

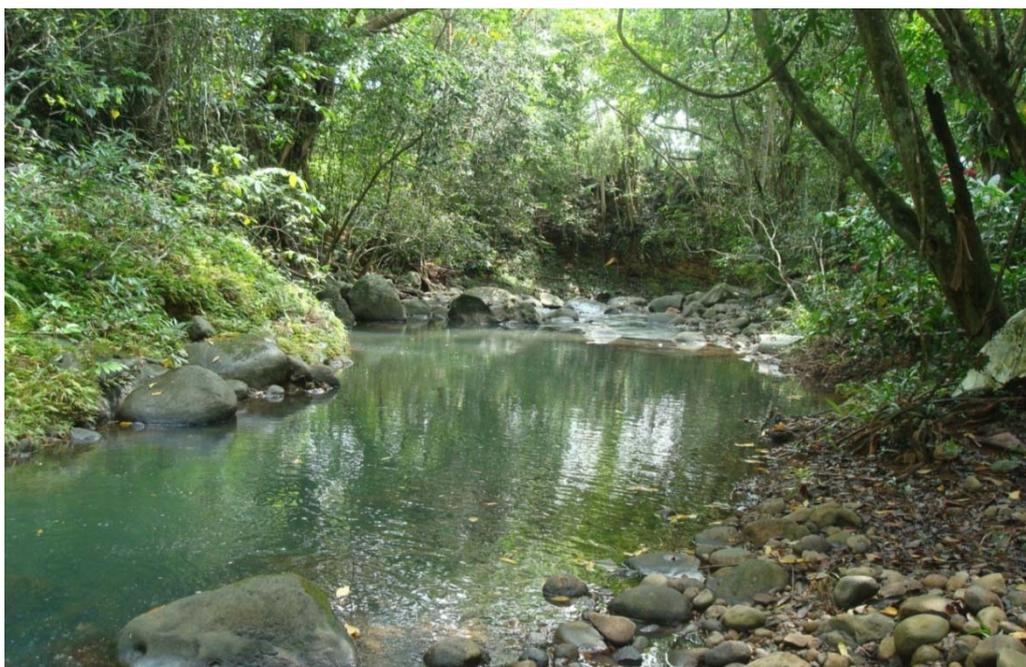
Projet ChIEauTerre

**Contamination des bassins versants de la Guadeloupe continentale
par la chlordécone**

**Actualisation des connaissances et cartographie
des zones à risque de contamination**

Rapport final

Septembre 2017



R. Rochette¹, P. Andrieux¹, V. Bonnal², P. Cattan²
avec la contribution de J.B. Nannette¹, G. Onapin² et N. Robin¹

¹INRA, ²Cirad

Livrables du projet

Ce rapport du projet ChIEauTerre s'accompagne d'un ensemble de données, réparties au sein de trois dossiers différents:

- un dossier rassemblant les photos des points de prélèvement d'eau et de sol réalisés pour le projet ("CHLT_photos pts plvt") ;
- un dossier regroupant l'ensemble des résultats d'analyses obtenus ("CHLT_résultats d'analyses"). Ce dernier comprend:
 - les rapports d'analyses reçus du laboratoire départemental d'analyses de la Drôme (LDA26) ;
 - la base de données qui a été réalisée à partir de tous les résultats obtenus par le projet ChIEauTerre ("CHLT_bdd résultats d'analyses") ;
 - la synthèse qui a été faite de ces résultats ("CHLT_synthèse des résultats d'analyses") ;
 - les bases de données de contamination des eaux de l'Office de l'Eau et de l'ARS ;
- un dossier réunissant les couches vecteurs et rasters générées au cours du projet ("CHLT_SIG"), à savoir:
 - les couches qui ont été générées pour les axes d'écoulement présents en Guadeloupe continentale ainsi que pour le modèle numérique de terrain (MNT), et les couches synthétiques des points de surveillance de l'Office de l'Eau et de l'ARS ;
 - les éléments de cartographie de la contamination des bassins de la Guadeloupe continentale par la chlordécone, comprenant entre autres les couches des bassins exutoire mer qui ont été considérés ainsi que celles des bassins analysés, qui ont été classés en termes de risque. On y retrouve également la couche des points de prélèvements d'eau et de sol réalisés ;
 - la carte actualisée des risques de contamination des sols par la chlordécone de la Guadeloupe continentale, accompagnée des éléments cartographiques d'occupation du sol historique en banane sur lesquels elle s'est appuyée ;
 - la base de données du SIG CLD Réelle consolidée et mise à jour, en ne conservant que les valeurs en chlordécone les plus élevées pour des étendues parcellaires identiques.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Matériels et méthodes	3
I-1. Application historique de chlordécone et devenir dans les sols	3
I-2. Données spatialisées de chlordécone	4
I-2-1. Données de contamination potentielle.....	4
I-2-2. Données de contamination réelle	6
I-3. Délimitation des bassins-versants	8
I-3-1. Démarche adoptée	8
I-3-2. Choix du Modèle Numérique de Terrain (MNT).....	8
I-3-3. Traitement du réseau hydrographique de référence.....	10
I-3-4. Forçage du MNT	12
I-3-5. Génération des bassins versants	13
I-4. Prélèvements	14
I-4-1. Analyses de pesticides.....	14
I-4-2. Protocoles d'échantillonnage	15
I-4-3. Périodes de prélèvement	15
Chapitre II : État des lieux de la contamination des bassins versants par les pesticides (analyses multirésidus)	17
II-1. Plan d'échantillonnage.....	17
II-2. Résultats des analyses multirésidus	18
II-2-1. Évaluation du degré de contamination des bassins versants	23
II-2-2. Analyse descriptive par substance	23
II-2-3. Analyse descriptive par type de pesticide	25
II-2-4. Contamination par des pesticides interdits.....	26
II-2-5. Contamination par des fongicides de traitement post-récolte de la banane	27
II-3. Conclusion.....	28
Chapitre III : Identification de zones contaminées et non contaminées par la chlordécone (analyses spécifiques chlordécone)	29
III-1. Plan d'échantillonnage.....	29
III-2. Résultats des analyses de chlordécone dans les eaux.....	30
III-2-1. Synthèse des analyses de chlordécone dans les eaux en Basse-Terre.....	32
III-2-2. Synthèse des analyses de chlordécone dans les eaux en Grande-Terre.....	33

III-3. Évaluation de la démarche adoptée	34
III-3-1. Méthodologie	34
III-3-2. Principaux résultats des investigations	39
III-3-3. Résultats de l'évaluation de la démarche.....	45
III-4. Conclusion.....	48
III-4-1. Conclusion sur l'évaluation de la démarche.....	48
III-4-2. Conclusion sur les résultats d'analyses	49
III-4-3. Cartographie de la contamination des bassins de la Guadeloupe continentale par la chlordécone	50
Chapitre IV : Élaboration de nouvelles cartes de contamination potentielle et réelle des sols par la chlordécone	53
IV-1. Nouvelle cartographie des risques de contamination des sols par la chlordécone	53
IV-1-1. Données utilisées	53
IV-1-2. Cartographie réalisée	54
IV-2. Cartographie de la contamination réelle des sols par la chlordécone	56
IV-2-1. Données utilisées	56
IV-2-2. Cartographie réalisée	56
Conclusions générales	58
Bibliographie	59
Annexes	62
<i>Annexe 1 : Calendrier des différentes étapes du projet ChIEauTerre.....</i>	<i>62</i>
<i>Annexe 2 : Procédure de limitation de la densité du réseau de drainage.....</i>	<i>63</i>
<i>Annexe 3 : Procédure de forçage du MNT et de traitements d'analyse spatiale.....</i>	<i>64</i>
<i>Annexe 4 : Liste de paramètres non conservés pour le projet ChIEauTerre</i>	<i>65</i>
<i>Annexe 5 : Liste de paramètres retenus pour le projet ChIEauTerre.....</i>	<i>66</i>
<i>Annexe 6 : Méthodes de dosage de la chlordécone utilisées par le LDA26</i>	<i>77</i>
<i>Annexe 7: Protocole d'échantillonnage d'eau du projet ChIEauTerre.....</i>	<i>78</i>
<i>Annexe 8: Protocole d'échantillonnage de sol du projet ChIEauTerre</i>	<i>81</i>

Liste des figures

<i>Fig. 1: Carte des risques de contamination par la chlordécone (d'après Olivier Tillieut, DAF/SPV, 2006)....</i>	5
<i>Fig. 2: Nombre d'analyses de chlordécone dans les sols réalisées entre 2001 et 2012</i>	6
<i>Fig. 3: Nombre d'analyses de chlordécone dans les sols réalisées entre 2001 et 2012 par organisme contributeur à la base de données.....</i>	7
<i>Fig. 4: Reconstitution du MNT 1m du RGE ALTI® de l'IGN</i>	9
<i>Fig. 5: Modifications apportées au réseau hydrographique de la BD TOPO® de l'IGN</i>	11
<i>Fig. 6: Carte des bassins versants de Guadeloupe continentale de plus de 50 ha</i>	13
<i>Fig. 7: Localisation des points d'analyses d'eau en multirésidus</i>	18
<i>Fig. 8: Résultats synthétiques des analyses multirésidus sur le territoire guadeloupéen.....</i>	19
<i>Fig. 9: Analyse de la présence de matières actives phytosanitaires ou de leurs résidus à l'exutoire de 62 bassins de la Basse-Terre (a.) et de 33 bassins de la Grande-Terre (b.).....</i>	24
<i>Fig. 10: Proportion des différents usages de pesticides retrouvés en Basse-Terre (a.) et en Grande-Terre (b.)</i>	25
<i>Fig. 11: Statut réglementaire des pesticides retrouvés en Guadeloupe continentale, regroupés par usage.....</i>	26
<i>Fig. 12: Proportion de pesticides autorisés et interdits sur la somme des concentrations relevées en Basse-Terre</i>	26
<i>Fig. 13: Concentrations des fongicides utilisés dans le traitement post-récolte des bananes (azoxystrobine, imazalil et thiabendazole) dans les eaux de surface des bassins présentant une sole bananière en 2014</i>	28
<i>Fig. 14: Carte de localisation des points de prélèvement d'eau disposant d'une analyse de chlordécone.</i>	30
<i>Fig. 15: Résultats synthétiques des analyses de chlordécone réalisées dans les cours d'eau guadeloupéens.....</i>	31
<i>Fig. 16: Répartition des résultats des analyses de chlordécone en différentes classes de contamination.</i>	32
<i>Fig. 17: Localisation des bassins pour lesquelles il existe des incohérences entre les données de contamination par la chlordécone des eaux et celles des sols.....</i>	35
<i>Fig. 18: Localisation des points d'analyses complémentaires de chlordécone dans les cours d'eau guadeloupéens.....</i>	37
<i>Fig. 19: Localisation des parcelles échantillonnées.....</i>	38
<i>Fig. 20: Localisation du bassin de la Ravine Renoir (Bouillante – Vieux-Habitants)</i>	39
<i>Fig. 21: Localisation du bassin de l'un des affluents contaminés de la Rivière La Lézarde (Petit-Bourg) ...</i>	40
<i>Fig. 22: Localisation du bassin amont de la Rivière La Lézarde (Petit-Bourg).....</i>	41
<i>Fig. 23: Localisation et aperçu de la source de contamination de la Ravine Deville (Petit-Canal)</i>	43
<i>Fig. 24: Localisation du point de contamination détecté sur la ravine à Rosine (Le Gosier).....</i>	43

<i>Fig. 25: Localisation du point de contamination détecté sur la ravine à Bananier (Le Gosier) et aperçu du panneau explicatif de Fond Bananier</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 26: Localisation et aperçu de la source de contamination d'un affluent de la Rivière d'Audoin en aval de Gardel (Le Moule).....</i>	<i>45</i>
<i>Fig. 27: Quelques exemples de divergence entre des résultats d'analyses de sol du SIG CLD et du projet ChIEauTerre</i>	<i>46</i>
<i>Fig. 28: Cartographie ChIEauTerre de la contamination des bassins versants de la Basse-Terre par la chlordécone.....</i>	<i>51</i>
<i>Fig. 29: Cartographie ChIEauTerre de la contamination des bassins versants de la Grande-Terre par la chlordécone.....</i>	<i>52</i>
<i>Fig. 30: Cartographie actualisée des risques de contamination des sols par la chlordécone</i>	<i>55</i>
<i>Fig. 31: Cartographie du SIG CLD Réelle - mise à jour 2017.....</i>	<i>57</i>

Tous les fonds cartographiques utilisés dans ce rapport sont issus de la BD Ortho® de 2010 et du SCAN25® de 2012 de l'IGN.

Liste des tableaux

<i>Tab. 1: Usages généraux de la chlordécone</i>	4
<i>Tab. 2: Données de contamination des eaux de Guadeloupe par la chlordécone</i>	8
<i>Tab. 3: Paramètres testés pour la méthode AGREE</i>	12
<i>Tab. 4: Paramètres retenus pour la méthode AGREE</i>	12
<i>Tab. 5: Calendrier d'échantillonnage d'eau</i>	16
<i>Tab. 6: Résidus de fongicides retrouvés en Guadeloupe continentale</i>	20
<i>Tab. 7: Résidus d'herbicides retrouvés en Guadeloupe continentale</i>	21
<i>Tab. 8: Résidus d'insecticides retrouvés en Guadeloupe continentale</i>	22
<i>Tab. 9: Résidus de nématicides retrouvés en Guadeloupe continentale</i>	22
<i>Tab. 10: Dispositions réglementaires en matière d'eau potable</i>	23
<i>Tab. 11: Provenance des analyses de chlordécone entreprises sur les eaux de Guadeloupe continentale</i>	30
<i>Tab. 12: Typologie des bassins versants en fonction de leur contamination à la chlordécone</i>	34
<i>Tab. 13: Type de parcelles à analyser par des prélèvements de sol en fonction de chaque type de bassin</i>	36
<i>Tab. 14: Nombre d'analyses de sol effectuées par type de bassin</i>	38
<i>Tab. 15: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où aucune contamination des eaux par la chlordécone n'a été détectée</i>	46
<i>Tab. 16: Synthèse des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où aucune contamination des eaux par la chlordécone n'a été détectée</i>	46
<i>Tab. 17: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où une contamination des eaux par la chlordécone a été détectée</i>	47
<i>Tab. 18: Synthèse des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où une contamination des eaux par la chlordécone a été détectée</i>	47
<i>Tab. 19: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Grande-Terre où aucune contamination des eaux par la chlordécone n'a été détectée</i>	48
<i>Tab. 20: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Grande-Terre où une contamination des eaux par la chlordécone a été détectée</i>	48
<i>Tab. 21: Recommandations sur les types de productions possibles sur une parcelle en fonction de la gamme de contamination de ses sols par la chlordécone</i>	56

Introduction

En Guadeloupe, l'utilisation de la chlordécone, autorisée dans les bananeraies de 1972 à 1993 pour lutter contre le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*), a engendré une grave contamination environnementale qui continue d'impacter l'île encore aujourd'hui. En effet, cet insecticide organochloré persistant se retrouve dans de nombreuses ressources hydriques ainsi que dans 1/5^{ème} des sols de la surface agricole utile (Cabidoche & Lesueur-Jannoyer, 2011). Il contamine par conséquent certains produits alimentaires d'origine végétale et animale, en soulevant des questions d'ordre sanitaire non négligeables.

Depuis la découverte de la contamination des eaux de distribution par la chlordécone en 1999 (Bonan & Prime, 2001), les services déconcentrés de l'État ont conduit de nombreuses actions et investigations sur des domaines essentiels:

- les eaux: avec le renforcement des dispositifs de surveillance au niveau des captages et des eaux superficielles ;
- les denrées alimentaires: avec la mise en évidence de la contamination des "légumes racines" en 2002, des poissons et crustacés d'eau douce en 2005, de nombreux végétaux et de la faune marine en 2008 et des animaux d'élevage en 2010 (Cabidoche & Lesueur-Jannoyer, 2011) ;
- les sols: avec des analyses de sols imposées pour la plantation de cultures vivrières à partir de 2003, étendues en 2009 aux particuliers habitant dans les zones identifiées comme potentiellement contaminées par la chlordécone.

La carte des terres susceptibles d'être contaminées par la chlordécone a été élaborée en 2005-2006 par la direction de l'agriculture et de la forêt (DAF) avec la collaboration de l'INRA (Tillieut, 2006). Elle était issue d'un travail de classement des terres en fonction de leur historique cultural en banane et de leur probabilité à contenir de la chlordécone. Cependant, les données historiques d'occupation du sol étant rares et cette étude devant faire rapidement face au problème de transfert de la contamination des sols aux cultures, cette carte n'a pu se baser que sur la sole bananière de 3 années (1969, 1985 et 1996) et ne s'est intéressée qu'aux parcelles qui avaient été déclarées comme agricoles en 2003 (sur la base du recensement Agrigua). La cartographie des risques de contamination par la chlordécone a ainsi pu omettre un certain nombre de parcelles pourtant anciennement cultivées en banane, et qui présentent de fait un risque. De plus, bien que la majeure partie du pesticide ait effectivement été utilisée dans les bananeraies, il a également pu faire l'objet d'un usage détourné sur d'autres cultures (maraîchage et agrumes notamment).

En 2009, un Système d'Information Géographique (SIG) sur les contaminations des sols par la chlordécone a été mis en place dans la cadre du PNAC II (Plan National d'Action contre la pollution par la chlordécone) pour rassembler l'ensemble des données d'analyses de sol qui avaient été réalisées par différents organismes (DAAF, Chambre d'Agriculture, ARS et INRA). Cependant, leur répartition spatiale sur le territoire guadeloupéen est très hétérogène, car même si certaines données existent en Grande-Terre et en nord Basse-Terre, la majorité des parcelles analysées se concentre sur le croissant bananier (78% de Vieux-Habitants à Goyave).

Dans ce contexte général, le Projet ChIEauTerre a pour objectif d'améliorer la cartographie des zones à risque de contamination par la chlordécone de la Guadeloupe continentale. Il est issu d'une convention entre l'État, l'Office de l'Eau de Guadeloupe, le Cirad et l'INRA. Il s'intègre dans le cadre du PNAC III (2014-2020), qui vise à passer d'une logique de gestion de court terme des effets collatéraux de

cette pollution à une véritable logique de développement durable des territoires sur le long terme. L'étude, débutée en octobre 2014 pour une durée de deux ans et demi, s'est déroulée suivant différentes phases (présentées sur le calendrier de l'*Annexe 1*), et s'appuie sur la réalisation de campagnes de mesures complémentaires à celles déjà effectuées jusqu'alors, en s'intéressant prioritairement aux zones qui ont été moins étudiées.

Si une étude systématique au niveau de chaque parcelle cultivée est irréaliste (du fait des surfaces à couvrir et des coûts d'analyses associés), une analyse de la chlordécone dans les eaux de surface peut être entreprise. En effet, bien que la molécule soit fortement séquestrée dans la matière organique des sols et ne se dégrade pas spontanément, une partie reste tout de même lessivable par les eaux de drainage, et ce de manière plus ou moins importante suivant le type de sol (Cabidoche *et al*, 2009; Cabidoche & Lesueur-Jannoyer, 2011). La démarche de ce projet repose donc sur le fait que si une eau est contaminée, c'est qu'il existe une zone terrestre qui la contamine en amont. Elle permet alors, à partir d'analyses de chlordécone dans les eaux de surface, d'identifier des bassins versants à risque de contamination élevé et d'autres, au contraire, à risque plus faible.

Au-delà de l'aspect chlordécone, les investigations menées lors de l'étude doivent également permettre d'obtenir des informations sur la contamination de l'environnement par d'autres matières actives de produits phytosanitaires.

Le projet ChlEauTerre est ainsi axé autour de deux objectifs principaux:

- dresser un état des lieux général de la contamination des bassins versants par les pesticides ;
- identifier, par une approche intégrée par bassin versant, les zones terrestres concernées par une contamination par la chlordécone, en les distinguant de celles qui ne le sont pas.

Après avoir détaillé dans une première partie les matériels et méthodes utilisés, nous avons répondu à chacun des objectifs du projet dans des parties distinctes, avant de proposer de nouvelles cartes de contamination potentielle et réelle des sols par la chlordécone.

Chapitre I : Matériels et méthodes

I-1. Application historique de chlordécone et devenir dans les sols

En Guadeloupe, la chlordécone était autorisée sur les cultures bananières et a été commercialisée sous le nom commercial de Kepone® de 1972 à 1981, puis sous celui de Curlone® jusqu'à son interdiction d'utilisation en 1993. La dose d'application recommandée à l'époque dans les bananeraies était de 30 g de produit par pied (soit 3 kg de matière active par hectare), à renouveler tous les 6 à 18 mois en fonction du niveau d'infestation (Cabidoche *et al.*, 2004). En considérant une application moyenne, les quantités cumulées de chlordécone apportées durant la vingtaine d'années d'utilisation représenteraient donc environ 60 kg/ha (soit 6 g/m²) (Cabidoche & Lesueur-Jannoyer, 2011).

La molécule étant très stable et peu mobile (dû en partie à sa grande affinité avec la matière organique), elle se caractérise par une forte rémanence dans les sols. Suivant le type de sol, les capacités de rétention ou de relargage varient alors fortement. Les andosols ont une capacité de rétention importante et un relargage très faible dans les eaux de lessivage. À l'inverse, les nitisols, ont une faible capacité de rétention mais sont plus contaminants pour les eaux. Les ferralsols quant à eux ont un comportement similaire aux nitisols, bien que contenant statistiquement un peu plus de matière organique (Cabidoche *et al.*, 2009; Levillain *et al.*, 2012).

À l'échelle de la parcelle, la chlordécone a une forte hétérogénéité spatiale (Clostre *et al.*, 2013; Cattan *et al.*, 2016) qui s'explique notamment par le mode d'application du produit. En effet, ce dernier était disposé au pied de chaque bananier, où les concentrations sont donc plus importantes. Les pratiques de travail du sol peuvent également avoir modifié la distribution verticale de la chlordécone, en générant par exemple une dilution mécanique plus ou moins importante (Cabidoche *et al.*, 2006). Cette hétérogénéité se rencontre également à l'échelle du paysage (Levillain *et al.*, 2012), et est expliquée en partie par les stratégies de traitement individuelles des agriculteurs. De fait, il n'existe pas de moyen de prévoir la contamination d'une parcelle à l'autre.

Quoi qu'il en soit, les apports de chlordécone à la parcelle ont été immédiats et systématiques, et ce même si la pression parasitaire était faible. Ceci a notamment été démontré par une étude réalisée sur des cultures bananières récentes et de faible durée (1982 à 1986) dans le nord-est de la Basse-Terre (Perrault, 2005).

En Grande-Terre, la sole bananière s'est considérablement développée à partir de 1993 (Tillieut, 2006), mais quelques plantations de bananes étaient déjà présentes bien avant l'interdiction du produit. De la chlordécone a ainsi pu être appliquée sur certaines parcelles, par principe de précaution, même si la pression parasitaire y était *a priori* quasi inexistante.

Du fait de son spectre d'action assez large, ce pesticide a également pu faire l'objet d'un usage détourné sur d'autres cultures. En effet, la chlordécone est connue pour avoir eu historiquement des applications variées dans le monde (OMS, 1984; UNEP, 2006), dont une liste non exhaustive est présenté ci-dessous (*Tab. 1*):

Usage	Cible	Type de culture
Insecticide	Coléoptères (charançon, doryphore...)	bananiers
		citronniers
		tabac
		cotonniers
		arbustes ornementaux
	marâtchage	
	Formicidés (fourmis manioc et solénopsis)	cultures indifférenciées
Larvicide	Traitement des sols	cultures indifférenciées
	Vers fil de fer (larves de taupin)	marâtchage, tabac, glaieuls et autres plantes
Acaricide	Phytopte des agrumes	agrumes
Fongicide	Mildiou	cultures indifférenciées
	Tavelure du pommier	pommiers, poiriers
	Oïdium	marâtchage, fruitiers

Tab. 1: Usages généraux de la chlordécone (sources: OMS, 1984; UNEP, 2006)

En Guadeloupe, les usages secondaires de la chlordécone sont aujourd'hui reconnus pour avoir concerné principalement certaines parcelles d'agrumes, d'ananas ou de cultures maraîchères.

Enfin, les premières collectes des stocks non utilisés de chlordécone ne sont intervenues qu'en 2002 (Beaugendre, 2005). Ainsi, même si cela ne semble que peu probable, certains agriculteurs ont tout de même pu avoir la possibilité de continuer à s'approvisionner en produit même après son interdiction. *De facto*, il y a donc pu avoir des applications illicites après 1993.

