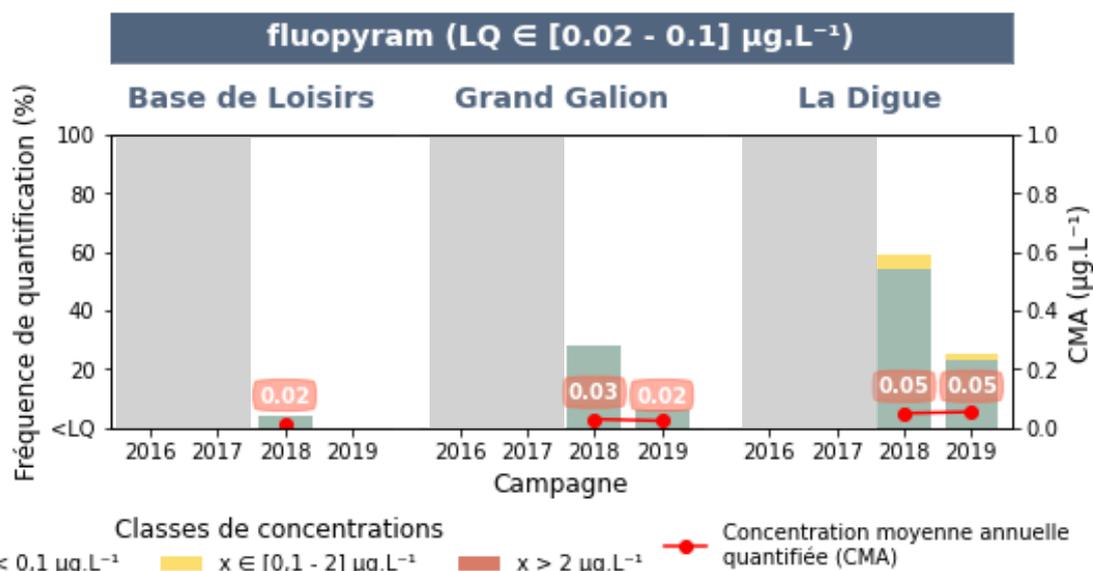


Figure 28 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentration moyennes annuelles associées pour le fluopyram

LA DIGUE. En 2018, la première campagne où elle est recherchée, la molécule est quantifiée à une fréquence de 59 % (Figure 28). En 2019, elle a diminué de 58 % pour arriver à une fréquence de 25 %. Malgré cette diminution, le *fluopyram* conserve son statut de pollution chronique de 2018 à 2019 et son niveau de pollution est faible et stable à 0,05 µg.L⁻¹ sur les deux campagnes.

BASE DE LOISIRS. Le *fluopyram* n'est plus quantifié en 2019, depuis une unique quantification en 2018. La CMA est donc calculée sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées, par exemple sur LD, où les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 27 et 12 échantillons par campagne.

GRAND GALION. En 2019, la molécule connaît une baisse de quantification de 79 %. Elle est désormais considérée comme une pollution ponctuelle (< 20 %). Son niveau de pollution est faible et stable à 0,03 µg.L⁻¹ sur les deux campagnes.

Les **FONGICIDES DE LUTTE CONTRE LA CERCOSPORIOSE** ont connu **une baisse significative au passage à la campagne 2019**. Le *propiconazole* est quantifié uniquement sur la station de La Digue où il devient une pollution chronique. Le *fluopyram* a quant à lui connu une forte baisse de quantifications sur l'ensemble des stations. Cependant, avec l'interdiction du premier à la fin 2019, **il est possible que le *fluopyram* connaisse une hausse par substitution au courant de la campagne 2020**.

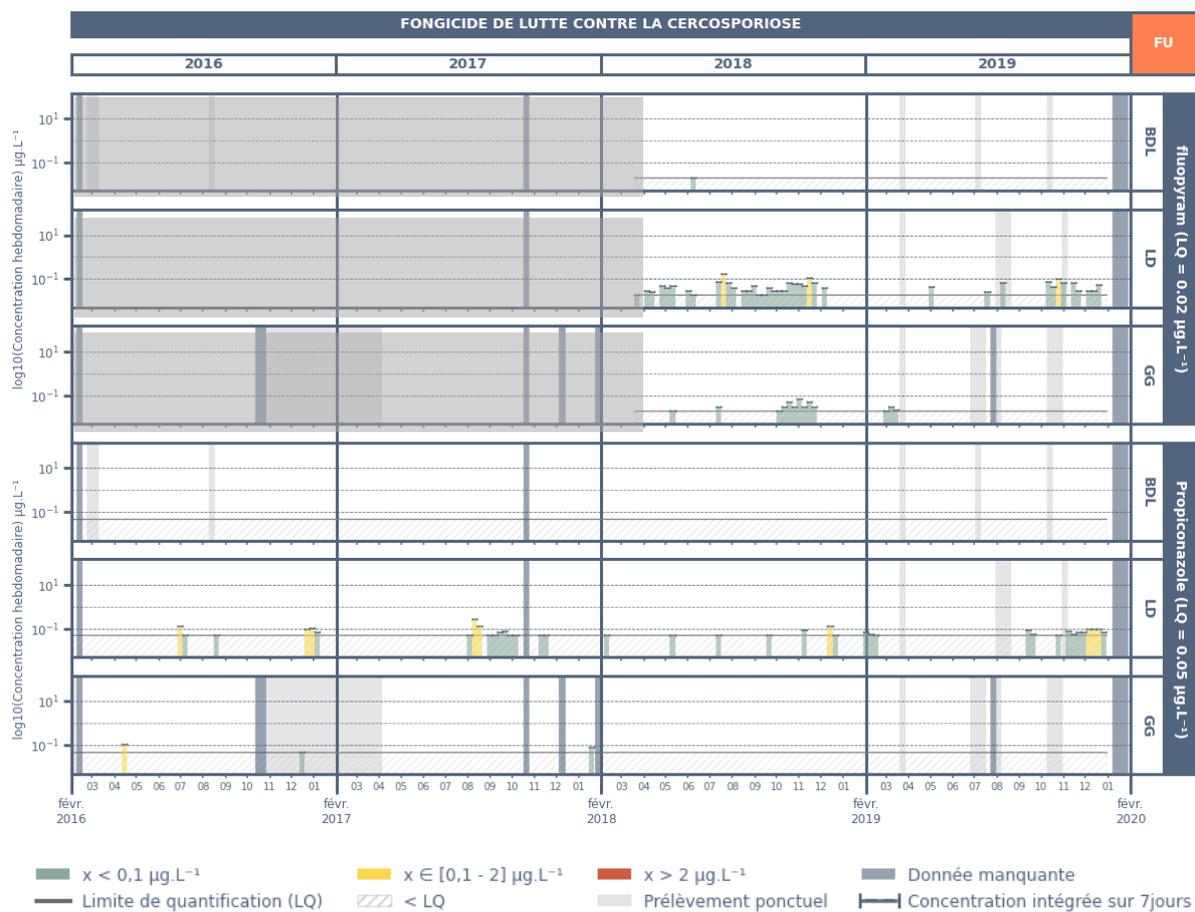


Figure 29 Profils de contamination des fongicides de lutte contre la cercosporiose

4.7 FONGICIDES POST-RECOLTE DE LA BANANE

En 2019, le bananier occupe 41 % de la SAU déclarée du bassin versant du Galion avec 545 ha dont 475 ha de bananes destinées à l'export (voir Section 2.3). Les fongicides post-récolte sont utilisés pour traiter les bananes destinées à l'exportation contre les maladies de conservation. Ils sont appliqués sur les mains dans les hangars de tri avant leur expédition.

Dans le cadre du suivi du bassin versant du Galion, sont recherchées quatre molécules fongicides post-récolte. Parmi eux, sont :

✓ **Autorisés** pour la campagne 2019 : le *thiabendazole* et l'*azoxystrobin*, utilisés contre la pourriture des couronnes ;

✗ **Interdits** d'utilisation : l'*imazalil*, retiré d'utilisation depuis mai 2019 et le *bitertanol* depuis 2011.

Parmi les molécules recherchées, toutes ont été quantifiées depuis 2016 sauf le *bitertanol*. Il existe par ailleurs trois autres molécules interdites qui ne sont pas recherchées : le *zineb*, le *ziram*, et le *benomyl* (ANSES, 2020).

L'analyse temporelle des profils de contamination des campagnes 2016 à 2018 avait montré que la dynamique temporelle de ces molécules correspondait bien aux périodes d'utilisation attendues (Tableau 3).

Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.
Carême			Int.		Hivernage			Inter saison			
Thiabendazole				Azoxystrobine							
Imazalil											

Tableau 3 Dynamique temporelle de l'utilisation des fongicides post-récolte

Les analyses portées par les rapports précédents ont mis en évidence, **une pollution corrélée à la position et au nombre de hangars de conditionnement, une baisse de la pollution en fongicides post-récolte qui tend à se stabiliser et une pollution chronique en azoxystrobin qui reste préoccupante sur LD.**

4.7.1 AZOXYSTROBIN : UNE POLLUTION PERMANENTE, EN BAISSÉ POUR GRAND GALION ET STABLE POUR LA DIGUE

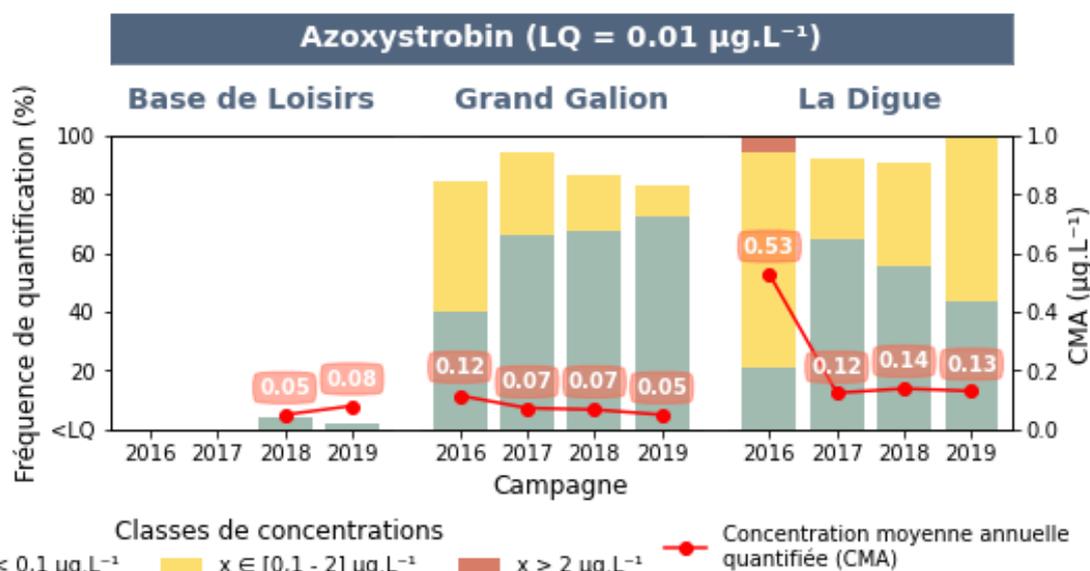


Figure 30 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'azoxystrobin

LA DIGUE. À travers les campagnes, la station a enregistré des fréquences de quantification en moyenne de $96 \pm 4\%$ dont toujours plus de 20 % des concentrations supérieures au seuil de potabilité (Figure 30). La part des concentrations potabilisables (classe jaune) avait connu une forte baisse en 2016 mais semble s'accroître à nouveau de 2017 à 2019 pour atteindre de 27 % à 56 %. De plus, la fréquence de quantification totale a augmenté de 10 points depuis les deux campagnes précédentes. **Pour LD, l'azoxystrobin est donc quantifiée plus souvent et à des concentrations plus élevées. La CMA suggère cependant qu'après une diminution de 77 % de 0,53 à 0,12 µg.L⁻¹ au passage à la campagne 2017, le niveau de pollution se stabilise depuis 2017 autour d'une moyenne de $0,13 \pm 0,01$ µg.L⁻¹.**

BASE DE LOISIRS. La molécule n'est quantifiée que trois fois depuis 2018, dont une unique fois en 2019. Les CMA sont donc calculées sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées, par exemple sur LD, où les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 47 et 52 échantillons par campagne.

GRAND GALION. À travers les campagnes, la station a enregistré des fréquences de quantification en moyenne de $87 \pm 3\%$ caractérisant une pollution chronique. Contrairement à LD, après une légère augmentation en 2017, les campagnes 2018 à 2019 suivent une diminution de la

fréquence de quantification de 94 % à 84 %. De surcroît, la part des concentrations potabilisables (classe jaune) suit une diminution de 44 % en 2016 à 10 % en 2019. Pour GG, **l'azoxystrobin est donc quantifiée moins souvent et à des concentrations moins élevées. La CMA suggère que le niveau de pollution a diminué du double entre 2016 et 2019 et passe à des valeurs inférieures au seuil de potabilité.**

Le profil de pollution (Figure 33), montre pour LD un étalement des pics de concentration sur l'ensemble de l'année, alors que son usage est concentré sur l'hivernage et l'intersaison (Tableau 3). Pour la station GG, la période de pics de pollution se réduit à travers les campagnes mais la molécule reste présente toute l'année.

4.7.2 THIABENDAZOLE : UNE POLLUTION CHRONIQUE MARQUANT DE FAIBLES EVOLUTIONS

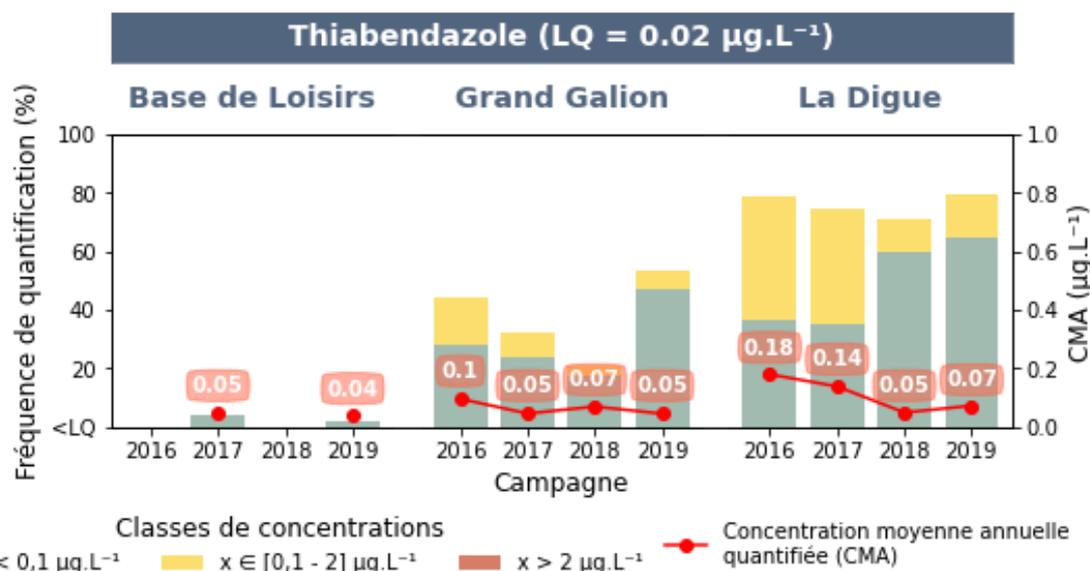


Figure 31 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le thiabendazole

LA DIGUE. La molécule est quantifiée à une fréquence moyenne de 76±3 % sur l'ensemble des campagnes (Figure 31). Cependant, **la part des concentrations potabilisables (classe jaune) a marqué un palier de 40±2 % à 13±2 % entre la période 2016-2017 et 2018-2019. La CMA suggère que le niveau de pollution (en concentrations) a diminué du double entre 2016 et 2019 malgré une légère hausse à la dernière campagne par rapport à la précédente.**

BASE DE LOISIRS. La molécule n'est quantifiée que trois fois depuis 2017, dont une unique fois en 2019. Les CMA sont donc calculées sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées, par exemple sur LD, où les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 37 et 41 échantillons par campagne.

GRAND GALION. Ce fongicide post-récolte de la banane est quantifié en moyenne à une fréquence de 38±9 %, marquant une évolution contrastée. En effet, des campagnes 2016 à 2018, les fréquences de quantification avaient diminué du double, frôlant le seuil de pollution ponctuelle, avec une diminution des concentrations dans l'intervalle potabilisable sur la même période de 75 %. Le profil de pollution de la molécule se situe à chaque campagne sur la période de mars à début juin (Figure 33). Néanmoins, la campagne 2019 marque une augmentation à 153 %. **Le niveau de pollution, après avoir baissé de 50 % de 2016 à 2017, se stabilise autour d'une moyenne basse de 0,06±0,01 µg.L⁻¹.**

Le *thiabendazole* montre un profil de contamination (Figure 33) marqué par des pics de concentration pendant le carême se prolongeant parfois jusqu'au début de l'hivernage. Pour la station LD, où l'effet de dilution est faible, nous retrouvons la molécule sur l'ensemble de l'année. Pour GG, situé proche de l'exutoire, des périodes de creux sont marquées dès l'hivernage jusqu'au carême. Il est alors probable que l'effet de dilution empêche une quantification de la molécule sur l'ensemble de l'année.

4.7.3 IMAZALIL : UNE INTERDICTION RECENTE POUR LA BANANE INITIANT UNE DIMINUTION DES POLLUTIONS

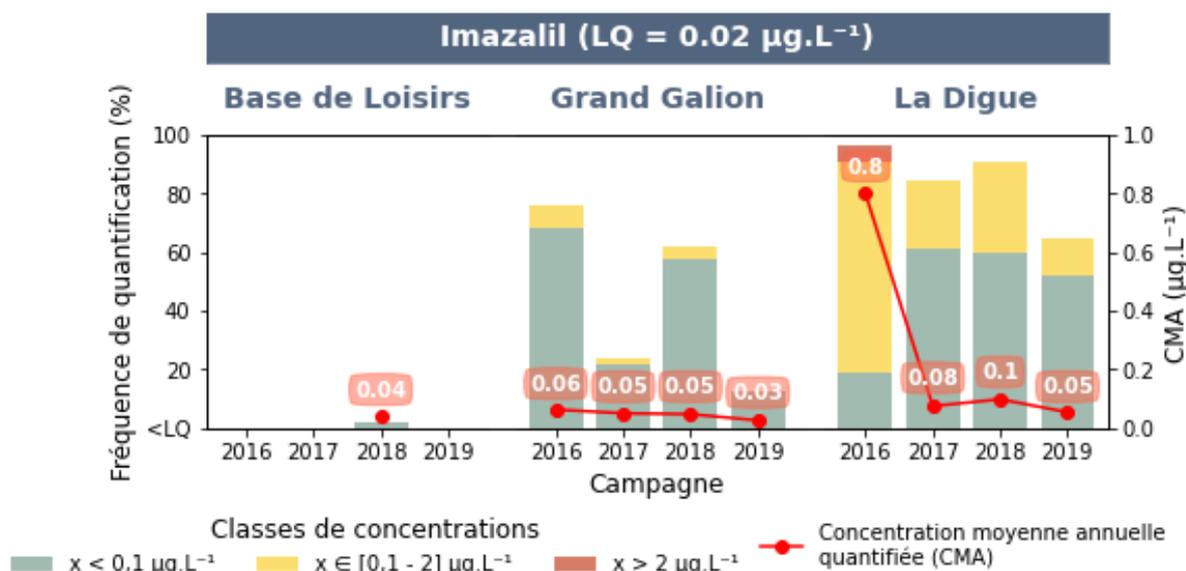


Figure 32 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour l'imazalil

LA DIGUE. Ce fongicide post-récolte de la banane est quantifié sur la période de 2016 à 2018 à une moyenne de 90 ± 4 % (Figure 32). La campagne 2019 marque **une diminution de 90 % à 65 % de la fréquence de quantification par rapport à 2018**. Les concentrations supérieures au seuil de potabilisation (classe rouge) ne sont plus quantifiées après la campagne 2016. Par ailleurs, la fréquence de quantification de la classe de concentrations dans l'intervalle potabilisable (classe jaune) connaît à partir de la campagne 2017, une diminution de 82 % pour atteindre 13 % à la campagne 2019. Jusqu'alors la molécule était quantifiée toute l'année. En effet, le profil de contamination (Figure 33) indique une période de forte pollution au début de la campagne, diminuant progressivement au courant du mois d'avril pour rester en-dessous du seuil de potabilité. Malgré le retrait de la molécule pour la banane au mois de mai, la molécule continue d'être quantifiée jusqu'à l'hivernage. De surcroît, **le profil de contamination semble suivre la même dynamique qu'en 2017 et ne marque pas de changement drastique suite au retrait d'autorisation. Cependant, la CMA suggère que le niveau de contamination a diminué de moitié entre 2018 et 2019 arrivant à des niveaux proches de GG.**

BASE DE LOISIRS. La molécule n'est quantifiée qu'une seule fois en 2018. Les CMA sont donc calculées sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées, par exemple sur LD, où les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 31 et 50 échantillons par campagnes.

GRAND GALION. Ce fongicide post-récolte de la banane est quantifié en moyenne à une fréquence de 44 ± 20 %. En effet, la molécule suit une évolution très contrastée avec des pics en

2016 et 2017. **Après une baisse de 80 % de 2018 à 2019, elle est désormais quantifiée à 13 % donc ne représente plus une pollution chronique.** Le profil de contamination (Figure 33) indique que ces quantifications ont lieu entre février et fin mars pour des concentrations faibles. **De la même façon qu'à LD, la répartition temporelle des pics de quantification présente des similitudes. La CMA suggère une légère diminution du niveau de pollution pour la campagne 2019.**

La présence de l'*imazalil* dans un ordre de grandeur semblable à une campagne précédente soulève plusieurs hypothèses :

- Une rémanence dans l'environnement ;
- Une utilisation pour d'autres cultures ;
- Une utilisation de stocks après la date de retrait d'utilisation par les producteurs de bananes ;

En Martinique, depuis l'interdiction en mai 2019 de l'utilisation de l'*imazalil* pour la lutte contre les maladies de conservation, il n'y a plus que quatre cultures pour lesquelles des usages sont autorisés (ANSES, 2020) : la tomate, le blé, l'orge et la pomme de terre. Aucune de ces cultures n'est présente dans l'occupation du sol du bassin versant du Galion (RPG, 2019). La tomate est cultivée sur l'île (RPG, 2019) et est observée dans des petites parcelles sur le bassin versant et des faibles surfaces de pomme de terres ont été déclarées en Martinique sur le RPG de 2019. Toutefois, il est très peu probable que cette culture soit responsable des niveaux retrouvés. Les deux autres cultures ne sont pas observées en Martinique (RPG, 2019). Il reste alors à confirmer l'évolution de la molécule par un travail d'enquête et par les analyses de la prochaine campagne. Finalement, la moyenne géométrique de la DT_{50} est estimée à 93,2 jours (EFSA, 2010), les transferts à partir du compartiment sol vers la rivière peuvent en partie expliquer les concentrations observées.

Les **FONGICIDES POST-RECOLTE DE LA BANANE** ne regroupent plus que deux molécules actives depuis 2019. L'*imazalil* après son interdiction semble initier une lente diminution. La pollution par l'*azoxystrobin* se confirme et s'accroît sur LD mais continue à baisser sur GG. La pollution par le *thiabendazole* devient ponctuelle sur GG, et augmente sur LD. Par ailleurs, les profils de pollution pour la campagne 2019 semblent confirmer la dynamique temporelle correspondant à leur utilisation.