I-2. Données spatialisées de chlordécone

La première étape de notre travail a été de rassembler l'ensemble des données d'analyses de chlordécone existantes sur les sols et les eaux de Guadeloupe.

I-2-1. Données de contamination potentielle

a. Données historiques d'occupation du sol par la culture de la banane

Comme cela a été énoncé précédemment, la chlordécone a été abondamment utilisée dans les bananeraies entre 1972 et 1993. Pour connaître l'ampleur et l'étendue de la contamination des sols, notamment à des fins de santé publique, une étude cartographique avait été lancée en 2005 par la DAF (Tillieut, 2006). Elle proposait alors un classement des sols de Guadeloupe en fonction de leur contamination potentielle, évaluée sur la base de l'historique de l'occupation des sols par la culture de la banane pendant la période de commercialisation de la chlordécone.

Différentes données avaient ainsi été exploitées sous SIG:

- Carte IGN de 1969, échelle 1/20.000^{ème} (révision sur base de photos aériennes 1956) ;
- Carte IGN de 1987, échelle 1/25.000^{ème} (révision sur base de photos aériennes 1985) ;
- Carte du parcellaire de la sole bananière (CIRAD - DAF, 1997), échelle 1/25.000^{ème}.

La cartographie finale comportait 4 classes de risque, allant de "très élevé" à "nul à négligeable" (Fig. 1):

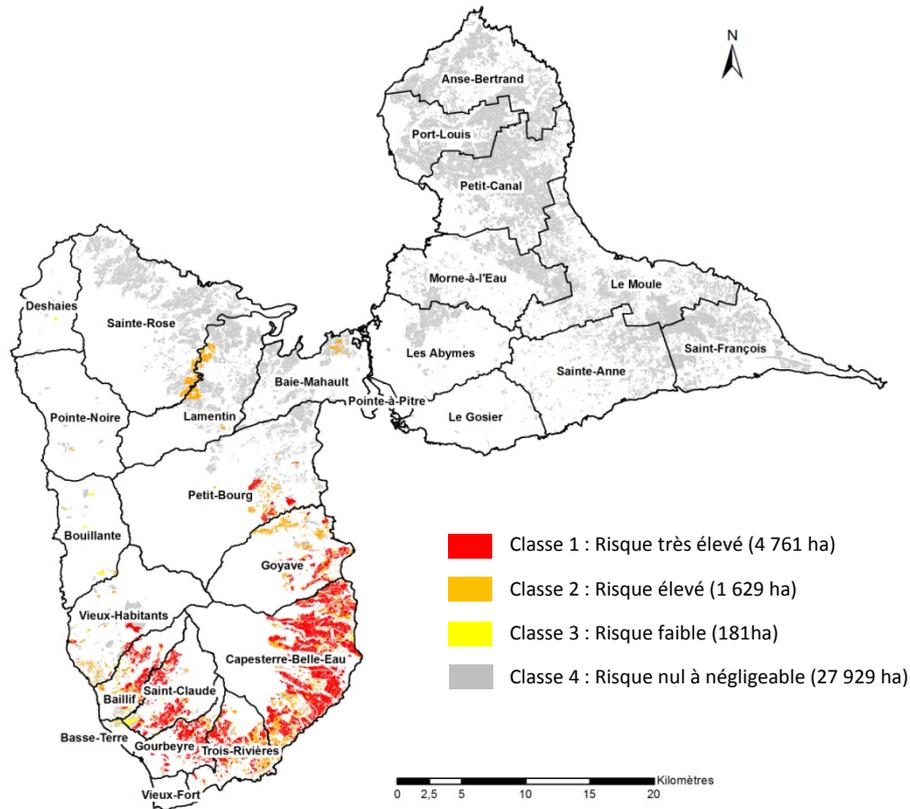


Fig. 1: Carte des risques de contamination par la chlordécone (d'après Olivier Tillieut, DAF/SPV, 2006)

Un traitement statistique avait ensuite été entrepris sur 1969 résultats d'analyses de sol, dont 1907 avaient été réalisées en Guadeloupe continentale (9,1% en nord Basse-Terre, 58,7% en sud Basse-Terre et 32,2% en Grande-Terre). Sur les 833 sols qui y présentaient une teneur en chlordécone supérieure à 0,25 mg/kg de sol sec, 98,8% étaient localisées dans les classes de risque "élevé" et "très élevé", attestant ainsi de la fiabilité de ces deux catégories (Tillieut, 2006). De plus, les analyses effectuées avaient permis de détecter 28 parcelles contaminées en Grande-Terre, démontrant ainsi que la contamination des sols par la chlordécone n'était pas un problème spécifique à la Basse-Terre.

b. Données d'occupation du sol historique par d'autres cultures à risque

Quelques rares documents rendent compte de ces occupations du sol historiques en Guadeloupe, avec des degrés de différenciation des cultures plus ou moins prononcés et des couvertures géographiques différentes:

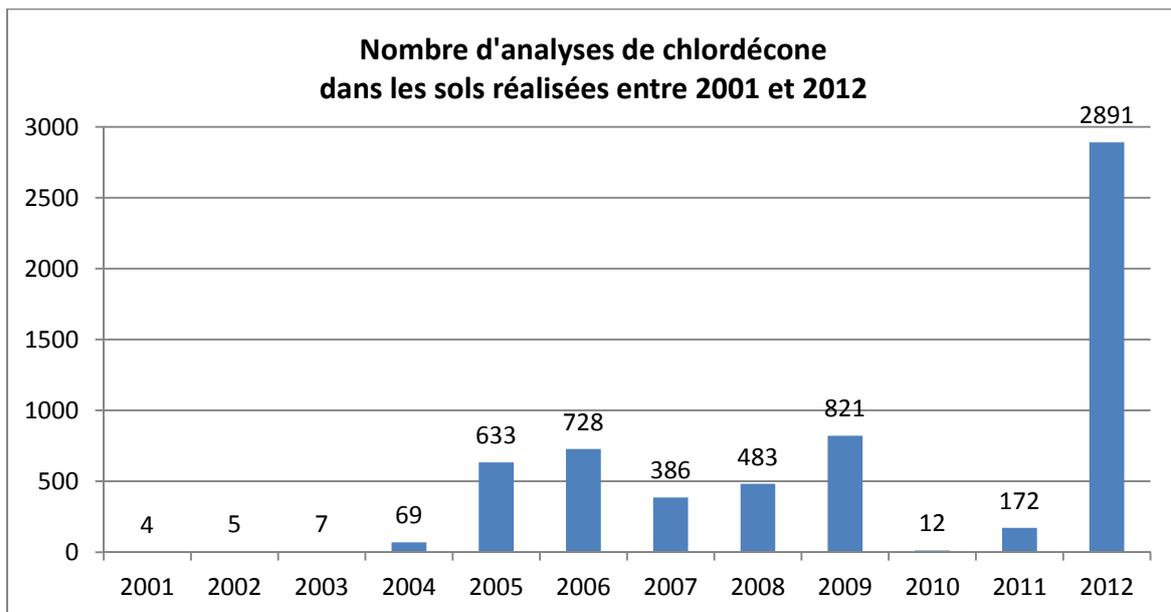
- Zonage culturel des régions bananières de Guadeloupe de 1976 (ORSTOM - SICA-ASSOBAG - DDA, 1977), échelle 1/20 000^{ème} ;
- Cartes des cultures de la Guadeloupe de 1980 (ORSTOM - DDA, 1980), échelle: 1/20 000^{ème} ;
- Atlas des départements français d'Outre-Mer - 3. La Guadeloupe, Planche 19: Utilisation du sol de 1980 (CNRS - ORSTOM, 1982), échelle: 1/150 000^{ème}.

Cependant, ces données ont été jugées trop imprécises et trop peu nombreuses pour être représentatives de la période d'utilisation de la chlordécone. Il a donc été décidé de ne pas en tenir compte pour le projet ChIEauTerre.

I-2-2. Données de contamination réelle

a. Données sur la contamination des sols

Pour avoir une vision plus exhaustive de la contamination des sols par la chlordécone en Guadeloupe, une base de données SIG unique (SIG CLD Réelle) a été mise en place en 2009-2010 dans le cadre du Plan d'Action Chlordécone (action 1 du plan d'action interministériel chlordécone I et action 2 du plan d'action II). Après une première phase conduite par le BRGM avec l'appui de la Safer, une mise à jour a été réalisée en 2012. La base de données regroupe ainsi 6 230 données spatialisées d'analyses de sol en chlordécone sur la Guadeloupe continentale. Les prélèvements correspondant ont été réalisés entre 2001 et 2012 par le programme Jafa (ARS) (54,0%), la Chambre d'Agriculture (CA) (37,2%), le Service de Protection des Végétaux (DAAF) (6,8%), et l'INRA (2,0%). Les figures suivantes présentent ces données (Fig. 2 et Fig. 3):



(19 analyses absentes car année non renseignée)

Fig. 2: Nombre d'analyses de chlordécone dans les sols réalisées entre 2001 et 2012

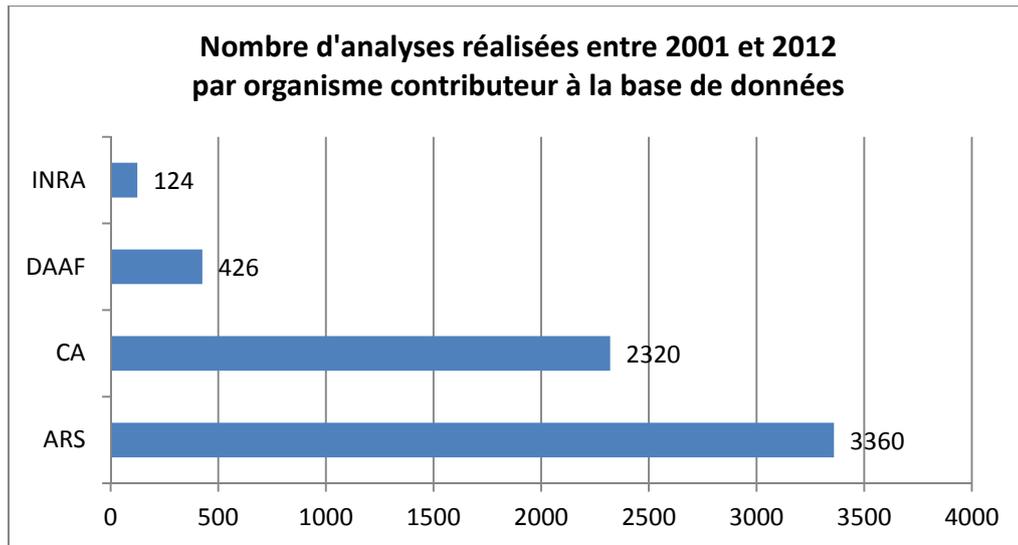


Fig. 3: Nombre d'analyses de chlordécone dans les sols réalisées entre 2001 et 2012 par organisme contributeur à la base de données

Cependant, les données ayant été intégrées à l'échelle de la parcelle et non à la zone de prélèvement *stricto sensu*, une même étendue spatiale pouvait présenter plusieurs valeurs de chlordécone, rendant difficile l'interprétation graphique de la donnée.

Pour les besoins du projet ChlEauTerre, cette base a donc été remaniée. Ainsi, pour des données correspondant à une même étendue parcellaire, seule la valeur la plus élevée de chlordécone a été conservée, sur la base d'un principe de précaution. Si pour une même parcelle, des données étaient représentées avec deux étendues spatiales de superficies significativement différentes, la donnée rattachée à la plus faible étendue a été conservée (car considérée comme plus précise) en la soustrayant spatialement de celle de plus grande envergure.

De cette manière, sur les 6 230 données que comportait initialement cette base SIG sur la Guadeloupe continentale, seules 4 501 d'entre elles ont été conservées.

b. Données sur la contamination des eaux

Une étude menée en 1999-2000 par la DDASS (devenue ARS) avait permis la découverte de la contamination de certaines eaux de distribution par la chlordécone. Les eaux de 4 captages de Basse-Terre avaient été prélevées, et l'ensemble des 12 analyses effectuées à l'époque dépassaient la norme de 0,1 µg/L (Bonan & Prime, 2001). Les services de l'État ont alors pris des dispositions pour compléter la surveillance des eaux réalisée par le contrôle sanitaire au niveau des captages, et un réseau de surveillance de la ressource a été mis en place (Godard *et al.*, 2016). Ainsi, dès l'année 2000, la chlordécone est recherchée par la DDASS dans les différents captages d'eau superficielle ou souterraine. Parallèlement, le suivi de la contamination de 10 cours d'eau par les produits phytosanitaires est mis en œuvre par la DIREN dans le cadre du Groupe Régional d'Étude des Pollutions par les Produits Phytosanitaires (GREPP). En 2008, ce suivi est étendu à 25 sites pour les besoins de la mise en œuvre de la surveillance de la qualité des milieux aquatiques au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et du GREPP. Depuis 2009 la DIREN (qui deviendra par la suite la DEAL) transfère à l'Office de l'Eau de Guadeloupe (OE971) la réalisation de ces suivis.

L'ensemble des données chlrodécone qui étaient disponibles sur les eaux de la Guadeloupe continentale au commencement de notre étude est répertorié dans le tableau suivant (Tab. 2):

Organisme	Type	Période	Nb stations	Nb données
DIREN/OE971	Eaux de surface	2003-2014	40	542
ARS	Eaux de surface (captages)	2000-2014	21	744
ARS	Eaux souterraines (captages)	2000-2014	29	487
ARS	Sources	2005, 2007, 2014-2015	27	50

Tab. 2: Données de contamination des eaux de Guadeloupe par la chlrodécone

Une base de données SIG a été créée dans le cadre du projet ChlEauTerre. Elle regroupe l'ensemble des stations de mesures disposant de données chlrodécone. Pour chacun de ces points de prélèvement, différentes caractéristiques ont été calculées et renseignées: le nombre d'analyses de chlrodécone disponibles jusqu'en 2015, le nombre d'analyses positives, le pourcentage d'analyses positives par rapport au nombre d'analyses total, la valeur moyenne, minimale et maximale des résultats existants ainsi que leur écart type.

I-3. Délimitation des bassins-versants

I-3-1. Démarche adoptée

Pour déterminer l'état de contamination des différents bassins versants de la Guadeloupe continentale, nous avons adopté une démarche basée sur l'analyse de la qualité des cours d'eau, en considérant que si une eau est contaminée, c'est qu'il existe une zone terrestre qui la contamine en amont. Cependant, les bassins ainsi que leurs réseaux de drainage ont dû être préalablement définis, délimités et générés par l'intermédiaire d'outils d'analyse spatiale. Nous avons donc déterminé en premier lieu le modèle numérique de terrain (MNT) à mobiliser pour notre étude.

I-3-2. Choix du Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Nous disposons de quatre MNT différents sur notre zone d'étude:

- le MNT 25m de la BD ALTI® de l'IGN, qui décrit le relief du territoire français à moyenne échelle. Historiquement calculée entre 1987 et 1995, la BD ALTI® était issue de la numérisation de cartes et de la restitution photogrammétrique. L'exactitude altimétrique du MNT dépend de l'origine des courbes de niveau et points cotés numérisés sur les feuilles IGN et qui servent au calcul de la grille au pas de 25m ;
- le MNT 10m de la DAAF, réalisé par le cabinet de géomètre OPSIA, qui possède une précision altimétrique de +/- 0,5m. Il ne couvre cependant pas la partie centrale de l'île de Basse-Terre ;
- le MNT 1m du RGE ALTI® de l'IGN, qui est composé initialement du MNT issu de la BD ALTI® à 25m, ré-échantillonné au pas de 1m, auquel sont intégrées progressivement les nouvelles données au rythme des réfections ;
- le MNT 1m du Litto3D®, couvrant l'ensemble de la frange littorale, réalisé en commun par le Service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) et l'IGN.

Le MNT que nous avons décidé d'utiliser pour notre étude est celui issu du RGE ALTI® de l'IGN, qui couvre l'ensemble de la Guadeloupe continentale au pas de 1m. Ce MNT a par la suite dû être modifié, car les éléments surélevés du réseau routier n'étaient pas ouverts et faisaient obstacle aux écoulements. En effet, ces éléments modifiaient artificiellement certains axes d'écoulement ainsi que les limites des bassins qui leur étaient associés. Pour s'affranchir de ces problèmes, le MNT a été dégradé au pas de 25m, mais a gardé comme avantage de disposer à la fois d'une couverture complète de la zone d'étude et d'une meilleure résolution verticale que les autres MNT.

Au début de notre étude, le MNT d'origine était cependant incomplet. En effet, un certain nombre de dalles étaient manquantes, dû à une réception incomplète de la livraison de l'IGN aux services de l'État. Ainsi, avant d'obtenir la version complète en mai 2016, nous avons été contraints de travailler avec une version hybride, reconstituée avec des données provenant de deux autres MNT (Fig. 4).

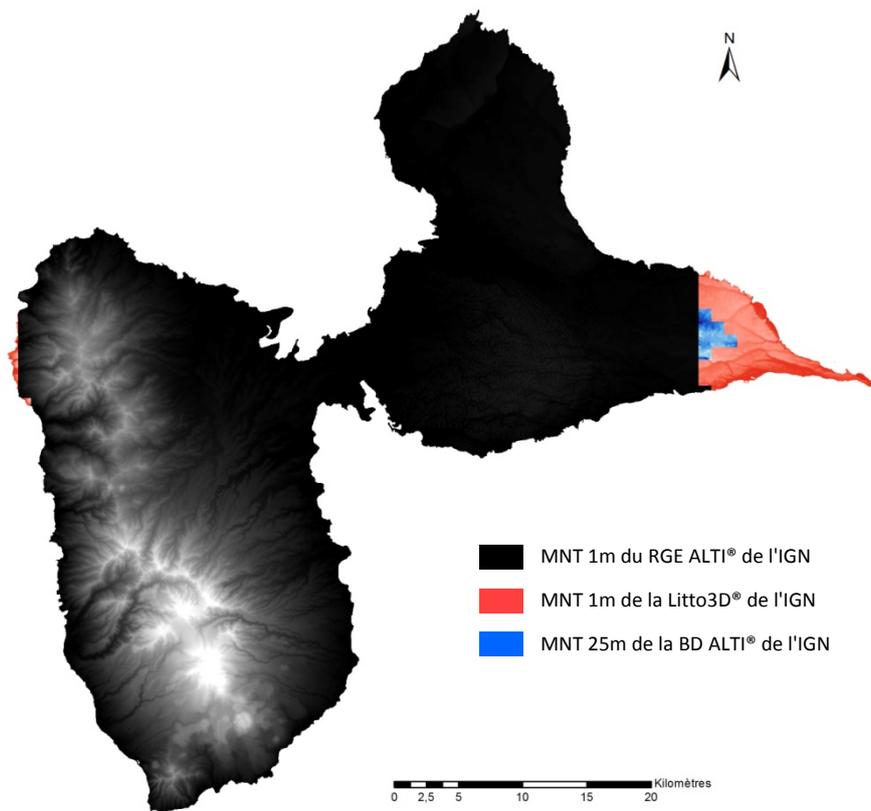


Fig. 4: Reconstitution du MNT 1m du RGE ALTI® de l'IGN

Le MNT a dans un premier temps été complété avec des données de même résolution (1m) issues de la Litto3D® de l'IGN. Ce modèle numérique altimétrique de la frange littorale permet de combler en grande partie les dalles manquantes puisqu'il s'étend à l'intérieur des terres jusqu'à au moins 2 km. Pour l'ensemble des dalles récupérées de la Litto3D®, les principales étapes d'analyse spatiale ont été les suivantes:

- délimitation des zones terrestres, constituées par les pixels dont l'altitude était > 0m ;
- élimination des artéfacts ;
- réalisation d'une morphologie mathématique de 30m pour lisser le contour.

Les 7 dalles restantes ont été complétées en utilisant des données de résolution inférieure, provenant du MNT 25m de la BD ALTI® de l'IGN, qui ont été ré-échantillonnées au pas de 1 m par la méthode bilinéaire.

Enfin, les différentes parties du MNT ont été réassemblées en réalisant un mosaïquage et les cellules en "NoData" présentes au sein du MNT ont été comblées en appliquant des filtres "passe-bas".

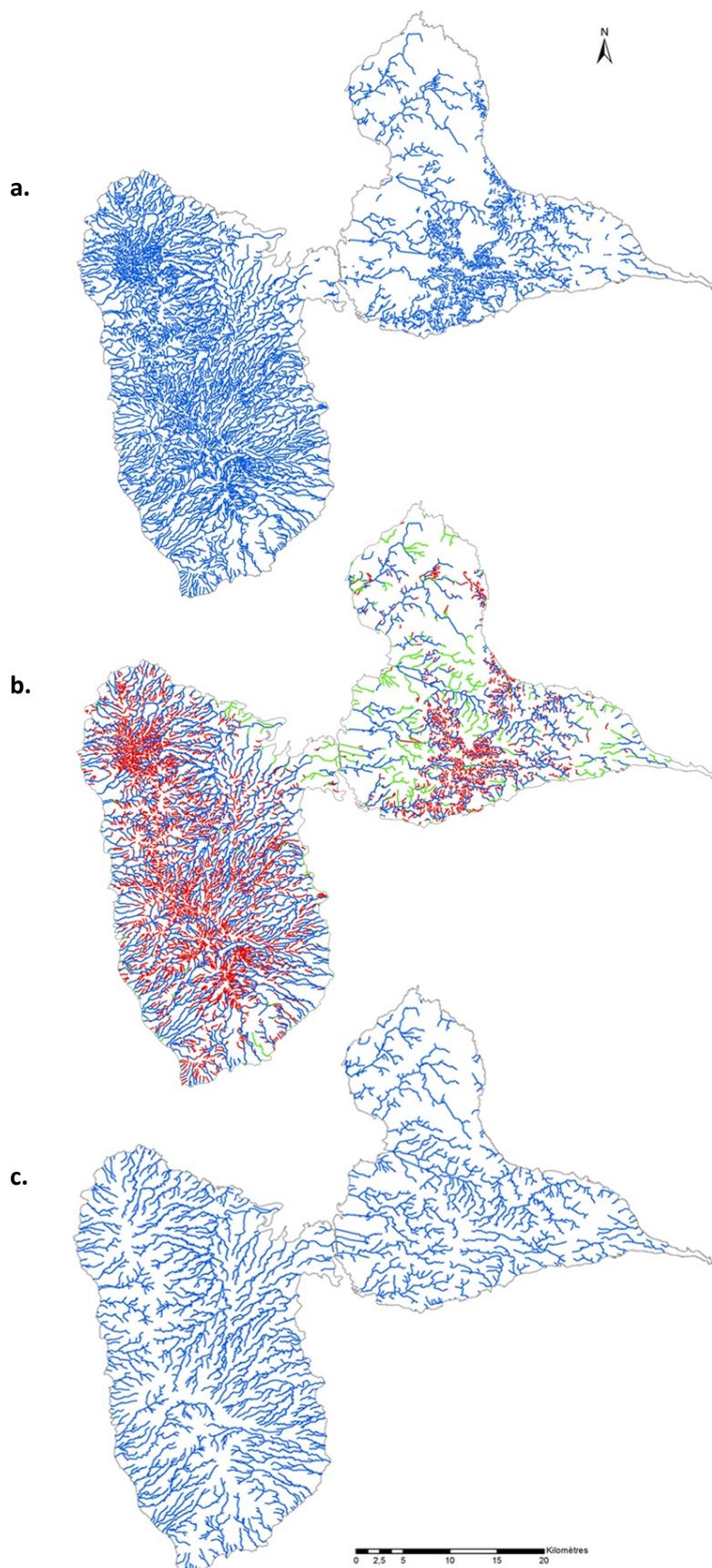
I-3-3. Traitement du réseau hydrographique de référence

En comparant le réseau hydrographique généré à partir du MNT (via les procédures classiques de l'analyse spatiale) à celui de la BD TOPO® de l'IGN, considéré comme référence, nous avons remarqué que les axes d'écoulement n'étaient pas toujours bien reproduits sur les parties planes (notamment à l'aval des bassins versants). En l'état actuel, le MNT ne nous permettait donc pas de pouvoir localiser précisément nos points d'échantillonnage, et donc de caractériser au mieux chaque sous-unité hydrographique correspondante.

Ces problèmes d'inéquation entre les réseaux hydrologiques issus de l'utilisation de données raster et les représentations vectorielles généralement admises avaient déjà été identifiés par des recherches antérieures (Saunders & Maidment, 1995; Mizgalewicz & Maidment, 1996). Ces incohérences sont en fait dues à des problèmes d'échelle et au manque de résolution verticale du MNT dans les zones planes. Une solution consiste alors à imposer le réseau hydrographique de référence au MNT (Saunders, 1999; Turcotte, 2001). Mais pour ce faire, le réseau hydrographique doit subir au préalable quelques traitements:

- limitation de la densité du réseau de drainage, afin d'éviter toute modification des limites des bassins versants. Le réseau a ainsi été généré à partir d'une superficie minimale d'alimentation fixée à 25 ha (procédure de traitement présentée en *Annexe 2*) ;
- prolongation des cours d'eau jusqu'à la limite extérieure du MNT, pour que les exutoires soient bien positionnés ;
- retrait/modification des cours d'eau parasites/erronés et élimination des artéfacts.

Les modifications apportées au réseau hydrographique initial de la BD TOPO® de l'IGN sont présentées en *Fig. 5*.



*Fig. 5: Modifications apportées au réseau hydrographique de la BD TOPO® de l'IGN
(a.) Réseau hydrographique d'origine, (b.) modifications apportées à ce réseau avec en vert les ajouts
et en rouge les suppressions, et (c.) réseau hydrographique finalisé pour l'étude.*

I-3-4. Forçage du MNT

Nous avons décidé d'utiliser la méthode AGREE, disponible via l'extension ArcHydro pour ArcGIS®. Cette méthode est en effet l'une des techniques de forçage les plus efficaces dans la mesure où elle propose une alternative plus simple que d'autres algorithmes en termes de calcul, tout en offrant un traitement plus efficace. Elle limite notamment l'introduction erronée d'axes d'écoulement parallèles et permet de générer des limites de bassins versants de meilleure conformité (Saunders, 1999).

D'un point de vue technique, la méthode AGREE intègre au MNT une couche vectorielle du réseau hydrographique, en modifiant l'altitude des cellules correspondantes sur le MNT (*smooth drop*). Elle crée ensuite une zone tampon autour des lignes de la couche vecteur (*buffer*) et lisse les élévations du MNT qui sont situées à l'intérieur, en les ajustant de manière linéaire entre le bord de la zone tampon et les axes d'écoulement. Elle remodifie enfin une nouvelle fois l'altitude des cellules correspondant à la couche vectorielle pour préserver les lignes d'écoulements imposés au MNT (*sharp drop*). Pour obtenir une description plus complète de la procédure, vous pouvez vous référer au lien internet suivant: <http://www.crrw.utexas.edu/gis/gishyd98/quality/agree/agree.htm>.

Cette méthode a ainsi été appliquée sur les deux îles de la Guadeloupe continentale. Ces dernières présentant des caractéristiques morphologiques bien distinctes l'une de l'autre, il a été décidé de les traiter séparément. Différentes gammes de paramètres, similaires à ce que l'on pouvait trouver dans la littérature (Baker *et al.*, 2006; Callow *et al.*, 2007), ont alors été testées (Tab. 3):

Buffer	Smooth drop	Sharp drop
1-2-3	5-10	1-2-3

Tab. 3: Paramètres testés pour la méthode AGREE

Les combinaisons ont été comparées entre elles suivant différents critères:

- l'adéquation entre le réseau hydrographique généré et celui de référence ;
- l'adéquation entre les bassins versants générés et le réseau hydrographique de référence ;
- la non modification des lignes de crêtes, en comparant les bassins versants générés à partir du forçage avec ceux n'en n'ayant pas subi.

Les jeux de paramètres qui ont ainsi été retenus sont les suivants (Tab. 4):

	Buffer	Smooth drop	Sharp drop
Basse-Terre	1	10	1
Grande-Terre	1	10	1

Tab. 4: Paramètres retenus pour la méthode AGREE

Il en résulte que les paramètres conservés sont identiques pour la Basse-Terre et la Grande-Terre. La valeur du paramètre "smooth drop" peut paraître élevé au regard de la résolution verticale du MNT, mais est pourtant nécessaire pour certains secteurs spécifiques de la Grande-Terre et de la Basse-Terre.

En finalité, nous avons obtenu un MNT corrigé reproduisant correctement les axes d'écoulement tout en respectant les limites des différents bassins versants.

I-3-5. Génération des bassins versants

Le MNT corrigé a été utilisé dans la procédure d'analyse spatiale de ArcGIS suivant la chaîne de traitement classique pour l'hydrologie: *Remplissage, Direction de flux, Accumulation de flux, Bassins versants* (la procédure complète de traitement est présentée en *Annexe 3*). Les bassins versants ont été générés jusqu'à leur exutoire mer en ne considérant que ceux qui étaient supérieurs à 50 ha (*Fig. 6*), superficie minimale fixée pour engendrer un ruissellement.

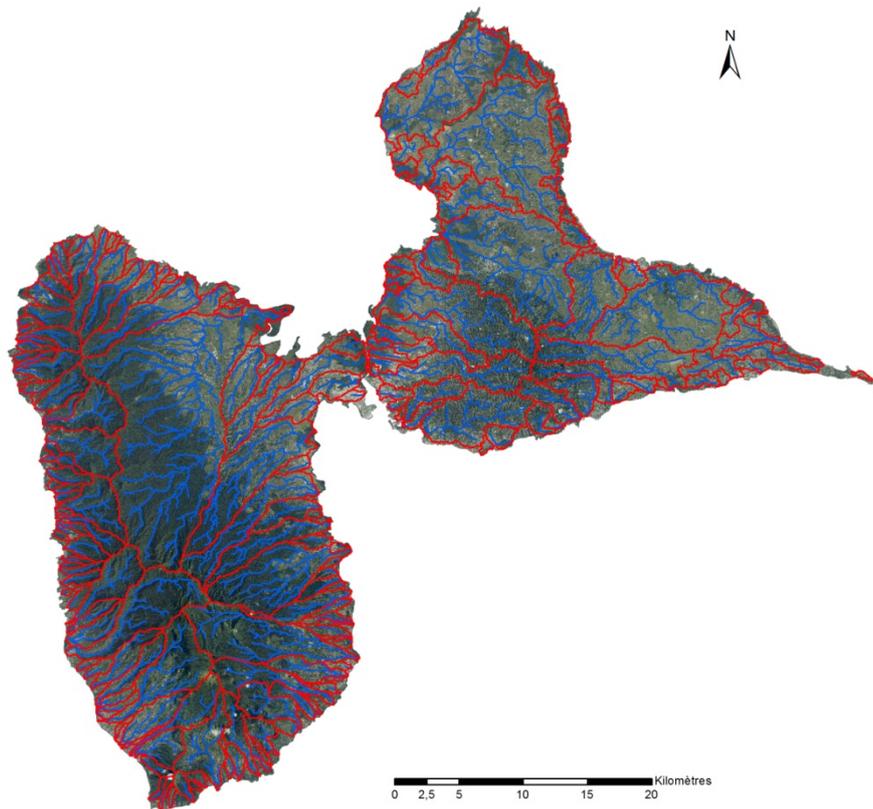


Fig. 6: Carte des bassins versants de Guadeloupe continentale de plus de 50 ha

Les bassins versants ont été numérotés sous la codification suivante: XX-000

XX: identifiant île (BT ou GT) ;

000: identifiant bassin versant (numérotation dans le sens antihoraire, débutant par le nord de chacune des îles).

Le nombre de bassins versants d'une superficie supérieure à 50 ha s'élève à :

- 130 pour la Basse-Terre ;
- 68 pour la Grande-Terre.

I-4. Prélèvements

La méthodologie que nous avons adoptée, qui sera détaillée dans les prochaines parties, s'appuie sur l'analyse des eaux de surface des bassins versants précédemment identifiés et de leurs sous-bassins, ainsi que sur l'analyse des sols de certaines parcelles. Cette méthodologie est structurée autour de plans d'échantillonnage particuliers, élaborés de manière à répondre au mieux à chacun des objectifs du projet ChIEauTerre, qui sont pour rappel:

- dresser un état des lieux général de la contamination des bassins versants par les pesticides ;
- identifier par une approche intégrée par bassin versant les zones terrestres concernées par une contamination par la chlordécone, en les distinguant de celles qui ne le sont pas.

Cependant, il a fallu dans un premier temps identifier les besoins du projet en termes d'analyses de pesticides, définir les protocoles de prélèvement à suivre pour les échantillonnages d'eau et de sol ainsi que les périodes de prélèvement les plus pertinentes pour chacune des deux îles.

I-4-1. Analyses de pesticides

Après avoir mis en place une procédure d'appel d'offre national, un marché d'analyses de pesticides a été établi avec le laboratoire départemental d'analyses de la Drôme (LDA26), pour lequel différents besoins ont été identifiés:

- des analyses des teneurs en multirésidus (466 matières actives recherchées, dont la chlordécone) dans les eaux (analyses MR) ;
- des analyses spécifiques des teneurs en chlordécone, chlordécol et chlordécone-5b-Hydro dans les eaux et les sols (analyses CLD).

Afin d'être en adéquation avec les problématiques de contaminations locales (provenant parfois de l'usage de pesticides spécifiques aux milieux tropicaux), nous avons élaboré la liste de multirésidus du projet ChIEauTerre sur la base de différentes listes préexistantes, issues de la réflexion de groupes de travail locaux:

- liste DCE+GREPP de l'OE ;
- liste de l'ARS ;
- liste ESU 2012 de l'OE ;
- liste ESO 2014, réalisée par le BRGM pour l'OE.

Certains des paramètres ont ensuite été écartés car ils nécessitaient des analyses spécifiques très coûteuses (*Annexe 4*). Enfin, la liste a été complétée avec des substances apparentées à celles retenues (même famille, métabolites...) car elles semblaient pertinentes et n'engendraient qu'un très faible surcoût. La liste complète des matières actives retenues pour le projet est présentée en *Annexe 5*.

En ce qui concerne la chlordécone, les méthodes utilisées par le LDA26 pour son analyse dans les eaux et les sols sont décrites en *Annexe 6*. Pour les échantillons d'eau, le laboratoire ne fournit pas de limite de détection, la limite de quantification est quant à elle de 0,01 µg/L. Pour les échantillons de sol, la limite de détection est de 2 µg/kg de sol sec et la limite de quantification de 5 µg/kg de sol sec.

I-4-2. Protocoles d'échantillonnage

Pour une parcelle donnée, la distribution spatiale de la chlordécone dans le sol est fortement hétérogène, et s'explique par différents facteurs (Cabidoche *et al.*, 2006):

- la variabilité spatiale de la matière organique du sol sur la parcelle, qui conditionne la rétention de la chlordécone sur celle-ci ;
- le mode d'application du produit, qui se faisait de manière très localisée au pied de chaque bananier, où était donc concentrée la chlordécone ;
- les pratiques de travail du sol opérées jusqu'à aujourd'hui, qui ont pu redistribuer la chlordécone en profondeur, de manières différentes suivant les types de labour effectués.

Le nombre de points de prélèvements préconisé par la littérature scientifique est de 20 par parcelle (Clostre *et al.*, 2013). Cependant, ce nombre élevé de prélèvements est difficile à mettre en œuvre sur un grand nombre d'échantillons. Pour notre étude, il a été décidé d'une densité de 15 prélèvements par hectare, avec un minimum de 8 prélèvements pour les parcelles de superficies inférieures. Ces points d'échantillonnage ont été disposés suivant des transects sur chaque parcelle et les prélèvements ont concerné uniquement l'horizon 0-30 cm, pour être en accord avec le référentiel existant.

Les protocoles d'échantillonnage ont spécialement été rédigés pour les prélèvements d'eau et de sol du projet ChlEauTerre. Le protocole d'échantillonnage d'eau s'est appuyé sur les recommandations AQUAREF, 2011. Les protocoles sont présentés en *Annexes 7 et 8*.

I-4-3. Périodes de prélèvement

a. Prélèvements d'eau

Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été réalisés sur des périodes hydrologiques différentes suivant leur localisation.

En Basse-Terre, des mesures antérieures, effectuées sur différents types de sols, ont montré que le ruissellement était largement minoritaire par rapport à l'infiltration. En effet, les taux de ruissellement ne sont que de 5 à 10 % pour les pluies de faible intensité, et s'élèvent au maximum à 30 % pour les événements intenses (Cattan *et al.*, 2006). Le ruissellement superficiel, caractérisé comme fugace, est en conséquence peu efficace dans le transport de pesticides. La contamination des cours d'eau se fait essentiellement via les nappes d'eau souterraines, qui soutiennent le débit des rivières en période de basses eaux (Charlier, 2007; Crabit, 2016). Cette période représente également l'état le plus stable du système hydrologique. Pour la Basse-Terre, les prélèvements d'eau ont donc été planifiés en période d'étiage, en faisant l'hypothèse que les bassins versants hydrologiques et hydrogéologiques sont identiques (même si cela n'est pas tout à fait exact en milieu volcanique).

En Grande-Terre, l'infiltration est également prépondérante par rapport au ruissellement superficiel, rendant ce dernier (estimé à 1 % de la pluviométrie annuelle) quasiment négligeable (Cottez, 1972). Cependant, la pluviométrie étant bien plus faible qu'en Basse-Terre, les écoulements dans les ravines sont très limités (apports 50 à 100 fois inférieurs) et très irréguliers (coefficient d'irrégularité de l'ordre de 20) (Morell, 1992), et donnent naissance à de nombreux phénomènes d'endoréisme. La présence d'eau en surface n'est donc pas assurée tout au long de l'année, et dépend fortement des apports ayant

lieu durant la saison des pluies. Pour la Grande-Terre, les prélèvements ont donc été planifiés en saison humide.

De cette manière, les prélèvements d'eau ont été programmés sur le territoire en fonction des contraintes climatiques spécifiques à chaque zone. Ils se sont déroulés suivant le calendrier présenté ci-après (Tab. 5). Ce dernier a cependant été fortement conditionné par une année hydrologique particulièrement sèche (2015-2016), caractérisée par une saison des pluies de faible intensité (-30% de précipitations par rapport à la moyenne des dix dernières années).

Période de prélèvements	Type d'analyse	Localisation
mi-septembre à mi-octobre 2015	MR	en Basse-Terre
fin novembre à mi-janvier 2016	CLD / MR	nord et sud-est de la Grande-Terre
mi-janvier à fin janvier 2016	CLD / MR	centre de la Grande-Terre
début février à mi-février et fin mars 2016	CLD	nord, est et sud de la Basse-Terre
fin février à mi-mars 2016	CLD / MR	sud-ouest de la Grande-Terre
début mai à fin juin 2016	CLD	reste de la Basse-Terre
début mai à fin juin 2016	MR-2	en Basse-Terre
septembre 2016	CLD	en Basse-Terre et Grande-Terre

CLD: analyses chlordécone, MR: analyses multirésidus, MR-2: 2^{ème} campagne de prélèvements MR

Tab. 5: Calendrier d'échantillonnage d'eau

Dans tous les cas, les prélèvements pour chaque bassin versant ont été réalisés dans la mesure du possible le même jour et/ou dans des conditions hydrologiques similaires. Si un cours d'eau était à sec le jour de la campagne de terrain, le prélèvement a été reprogrammé, lorsque cela était possible, postérieurement à un épisode pluvieux suffisant pour engendrer un ruissellement. Certains points projetés n'ont cependant jamais pu être prélevés.

b. Prélèvements de sol

Les prélèvements d'échantillons de sol ont été réalisés postérieurement aux campagnes d'échantillonnage d'eau, et se sont déroulés du 07/11/2016 au 12/12/2016.

Chapitre II : État des lieux de la contamination des bassins versants par les pesticides (analyses multirésidus)

L'objectif de cette partie est de dresser un état des lieux général de la contamination d'origine phytosanitaire des bassins versants présentant un fort intérêt agricole.

II-1. Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage s'appuie sur la réalisation d'analyses multirésidus (MR) dans les eaux aux exutoires mer des bassins versants présentant un intérêt agricole. Dans les cas où ces exutoires n'étaient pas accessibles (zones de mangrove, accès privés, reliefs escarpés,...), les points de prélèvements ont été déplacés vers l'amont, en occasionnant pour certains la subdivision du bassin versant principal en plusieurs de ses sous-bassins.

L'intérêt agricole de chacun de ces bassins a été évalué en calculant leur surface agricole disponible (SAD), définie dans l'étude "Délimitation et Caractérisation des Espaces Agricoles en Guadeloupe et à Saint-Martin" (SIRS, 2015). Une valeur seuil a ensuite été déterminée, en fonction du budget d'analyses prévu par le projet, pour identifier les bassins à prélever.

En Basse-Terre, on considère que la surface agricole est suffisante si la SAD est supérieure à 25 ha. Pour les bassins versants remplissant cette condition, deux campagnes de prélèvement ont été programmées sur deux périodes différentes (septembre-octobre 2015 et mai-juin 2016), en tenant ainsi compte de la variabilité des traitements au cours de l'année. En Grande-Terre, les écoulements étant beaucoup plus rares, le seuil de SAD a été élevé à 50 ha. Une seule campagne de prélèvement a été programmée du fait que la majorité des eaux de surface sont des eaux stagnantes, présentes qu'une partie de l'année. Sur les deux îles, les bassins présentant des superficies très importantes (retenues comme supérieures à 3500 ha) ont fait l'objet d'analyses multirésidus supplémentaires, en un ou plusieurs points du cours d'eau principal, dans le but d'observer différents états de contamination jusqu'à leur exutoire. Ce complément d'échantillonnage ne concerne qu'un bassin en Basse-Terre (celui de la Grande Rivière à Goyaves) et deux en Grande-Terre (ceux de la Ravine Gaschet et de la Ravine Cassis).

Ainsi, sur l'ensemble de la Guadeloupe continentale, un total de 153 analyses multirésidus (120 en Basse-Terre et 33 en Grande-Terre) a été effectué pour dresser un état des lieux de la contamination des bassins versants par les pesticides.

89 bassins versants ont été analysés à leur exutoire:

- 59 bassins en Basse-Terre (114 analyses MR réparties sur 2 campagnes) ;
- 30 bassins en Grande-Terre (30 analyses MR).

6 sous-bassins ont également été analysés:

- 3 sous-bassins (emboîtés les uns dans les autres) de la Grande Rivière à Goyaves (6 analyses MR réparties sur 2 campagnes) ;
- 2 sous-bassins de la Ravine Gaschet (2 analyses MR) ;
- 1 sous-bassin de la Ravine Cassis (1 analyse MR).

La localisation de l'ensemble de ces points de prélèvements d'eau est présentée sur la carte suivante (Fig. 7):

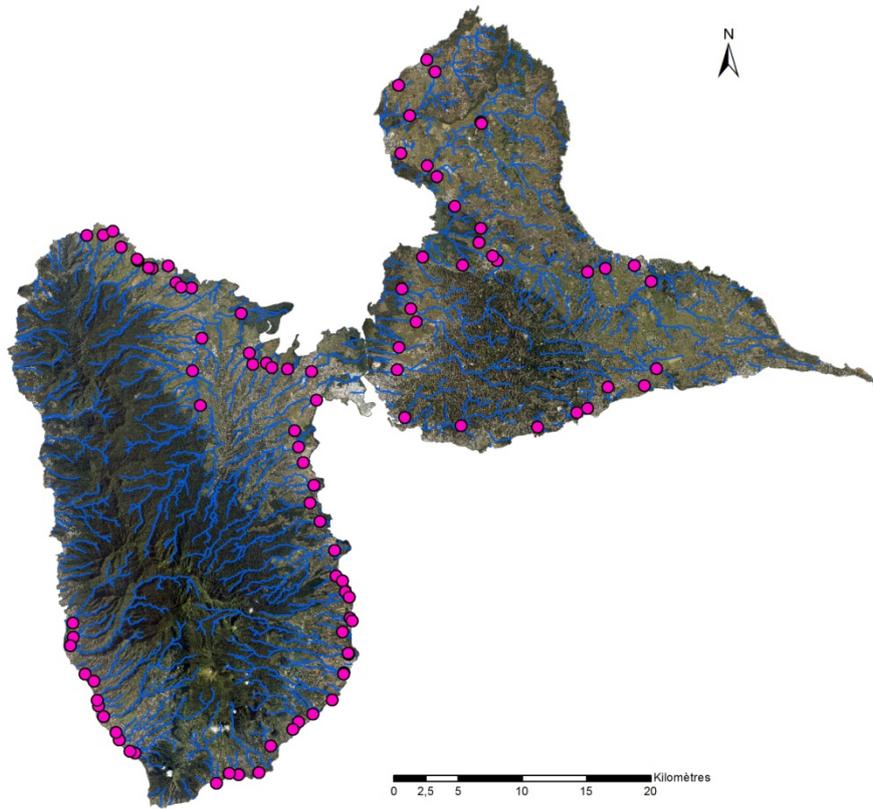


Fig. 7: Localisation des points d'analyses d'eau en multirésidus

II-2. Résultats des analyses multirésidus

Les résultats synthétiques des analyses d'eau en multirésidus sont présentés sur les cartes de la figure suivante (Fig. 8):

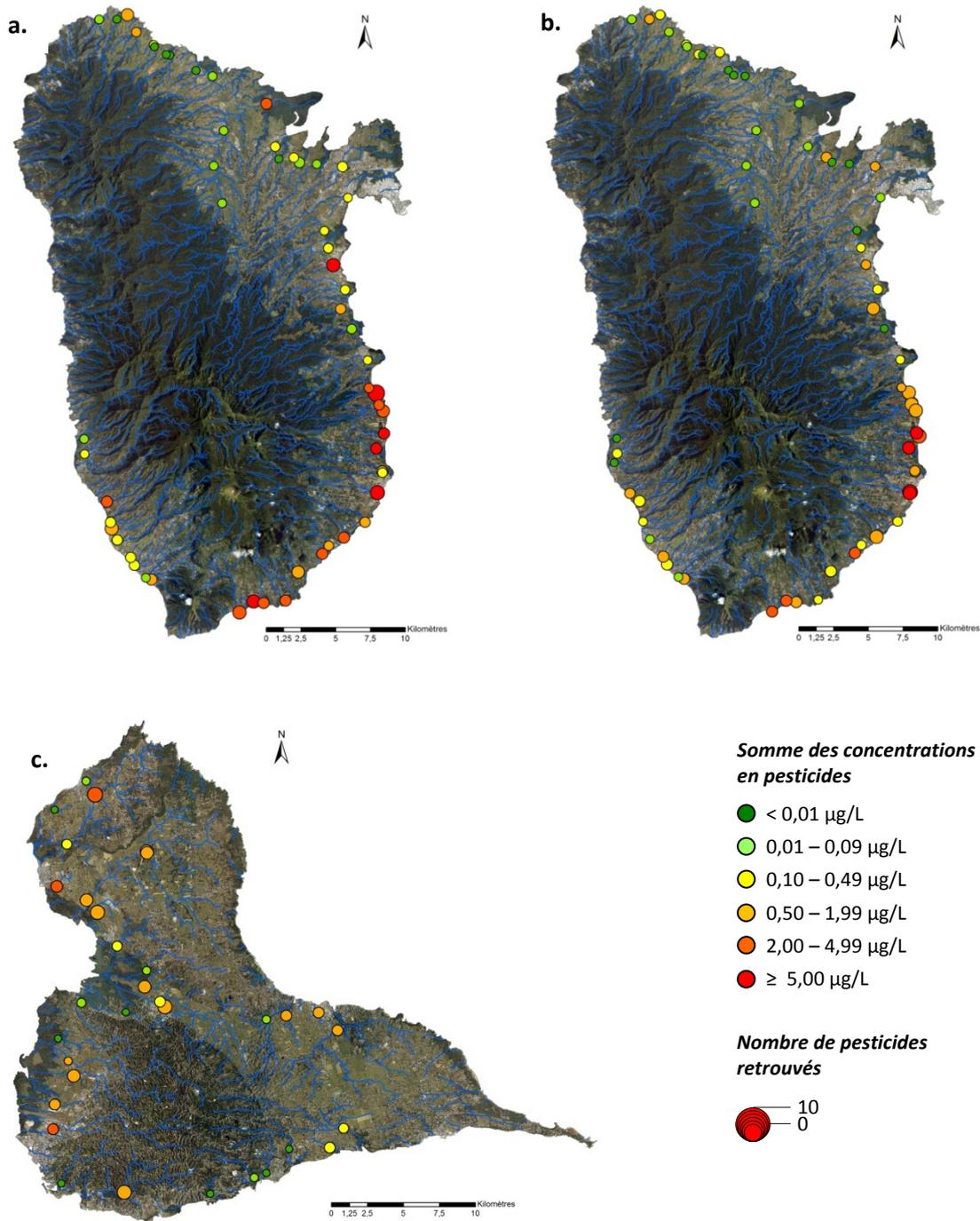


Fig. 8: Résultats synthétiques des analyses multirésidus sur le territoire guadeloupéen (a.) 1^{ère} campagne en Basse-Terre, (b.) 2^{ème} campagne en Basse-Terre, et (c.) campagne en Grande-Terre. Les concentrations en Grande-Terre sont données pour des eaux stagnantes.