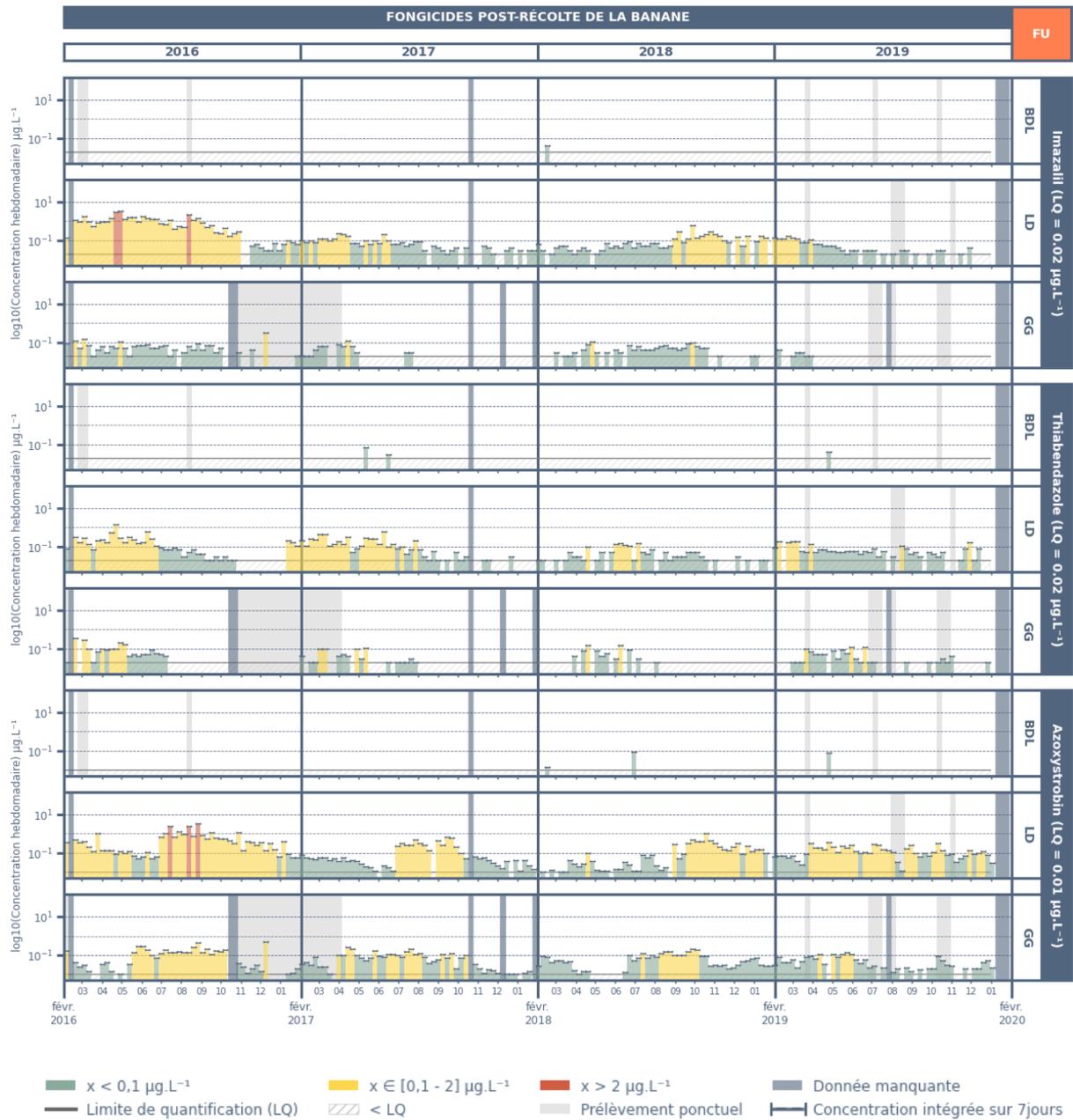


Figure 33 Profils de contamination des fongicides post-récolte

4.8 HERBICIDES SPECIFIQUES DE LA CANNE A SUCRE

En 2019, la culture de canne à sucre occupe 302 ha soit 23 % de la SAU déclarée du bassin versant, principalement localisée sur la zone aval (voir Section 2.3). La gestion de l'enherbement est la préoccupation principale pour les producteurs de cette graminée. Elle est effectivement sujette à très peu de maladies et ravageurs.

À l'échelle de la Martinique, les **principales substances actives de produits herbicides utilisés pour la culture de la canne à sucre** (Rateau, 2013) sont actuellement : le *mésotrione*, le *s-métolachlore*, l'*isxaflutole*, le *2,4-D*, le *métribuzine*, le *nicosulfuron* et le *pendiméthaline*. Nous pouvons y ajouter le *benoxacor*, molécule phytoprotectrice utilisée dans certains produits herbicides.

Par ailleurs, certaines molécules ont été interdites récemment : le *diuron*, l'*hexazinone*, et l'*asulame*.

L'ensemble de ses molécules sont recherchées dans le cadre du suivi du bassin versant du Galion. Les dernières enquêtes réalisées au sujet de la gestion de l'enherbement dans les cultures de canne à sucre ont été réalisées en 2017 (Arnal, 2017). Ce travail a mis en évidence deux types de système technique de gestion de l'enherbement (Tableau 4) :

<p>A. Chantier continu sur 8 mois Grande surfaces (24 % du BV) Traitement pendant la récolte</p>	<p>B. Chantier concentré sur 4 mois Petites surfaces (10 % du BV) Traitement après la récolte Deuxième traitement facultatif avant la fermeture du couvert</p>
---	---

	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	
A	2,4-D												
A		métolachlore / mésotrione / benoxacor / pendiméthaline											
B						2,4-D + métolachlore / mésotrione / benoxacor							

Tableau 4 Périodes de traitements herbicides sur la canne à sucre par stratégie (Arnal, 2017)

Nous pouvons remarquer, que trois parmi les huit molécules connues comme herbicides de la canne à sucre n'ont pas été identifiées dans ces enquêtes (*isxaflutole*, *métribuzine*, *nicosulfuron*). De surcroît, ces molécules n'ont pas été quantifiées dans les stations de mesure depuis la campagne 2016, semblant confirmer cette observation.

Par ailleurs, nous ne traiterons pas des cas de l'*asulame* et de l'*hexazinone*, qui n'ont pas été quantifiés sur le bassin versant du Galion en 2019.

*Les analyses portées par les rapports précédents ont mis en évidence des **pics de pollution par ces deux molécules corrélés aux périodes de traitement.***

4.8.1 2,4-D : UNE POLLUTION PONCTUELLE EN BAISSÉ SUR GRAND GALION

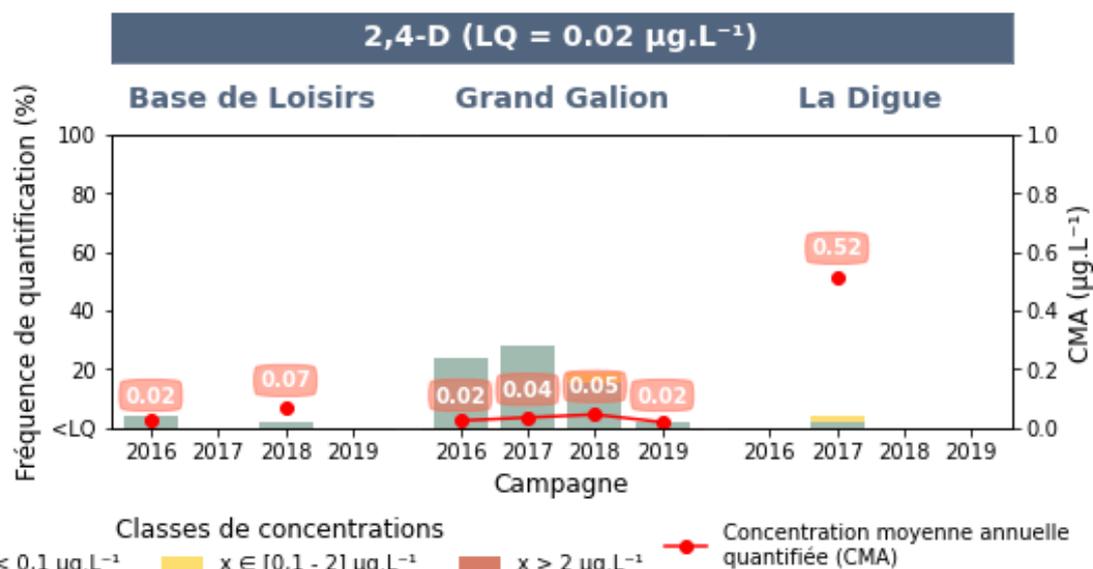


Figure 34 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le 2,4-D

LA DIGUE. Nous observons uniquement deux quantifications sur la campagne de 2017 (Figure 34). Parmi elles, se trouve la concentration la plus élevée retrouvée sur l'ensemble du bassin versant, résultant en une CMA très élevée. La CMA est donc calculée sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées, par exemple sur GG. Pour cette dernière, les CMA de 2016 à 2018, sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 12 et 10 échantillons par campagne.

BASE DE LOISIRS. La molécule a été quantifiée trois fois pour les campagnes 2016 et 2018 à des concentrations faibles (Figure 34). Les CMA sont donc calculées sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées à GG, de la même façon que pour LD.

GRAND GALION. De la campagne 2016 à 2018, cet herbicide était considéré comme une pollution chronique avec en moyenne 24 ± 3 %. La campagne 2019 voit sa fréquence de quantification baisser à 2 %. En effet, une unique quantification de la molécule est relevée à une concentration dans l'intervalle potable (classe verte). Le niveau de pollution a doublé de 2016 à 2018 pour atteindre $0.05 \mu\text{g.L}^{-1}$. A la campagne 2019, il retrouve sa valeur basse de 2016 à $0.02 \mu\text{g.L}^{-1}$.

4.8.2 METOLACHLORE (R + S) : UNE POLLUTION CHRONIQUE CONSTANTE SUR GRAND GALION

Le paramètre *métolachlore (R+S)* ou *métolachlore total* est composé de deux énantiomères. L'énantiomère « R », couramment appelé « métolachlore » a été interdit en 2003 et remplacé par son énantiomère « S » ou « S-métolachlore », toujours largement autorisé aujourd'hui. Les deux substances actives ne sont pas recherchées individuellement dans le cadre du bassin versant du Galion.

LA DIGUE. Nous observons uniquement deux quantifications sur la campagne de 2017 et 2019. Parmi elles, en 2017 se trouve la concentration la plus élevée quantifiée sur l'ensemble du bassin versant (Figure 35) résultant en une CMA très élevée. Cette CMA est donc calculée sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées, par exemple sur GG. Pour cette dernière, les CMA sont calculées avec un nombre de quantifications comprises entre 25 et 40 échantillons par campagne.