Au total, 37 molécules de produits phytosanitaires ont été détectées dans les eaux de surface de Guadeloupe continentale durant les campagnes de prélèvements qui ont été menées (Tab. 6 à 9).

Fongicides

Substance	Code Sandre	Famille	Présence	Usages	Statut	Produits principaux
Azoxystrobine	1951	Strobilurines	Basse-Terre, Grande-Terre	Banane (post-récolte), maraîchage, cultures florales	Autorisé	Ortiva
Biphenyl	1584	Hydrocarbures aromatiques	Basse-Terre	Agrumes	Interdit	
Carbendazime	1129	Carbamates	Grande-Terre	Maraîchage	Interdit (2009)	Brior flo
Imazalil	1704	Imidazoles	Basse-Terre, Grande-Terre	Banane, agrumes	Autorisé	Fungaflor
Propiconazole	1257	Triazoles	Grande-Terre	Banane, rosier	Autorisé	Tilt, Polyflor
Thiabendazole	1713	Benzimidazoles	Basse-Terre, Grande-Terre	Banane (post-récolte), pomme de terre	Autorisé	Tecto

Tab. 6: Résidus de fongicides retrouvés en Guadeloupe continentale (source: e-phy)

Herbicides

Substance	Code Sandre	Famille	Présence	Usages	Statut	Produits principaux
1-(3,4-DichloroPhényl)-3-MéthylUrée <i>Métabolite du Diuron</i>	1929	Urées substituées	Grande-Terre	Banane, canne à sucre, ananas, désherbage non agricole	Interdit (2003)	Karmex
2,4-D	1141	Aryloxyacides	Basse-Terre, Grande-Terre	Canne, désherbage non agricole, gazons de graminées, broussailles, forêt	Autorisé	Dicopur
2,6 Dichlorobenzamide <i>Métabolite du Dichlobenil</i>	2011	Benzonitriles	Grande-Terre	Arbres et arbustes, désherbage non agricole	Interdit (2010)	Herbonex T Granulé, Désherbant Allées Granulé UC BASF HJ
AMPA <i>Métabolite du Glyphosate</i>	1907	Acides aminés	Basse-Terre, Grande-Terre	Désherbant multiusage, homologué entre autres sur banane, canne et maraîchage	Autorisé	Roundup, Kick off, Glyfort
Asulam	1965	Carbamates	Basse-Terre, Grande-Terre	Canne	Autorisé	Asulox

Bromacil	1686	Uraciles	Basse-Terre	Ananas, agrumes, désherbage non agricole	Interdit (2003)	
Chloridazone (Pyrazon)	1133	Diazines	Basse-Terre	Betterave	Autorisé	
Clopyralide	1810	Dérivés picoliniques	Grande-Terre	Gazons de graminées, prairies	Autorisé	Scanner, Désherbant Gazon Lonpar
Dicamba	1480	Acides benzoïques	Basse-Terre, Grande-Terre	Canne, désherbage non agricole, gazons de graminées, prairies, maïs	Autorisé	Dicophar, Opal SL, Praixone
Diuron	1177	Urées substituées	Basse-Terre, Grande-Terre	Banane, canne à sucre, ananas, désherbage non agricole	Interdit (2008)	Karmex
Fluroxypyr	1765	Pyridines	Grande-Terre	Canne, désherbage non agricole, dévitalisation souches et broussailles	Autorisé	Evade
Glyphosate	1506	Acides aminés	Basse-Terre, Grande-Terre	Désherbant multiusage, homologué entre autres sur banane, canne et maraîchage	Autorisé	Roundup, Kick off, Glyfort
Hydroxyatrazine (2 Hydroxy) <i>Métabolite de l'Atrazine</i>	1832	Triazines	Basse-Terre, Grande-Terre	Désherbant multiusage	Interdit (2003)	
Hydroxyterbuthylazine <i>Métabolite de la Terbuthylazine</i>	1954	Triazines	Basse-Terre, Grande-Terre	Désherbant multiusage	Interdit (2004)	
Mecoprop (MCP)	1214	Acides benzoïques	Basse-Terre, Grande-Terre	Gazons de graminées	Autorisé	Novertex N
Mésotrione	2076	Tricétones	Grande-Terre	Canne, maïs	Autorisé	Callisto
Métolachlore (R+S)	1221	Chloroacétamides	Grande-Terre		Interdit (2003)	
Norflurazon Desméthyl <i>Métabolite du Norflurazon</i>	2737	Pyridazinones	Grande-Terre		Interdit (2003)	
Propazine-2-Hydroxy <i>Métabolite de la Propazine</i>	5968	Triazines	Grande-Terre		Interdit (2003)	
Triclopyr	1288	Pyridines	Basse-Terre, Grande-Terre	Forêt, broussailles, désherbage non agricole	Autorisé	Debrouxal Net, Genoxone

Tab. 7: Résidus d'herbicides retrouvés en Guadeloupe continentale (source: e-phy)

Insecticides

Substance	Code Sandre	Famille	Présence	Usages	Statut	Produits principaux
Allethrine	1697	Pyréthriinoïdes	Basse-Terre	Moustiques	Interdit	
Chlordécol <i>Métabolite de la Chlordécone</i>	7527	Organochlorés	Basse-Terre	Banane	Interdit (1993)	Curlone, Kepone
Chlordécone	1866	Organochlorés	Basse-Terre, Grande-Terre	Banane	Interdit (1993)	Curlone, Kepone
Chlordécone 5b Hydro <i>Métabolite de la Chlordécone</i>	6577	Organochlorés	Basse-Terre	Banane	Interdit (1993)	Curlone, Kepone
Dieldrine	1173	Organochlorés	Basse-Terre	Banane	Interdit (1972)	
HCH Alpha <i>Isomère du HCH</i>	1200	Organochlorés	Basse-Terre	Banane	Interdit (1998)	
HCH Beta <i>Isomère du HCH</i>	1201	Organochlorés	Basse-Terre	Banane	Interdit (1998)	
Piperonyl Butoxide	1709	Synergisant pour insecticides	Basse-Terre	Arbres et arbustes, maraîchage, cultures florales	Autorisé	KB Insectes Légumes B, Vilmorin Insecticide SP
Rotenone	2029	Ichtyotoxines	Basse-Terre	Maraîchage	Interdit (2009)	

Tab. 8: Résidus d'insecticides retrouvés en Guadeloupe continentale (source: e-phy)

Nématicides

Substance	Code Sandre	Famille	Présence	Usages	Statut	Produits principaux
Fosthiazate	2744	Organophosphorés	Basse-Terre	Banane, pomme de terre	Autorisé	Nemathorin
Oxamyl	1850	Carbamates	Basse-Terre	Maraîchage, maïs, tabac, cultures ornementales	Autorisé	Vydate

Tab. 9: Résidus de nématicides retrouvés en Guadeloupe continentale (source: e-phy)

II-2-1. Évaluation du degré de contamination des bassins versants

Les concentrations totales en pesticides qui ont pu être relevées dans les eaux ont été comparées, à titre indicatif, aux dispositions réglementaires en matière d'eau potable (Tab. 10).

	Concentration pour chaque pesticide	Concentration totale en pesticides
Eaux destinées à la consommation humaine	<0,1 µg/L (<0,03 µg/L pour l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachloroépoxyde)	<0,5 µg/L
Eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable avant traitement	<2 µg/L	<5 µg/L

Tab. 10: Dispositions réglementaires en matière d'eau potable

En Basse-Terre, si l'on considère uniquement les points d'échantillonnage situés à l'aval des 59 bassins versants analysés, en excluant de l'analyse les résultats obtenus sur des eaux stagnantes, il en résulte que:

- 27,1 % des eaux analysées seraient conformes (au regard du taux de pesticides) à la norme réglementaire pour les eaux destinées à la consommation humaine, sans qu'il y ait besoin de traitement spécifique (concentration <0,1 µg/L pour chaque pesticide (<0,03 µg/L pour l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachloroépoxyde) et concentration totale <0,5 µg/L pour l'ensemble des pesticides détectés);
- 28,8 % ne seraient pas conformes pour la production d'eau potable (concentration >2 µg/L pour chaque pesticide et concentration totale >5 µg/L pour l'ensemble des pesticides détectés).

Les bassins les plus contaminés se situent principalement sur les communes de Trois-Rivières et Capesterre-Belle-Eau, et présentent notamment de forts taux de chlordécone.

Si l'on s'intéresse au nombre de molécules différentes retrouvées par bassin sur l'ensemble des analyses effectuées lors des deux campagnes, on peut noter que:

- 15,9 % des bassins ne contiennent pas de pesticide ;
- 68,2 % contiennent entre 1 et 4 pesticides ;
- 15,9 % contiennent 5 pesticides ou plus.

Pour la Grande-Terre, bien que les eaux situées à l'aval de nombreux bassins soient contaminées, la précédente analyse n'a pas été réalisée car la majorité des prélèvements ont été effectués sur des eaux stagnantes, qui ne représentent donc pas un état stable propice à la comparaison interbassins.

II-2-2. Analyse descriptive par substance

Les molécules retrouvées en Basse-Terre et en Grande-Terre ont été classées en fonction du nombre de bassins versants sur lesquels elles ont été détectées (Fig. 9):

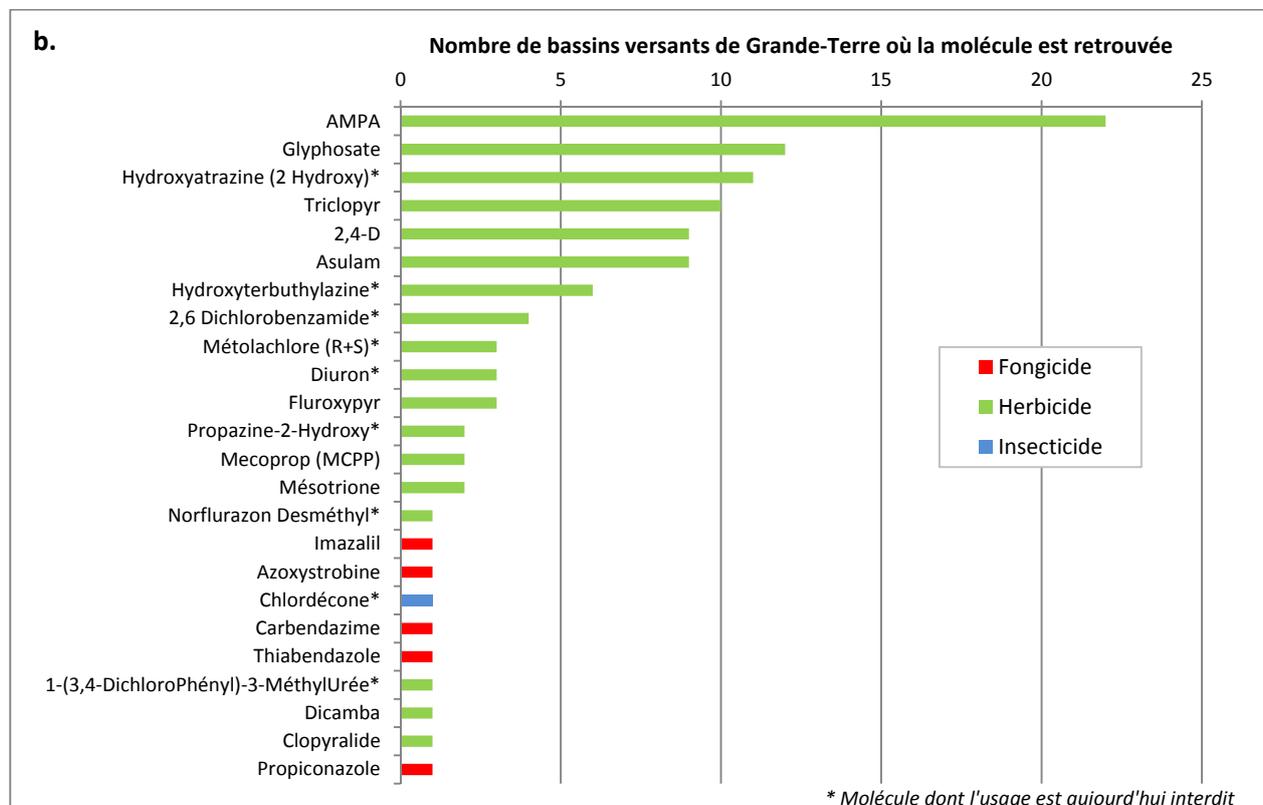
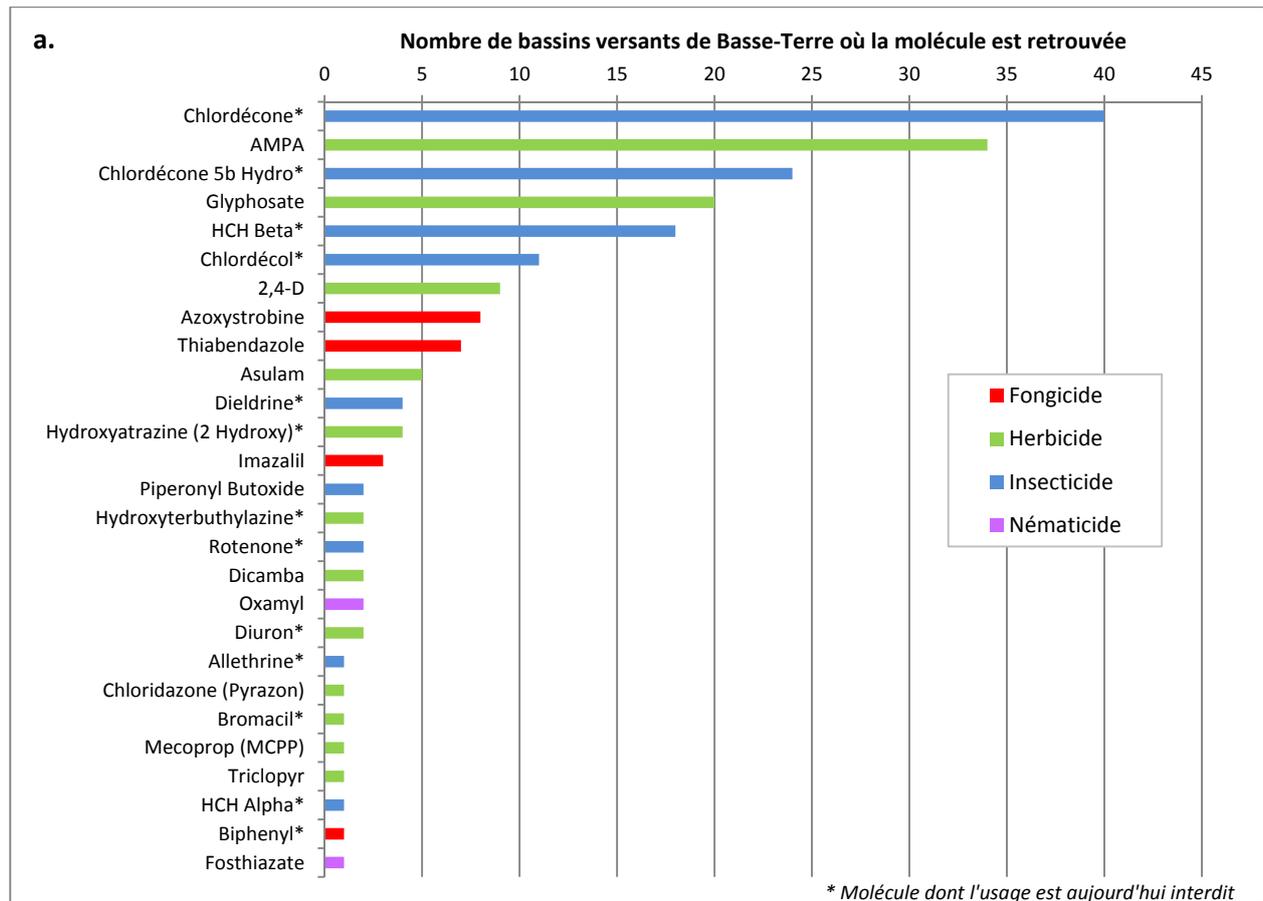


Fig. 9: Analyse de la présence de matières actives phytosanitaires ou de leurs résidus à l'exutoire de 62 bassins de la Basse-Terre (a.) et de 33 bassins de la Grande-Terre (b.)

En Basse-Terre, les pesticides qui ont été le plus souvent retrouvés sont la chlordécone et ses métabolites (chlordécone-5b-Hydro et chlordécol), le glyphosate et son métabolite AMPA et le HCH Beta. Viennent ensuite le 2,4-D, l'azoxystrobine, le thiabendazole, et l'asulam.

La chlordécone et le HCH, interdits respectivement depuis 1993 et 1998, sont des insecticides qui étaient utilisés dans les bananeraies et dont la très forte rémanence fait qu'on les retrouve encore aujourd'hui dans les cours d'eau guadeloupéens. Le glyphosate est un herbicide qui est beaucoup utilisé comme désherbant pour de multiples usages. Le 2,4-D et l'asulam sont également des herbicides, mais sont quant à eux utilisés exclusivement sur canne à sucre. Enfin, l'azoxystrobine et le thiabendazole sont des fongicides utilisés dans le traitement post-récolte des bananes, le premier étant également utilisé en maraîchage.

En Grande-Terre, la grande majorité des substances retrouvées sont des herbicides. On peut citer notamment le glyphosate et son métabolite AMPA, l'hydroxyatrazine (2 Hydroxy), le triclopyr, le 2,4-D, l'asulam et l'hydroxyterbutylazine. Au-delà des substances déjà présentées pour la Basse-Terre, on retrouve l'hydroxyatrazine (2 Hydroxy), l'hydroxyterbutylazine et triclopyr. Les deux premiers sont des métabolites respectivement de l'atrazine et de la terbutylazine, désherbants multiusage dont l'utilisation est interdite depuis 2003 et 2004. Le dernier, enfin, est un débroussaillant qui est autorisé sur prairie permanente ou pour des traitements généraux.

II-2-3. Analyse descriptive par type de pesticide

En Basse-Terre, 45 % des molécules retrouvées (substances actives ou produits de dégradation) correspondent à des herbicides, 33 % à des insecticides, 15 % à des fongicides et enfin environ 7 % à des nématicides (Fig. 10 a.). En Grande-Terre, les $\frac{3}{4}$ des substances retrouvées sont des herbicides, 21 % correspondent à des fongicides et enfin 4 % à des insecticides (correspondant à la seule molécule de chlordécone) (Fig. 10 b.). Aucun nématicide n'a été retrouvé en Grande-Terre lors de la campagne de prélèvement.

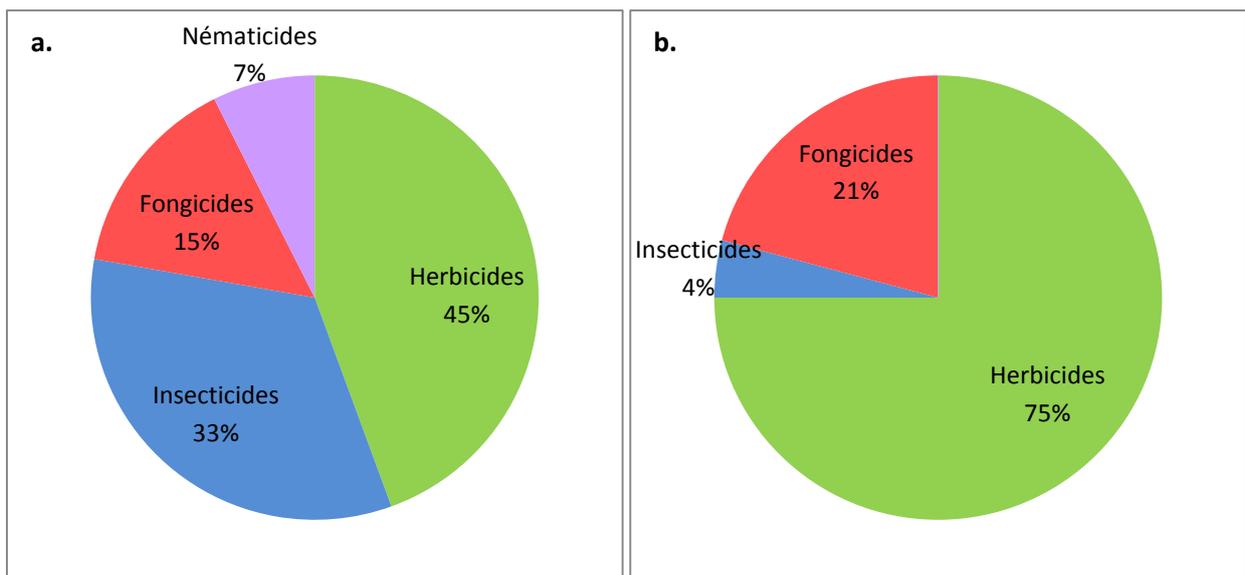


Fig. 10: Proportion des différents usages de pesticides retrouvés en Basse-Terre (a.) et en Grande-Terre (b.)

II-2-4. Contamination par des pesticides interdits

La moitié des pesticides qui ont été retrouvés (19 sur 37) correspondent à des substances qui ne sont plus autorisées aujourd'hui mais qui persistent dans l'environnement (Fig. 11). Ainsi, presque la moitié des herbicides rencontrés sont des molécules qui ont été interdites entre 2003 et 2010, et la quasi-totalité des insecticides sont des organochlorés, interdits entre 1972 et 1998, mais possédant une très forte rémanence.

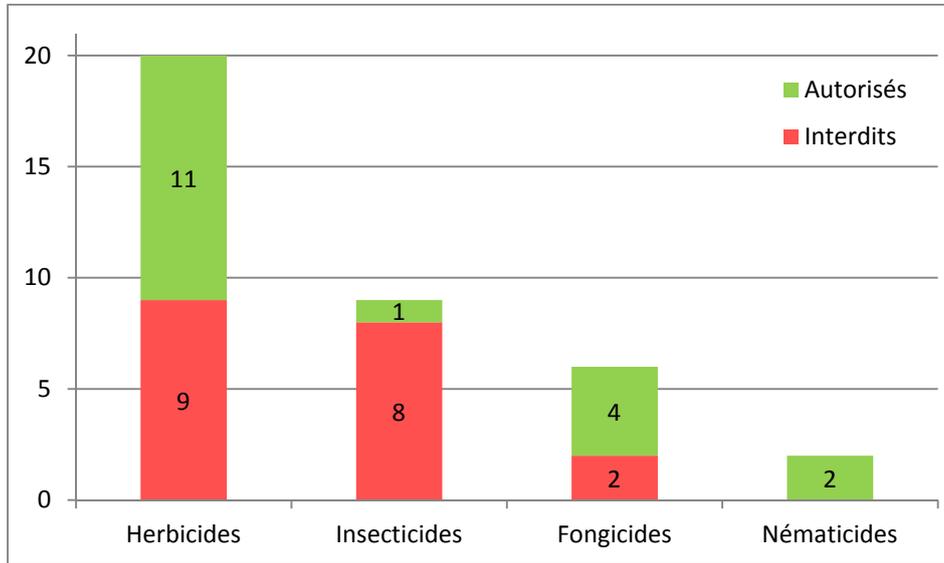


Fig. 11: Statut réglementaire des pesticides retrouvés en Guadeloupe continentale, regroupés par usage

Si l'on cherche à raisonner en termes de concentration, seuls les résultats de la Basse-Terre peuvent être analysés puisque, contrairement à la Grande-Terre, la quasi-totalité des prélèvements y a été effectuée dans des cours d'eau en écoulement. Ainsi, sur le total des concentrations retrouvées en pesticides sur l'ensemble des bassins analysés, on se rend compte que la grande majorité de la contamination des eaux est issue de pesticides aujourd'hui interdits (89 %) (Fig. 12). Ces pesticides sont dominés par la chlordécone et ses métabolites, qui atteignent à eux seuls à 86,5 % de la concentration totale en pesticides, loin devant le glyphosate et son métabolite l'AMPA, qui en représentent 8,4 %.

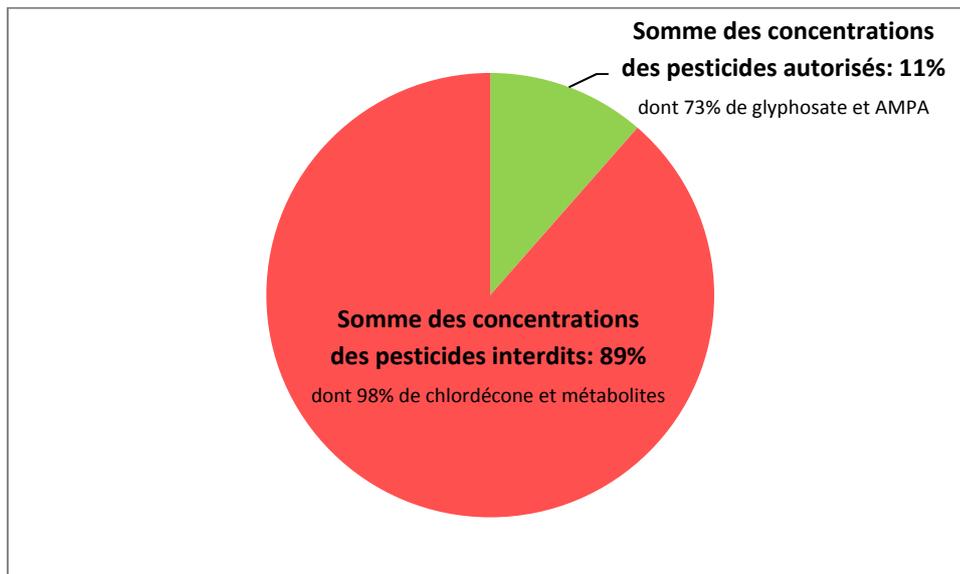


Fig. 12: Proportion de pesticides autorisés et interdits sur la somme des concentrations relevées en Basse-Terre

II-2-5. Contamination par des fongicides de traitement post-récolte de la banane

Les fongicides de traitement post-récolte sont utilisés pour protéger les bananes durant leurs phases de conservation et de maturation. Ils sont appliqués directement sur les fruits à l'intérieur des hangars des exploitations, où différents systèmes de traitement peuvent être utilisés : trempage, pulvérisateur, buses à débit élevé, lame ou buses bas-volume. Cependant, il y a encore quelques années, la majorité des bouillies issues de ces traitements était rejetée dans l'environnement.

Afin de réduire les risques pour la santé humaine et l'environnement, un dispositif a été mis en place en 2011, avec notamment:

- une incitation faite par les pouvoirs publics aux producteurs (sous forme de subventions provenant de fonds européens et de l'Office de l'Eau) afin de mieux traiter les eaux de rejet de leurs hangars (où les bananes sont lavées et conditionnées pour l'exportation) ;
- la mise en place d'une filière de collecte et d'élimination des eaux de rejet.

Les analyses multirésidus effectuées dans le cadre du projet ChlEauTerre ont permis de mettre en évidence des bassins où les eaux sont contaminées par ces fongicides. Certains d'entre eux présentent des taux assez élevés, qui pourraient indiquer l'existence dans ces zones de pratiques à modifier. Sur l'ensemble de la Guadeloupe continentale, trois fongicides post-récolte différents, tous homologués, ont pu être retrouvés: l'azoxystrobine, l'imazalil et le thiabendazole (limite de quantification respectivement de 0,01 µg/L, 0,02 µg/L et 0,02 µg/L).

En Basse-Terre, sur les 40 bassins possédant une sole bananière (données issues de la base Agrigua 2014), 11 présentaient une contamination des eaux avec au moins un des fongicides précédemment cités. Pour 3 d'entre eux, les taux relevés étaient relativement élevés:

- BT-053: la Ravine des Corsaires (Baillif), avec 0,38 µg/L ;
- BT-084: la Rivière Saint-Denis (Capesterre-Belle-Eau), avec 0,287 µg/L ;
- BT-094: la Ravine du Carénage (Capesterre-Belle-Eau), avec 0,113 µg/L.

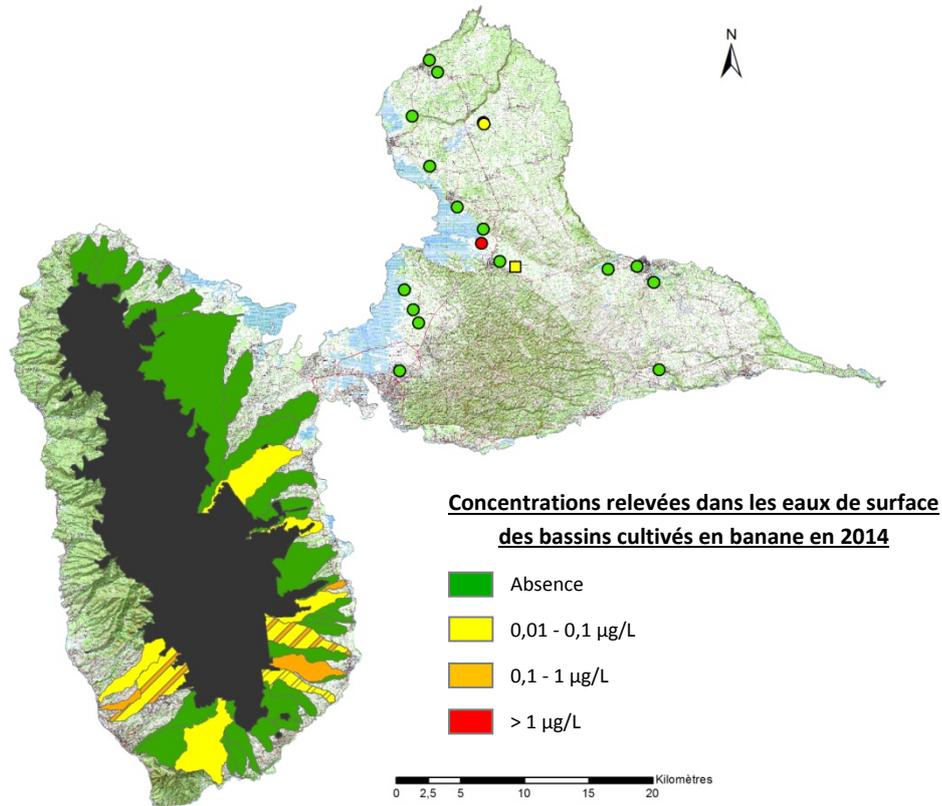
Les données DIREN/OE971 révèlent que des taux similaires ont déjà été retrouvés par le passé sur 2 autres bassins:

- BT-055: la Rivière des Pères (Basse-Terre), avec 0,28 µg/L en mai 2013 ;
- BT-086-2: la Grande Rivière de Capesterre (Capesterre-Belle-Eau), avec 0,16 µg/L en septembre 2012, 0,265 µg/L en novembre 2013 et 0,2 µg/L en décembre 2013.

En Grande-Terre, sur les 19 bassins possédant une sole bananière, on n'en relève qu'un seul présentant des fongicides post-récolte, avec un taux relevé relativement faible (0,027 µg/L). En revanche, un point de contamination très important (1,03 µg/L) a été détecté sur un chenal connecté au Canal de Malanga à Morne-à-l'Eau (GT-010-2-2) alors qu'aucune culture de banane n'est implantée sur son bassin versant. Aucune explication ne peut être apportée pour l'instant, à l'exception de l'implantation éventuelle d'une nouvelle exploitation à partir de 2015.

Les données DIREN/OE971 révèlent quant à elles une contamination par ces fongicides sur l'unique station suivie en Grande-Terre. Il s'agit de celle de la Ravine des Coudes (Morne-à l'Eau), avec une concentration enregistrée à la limite du seuil de quantification (0,01 µg/L) en novembre 2011.

La carte suivante (Fig. 13) présente l'ensemble de ces données:



Les données issues du projet ChIEauTerre sont représentées sous la forme de bassins versants en Basse-Terre et de points de prélèvement en Grande-Terre (cercles). Celles provenant de la base de données DIREN/OE971 sont représentées par des hachures en Basse-Terre et des carrés en Grande-Terre (avec le même code couleur).

Fig. 13: Concentrations des fongicides utilisés dans le traitement post-récolte des bananes (azoxystrobine, imazalil et thiabendazole) dans les eaux de surface des bassins présentant une sole bananière en 2014

II-3. Conclusion

Au total, 37 molécules différentes de produits phytosanitaires ont été détectées dans les eaux de surface des bassins versants de Guadeloupe continentale. La moitié d'entre elles correspond à des substances qui ne sont plus autorisées mais qui persistent dans l'environnement. En Basse-Terre, 15,9 % des bassins versants analysés ne contiennent pas de pesticides dans leurs eaux. Pour les autres bassins, les pesticides qui ont été le plus souvent retrouvés sont des insecticides aujourd'hui interdits, la chlordécone et ses métabolites et le HCH Beta, ainsi qu'un herbicide, le glyphosate et son métabolite AMPA. En Grande-Terre, on retrouve essentiellement des herbicides, représentant 75 % des molécules détectées, avec encore une fois le glyphosate et son métabolite AMPA. En ce qui concerne les fongicides post-récoltes de la banane, on a identifié en Basse-Terre 3 bassins avec des taux relativement élevés (compris entre 0,113 et 0,38 µg/L), sur les communes de Baillif et de Capesterre-Belle-Eau. En Grande-Terre, un point de contamination très important (1,03 µg/L) a été détecté sur un chenal connecté au Canal de Malanga à Morne-à-l'Eau alors qu'aucune culture de banane n'est implantée sur son bassin versant.

Chapitre III : Identification de zones contaminées et non contaminées par la chlordécone (analyses spécifiques chlordécone)

L'objectif de cette partie du rapport est de différencier des secteurs géographiques qui seraient contaminés par la chlordécone d'autres qui ne le seraient pas. Pour cela, des prélèvements d'eau ont été effectués sur toute la Guadeloupe continentale, complétés par la suite par des analyses de sol sur certaines parcelles.

III-1. Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage vient compléter les points d'analyse de chlordécone qui ont été effectués précédemment lors des analyses MR. Pour ce faire, des analyses spécifiques de chlordécone (CLD) ont été réalisées à l'exutoire des bassins versants qui n'avaient pas été retenus pour une analyse MR, c'est-à-dire sur ceux présentant une SAD < 25 ha en Basse-Terre et une SAD < 50 ha en Grande-Terre.

Les différents bassins ont par la suite été subdivisés en sous-unités en fonction de la distribution spatiale des données de contamination réelle et/ou potentielle existantes pour chacun d'entre eux.

En Basse-Terre, sur les bassins versants possédant une SAD supérieure à 25 ha, il a été possible d'identifier des sous-bassins de superficie supérieure à 50 ha qui ne présentaient pas de contamination connue par la chlordécone, ou alors uniquement sur des superficies très faibles. Des points d'échantillonnage ont été identifiés le long de leurs cours d'eau, à raison d'un point tous les 1,2 km environ, pour réaliser des analyses CLD. Cela a permis de disposer d'un maillage suffisant à la fois pour repérer une contamination mais aussi pour pouvoir suivre son évolution d'amont en aval du bassin. En ce qui concerne les bassins versants disposant d'une SAD inférieure à 25 ha, il a été considéré que l'analyse CLD effectuée à leur exutoire était suffisante pour évaluer leur contamination par la chlordécone. Cependant, sur les bassins versants présentant des zones à risque relativement importantes, des points d'échantillonnage supplémentaires ont tout de même été ajoutés pour permettre de les caractériser plus finement.

Pour la Grande-Terre, les données existantes sur la contamination par la chlordécone sont peu nombreuses et les écoulements ne sont pas permanents. Il a donc fallu réaliser un maillage sur l'ensemble du territoire, mais cette fois-ci dans l'objectif d'obtenir des informations sur la contamination de zones hydrologiquement déconnectées les unes des autres la majeure partie de l'année. Des prélèvements pour des analyses CLD ont alors été planifiés sur tous les axes de drainage des sous bassins versants ayant une superficie supérieure à 50 ha, avec un pas d'échantillonnage de 1,2 km en moyenne. Les écoulements étant rares, la majorité des points a été prélevée dans des marres/retenues d'eau disposées le long des axes de drainage.

La localisation des points de prélèvement d'eau disposant d'analyses de chlordécone (analyses MR et CLD) sur l'ensemble de la Guadeloupe continentale est présentée sur la figure suivante (*Fig. 14*):

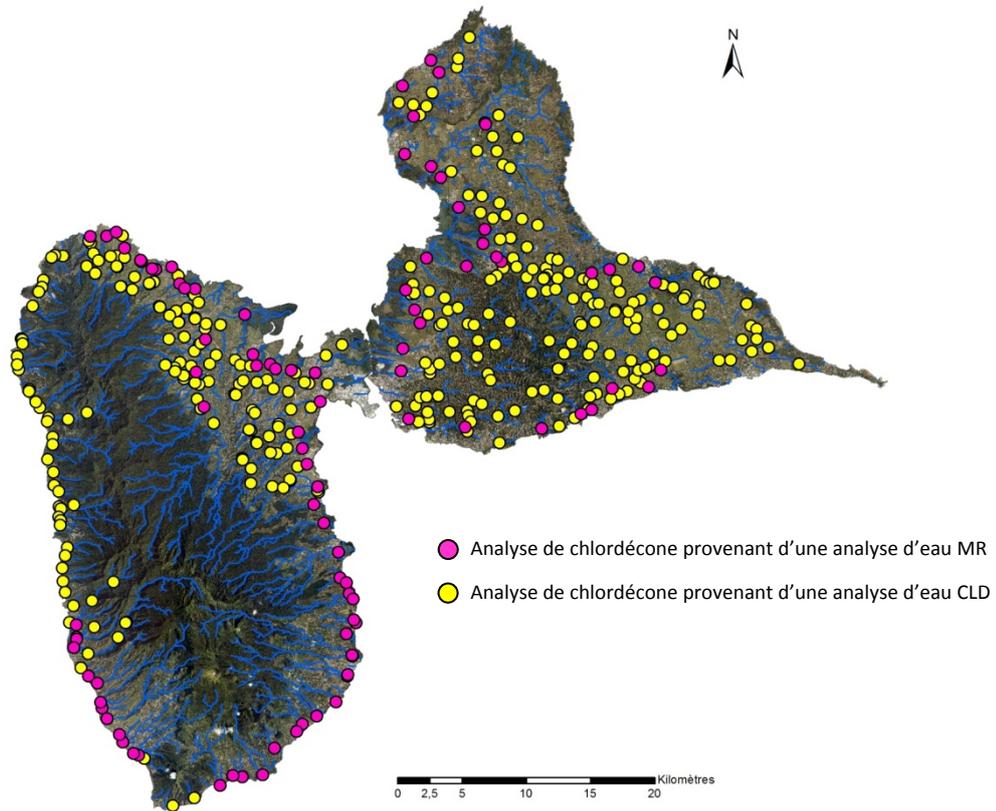


Fig. 14: Carte de localisation des points de prélèvement d'eau disposant d'une analyse de chlordécone

Le plan d'échantillonnage a ainsi généré 475 analyses de chlordécone dans les eaux (Tab. 11), réparties sur 219 points d'échantillonnage différents en Basse-Terre et 198 en Grande-Terre (certains points ayant été analysés deux fois).

	Nb d'analyses de chlordécone issues d'analyses MR	Nb d'analyses de chlordécone issues d'analyses CLD	Nb total d'analyses de chlordécone
Basse-Terre	120	157	277
Grande-Terre	33	165	198
Total	153	322	475

Tab. 11: Provenance des analyses de chlordécone entreprises sur les eaux de Guadeloupe continentale

Les bassins correspondant à chacun des points de prélèvement réalisés ont été générés sous SIG via la méthode décrite précédemment (cf. partie 1-3-5. Génération des bassins versants). Pour chacun d'entre eux, différentes caractéristiques ont été calculées, tels que les superficies des bassins, des SAD, des zones à risque et des zones connues comme étant contaminées.

III-2. Résultats des analyses de chlordécone dans les eaux

Les résultats des analyses de chlordécone réalisées sur la Guadeloupe continentale sont représentés sur la figure suivante (Fig. 15):

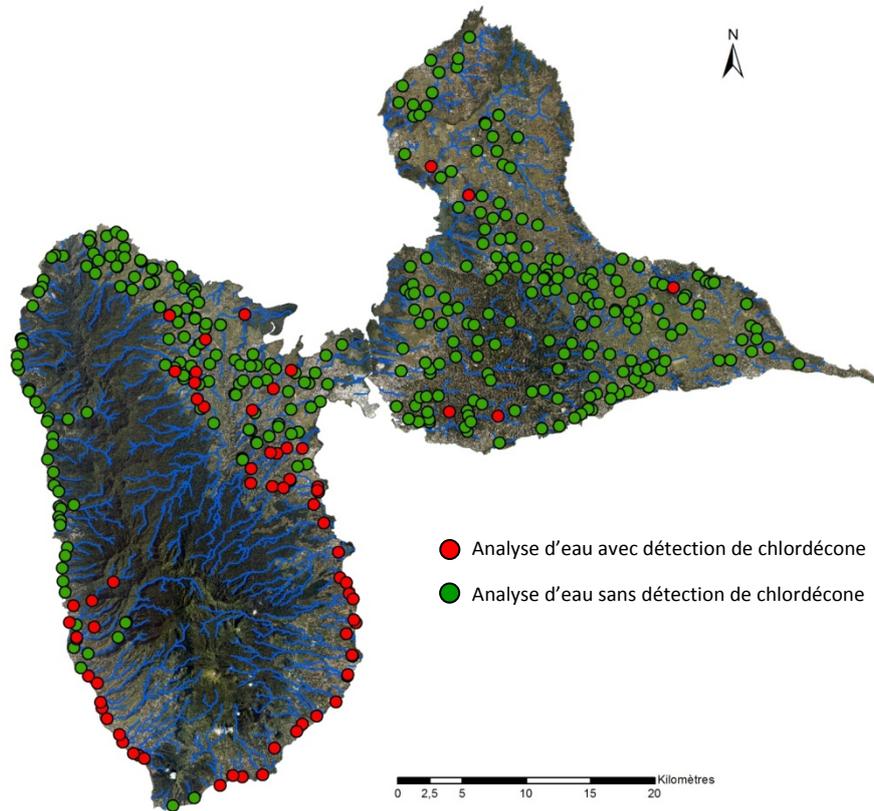


Fig. 15: Résultats synthétiques des analyses de chlordécone réalisées dans les cours d'eau guadeloupéens

En Basse-Terre, la chlordécone a été détectée sur 36 % des 277 prélèvements réalisés (avec une limite de quantification de 0,01 $\mu\text{g/L}$), et les concentrations relevées sont très variables (de 0,01 à 42,9 $\mu\text{g/L}$). De plus, sur l'ensemble des 110 bassins versants analysés à leur exutoire, 39,1 % ont été identifiés comme rejetant en mer des eaux contaminées.

En Grande Terre, quelques points de contamination ont été détectés (5 sur 198 prélèvements), avec à chaque fois des taux relativement faibles, proches de la limite de quantification.

La répartition des différents taux de contamination relevés sur chacune des deux îles est présentée sur la figure suivante (Fig. 16):

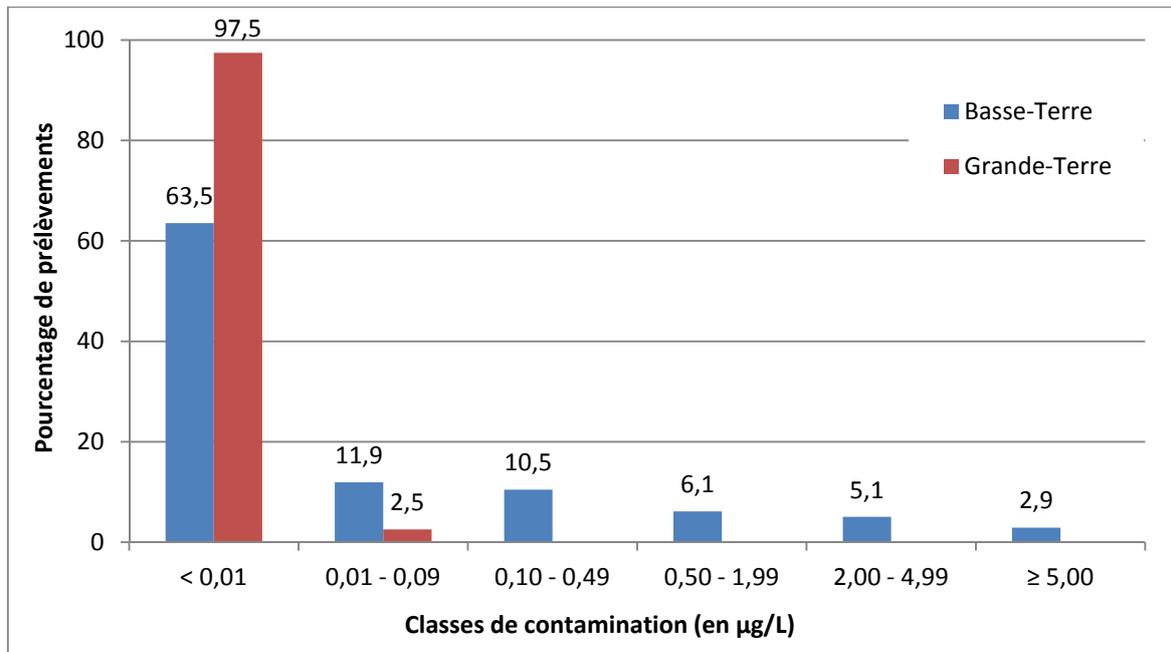


Fig. 16: Répartition des résultats des analyses de chlordécone en différentes classes de contamination

III-2-1. Synthèse des analyses de chlordécone dans les eaux en Basse-Terre

a. Côte sous le vent

En côte sous le vent, aucune contamination par la chlordécone n'a été détectée dans les cours d'eau des communes de Deshaies, Pointe-Noire et Bouillante hormis sur la ravine Renoir (BT-043), marquant la limite entre les communes de Bouillante et de Vieux-Habitants. Aucune contamination n'a été retrouvée non plus dans les eaux de la Ravine Michot (BT-045), de la Grande Rivière de Vieux-Habitants (BT-047) et de la Ravine Rocroy (BT-048) à Vieux-Habitants. Pour cette dernière, l'analyse ne reflète peut-être pas la contamination probable du bassin (parcelles contaminées ou à risque de contamination présentes sur une part importante du bassin), le prélèvement ayant été réalisé sur des eaux stagnantes. En revanche, une contamination est observable tout au long de la Rivière de Beaugendre et de la Ravine Géry (Vieux-Habitants), et semble provenir pour une part importante des zones amont (points BT-044-2-CLD et BT-046-1-1-CLD mesurés respectivement à 0,234 µg/L et 0,075 µg/L).

b. Monts Caraïbes

Les cours d'eau des trois bassins situés sur les versants nord des Monts Caraïbes sont tous contaminés par la chlordécone:

- la Rivière Sens (BT-061), avec une contamination relevée à 1,22 et à 1,561 µg/L ;
- la Ravine Salée (BT-062), avec 0,015 µg/L ;
- la Rivière Grande Anse (BT-069), avec une contamination relevée à 2,62 et à 1,829 µg/L.