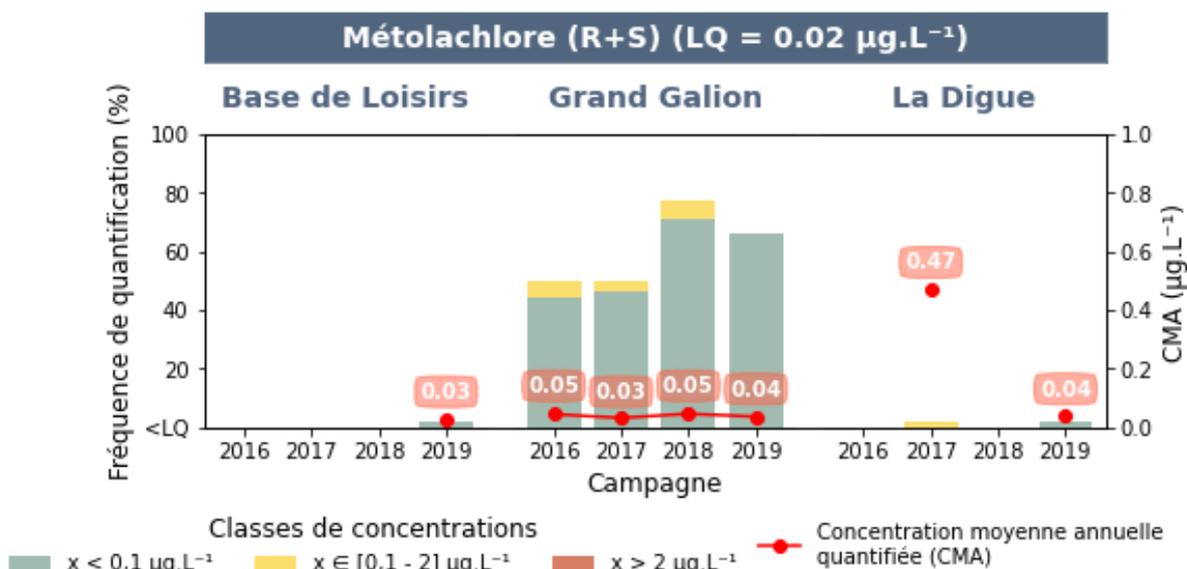


Figure 35 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le métopachlore (R + S)

BASE DE LOISIRS. La molécule a été quantifiée une seule fois en 2019 à des concentrations faibles (Figure 38). Cette CMA est donc calculée sur un nombre réduit d'échantillons. Elles ne sont donc pas comparables aux CMA calculées sur GG, de la même façon que pour LD.

GRAND GALION. Sur l'ensemble des campagnes, le métopachlore (R + S) a été quantifié de façon chronique à des fréquences toujours supérieures à 50 %. Deux périodes semblent se dessiner. En effet, les campagnes 2016 et 2017 présentent une fréquence de quantification moyenne de 50 ± 0 %, située toujours entre fin avril et début octobre. De plus, leurs pics de concentration respectifs sont chacun situé entre mi-avril et le mois de mai (Figure 38). A partir de la campagne 2018, la fréquence de quantification moyenne atteint 71 ± 4 % et le profil de pollution s'étale de fin avril à la fin de la campagne. Le pic de concentration est cependant toujours observé au même moment. Cette tendance d'étalement du profil de pollution se confirme sur l'année 2019. Par ailleurs, si un pic de concentration a bien lieu au printemps, il ne dépasse pas le seuil de potabilité comme les campagnes précédentes. **La molécule présente cependant toujours une CMA relativement stable à une moyenne $0,04 \pm 0,01$ µg.L⁻¹ malgré l'étalement du profil de pollution.**

4.8.3 MESOTRIONE : UNE DISPARITION SUITE AU RETRAIT DE LA MOLECULE POUR LA CANNE A SUCRE

GRAND GALION. La molécule n'a été quantifiée que durant les campagnes 2017 et 2018, respectivement 7 et 2 fois, à des concentrations toujours dans l'intervalle potable (classe verte) (Figure 36). Nous ne la retrouvons plus dès la campagne 2019. En effet, **l'usage de la molécule a été retiré pour la canne à sucre dès novembre 2018 (fin de distribution) mais pouvait encore être utilisée jusqu'à novembre 2019** (ANSES, 2020).

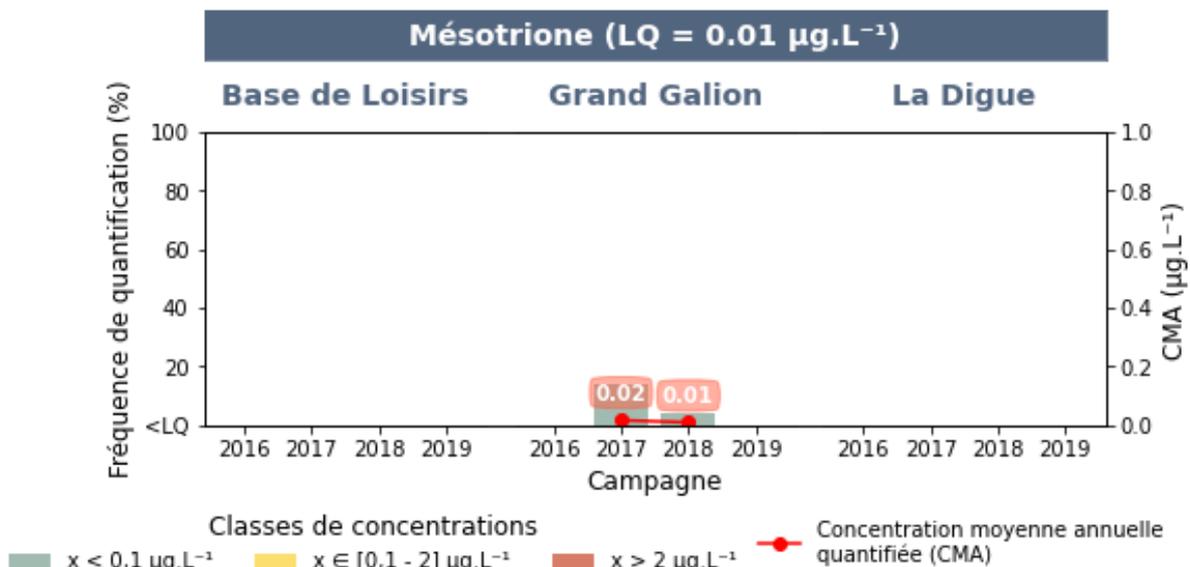


Figure 36 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le mésotrione

4.8.4 DIURON : UNE NOUVELLE QUANTIFICATION EN 2019

La campagne 2019 connaît une nouvelle quantification du diuron sur la station GG (Figure 37). Auparavant, cette molécule n'avait été quantifiée que très ponctuellement sur le bassin versant. Cette quantification rappelle que cette molécule totalement interdite depuis 2003 est toujours présente dans les eaux et les sols.

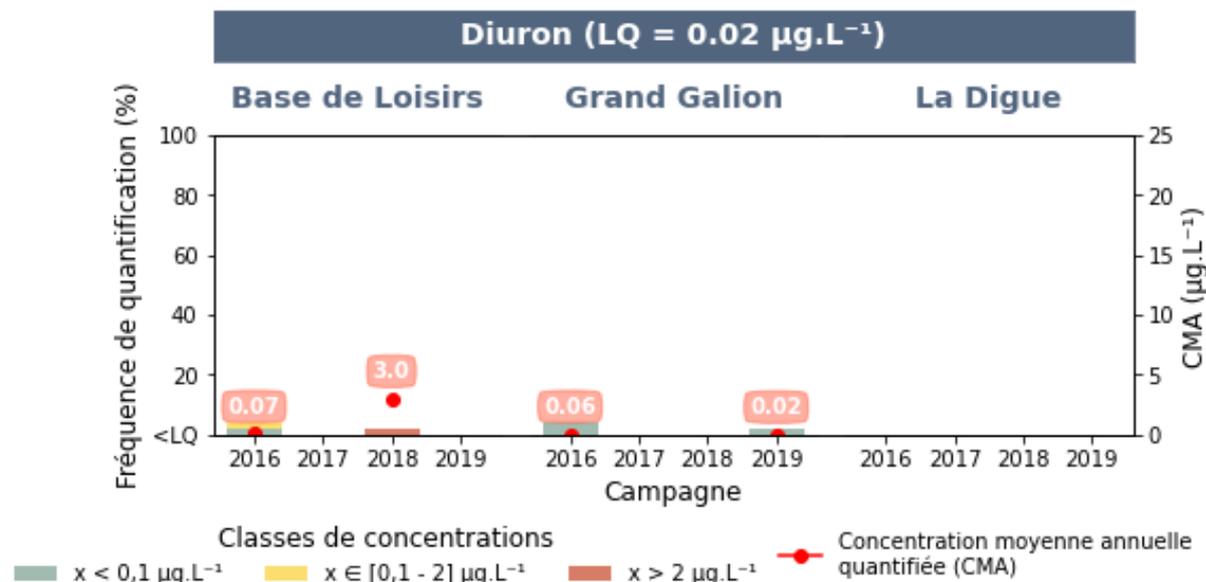


Figure 37 Fréquences de quantification à chaque station pour chacune des campagnes et les concentrations moyennes annuelles associées pour le diuron

Les **HERBICIDES SPÉCIFIQUES DE LA CANNE A SUCRE** connaissent une évolution inégale. D'une part, nous observons la forte diminution du 2,4-D et la disparition du *mésotrione* due à son interdiction. D'autre part, le *métalochlore* (R+S) confirme son évolution positive, et l'étalement de l'utilisation toute l'année lors de la campagne 2019. Ces observations suggèrent un **changement de stratégie de traitement herbicide par rapport aux observations faites par Arnal en 2017**. Cette hypothèse doit cependant être confirmée par un travail d'enquêtes des exploitations de canne à sucre.