Pour ce qui est des versants sud, il n'a été possible de réaliser des analyses que sur deux bassins sur les six qui étaient supérieurs à 50 ha: la Ravine Bogand (BT-065) et la Ravine Grand Fond (BT-066), sur lesquelles aucune contamination n'a été retrouvée.

c. Petit Cul-de-Sac Marin

Au niveau du Petit Cul-de-Sac Marin, sur la Rivière Moustique (BT-104, Petit-Bourg), il n'a pas été possible d'isoler de sous-bassins dont les eaux n'étaient pas contaminées par la chlordécone. En revanche, sur le bassin de la Rivière La Lézarde (BT-106, Petit-Bourg), les eaux du sous-bassin de la Ravine Mahault (BT-106-2) paraissent indemnes de contamination. Les eaux du bassin de la Ravine de Onze Heures (BT-105) ne semblent pas non plus être contaminées, bien qu'une zone à risque importante soit présente sur l'un de ses affluents en rive gauche.

d. Grand Cul-de-Sac Marin

Au niveau du Grand Cul-de-Sac Marin, une contamination assez importante a été découverte sur la rivière Mahault (BT-112, Baie-Mahault). Cette contamination est apportée par l'un des affluents à l'amont (BT-112-2-2), où la concentration en chlordécone atteint 0,292 µg/L. On retrouve également de la chlordécone dans les analyses réalisées tout au long de la Grande Rivière à Goyaves, mais aussi sur certains de ses affluents en rive gauche:

- la Rivière Homard (BT-116-28), avec 0,016 µg/L ;
- la Rivière Frédérique (BT-116-32), avec 0,25 µg/L ;
- la Rivière Janikeete (BT-116-33), avec 0,41 µg/L ;
- la Ravine Goman (BT-116-10), avec 0,026 µg/L.

e. Nord Basse-Terre

On peut noter qu'aucune contamination par la chlordécone n'a été détectée dans les cours d'eau du nord de la Basse-Terre, hormis sur un des affluents amont de la Rivière Moustique (Sainte-Rose), la Rivière Débauchée (BT-122-1-8), où cette contamination a été mesurée à 0,011 µg/L (soit légèrement supérieure à la limite de quantification de 0,01 µg/L).

III-2-2. Synthèse des analyses de chlordécone dans les eaux en Grande-Terre

En Grande-Terre, les analyses ont permis de localiser cinq cours d'eau contaminés, qui présentent à chaque fois des concentrations proches des limites de quantification:

- sur la Ravine Gaschet en aval du barrage (GT-006-MR), à la limite entre les communes de Port-Louis et de Petit-Canal, avec un taux relevé à 0,011 µg/L (eau stagnante) ;
- sur la ravine Deville (GT-009-1-CLD), dans la commune de Petit-Canal, avec 0,04 µg/L (eau non stagnante) ;
- sur une ravine de la commune de Gosier au niveau du lieu-dit Rosine (GT-029-2-CLD), avec 0,015 µg/L (eau non stagnante) ;
- sur une ravine de la commune de Gosier, au niveau du lieu-dit Bananier (GT-029-3-6-CLD), avec 0,011 µg/L (eau stagnante) ;
- sur un affluent de la Rivière d'Audoïn en aval de l'usine de Gardel (GT-054-3-CLD), sur la commune du Moule, avec 0,014 µg/L (eau non stagnante).

III-3. Évaluation de la démarche adoptée

Dans ce projet, nous avons adopté une démarche visant à caractériser la contamination des sols d'un bassin à partir de la qualité de son cours d'eau. Il est à présent nécessaire d'évaluer dans quelle mesure cette démarche peut être validée. Pour ce faire, nous avons confronté, pour chaque bassin, les résultats de contamination des eaux obtenus dans le cadre du projet ChIEauTerre avec les données de contaminations ou de risque de contamination des sols que présentait chacun d'entre eux.

III-3-1. Méthodologie

Dans un premier temps, une typologie de l'ensemble des bassins versants a été réalisée en fonction des données de contamination par la chlordécone disponibles pour chacun des bassins (Tab. 12), à savoir:

- les résultats des analyses d'eau obtenus dans le cadre du projet ChIEauTerre ;
- les données de contamination des sols par la chlordécone (issues de la base de données SIG préexistante) ;
- les données de risque de contamination des sols par la chlordécone (issues de la carte des risques de 2006).

Pour la Grande-Terre, le nombre de type de bassin est moins important que celui de la Basse-Terre du fait que le risque de contamination des sols par la chlordécone soit "nul à négligeable" sur l'ensemble du territoire. De plus, comme il est impossible de définir avec exactitude le bassin d'alimentation d'un point de prélèvement d'eau donné (pour des raisons déjà précisées précédemment), seules les données de contamination des sols situées à proximité immédiate du point de prélèvement d'eau ont été considérées.

	Type de bassin	Contamination CLD			Nombre de bassins
		Eau	Sol	Risque	
Basse-Terre	1	-	-	-	114
	2	-	-	+	10
	3	-	+	-	21
	4	-	+	+	8
	5	+	-	-	6
	6	+	-	+	9
	7	+	+	-	2
	8	+	+	+	49
Grande-Terre	9	-	-	-	196
	10	-	+*	-	1
	11	+	-	-	5
	12	+	+	-	0

-: absence, +: présence

Eau: données de contamination des eaux par la chlordécone issues du projet ChIEauTerre

Sol: données de contamination des sols par la chlordécone, issues de la base de données SIG préexistante

Risque: données de risque de contamination des sols par la chlordécone, issues de la carte des risques de 2006

* données de contamination des sols situés à proximité immédiate du point de prélèvement d'eau

Tab. 12: Typologie des bassins versants en fonction de leur contamination à la chlordécone

Cette typologie permet d'identifier les bassins pour lesquels il existe des incohérences entre contamination des eaux et contamination des sols, qu'elles soient dues à d'éventuels problèmes de conformité de la donnée sol (types n° 3, 4 et 10) ou à un défaut de connaissance sur la contamination effective des sols (types n° 5, 6 et 11, et certains bassins des types n° 7 et 8 pour lesquels les concentrations en chlordécone retrouvées dans les eaux sont trop élevées pour n'être expliquées que par les parcelles connues comme étant contaminées). Certains bassins possèdent également des zones à risque qui peuvent, suivant les cas, effacer ces incohérences (type n° 6) ou en générer de nouvelles (type n° 2). Ces différents bassins sont présentés sur la carte suivante (Fig. 17):

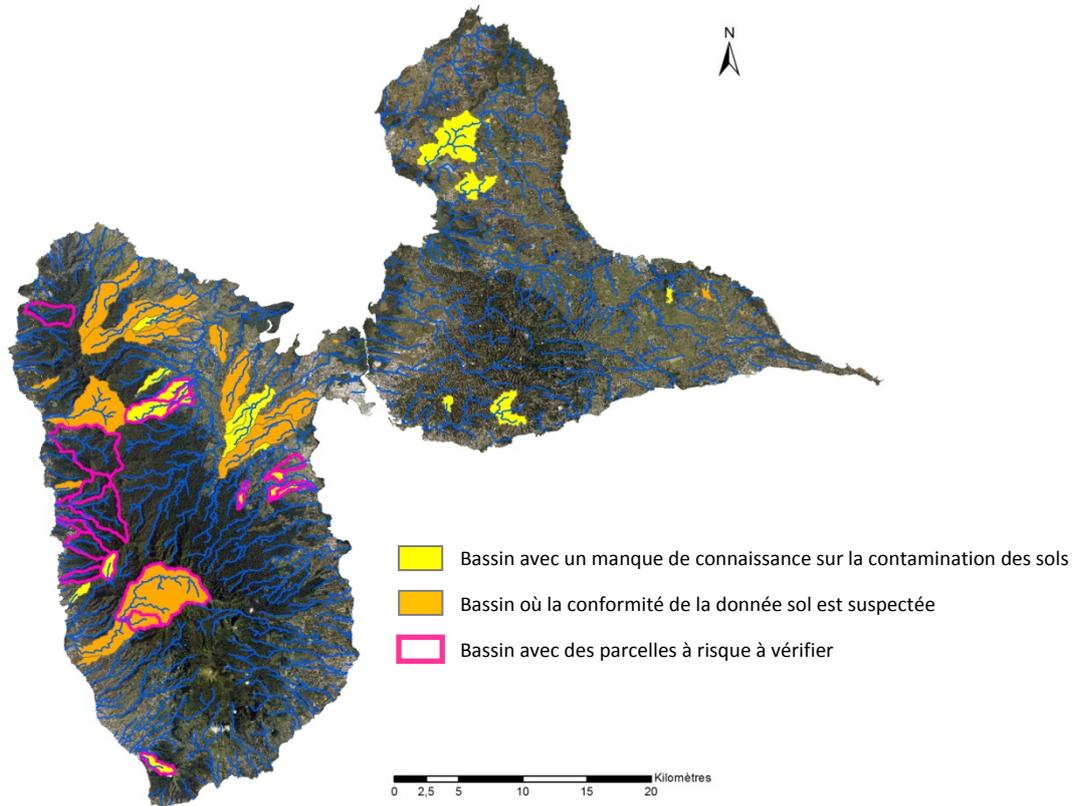


Fig. 17: Localisation des bassins pour lesquelles il existe des incohérences entre les données de contamination par la chlordécone des eaux et celles des sols

Des vérifications de parcelles sont donc nécessaires pour évaluer notre démarche. Pour chaque type de bassin, nous avons alors identifié les types de parcelles à analyser avec des prélèvements de sol (Tab. 13).

	Type de bassin	Type de parcelles à vérifier
Basse-Terre	1	Aucun
	2	Parcelles à risque de contamination
	3	Parcelles connues comme étant contaminées
	4	Parcelles connues comme étant contaminées
	5	Parcelles sans information de contamination ou de risque de contamination
	6	Parcelles à risque de contamination
	7*	Parcelles sans information de contamination ou de risque de contamination
	8*	Parcelles à risque de contamination
Grande-Terre	9	Aucun
	10	Parcelles connues comme étant contaminées
	11	Parcelles sans information de contamination ou de risque de contamination
	12	Aucun

* Pour les types n° 7 et 8, on ne considère que les bassins pour lesquels les concentrations en chlordécone relevées dans les eaux sont trop élevées pour n'être expliquées que par la présence des parcelles connues comme étant contaminées

Tab. 13: Type de parcelles à analyser par des prélèvements de sol en fonction de chaque type de bassin

Avant de réaliser ces prélèvements de sol, des analyses d'eau complémentaires ont été entreprises dans le but de mieux cibler certaines zones contaminées. Sur certains bassins (types n° 5, 7 et 11), nous ne disposons d'aucune indication sur la provenance terrestre possible du taux de contamination relevée dans les eaux. Pour ces bassins, et à l'exception de ceux ne présentant pas d'enjeu particulier, les points de prélèvement d'eau qui avaient été analysés ont été ré-échantillonnés. Des investigations ont ensuite été menées sur le terrain pour trouver l'origine de la contamination, accompagnées si besoin de nouveaux prélèvements en amont.

De la même manière, certains bassins versants précédemment identifiés comme non contaminés pouvaient présenter sur l'un de leurs sous-bassins de superficie inférieure à 50 ha des parcelles fortement contaminées ou à fort risque de contamination. Ces zones suspectes ont alors été étudiées plus en détail avec de nouvelles analyses d'eau.

La carte suivante (Fig. 18) présente la localisation des prélèvements d'eau complémentaires qui ont été réalisés:

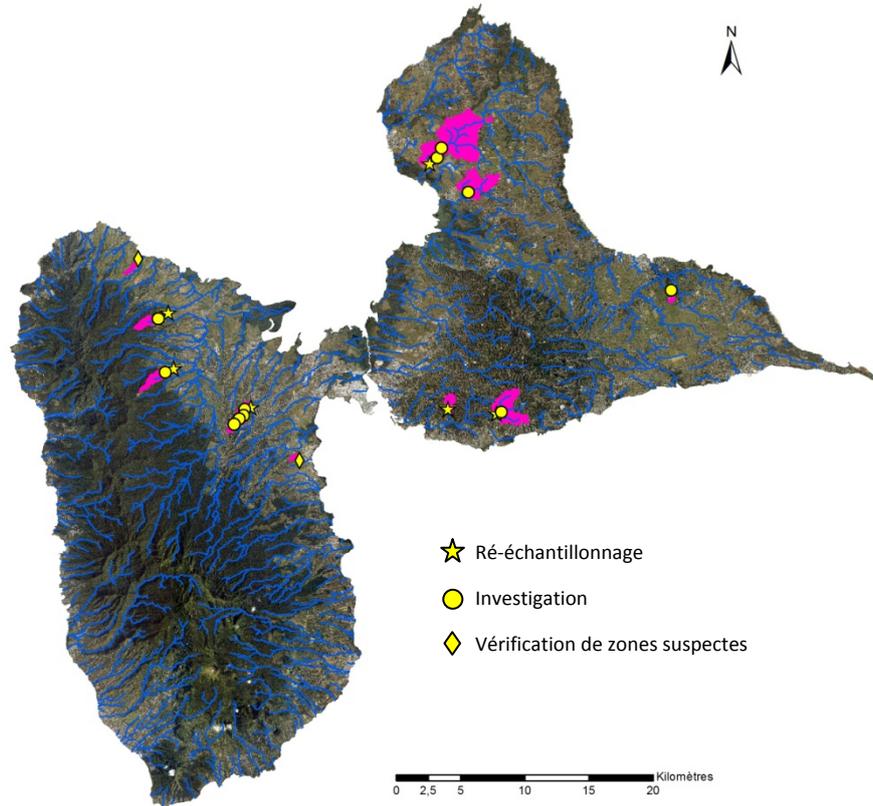


Fig. 18: Localisation des points d'analyses complémentaires de chlordécone dans les cours d'eau guadeloupéens

En Basse-Terre, 11 analyses d'eau complémentaires ont été réalisées (dont 3 correspondent à des ré-échantillonnages). Les investigations et les nouveaux prélèvements ont concerné 5 bassins:

- BT-105-1 : Affluent de la Ravine de Onze Heures (Petit-Bourg) ;
- BT-112-2-2 : Affluent de la Rivière Mahault (Baie-Mahault – Lamentin) ;
- BT-116-28 : Rivière Homard, affluent de la Grande Rivière à Goyaves (Sainte-Rose) ;
- BT-122-1-8 : Rivière Débauchée, affluent de la Rivière Moustique (Sainte-Rose) ;
- BT-127-1-CLD: Rivière de la Ramée (Sainte-Rose).

En Grande-Terre, 9 analyses d'eau complémentaires ont été réalisées (3 d'entre elles correspondant à des ré-échantillonnages). Les investigations et les nouveaux prélèvements ont également concerné 5 bassins:

- GT-006 : Ravine Gaschet (Port-Louis – Petit-Canal) ;
- GT-009-1 : Ravine Deville (Petit-Canal) ;
- GT-029-2 : Ravine passant par Rosine (Le Gosier) ;
- GT-029-3-6 : Ravine passant par Bananier (Le Gosier) ;
- GT-054-3 : Affluent de la Rivière d'Audioin en aval de Gardel (Le Moule).

En ce qui concerne les prélèvements de sols, les parcelles analysables pour chaque type de sol ont préalablement été identifiées et 36 analyses de sols ont été effectuées (Tab. 14):

	Type de bassin	Contamination CLD			Nombre de parcelles à vérifier	Nombre d'analyses effectuées
		Eau	Sol	Risque		
Basse-Terre	1	-	-	-	0	0
	2	-	-	+	38	6
	3	-	+	-	28	10
	4	-	+	+	16	5
	5	+	-	-	?	1
	6	+	-	+	60	6
	7	+	+	-	?	0
	8	+	+	+	70	4
Grande-Terre	9	-	-*	-	0	0
	10	-	+*	-	1	1
	11	+	-	-	?	3
	12	+	+	-	0	0

-: absence, +: présence

Eau: données de contamination des eaux par la chlordécone issues du projet ChIEauTerre

Sol: données de contamination des sols par la chlordécone, issues de la base de données SIG préexistante

Risque: données de risque de contamination des sols par la chlordécone, issues de la carte des risques de 2006

* données de contamination des sols situés à proximité immédiate du point de prélèvement d'eau

Tab. 14: Nombre d'analyses de sol effectuées par type de bassin

La localisation des parcelles analysées est présentée sur la carte suivante (Fig. 19):

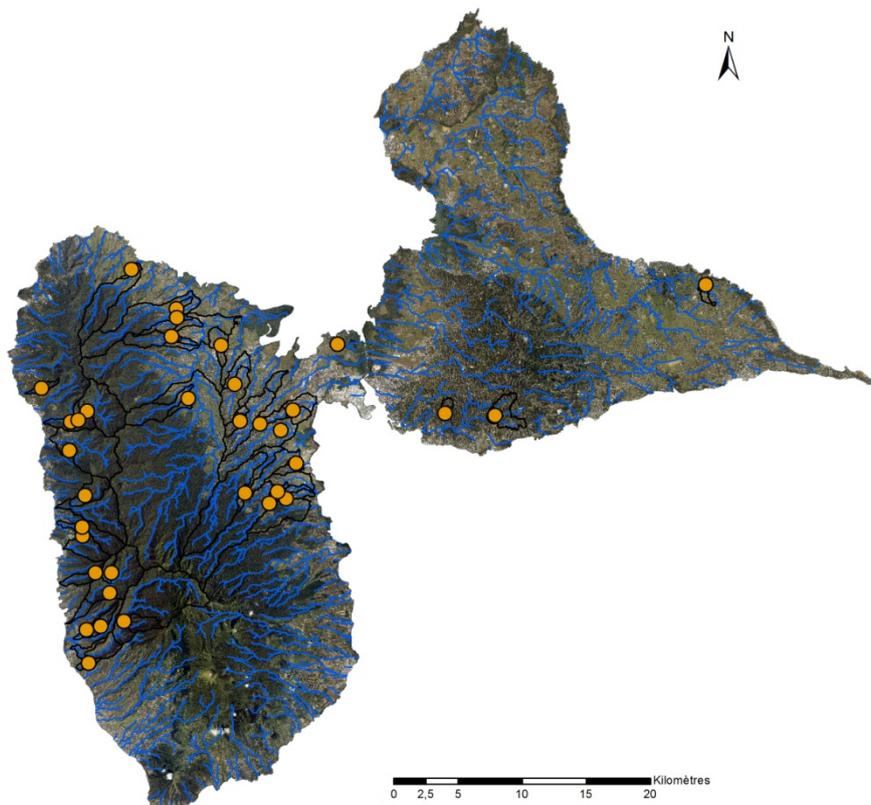


Fig. 19: Localisation des parcelles échantillonnées

III-3-2. Principaux résultats des investigations

Les principaux résultats qui ont été obtenus par les investigations de terrain sont présentés ci-dessous. Pour une meilleure lisibilité, ils ont été rassemblés par secteur géographique.

a. Basse-Terre

Côte sous le vent

- BT-023-1 : Rivière Petite Plaine (Pointe-Noire) - type n° 4

Bassin de 1 283,56 ha possédant 3,16 ha de parcelles connues comme étant contaminées et 8,55 ha de parcelles à risque. L'analyse d'eau n'a cependant détecté aucune contamination par la chlordécone. La vérification d'une parcelle analysée dans le passé à 0,23 mg/kg MS confirme la contamination (0,51 mg/kg MS). Un facteur de dilution pourrait expliquer le fait que la contamination ne soit pas détectable dans l'eau, avec des parcelles contaminées ne représentant que 0,25 % de la superficie totale du bassin.

- BT-023-2 : Amont de la Rivière Petite Plaine (Pointe-Noire) - type n° 3

Bassin de 994,81 ha avec la présence d'une parcelle de 0,6 ha qui avait été identifiée comme étant contaminée à hauteur de 0,804 mg/kg MS. Bien que l'analyse d'eau réalisée pour notre étude fût négative, l'analyse de sol sur cette parcelle confirme la contamination (0,168 mg/kg MS). Le fait que l'on n'ait pas retrouvé de chlordécone dans l'eau de la rivière s'explique très probablement par un effet de dilution, la parcelle contaminée ne représentant finalement que 0,06 % de la superficie totale du bassin.

- BT-043 : Ravine Renoir (Bouillante – Vieux-Habitants) - type n° 5

Bassin de 105 ha qui présente une contamination à la limite du seuil de quantification (0,01 µg/L) alors qu'aucune occupation du sol historique par la culture de la banane n'est connue (Fig. 20). Cette contamination pourrait provenir de jardins-vergers caraïbes situés à l'époque autour de la section Village. Aucun transfert de contamination ne semble en tout cas pouvoir provenir du bassin versant contaminé voisin (Rivière Beaugendre) car la géomorphologie de cette zone géographique n'est pas propice à cela.

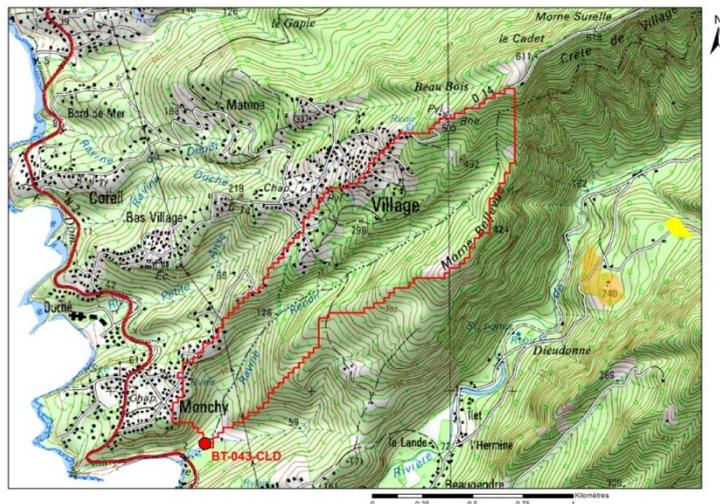


Fig. 20: Localisation du bassin de la Ravine Renoir (Bouillante – Vieux-Habitants)

- BT-048 : Ravine de Rocroy (Vieux-Habitants) - type n° 4

Bassin de 90,87 ha avec la présence de 1,54 ha de parcelles connues comme étant contaminées et 19,07 ha de parcelles à risque, alors qu'aucune contamination n'a été détectée dans l'eau. L'analyse d'une parcelle de 1,30 ha considérée comme contaminée à 0,05 mg/kg MS confirme sa contamination, avec une concentration mesurée à 0,006 mg/kg MS. L'absence de détection de la chlordécone dans l'eau peut s'expliquer par le caractère stagnant de l'eau lors de la prise d'échantillon et/ou par une faible contamination des sols sur le bassin.

Petit Cul-de-Sac Marin

- BT-105 : Ravine de Onze Heures (Petit-Bourg) - type n° 2

Bassin de 171,19 ha avec 7,13 ha de zones à risque (4,03 ha de risque très élevé et 3,10 ha de risque élevé), principalement disposées sur un sous-bassin de superficie inférieure à 50 ha (37,5 ha). L'analyse d'eau sur cet affluent (BT-105-1) présente une contamination à 0,012 µg/L. Une analyse de sol a été réalisée en périphérie de la zone à risque sur une parcelle à risque élevé, un lotissement étant construit là où le risque est le plus fort. Le résultat est cependant sorti négatif, et pourrait être expliqué par une éventuelle présence de couche de remblais. La zone à risque doit tout de même être considérée comme devant être contaminée.

- BT-106-1-3 : Affluent de la Rivière La Lézarde (Petit-Bourg) - type n° 5

Bassin de faible superficie (57 ha) dont une contamination a été détectée à son exutoire avec une concentration de 0,012 µg/L (Fig. 21). Celle-ci pourrait provenir d'anciens jardins-vergers caraïbes autour des habitations.

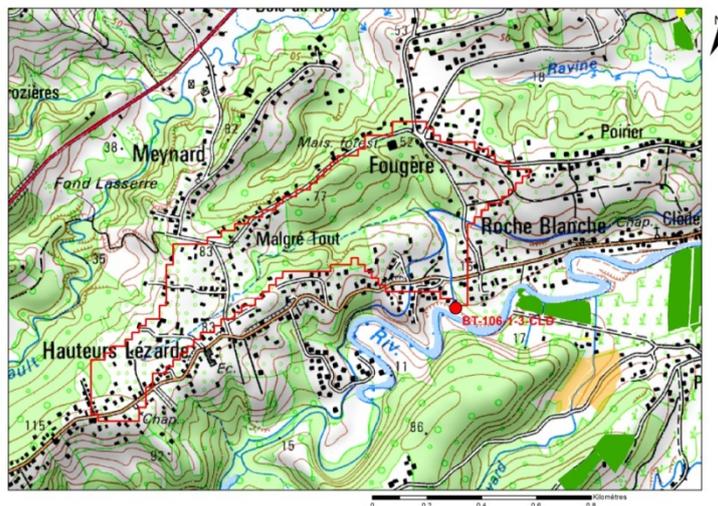


Fig. 21: Localisation du bassin de l'un des affluents contaminés de la Rivière La Lézarde (Petit-Bourg)

- BT-106-1-5 : Rivière La Lézarde (Petit-Bourg) - type n° 7

Bassin de 1 406 ha présentant une contamination dans l'eau relevée à 0,013 µg/L. Cette contamination pourrait avoir diverses origines. Elle pourrait provenir de secteurs qui ont pu par le passé être cultivées en banane, telles que les zones défrichées de l'aval du bassin (autour de Diane), ou le long des routes forestières de la Lézarde et de Desbordes plus en amont (Fig. 22). Une autre hypothèse qui peut être émise serait qu'elle provienne des anciennes parcelles de banane situées sur les versants des

bassins limitrophes. En effet, des transferts de chlordécone interbassins pourraient avoir lieu via des circulations souterraines.