Figure 38 Profils de contamination des herbicides spécifiques de la canne à sucre

5 Conclusion

Du 1^{er} février 2016 au 31 janvier 2020, 601 échantillons ont pu être analysés avec succès pour une recherche multi-résidus des pesticides agricoles. En moyenne 5 ± 3 quantifications sont relevées par échantillon, permettant de caractériser la présence de 56 molécules différentes dont 13 molécules quantifiées à chaque campagne dont plus de la moitié sont aujourd'hui interdites. La campagne 2019, avec 22 molécules quantifiées dont 3 molécules qui ne l'ont jamais été auparavant (de 2016 à 2018), confirme la baisse observée à la campagne précédente.

Cependant, à la campagne 2019, toujours 25 % des échantillons sont supérieurs au seuil de potabilisation en cumul de molécules ($5 \mu\text{g.L}^{-1}$). Ces concentrations sont toutes attribuées à la *chlordécone* localisée sur la station de La Digue. À l'échelle du bassin versant, la molécule participe à 88 % à la pollution. Dès lors, la baisse de 62 % du niveau de pollution de la *chlordécone* sur La Digue a symétriquement permis une baisse de 70 % du niveau de pollution totale du bassin versant du Galion.

Le restant des molécules quantifiées participe donc à 22 % à la pollution totale. La Figure 39 représente le bilan de la participation à la pollution du bassin versant de ces molécules (à l'exclusion de la *chlordécone* et de ses métabolites) par catégorie. En particulier, l'*AMPA* participe à 41 % à la pollution du bassin versant et 84 % de la pollution attribuée aux herbicides. L'*azoxystrobin* vient en deuxième position avec 20 % de participation à la pollution totale et 50 % de la pollution liée au fongicides. Ces deux molécules représentent donc plus de la moitié des pollutions du bassin versant hors de la *chlordécone* et de ses métabolites et 80 % des concentrations potabilisables (entre 0,1 et $2 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Nous pouvons remarquer que la majorité des molécules quantifiées proviennent du sous-bassin versant de La Digue. En effet, ce site participe à 87 % à la pollution totale du bassin versant du Galion.

Perspectives

La campagne 2020 s'est achevée au 31/01/2021, au moment de la rédaction du présent rapport. De nouvelles études, en complément de l'analyse de l'évolution des profils de pollution des eaux du bassin versant, sont envisagées pour la campagne de 2021 :

- *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 sera réalisée au cours de la campagne 2021 entre des analyses réalisées sur les actuels échantillons composites intégratifs hebdomadaires et un dispositif composé de capteurs passifs (POCIS) également intégratifs mais sur trois semaines. Le premier objectif étant de mesurer l'apport ou non de l'instrumentalisation pérenne du bassin versant, comparativement à un dispositif de suivi plus léger.

De plus, les échantillons actuels sont prélevés en trois stations instrumentées du Galion alors que le dispositif passif sera déployé sur dix sites (dont ces stations pérennes). Le second objectif est donc d'évaluer l'intérêt de suivre de nouveaux sites sélectionnés selon l'hydrologie et l'agriculture du sous-bassin versant drainé associé.

- *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 agricoles et de la réglementation. Il est donc nécessaire d'actualiser notre connaissance afin d'analyser au mieux les évolutions des profils de pollution des eaux du Galion. C'est pourquoi des enquêtes auprès des agriculteurs seront menées lors de la campagne de 2021.

- *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 par les pesticides des différents couples sol/système cultural représentatifs du bassin versant du Galion. C'est dans cet objectif que des échantillonnages et analyses en multi-résidus de sol seront réalisés lors de la campagne de 2021.

- *Caractérisation de la contamination des sols par les pesticides en lien avec les pratiques agricoles : étude des systèmes de culture maraichers et vivriers*

Ces deux dernières perspectives feront l'objet d'un stage qui étudiera la contamination des sols par les pesticides en lien avec les divers systèmes de culture maraichers et vivriers du bassin versant du Galion. Ce travail constituera une étape indispensable pour analyser au mieux les évolutions des profils de contamination des milieux. En effet, une campagne d'enquêtes agricoles et d'échantillonnage de sols vise à mettre en relation les pressions engendrées par les pratiques phytosanitaires et leurs impacts sur le compartiment du sol.

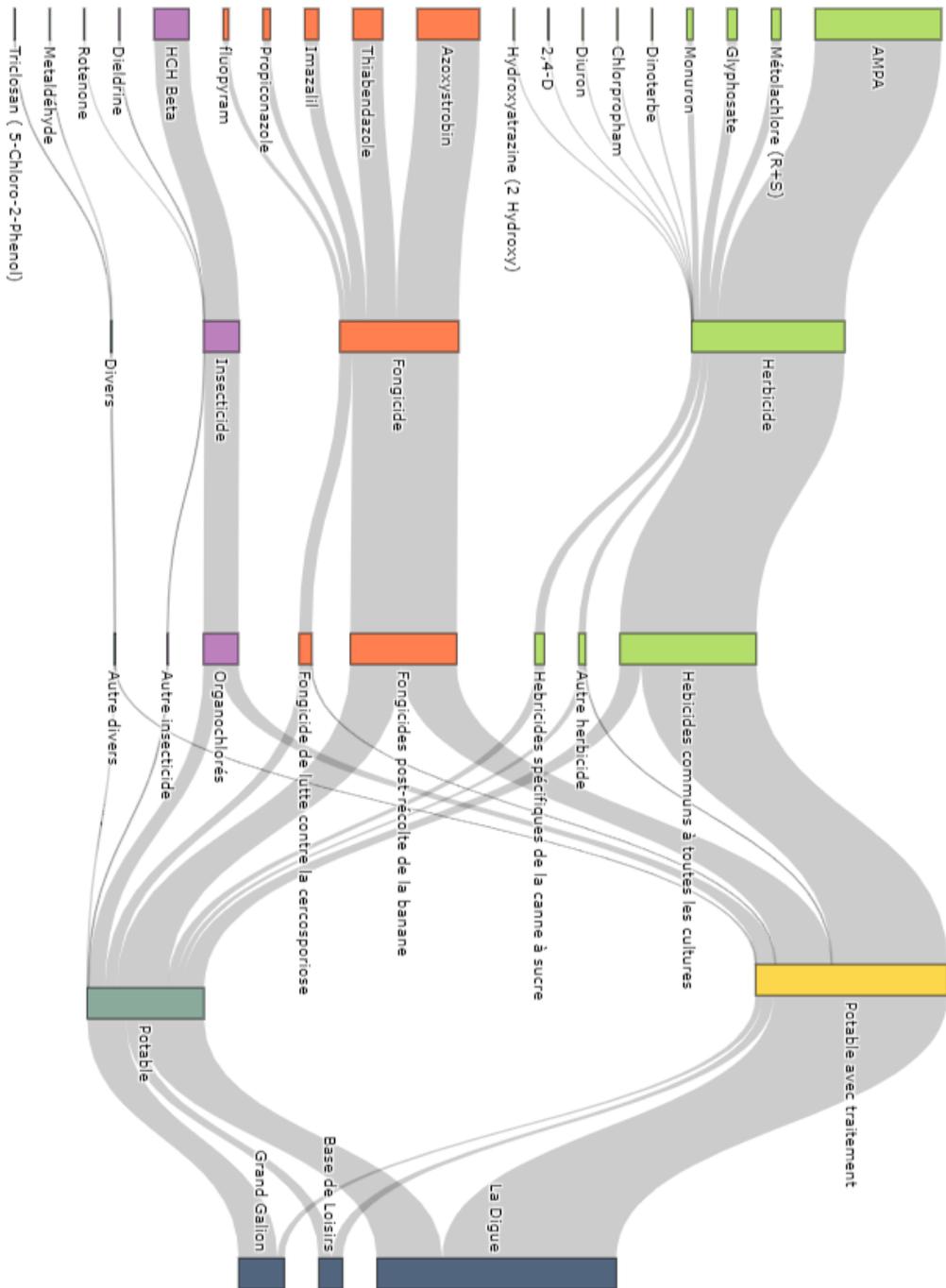


Figure 39 Participation à la pollution totale hors chlordécone et métabolites, par molécule, fonction, groupe d'usages, norme de potabilité et sous-bassin versant

6 Références bibliographiques

- Amalric, L., 2009. Analyse des pesticides dans les eaux. *Géologues* 162, 14-21.
- Anckaert, R., Mottes, C., 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. *Cirad - ODE, Martinique*.
- ANSES, 2019. Relatif à l'évaluation de la pertinence des métabolites de pesticides dans les eaux destinées à la consommation humaine. Saisine n°2015-SA-0252.
- ANSES, 2020. Données ouvertes du catalogue E-Phy des produits phytopharmaceutiques, matières fertilisantes et supports de culture, adjuvants, produits mixtes et mélanges. *E-Phy*. <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-ouvertes-du-catalogue-e-phy-des-produits-phytopharmaceutiques-matieres-fertilisantes-et-supports-de-culture-adjuvants-produits-mixtes-et-melanges/>
- 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. *Mémoire de fin d'études*. Paris : 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.
- 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., Cattani, P., 2017. Linking current river pollution to historical pesticide use: Insights for territorial management? *Science of the Total Environment* 574, 1232-1242.
- INERIS, 2007. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : HEXACHLOROCYCLOHEXANE, 22p. <http://rsde.ineris.fr/>
- Mazoyer, M., Roudart, L., 2008. Histoire des agricultures. In: *Encyclopaedia universalis*. Paris: Encyclopedia Universalis.
- Office Français de la Biodiversité, 2020. Banque Nationale des Ventes de Produits Phytosanitaires (BNV-D). Ventes de pesticides par département – Martinique 2019. *Data Eau France*. <http://www.data.eaufrance.fr/jdd/bd45f801-45f7-4f8c-b128-a1af3ea2aa3e>
- Plet, J., 2013. Comment sélectionner les sites d'un bassin versant à instrumenter pour un suivi des processus de transfert de la chlordécone dans les sols et vers les eaux ? *Mémoire de fin d'études*. Cergy-Pontoise: Istom.
- Rateau, F., 2013. Les produits phytosanitaires dans les cours d'eau de Martinique - Atlas des pesticides. In: *Martinique, O.* (Ed.). ODE, p. 48.

7 Annexes

ANNEXE 1 : PARAMETRES RECHERCHES (N = 476)

Code Sandre	Molécule	Type
1930	1-(3,4-DichloroPhényl Urée) (DCPU)	Insecticide
1929	1-(3,4-Dichlorophényl-3-Méthyl Urée) (DCPMU)	Métabolite
2847	1-(4-IsopropylPhényl) Urée	Métabolite
2872	2,4 D - Isopropyl-Ester	Herbicide, Plant Growth Regulator, Metabolite
2873	2,4 D - Methyl-Ester	Herbicide
1143	2,4' DDD	
1145	2,4' DDE	
1147	2,4' DDT	
1264	2,4,5-T	Herbicide, Plant growth regulator
1141	2,4-D	Herbicide, Plant Growth Regulator, Metabolite
1142	2,4-DB	Herbicide
1212	2,4-MCPA	
1213	2,4-MCPB	
2011	2,6 Dichlorobenzamide	Fongicide
1144	4,4' DDD	
1146	4,4' DDE	
1148	4,4' DDT	
2007	Abamectine	Insecticide, Acaricide, Nematicide, Metabolite, Veterinary treatment
5579	Acetamiprid	Insecticide
1903	Acetochlor	Herbicide
5581	Acibenzolar-s-Méthyl	Fongicide, Insecticide
1970	Acifluorfen	Herbicide
1688	Aclonifen	Herbicide
1310	Acrinathrine	Insecticide, Acaricide
1101	Alachlore	Herbicide
1102	Aldicarbe	Insecticide, Acaricide, Nematicide
1807	Aldicarbe Sulfone	Insecticide, Acaricide, Nematicide
1806	Aldicarbe Sulfoxyde	Insecticide, Acaricide, Nematicide
1103	Aldrine	Insecticide
1697	Allethrine	Insecticide
1812	Alphaméthrine	Insecticide, Veterinary treatment
1104	Amétryne	Herbicide
2012	Amidosulfuron	Herbicide
1105	Aminotriazole	Herbicide
1308	Amitraze	Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment
1907	AMPA (Acide Amino Méthyl Phosphonique)	Métabolite
2013	Anthraquinone	Repellent
1965	Asulam	Herbicide
1107	Atrazine	Herbicide
1109	Atrazine Désisopropyl	Herbicide
1108	Atrazine Déséthyl	Herbicide
2014	Azaconazol	Fongicide
2015	Azamétiphos	Insecticide, Veterinary treatment
2937	Azimsulfuron	Herbicide
1110	Azinphos Ethyl	Insecticide, Acaricide
1111	Azinphos Méthyl	Insecticide
1951	Azoxystrobin	Fongicide
1687	Bénalaxyl	Fongicide
1329	Bendiocarbe	Insecticide, Veterinary treatment
1112	Benfluraline	Herbicide
2924	Benfuracarbe	Insecticide
1407	Bénomyl	Fongicide, Miticide
2074	Benoxacor	Herbicide safener, Other product constituent
5512	Bensulfuron-Methyl	Herbicide
1113	Bentazone	Herbicide
1764	Benthiocarbe	
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

Code Sandre	Molécule	Type
1124	Bromophos Méthyl	Insecticide
1685	Bromopropylate	Acaricide
1125	Bromoxynil	Herbicide, Metabolite
1941	Bromoxynil Octanoate	Herbicide
1860	Bromuconazole	Fongicide
1861	Bupirimate	Fongicide
1862	Buprofézine	Insecticide, Acaricide
1126	Butraline	Herbicide, Plant growth regulator
1531	Buturon	Herbicide
1863	Cadusaphos	Insecticide, Nematicide
1127	Captafol	Fongicide
1128	Captane	Fongicide, Bactericide
1463	Carbaryl	Insecticide, Plant growth regulator
1129	Carbendazime	Fongicide, Metabolite
1333	Carbétamide	Herbicide
1130	Carbofuran	Insecticide, Nematicide, Acaricide, Metabolite
1805	Carbofuran-3-Hydroxy	Insecticide, Nematicide, Acaricide, Metabolite
1131	Carbophénouthion	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	Chlorméphos	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

Code Sandre	Molécule	Type
1480	Dicamba	Herbicide
1679	Dichlobenil	Herbicide, Metabolite
1159	Dichlofenthion	Insecticide
1360	Dichlofluanide	Fongicide
1171	Dichlofop Méthyl	Herbicide
1586	Dichloroaniline 3,4	
2981	Dichlorophène	Fongicide, Algicide, Bactericide, Veterinary treatment
1169	Dichlorprop	Herbicide
1170	Dichlorvos	Insecticide, Acaricide, Metabolite
1172	Dicofol	Acaricide
1173	Dieldrine	Insecticide, Metabolite
1402	Diethofencarbe	Fongicide
2982	Difenacoum	Rodenticide
1905	Difénoconazole	Fongicide
2983	Difethialone	Rodenticide
1488	Diflubenzuron	Insecticide
1814	Diflufénicanil	Herbicide
1870	Diméfuron	Herbicide
2546	Dimétachlor	Herbicide
1678	Diméthénamide	Herbicide
1175	Diméthoate	Insecticide, Acaricide, Metabolite
1403	Diméthomorphe	Fongicide
1698	Dimetilan	
1871	Dimiconazole	Fongicide
1490	DiNitroOrthoCrésol (DNOC)	Herbicide, Insecticide, Acaricide
5619	Dinocap	Fongicide, Acaricide
1491	Dinosébe	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	Flupyrulfuron Méthyl	Herbicide
2056	Fluquinconazole	Fongicide

Code Sandre	Molécule	Type
1974	Fluridone	Herbicide
1675	Flurochloridone	Herbicide
1765	Fluroxypyr	Herbicide
2547	Fluroxypyr Methyl Heptyl Ester	Herbicide
2024	Flurprimidol	Plant growth regulator
2008	Flurtamone	Herbicide
1194	Flusilazole	Fongicide
2985	Flutolanil	Fongicide
1503	Flutriafol	Fongicide
1192	Folpel	Fongicide
2075	Fomesafen	Herbicide
1674	Fonofos	Insecticide
2806	Foramsulfuron	Herbicide
1703	Formétanate Hydrochloride	Insecticide, Acaricide
1504	Formothion	Insecticide, Acaricide
1975	Fosetyl Aluminium	Fongicide
2744	Fosthiazate	Insecticide
1908	Furalaxyl	Fongicide
2567	Furathiocarbe	Insecticide
2731	Glufosinate d'ammonium	Herbicide
1506	Glyphosate	Herbicide
2047	Haloxypop	Herbicide
1200	HCH Alpha	
1201	HCH Beta	
1202	HCH Delta	
2046	HCH Epsilon	
1203	HCH Gamma (Lindane)	
1197	Heptachlore	Insecticide
1749	Heptachlore Endo Epoxyde	
1198	Heptachlore Epoxyde (Somme des isomères)	
1748	Heptachlore Exo Epoxyde	
1910	Hepténophos	Insecticide
1199	Hexachlorobenzène	Fongicide, Metabolite
1405	Hexaconazole	Fongicide, Wood Preservative
1875	Hexaflumuron	Insecticide
1673	Hexazinone	Herbicide
1876	Hexythiazox	Acaricide
5644	Hydraméthylnon	Insecticide
1832	Hydroxyatrazine (2 Hydroxy)	Metabolite
1954	Hydroxyterbuthylazine	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