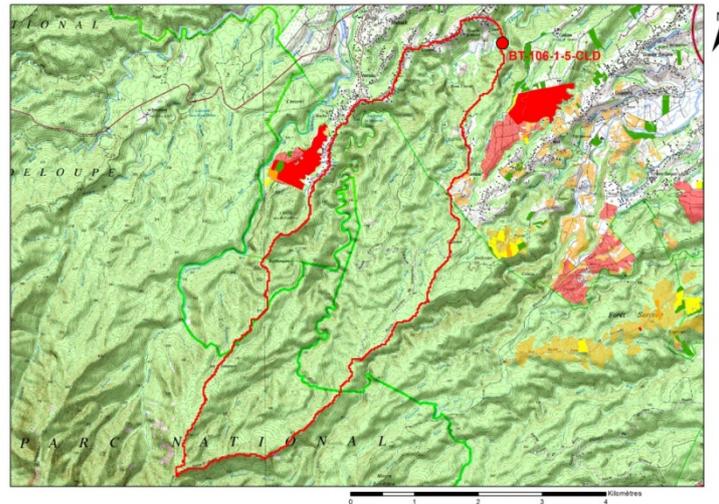


Fig. 22: Localisation du bassin amont de la Rivière La Lézarde (Petit-Bourg)

Grand Cul-de-Sac Marin

- BT-112-2-2 : Affluent de la Rivière Mahault (Baie-Mahault – Lamentin) - *type n° 5*

Bassin de 212 ha dont les eaux ont été mesurées avec une assez forte contamination (0,292 µg/L), alors qu'aucune zone de contribution n'était connue. Au vu de l'importance de cette contamination dans l'eau et de la taille de la SAD (100 ha, soit 47 % du bassin), il a été décidé, dans le but de repérer le secteur contaminant, de raffiner le maillage existant par de nouveaux prélèvements d'eau. Le point aval a été ré-échantillonné et 4 nouveaux prélèvements ont été échelonnés sur le cours d'eau en amont, espacés les uns des autres d'environ 600 m. Les résultats ont permis de repérer la zone contributrice, correspondant en fait à une ancienne plantation de banane qui n'était pas référencée sur la carte des risques. Cette bananeraie a pu être identifiée sur les ortho-photos de 1984, obtenues postérieurement aux analyses d'eau. L'analyse de sol effectuée par la suite sur une partie de la zone incriminée confirme son implication dans la contamination du cours d'eau (0,068 µg/kg MS).

- BT-115-2-2 : Rivière du Lamentin - *type n° 3*

Bassin de 555,31 ha avec la présence de 1,9 ha de parcelles connues comme étant contaminées. Bien que l'analyse d'eau ait été donnée négative à la chlordécone, l'analyse du sol d'une parcelle de 0,38 ha déjà analysée dans le passé à 0,38 mg/kg MS confirme la présence d'une contamination, mesurée cette fois-ci avec une teneur moindre (0,026 mg/kg MS). On peut émettre l'hypothèse que les anciennes analyses réalisées sur le secteur, qui ont été effectuées le même jour et par le même organisme, aient pu surévaluer la contamination de ces parcelles. Cette dernière pourrait alors être trop faible, au vu de la taille du bassin, pour se répercuter sur la qualité des eaux.

- BT-116-28 : Rivière Homard, affluent de la Grande Rivière à Goyaves (Sainte-Rose) - *type n° 5*

Bassin de 173,5 ha ne disposant pas d'information sur la contamination réelle ou potentielle de ses sols, mais où l'eau a été relevée avec une concentration de 0,016 µg/L de chlordécone. Historiquement, la surface agricole du bassin a été principalement occupée par de la canne et des savanes, et par

quelques zones de jardins-vergers. Le point de prélèvement d'eau a été ré-échantillonné et une nouvelle analyse a été réalisée 1 km plus en amont. Aucune contamination n'a cependant été relevée lors de cette nouvelle campagne. Après une recherche d'informations, une ancienne parcelle cultivée en banane a été retrouvée sur la carte IGN de 1969. Si elle l'était toujours en 1972 (date de début d'utilisation du Kepone®) elle pourrait expliquer la contamination détectée dans l'eau lors de la première analyse. D'autres zones cultivées en bananes ont également pu être présentes dans le passé le long des premiers kilomètres de la route forestière de Duportail, à l'amont du bassin.

Nord Basse-Terre

- BT-122-1-8 : Rivière Débauchée, affluent de la Rivière Moustique (Sainte-Rose) - *type n° 5*

Bassin de 138 ha ne disposant pas d'information de contamination réelle ou potentielle des sols par la chlordécone mais où l'eau est légèrement contaminée (0,011 µg/L). Aucune occupation historique de banane n'est connue dans cette vallée, où les versants ont toujours été cultivés en canne, du moins sur les années où l'on dispose d'informations. Le point de prélèvement d'eau a été ré-échantillonné, et il a été accompagné d'une nouvelle analyse située 1,3 km plus en amont. La contamination a une nouvelle fois été détectée à l'aval, avec une concentration de 0,014 µg/L, mais pas au niveau du nouveau point d'échantillonnage. Une zone contaminée est donc située entre ces deux points.

- BT-127 : Rivière de la Ramée (Sainte-Rose) - *type n° 3*

Bassin de 973,69 ha avec la présence d'une parcelle de 1,34 ha fortement contaminée par la chlordécone (1,971 mg/kg MS) sur l'un de ses affluents à l'aval, dont la superficie est inférieure à 50 ha (43 ha). L'analyse d'eau sur cet affluent ne présente pas de contamination par la chlordécone, ce diagnostic étant confirmé par l'analyse de sol de la parcelle, également négative.

b. Grande-Terre

- GT-006 : Ravine Gaschet (Port-Louis – Petit-Canal) - *type n° 11*

Une première analyse d'eau a été effectuée 1 800 m en aval du barrage de Gaschet, dans une eau stagnante analysée avec 0,011 µg/L de chlordécone. Ce point d'échantillonnage a été ré-échantillonné, accompagné de deux nouveaux prélèvements en amont: un au droit du mur de la retenue de Gaschet et l'autre à équidistance entre les deux points de prélèvement. Les trois résultats d'analyse ont cependant tous été donnés négatifs. L'hypothèse la plus probable pour expliquer la contamination qui avait été détectée lors du premier prélèvement serait que ce soit la faible contamination de l'eau contenue dans le barrage (provenant de la Basse-Terre pour l'irrigation) qui ait été détectée la première fois.

- GT-009-1 : Ravine Deville (Petit-Canal) - *type n° 11*

Le prélèvement effectué dans le cours d'eau à l'écoulement au niveau de la forêt départementale de Petit-Canal s'est avéré contaminé à hauteur de 0,04 µg/L. Des investigations ont été menées en amont pour en trouver la provenance. L'eau jaillissait en fait du sol par un tunnel vertical quelques dizaines de mètres plus en amont. Une nouvelle analyse a été réalisée à cet endroit et la contamination a de nouveau été retrouvée (cette fois-ci avec 0,029 µg/L). Après avoir effectué quelques recherches, il a été découvert que cette résurgence était située au droit d'une canalisation d'eau d'irrigation d'un diamètre de 1,20 m (Fig. 23). Il s'agit donc d'une fuite du réseau qui, selon les dires des agriculteurs locaux,

existerait depuis août 2015. Les valeurs de conductivité et la gamme de contamination retrouvée vont également dans ce sens. Selon le Conseil Départemental, cette fuite était difficilement réparable en période humide car elle alimentait un réseau gravitaire.



Fig. 23: Localisation et aperçu de la source de contamination de la Ravine Deville (Petit-Canal)

- GT-029-2 : Ravine passant par Rosine (Le Gosier) - type n° 11

De la chlordécone a été détectée dans l'eau de la ravine (qui s'écoulait à très faible débit) avec une concentration de 0,015 µg/L (Fig. 24). Le point de prélèvement a été ré-échantillonné (l'eau était cette fois-ci stagnante) et l'analyse s'est avérée négative. L'hypothèse la plus probable sur l'origine de la contamination serait qu'elle soit issue d'anciennes petites zones cultivées en bananes le long de la route. Une analyse de sol a été réalisée à proximité du point de prélèvement d'eau, là où des bananiers étaient présents, mais aucune contamination n'a été décelée.

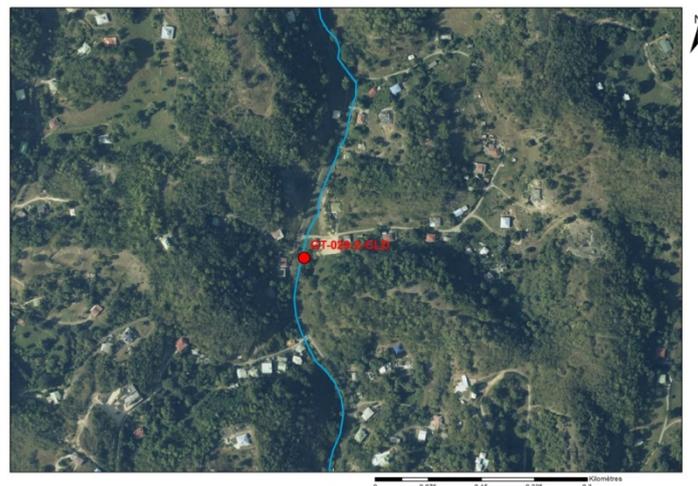


Fig. 24: Localisation du point de contamination détecté sur la ravine à Rosine (Le Gosier)

- GT-029-3-6 : Ravine passant par Bananier (Le Gosier) - type n° 11

L'analyse d'eau qui avait été réalisée sur un trou d'eau stagnante avait détecté une contamination avec une concentration de 0,011 µg/L. Ce point de prélèvement a été ré-échantillonné à une période où un écoulement était présent avec un débit très faible. Des investigations ont été menées en amont, et il en résulte que ce secteur était autrefois cultivé en banane, comme l'explique le panneau explicatif

retrouvé sur place (Fig. 25). Un nouveau point de prélèvement a été réalisé en bordure amont du Fond Bananier pour tenter de circonscrire le secteur potentiellement contaminé. Les deux nouvelles analyses d'eau se sont cependant avérées négatives. Des analyses de sols ont par la suite été réalisées sur deux parcelles, mais elles n'ont pas permis de retrouver de sols contaminés par la chlordécone.

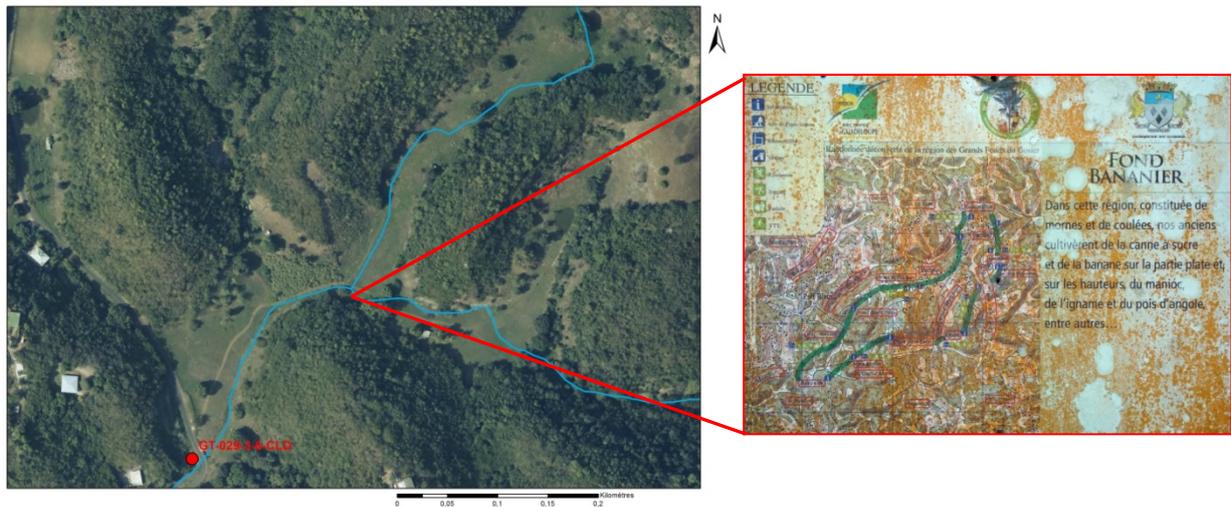


Fig. 25: Localisation du point de contamination détecté sur la ravine à Bananier (Le Gosier) et aperçu du panneau explicatif de Fond Bananier

- GT-054-3 : Affluent de la Rivière d'Audoin en aval de Gardel (Le Moule) - type n° 11

Le prélèvement d'eau qui avait été effectué sur la partie aval de la ravine en condition d'écoulement avait permis de détecter une contamination de $0,014 \mu\text{g/L}$. Son origine a été recherchée en amont, où il est apparu que l'eau jaillissait du fond de la ravine en aval du site de Gardel (Fig. 26). Un nouveau prélèvement a été réalisé au niveau de cette résurgence, et l'eau a été analysée avec $0,016 \mu\text{g/L}$ de chlordécone. La résurgence est située à proximité immédiate de plusieurs embranchements du réseau d'eau agricole, mais les caractéristiques de l'eau ne permettent pas de valider cette origine. L'eau possède en effet une odeur marquée ainsi qu'une forte conductivité ($1\ 200 \mu\text{S/cm}$, contre environ $150 \mu\text{S/cm}$ pour l'eau d'irrigation stockée dans le barrage de Letaye). Le Conseil Départemental (qui gère les infrastructures pour l'irrigation) affirme également qu'elle ne peut pas provenir de leurs installations. Un très faible rejet issu du site de compostage a également été analysé, et ce dernier s'est avéré négatif. Au vu des informations dont nous disposons, l'hypothèse la plus probable serait que cette eau provienne d'une fuite sur un tuyau de refoulement des eaux du site de Gardel. Cependant, ne disposant pas de plan de ces conduites, cette hypothèse devra être vérifiée auprès de la direction de l'usine.



Fig. 26: Localisation et aperçu de la source de contamination d'un affluent de la Rivière d'Audoin en aval de Gardel (Le Moule)

III-3-3. Résultats de l'évaluation de la démarche

À travers l'ensemble des résultats obtenus, nous avons cherché à évaluer dans quelle mesure la démarche que nous avons adoptée (pour caractériser la contamination des sols d'un bassin à partir de la qualité de son cours d'eau) pouvait être validée sur chacune des deux îles principales de la Guadeloupe continentale. Pour cela, nous avons confronté, par type de bassin, les résultats des analyses d'eau (**Eau -** ou **Eau +**) avec les résultats des analyses de sols que nous avons obtenus. Ces derniers ont été rassemblés suivant le type de parcelles sur lequel les analyses avaient été effectuées: parcelles connues comme étant contaminées, parcelles à risque de contamination ou parcelles sans information de contamination.

a. Résultats en Basse-Terre

Bassins "Eau -"

Sur les 153 bassins dont les eaux ont été analysées comme non contaminées en Basse-Terre (**Eau -**), 124 disposaient de données préexistantes d'analyses de sol en cohérence avec les résultats des analyses d'eau (**Sol -**), soit 81,0 % de ces bassins.

Cependant, 39 de ces 153 bassins (25,5 %) possédaient des parcelles qui devaient être vérifiées par de nouvelles analyses de sol:

- 29 bassins possédant des parcelles connues comme étant contaminées (**Sol +**), afin de vérifier qu'il ne s'agit pas en fait de "faux positifs", qui pourraient alors expliquer les incohérences relevées entre résultats d'analyses d'eau et de sol ;
- 10 bassins présentant des parcelles à risque (**Risque +**), afin de vérifier que ces parcelles ne sont pas contaminées.

Le tableau suivant (Tab. 15) présente le récapitulatif des résultats des analyses de sol que nous avons effectuées sur quelques-uns de ces bassins:

Eau -	Type de bassin	Nb parcelles analysées	Parcelles CLD	Parcelles risque	Résultats	
					+	-
Basse-Terre	1	0				
	2	6		6	0	6
	3	10	10		2	8
	4	5	1	1	2	3
		3				

Tab. 15: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où aucune contamination des eaux par la chlordécone n'a été détectée

La synthèse de ces résultats est présentée sur le tableau suivant (Tab. 16):

Eau -	Nb parcelles analysées	Nb de CLD négatif	% négatifs
Parcelles CLD	14	11	78,6 %
Parcelles risque	10	8	80,0 %

Tab. 16: Synthèse des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où aucune contamination des eaux par la chlordécone n'a été détectée

Sur les 14 parcelles connues comme étant contaminées qui ont été ré-analysées en Basse-Terre lors du projet ChlEauTerre, 10 sont en réalité indemnes de chlordécone (78,6 %). Quelques exemples de ces divergences sont présentés ci-dessous (Fig. 27):

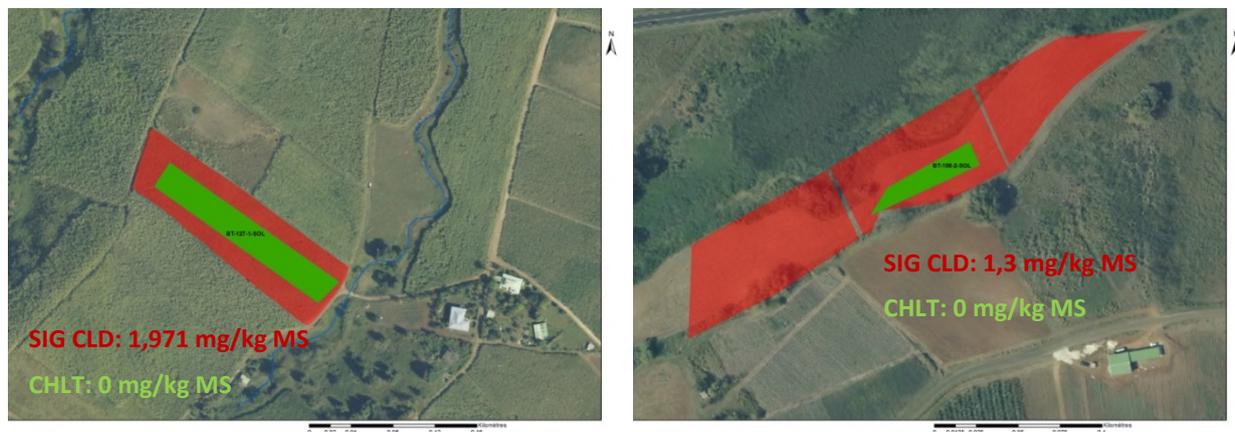


Fig. 27: Quelques exemples de divergence entre des résultats d'analyses de sol du SIG CLD et du projet ChlEauTerre à gauche: Gonon (Sainte-Rose) ; à droite: Trinité (Petit-Bourg)

De la même manière, sur les 10 parcelles à risque de contamination qui ont été analysées, on en dénombre 8 qui ne sont finalement pas contaminées (80,0 %). Les analyses effectuées sur les 4 parcelles à risque moyen étaient toutes négatives, alors que pour les 6 parcelles à risque fort, seulement 2 étaient positives.

Bassins "Eau +"

Sur les 66 bassins dont les eaux ont été analysées comme contaminées en Basse-Terre (**Eau +**), 51 disposaient de données préexistantes d'analyses de sol en cohérence avec les résultats des analyses d'eau (**Sol +**), soit 77,3 % des bassins.

Cependant, 22 de ces 66 bassins (33,3 %) possédaient des parcelles qui devaient être vérifiées par des analyses de sol, afin de trouver une origine aux taux de chlordécone retrouvés dans les eaux:

- 15 bassins présentant des parcelles à risque (**Risque +**), afin de voir si elles contribuent bien à la contamination relevée dans l'eau ;
- 7 bassins sans informations de contamination et sans risque (**Sol - et Risque -**), pour voir si l'on arrive à retrouver une origine terrestre de la contamination.

Le tableau suivant (Tab. 17) présente le récapitulatif des résultats des analyses de sol effectuées sur quelques-uns de ces bassins:

<i>Eau +</i>	Type de bassin	Nb parcelles analysées	Parcelles risque	Parcelles sans info	Résultats +	Résultats -
Basse-Terre	5	1		1	1	0
	6	6	6		4	2
	7	0		0	0	0
	8	4	3	1	4	0

Tab. 17: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où une contamination des eaux par la chlordécone a été détectée

La synthèse de ces résultats est présentée sur le tableau suivant (Tab. 18):

<i>Eau +</i>	Nb parcelles analysées	Nb de CLD positifs	% positifs
Parcelles risque	9	7	77,8 %
Parcelles à contamination inconnue	2	2	100,0 %

Tab. 18: Synthèse des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Basse-Terre où une contamination des eaux par la chlordécone a été détectée

Ainsi, sur 9 des 11 bassins analysés (77,8 %), nous avons réussi à retrouver une origine terrestre de la contamination par la chlordécone qui pouvait expliquer les taux de contamination relevés dans les eaux. Sur les 9 parcelles à risque de contamination qui ont été analysées, on en dénombre 7 qui sont contaminées. Les analyses effectuées sur les 2 parcelles à risque très fort étaient positives (100,0 %), et pour les 7 parcelles à risque fort, 5 d'entre elles étaient également positives.

b. Résultats en Grande-Terre

Bassins "Eau -"

En Grande-Terre, sur les 197 bassins dont les eaux ont été analysées comme non contaminées (**Eau -**), un seul disposait d'une parcelle connue comme étant contaminée à l'amont immédiat de son point de prélèvement (**Sol +**). Cette parcelle a donc dû être vérifiée par une analyse de sol pour vérifier qu'il ne s'agisse pas d'un "faux positif". Cette dernière étant cependant assez grande, seule la partie proche de l'axe d'écoulement a été ré-échantillonnée.

Le récapitulatif des résultats est présenté sur le tableau suivant (Tab. 19):

Eau -	Cas	Nb parcelles analysées	Parcelles CLD	Parcelles risque	Parcelles sans info	Résultats +	Résultats -
Grande-Terre	9	0			0		
	10	1	1		0	0	1

Tab. 19: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Grande-Terre où aucune contamination des eaux par la chlordécone n'a été détectée

Aucune contamination par la chlordécone n'a été décelée sur la parcelle analysée.

Bassins "Eau +"

Sur les 5 prélèvements d'eau contaminée analysés en Grande-Terre (**Eau +**), les investigations de terrain ont permis d'en identifier 3 qui n'étaient pas dues à une contamination terrestre mais à un apport anthropique d'eau contaminée (agricole ou autre). Ainsi, seulement 2 bassins présentaient un intérêt pour y effectuer des analyses de sol, et 3 parcelles identifiées comme origine possible de la contamination ont été analysées.

Le récapitulatif des résultats est présenté sur le tableau suivant (Tab. 20):

Eau +	Cas	Nb parcelles analysées	Parcelles CLD	Parcelles risque	Parcelles sans info	Résultats +	Résultats -
Grande-Terre	11	3			3	0	3
	12	0			0		

Tab. 20: Récapitulatif des résultats d'analyses de sol réalisées sur les bassins de Grande-Terre où une contamination des eaux par la chlordécone a été détectée

Aucune contamination par la chlordécone n'a pu être retrouvée sur les parcelles analysées. La contamination doit donc provenir de zones terrestres différentes.

III-4. Conclusions

III-4-1. Conclusion sur l'évaluation de la démarche

La démarche que nous avons adoptée dans le projet ChlEauTerre pour caractériser la contamination des sols d'un bassin à partir de la qualité de son cours d'eau est validée, avec quelques réserves pour la Grande-Terre.

En Basse-Terre, notre démarche paraît relativement robuste dans le sens où un bassin identifié comme non contaminé par nos analyses d'eau a de très fortes chances de l'être effectivement. En effet, 74,5 % de ces bassins ne présentent pas de signe de contamination terrestre (réelle ou potentielle), et sur les 25,5 % restant, près de 80 % des parcelles connues comme étant contaminées ou à risque de contamination qui ont été ré-analysées ne contenaient pas de chlordécone. À l'inverse, sur les bassins identifiés comme contaminés, 66,7 % des taux de chlordécone relevés dans les eaux sont expliqués par les données de contamination préexistantes. Sur les 33,3 % restants, pour lesquels il y a donc un défaut

de connaissance, une origine terrestre de la contamination a pu être identifiée par les analyses ChIEauTerre dans 81,8 % des bassins étudiés. Des investigations supplémentaires seraient nécessaires pour retrouver les parcelles contaminées sur les autres bassins.