Code Sandre	Molécule	Type
2755	Mecoprop-Methyl Ester	Herbicide
2870	Mecoprop-n iso-Butyl Ester	Herbicide
1968	Mefénacet	Herbicide
2930	Mefenpyr-diéthyl	Herbicide safener
2568	Mefluidide	Herbicide, Plant growth regulator
5533	Mepanipyrim	Fongicide, Bactericide, Wood preservative
1878	Mépronil	Fongicide
1510	Mercaptodiméthur	
2578	Mésosulfuron Méthyl	Herbicide
2076	Mésotrione	Herbicide
1706	Métalaxyle	Fongicide
1796	Metaldéhyde	Molluscicide
1215	Métamitron	Herbicide
1670	Métazachlore	Herbicide
1879	Metconazole	Fongicide
1216	Methabenzthiazuron	Herbicide
1671	Methamidophos	Insecticide, Acaricide, Metabolite
1217	Méthidathion	Insecticide, Acaricide
1218	Méthomyl	Insecticide, Acaricide, Metabolite
1511	Méthoxychlore	Insecticide
1515	Métobromuron	Herbicide
1221	Métolachlore (R+S)	Herbicide
1912	Métosulam	Herbicide
1222	Métoxuron	Herbicide
5654	Metrafenone	Fongicide
1225	Métribuzine	Herbicide
1797	Metsulfuron méthyl	Herbicide, Metabolite
1226	Mévinphos	Insecticide, Acaricide
5438	Mirex	Insecticide
1707	Molinate	Herbicide
1880	Monocrotophos	Insecticide, Acaricide
1227	Monolinuron	Herbicide
1228	Monuron	Herbicide
1881	Myclobutanyl	Fongicide
1516	Naled	Insecticide, Acaricide
1519	Napropamide	Herbicide
1937	Naptalam	Herbicide
1520	Néburon	Herbicide
1882	Nicosulfuron	Herbicide
1669	Norflurazon	Herbicide
2737	Norflurazon Desméthyl	Insecticide
1883	Nuarimol	Fongicide
2027	Ofurace	Fongicide
1230	Ométhoate	Insecticide, Acaricide, Metabolite
1668	Oryzalin	Herbicide
2068	Oxadiargyl	Herbicide
1667	Oxadiazon	Herbicide
1666	Oxadixyl	Fongicide
1850	Oxamyl	Insecticide, Acaricide, Nematicide
1231	Oxydémeton Méthyl	Insecticide
1952	Oxyfluorène	Herbicide
2545	Pacloutrazole	Plant growth regulator
1522	Paraquat	Herbicide
1232	Parathion Ethyl	Insecticide, Acaricide
1233	Parathion Méthyl	Insecticide
1762	Penconazole	Fongicide
1887	Pencycuron	Fongicide
1234	Pendimethaline	Herbicide
6394	Penoxsulam	Herbicide
1888	Pentachlorobenzène	Herbicide
1235	Pentachlorophénol	Insecticide, Herbicide, Fongicide, Molluscicide, Plant growth regulator
1523	Perméthrine	Insecticide, Veterinary treatment
1236	Phenmediphame	Herbicide
1525	Phorate	Insecticide, Acaricide, Nematicide
1237	Phosalone	Insecticide, Acaricide
1971	Phosmet	Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment
1238	Phosphamidon	Insecticide, Acaricide
1665	Phoxime	Insecticide, Disinfectant
1708	Picloram	Herbicide
5665	Picolinafen	Herbicide
2669	Picoxystrobine	Fongicide
1709	Piperonyl Butoxide	Insecticide
1528	Pirimicarbe	Insecticide
5531	Pirimicarbe Desméthyl	Metabolite
1949	Prétilachlore	Herbicide
1253	Prochloraze	Fongicide

Code Sandre	Molécule	Type
1664	Procymidone	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
2534	Prosulfuron	Herbicide
5416	Pymetrozine	Insecticide
2576	Pyraclostrobin	Fongicide
1258	Pyrazophos	Fongicide
1890	Pyridabène	Insecticide, Acaricide
1259	Pyridate	Herbicide
1663	Pyrifénox	Fongicide
1432	Pyriméthanol	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	Sébutylazine	Herbicide
1262	Secbuméton	Herbicide
5609	Silthiopham	Fongicide
1263	Simazine	Herbicide
1831	Simazine 2 Hydroxy	Metabolite
3268	Somme des DDT	Insecticide
1743	Somme Endosulfan (Alpha+Béta+Sulfate)	Insecticide
5610	Spinosad	Insecticide
2664	Spiroxamine	Fongicide
1662	Sulcotrione	Herbicide
2085	Sulfosulfuron	Herbicide
1894	Sulfotep	Insecticide, Acaricide
1193	Tau-Fluvalinate	Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment
1694	Tébuconazole	Fongicide
1895	Tébufénoside	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, Microbiocide, Algicide
2045	Terbutylazine Déséthyl	Metabolite
2735	Tétrachlorobenzène	
2010	Tétrachlorobenzène 1,2,3,4	
1631	Tétrachlorobenzène 1,2,4,5	
1277	Tétrachlorvinphos	Insecticide, Acaricide, Veterinary treatment
1660	Tétraconazole	Fongicide
1900	Tétradifon	Acaricide
5921	Tétraméthrine	Insecticide
1713	Thiabendazole	Fongicide
5671	Thiaclopride	Insecticide, Molluscicide
1940	Thiaflumide (flufenacet)	
6390	Thiametoxam	Insecticide

Code Sandre	Molécule	Type
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	Tralomethrine	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	Tricopyr	Herbicide
5430	Triclosan (5-Chloro-2-Phenol)	
2678	Trifloxystrobine	Fongicide
1902	Triflumuron	Insecticide
1289	Trifluraline	Herbicide
2096	Trinexapac éthyl	Plant growth regulator
2992	Triticonazole	Fongicide
1291	Vinchlorzoline	Fongicide
2858	Zoxamide	Fongicide

ANNEXE 2 : METABOLITES RECHERCHES (N = 39)

Molécule mère	Code Sandre (Molécule mère)	Code Sandre	Métabolite	Isomère
1,2-dichlorobenzene	1165	1586	dichloroaniline 3,4	
aldicarbe	1102	1807	aldicarbe sulfone	
		1806	aldicarbe sulfoxyde	
atrazine	1107	1108	atrazine déséthyl (dea)	
		1832	hydroxyatrazine (2 hydroxy)	
atrazine simazine	1107 1263	1109	atrazine déisopropyl (dia)	
simazine	1263	1831	simazine 2 hydroxy	
chlordecone	1866	6577	chlordecone 5b hydro	
		7527	chlordecol	
corbofuran	1130	1805	carbofuran-3-hydroxy	
DDT	1147 1148	1145	2,4' dde	ortho-para' du dde
		1146	4,4' dde	para-para' du dde
		1511	méthoxychlore	
		1143	2,4' ddd	ortho-para du ddd
		1144	4,4' ddd	para-para du ddd
demeton	1550	1150	demeton o	o du déméton
dichlobenil	1679	2011	2,6 dichlorobenzamide	
diuron	1177	1929	1-(3,4-dichlorophényl)-3-méthyl urée (dcpmu)	
		1930	1-(3,4-dichlorophényl) urée	
endofulfan	1743	1742	endosulfan sulfate	
gamma-hexachlorocyclohexane (lindane)	1203	1888	pentachlorobenzène	
glyphosate	1506	1907	AMPA (acide amino méthyl phosphonique)	
bentachlore	1197	1748	heptachlore exo epoxyde	cis de l'heptachlorepoxyde
		1749	heptachlore endo epoxyde	trans de l'heptachlorepoxyde
		1198	heptachlore epoxyde (somme des isomères)	
ioxynil	1205	1942	ioxynil octanoate	
		2871	ioxynil methyl ester	
isoproturon	1208	2738	desméthylisoproturon (IPPMU)	
		2847	1-(4-isopropylphényl) urée	
ND	ND	2025	iodofenphos	
ND	ND	1171	dichlofop méthyl	
norflurazon	1669	2737	norflurazon desméthyl	
paropazine	5968	5968	propazine-2-hydroxy	
pentachlorobenzène hexachlorobenzène	1888 1199	2010	1,2,3,4 tétrachlorobenzène	
primacarbe	5531	5531	pirimicarbe desmethyl	
terbuméton	1266	2051	terbumeton desethyl	
terbuthylazine	1268	1954	hydroxyterbuthylazine	
		2045	terbutylazine déséthyl	
thiofanox	1715	5475	thiofanox sulfoxyde	
		5476	thiofanox sulfone	