En Grande-Terre, notre démarche a montré ses limites face à la présence limitée dans le temps d'eau en surface et la faible connectivité hydrologique entre les différents points d'un bassin versant (due à la géomorphologie de la Grande-Terre). Cependant, des contaminations par la chlordécone ont tout de même pu être détectées.

III-4-2. Conclusion sur les résultats d'analyses

En Basse-Terre, les prélèvements ont notamment permis d'identifier une contamination assez importante sur la rivière Mahault, provenant de parcelles contaminées présentes sur le bassin de l'un de ses affluents à l'amont. De la chlordécone a également été détectée sur certains des affluents en rive gauche de la Grande Rivière à Goyaves. Aucune contamination par la chlordécone n'a en revanche été détectée dans les eaux des bassins de la côte sous le vent situés au nord de la commune de Vieux-Habitants, ni sur le bassin de la Ravine Mahault (Petit-Bourg) et dans les cours d'eau du nord de la Basse-Terre, hormis sur un des affluents amont de la Rivière Moustique (Sainte-Rose): la Rivière Débauchée.

En Grande-Terre, les prélèvements ont permis de déceler une contamination des eaux sur deux bassins situés dans les Grands-Fonds, sur la commune du Gosier, même si leur origine terrestre n'a pas pu être identifiée précisément. Ils ont également permis de localiser des écoulements de surface faiblement contaminés issus de fuites relativement importantes de réseaux d'adduction ou de refoulement d'eau agricole (provenant de Basse-Terre). Bien que la contamination des terres agricoles par ces eaux d'irrigation puisse être considéré comme négligeable en Grande-Terre, de par le temps de contamination d'un sol sein en conditions extrêmement défavorables qui est estimé à plus de 1000 ans (SAFEGE Guadeloupe, 2017), il n'en est pas de même pour les milieux aquatiques. Ces eaux, qui s'écoulent de manière permanente, risquent ainsi de contaminer par la chlordécone les milieux naturels remarquables que sont les mangroves de la Rivière d'Audoin ou celle de Petit-Canal, voire le milieu marin à leurs embouchures, et obligent donc à une surveillance particulière.

Les analyses de sol effectuées lors du projet ChIEauTerre ont permis de vérifier un certain nombre de données de la base du SIG CLD réelle, bien que les résultats ne soient pas forcément représentés à la même échelle (zone de prélèvement *stricto sensu* ou à la parcelle). Sur l'ensemble des prélèvements que nous avons réalisés, 70,6 % correspondaient à des ré-échantillonnages de parcelles initialement analysées par la Chambre d'Agriculture. Sur les 13 résultats d'analyse de chlordécone qu'ils avaient obtenus, seulement 3 sont en adéquation avec ceux du projet ChIEauTerre, les 10 autres semblent correspondre à de faux positifs. Même si le nombre de parcelles que nous avons comparées est faible, le manque de conformité observé intrigue. Il pourrait s'expliquer par une différence de protocole de terrain, ce qui nous permet d'insister sur l'importance du nettoyage du matériel de prélèvement entre chaque parcelle à analyser, pour éviter tout risque de contamination inter-échantillons. Il serait intéressant de ré-échantillonner d'autres parcelles déjà analysées par la Chambre d'Agriculture pour voir si la tendance observée se vérifie. Pour ce qui est des résultats de la DAAF ou de l'ARS, aucune comparaison n'a été réalisée car le nombre de parcelles ré-analysées pour chacun de ces organismes était trop faible.

III-4-3. Cartographie de la contamination des bassins de la Guadeloupe continentale par la chlordécone

La contamination des bassins versants de la Guadeloupe continentale par la chlordécone a été évaluée sur la base des analyses d'eau de surface effectuées lors du projet ChIEauTerre à l'exutoire de chacun d'entre eux (*Fig. 28* et *Fig. 29*). Des bassins associés aux stations de suivi de la qualité des eaux superficielles de l'Office de l'Eau ou de l'ARS ont par la suite été ajoutés s'ils présentaient un historique de contamination par la chlordécone.

Trois catégories de bassins ont ainsi été différenciées:

- les bassins avec une contamination par la chlordécone nulle à très faible ;
- les bassins avec une contamination par la chlordécone nulle à très faible, mais présentant un historique de contamination des eaux (Office de l'Eau ou ARS) ;
- les bassins avec une contamination par la chlordécone avérée.

Pour la Grande-Terre, les bassins qui ont été représentés sont des bassins théoriques. En effet, la zone d'alimentation réelle de chaque point d'eau prélevé doit être en réalité moins importante, du fait de la faible pluviométrie et du contexte géomorphologique particulier de l'île.

D'autre part, les investigations de terrain qui ont été menées ont permis de mettre en évidence des eaux contaminées sans lien avec une quelconque contamination des sols de Grande-Terre. Ainsi, trois particularités ont été ajoutées spécifiquement sur la cartographie de la Grande-Terre:

- les retenues d'eau potentiellement contaminées ;
- les rejets d'eau contaminée liés à une fuite de réseau ;
- les ravines dont l'eau est contaminée ou potentiellement contaminée.

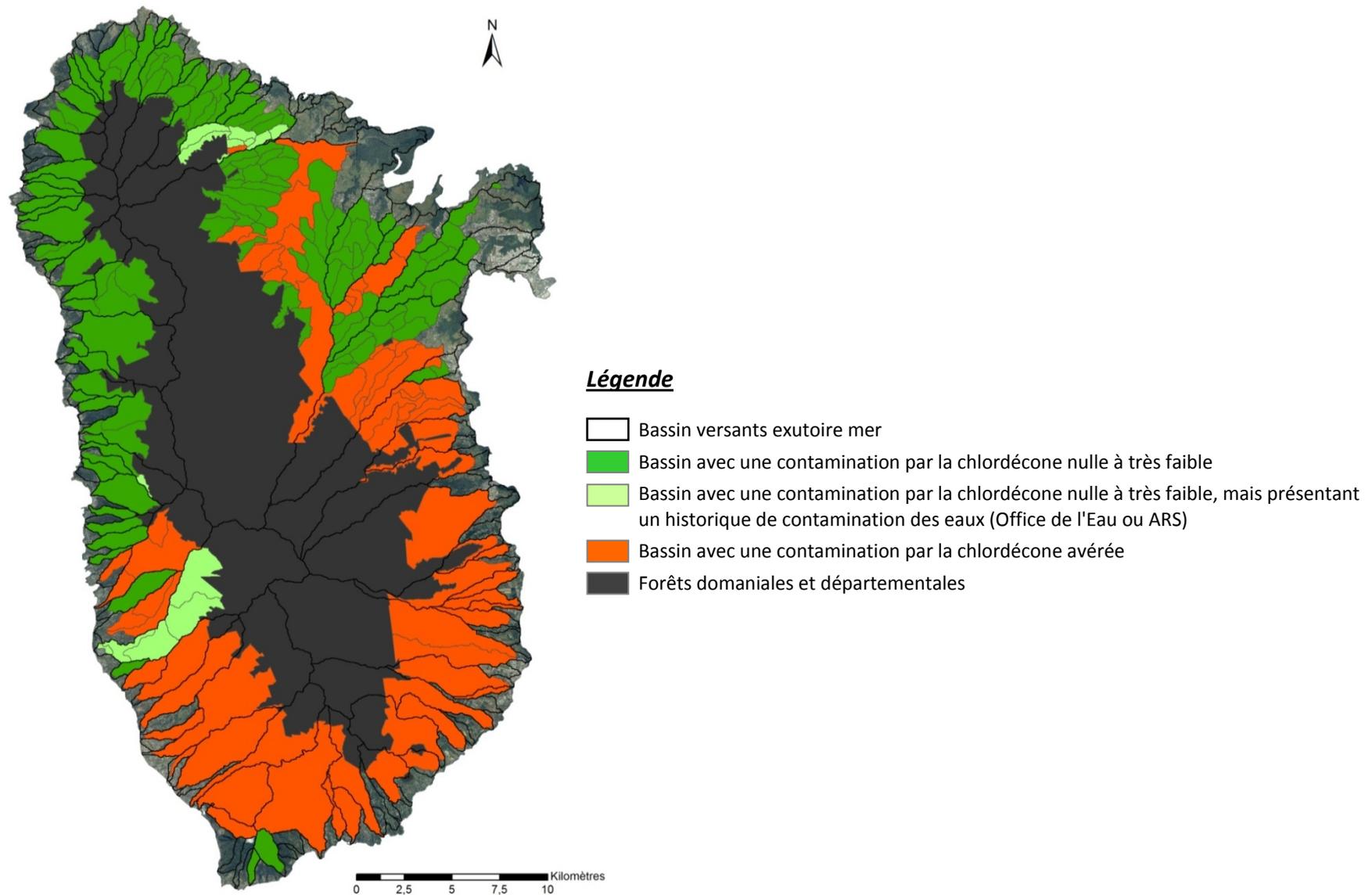


Fig. 28: Cartographie ChlEauTerre de la contamination des bassins versants de la Basse-Terre par la chlordécone établie sur la base des analyses d'eau de surface effectuées lors du projet ChlEauTerre à l'exutoire de chacun d'entre eux

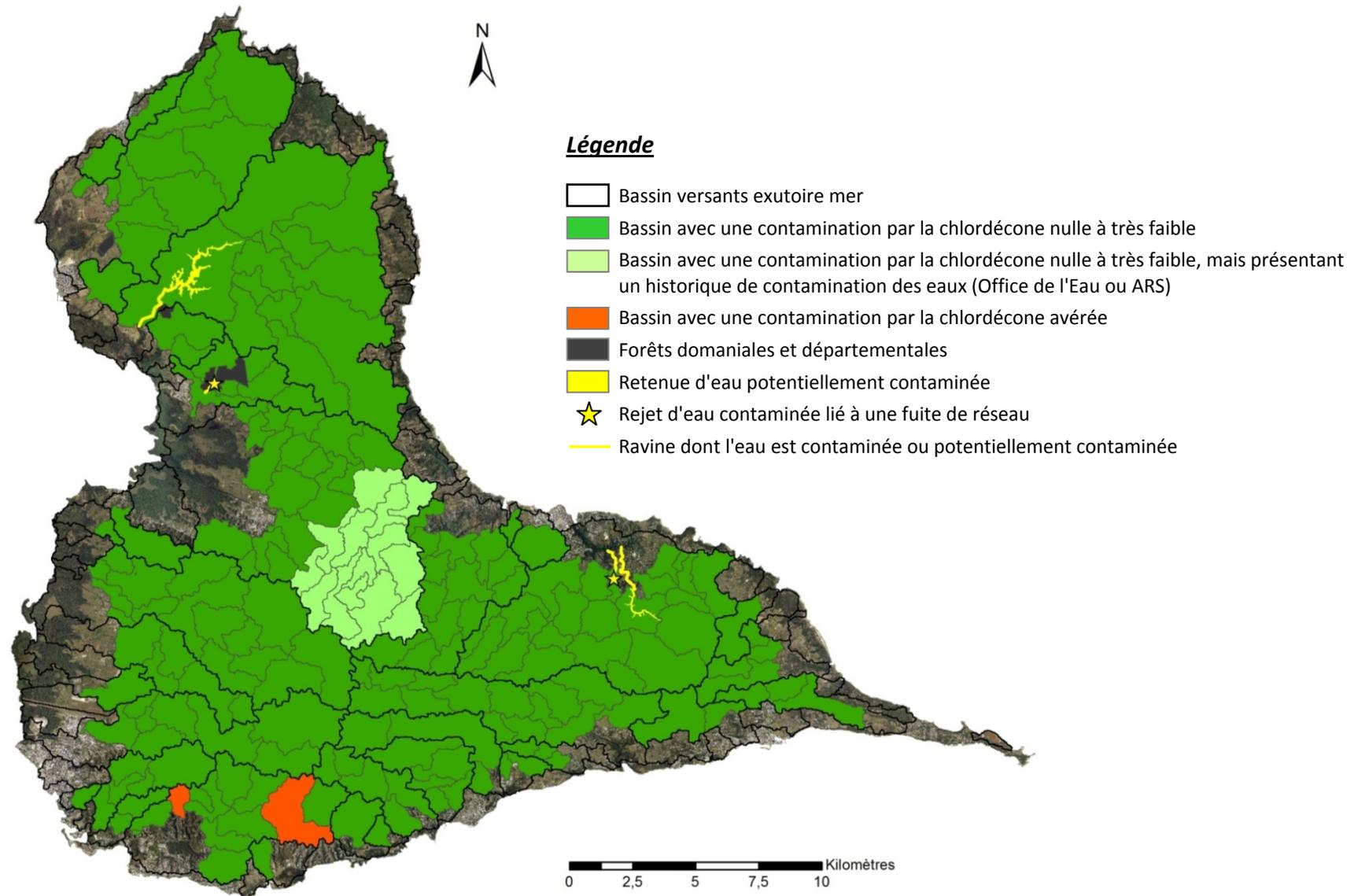


Fig. 29: Cartographie ChlEauTerre de la contamination des bassins versants de la Grande-Terre par la chlordécone établie sur la base des analyses d'eau de surface effectuées lors du projet ChlEauTerre à l'exutoire de chacun d'entre eux

Chapitre IV : Élaboration de nouvelles cartes de contamination potentielle et réelle des sols par la chlordécone

Pour compléter les informations précédentes sur la contamination des bassins versants par la chlordécone, deux nouvelles cartographies ont été produites. Elles concernent la contamination potentielle et la contamination réelle des sols par la chlordécone. Ces cartes ont leur utilité propre, mais peuvent également être associées entre elles pour permettre d'identifier des parcelles qu'il serait intéressant d'analyser ou de ré-analyser.

IV-1. Nouvelle cartographie des risques de contamination des sols par la chlordécone

Comme nous l'avons mentionné en introduction de ce rapport, la carte des risques de contamination des sols par la chlordécone de 2006 n'avait pu se baser que sur la sole bananière de 3 années (1969, 1985 et 1996) et ne s'est intéressée qu'aux parcelles qui avaient été déclarées comme agricoles en 2003 (sur la base du recensement Agrigua). Cette cartographie a ainsi pu omettre un certain nombre de parcelles pourtant anciennement cultivées en banane, comme nous avons pu en relever quelques exemples durant nos investigations. Nous avons alors pris la décision de proposer une nouvelle carte des risques de contamination des sols par la chlordécone prenant en compte l'ensemble des données historiques d'occupation du sol existantes pour la culture de la banane sur la période d'utilisation de la chlordécone.

IV-1-1. Données utilisées

En premier lieu, les documents qui avaient été utilisés pour établir la carte des risques de 2006 ont été retravaillés et ré-analysés.

La carte de l'IGN de 1969, à l'échelle 1/20 000^{ème} avait été obtenue par la DAAF en format papier. Les feuilles qui présentaient des parcelles de banane avaient alors été numérisées par Olivier Tillieut. Nous les avons géoréférencées à nouveau avec des outils plus modernes qu'à l'époque, à partir du SCAN 25[®] de 2012 de l'IGN, avant de vectoriser les zones bananières.

La carte de l'IGN de 1987, à l'échelle 1/25 000^{ème}, avait quant à elle été acquise directement au format numérique. De la même manière que pour la carte de 1969, les zones bananières ont été délimitées. Ce zonage a par la suite été complété par des parcelles de banane identifiées sur les ortho-photos de 1984 (issues de la *BD ORTHO[®] Historique* de l'IGN).

Enfin, la carte du parcellaire de la sole bananière (Cirad – DAF) de 1997, à l'échelle 1/25 000^{ème}, n'a pu être retrouvée dans sa version d'origine. Nous sommes alors repartis du parcellaire bananier qui avait été retranscrit en couche SIG par Olivier Tillieut et nous l'avons transformé en zonage agricole.

Dans un second temps, d'autres cartes d'occupation du sol historique, issues des documents suivants, ont été exploitées:

- Zonage cultural des régions bananières de Guadeloupe de **1976** (ORSTOM - SICA-ASSOBAG - DDA, 1977), échelle 1/20 000^{ème} ;
- Cartes des cultures de la Guadeloupe de **1980** (ORSTOM - DDA, 1980), échelle: 1/20 000^{ème}.

Ces cartes ont été numérisées et géoréférencées, et les zones bananières ont été vectorisées. Contrairement aux cartes précédentes, celles-ci proposent une différenciation entre des bananeraies en plantation pure, des bananeraies en plantation mixte à dominance de bananiers, et d'autres occupations culturelles présentant des parcelles de bananiers.

L'ensemble des informations d'occupation du sol historique de la culture de la banane qui ont été récoltées permettent ainsi de couvrir les différentes années suivantes:

- avant la commercialisation de la chlordécone: 1969 ;
- pendant sa période d'utilisation: 1976, 1980, 1984 et 1987 ;
- après son interdiction: 1997.

IV-1-2. Cartographie réalisée

À partir de l'ensemble des informations précédentes, une nouvelle cartographie des risques de contamination des sols par la chlordécone a été réalisée sur la Guadeloupe continentale (*Fig. 30*).

Elle se base sur quatre nouvelles classes de risque, échelonné du risque le plus fort (Risque 1) au risque le plus faible (Risque 4):

- Risque 1: Présence de bananiers en plantation pure en 1976, 1980, 1984, 1987 et/ou 1997 ;
- Risque 2: Présence de bananiers en plantation mixte en 1976 et/ou 1980 ;
- Risque 3: Basse-Terre - Présence de bananiers en 1969 et/ou bananiers associés à d'autres occupations du sol en 1976 et/ou 1980 ;
Grande-Terre - Présence de bananiers en plantation pure en 1987 et/ou 1997 ;
- Risque 4: Pas d'historique connu de présence de bananiers sur la période 1969 à 1997.

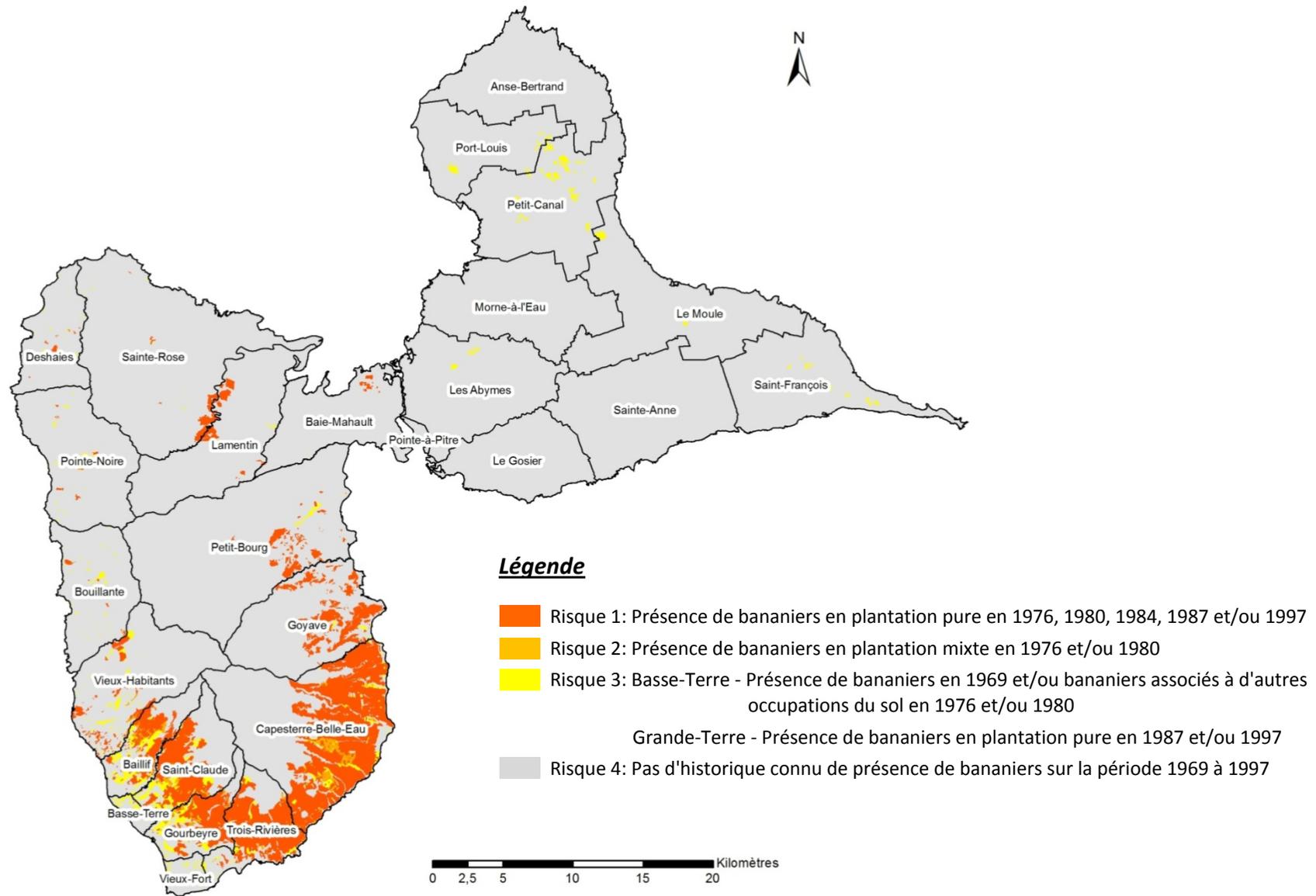


Fig. 30: Cartographie actualisée des risques de contamination des sols par la chlordécone

IV-2. Cartographie de la contamination réelle des sols par la chlordécone

IV-2-1. Données utilisées

La base de données du SIG CLD Réelle a été remaniée pour les besoins du projet ChIEauTerre (cf. partie I-2-2. Données de contamination réelle), et seules 4 501 données consolidées ont été conservées sur la Guadeloupe continentale.

Cette base a également été mise à jour avec les nouveaux jeux de données spatialisées disponibles sur la contamination des sols:

- les données de 2011 à 2013 de la DAAF, au nombre de 451, référencées à la zone de prélèvement ;
- les données de fin 2014 à mi 2015 de la Chambre d'Agriculture, au nombre de 42, qui sont, elles, étendues à la parcelle ;
- les données de 2016 de l'INRA et du Cirad (acquises lors du projet ChIEauTerre), au nombre de 36, référencées à la zone de prélèvement.

Les données ChIEauTerre ont également été utilisées pour apporter quelques corrections aux données de la base qui présentaient des incohérences (cf. partie III-3-3. Résultats de l'évaluation de la démarche). De la même manière que pour la restructuration initiale de la base, seules les valeurs les plus élevées de chlordécone ont été conservées pour une même étendue parcellaire. Si pour une même parcelle, des données étaient représentées avec deux étendues spatiales de superficies significativement différentes, la donnée rattachée à la plus faible étendue a été conservée (car considérée comme plus précise) en la soustrayant spatialement de celle de plus grande envergure.

IV-2-2. Cartographie réalisée

À partir de l'ensemble des données compilées précédemment, une cartographie de la contamination réelle des sols par la chlordécone a été réalisée sur la Guadeloupe continentale (*Fig. 31*).

Les données sont représentées suivant les types de productions (animale ou végétale) qu'il est possible de réaliser sur chaque parcelle, et qui dépend du taux de contamination qui a été relevé dans les sols. 4 classes sont ainsi considérées, basées sur les limites maximales recommandées pour l'élevage et pour la mise en culture de 3 groupes de végétaux suivant leur sensibilité vis-à-vis de la contamination à la chlordécone:

	Inférieur à 0,005 mg/kg MS	Entre 0,005 et 0,1 mg/kg MS	Entre 0,1 et 1 mg/kg MS	Supérieur à 1 mg/kg MS
Élevage	Recommandées	Non recommandées	Non recommandées	Non recommandées
Cultures très sensibles	Recommandées	Recommandées	Non recommandées	Non recommandées
Cultures intermédiaires	Recommandées	Recommandées	Recommandées	Non recommandées
Cultures peu sensibles	Recommandées	Recommandées	Recommandées	Recommandées

Tab. 21: Recommandations sur les types de productions possibles sur une parcelle en fonction de la gamme de contamination de ses sols par la chlordécone (DAAF)

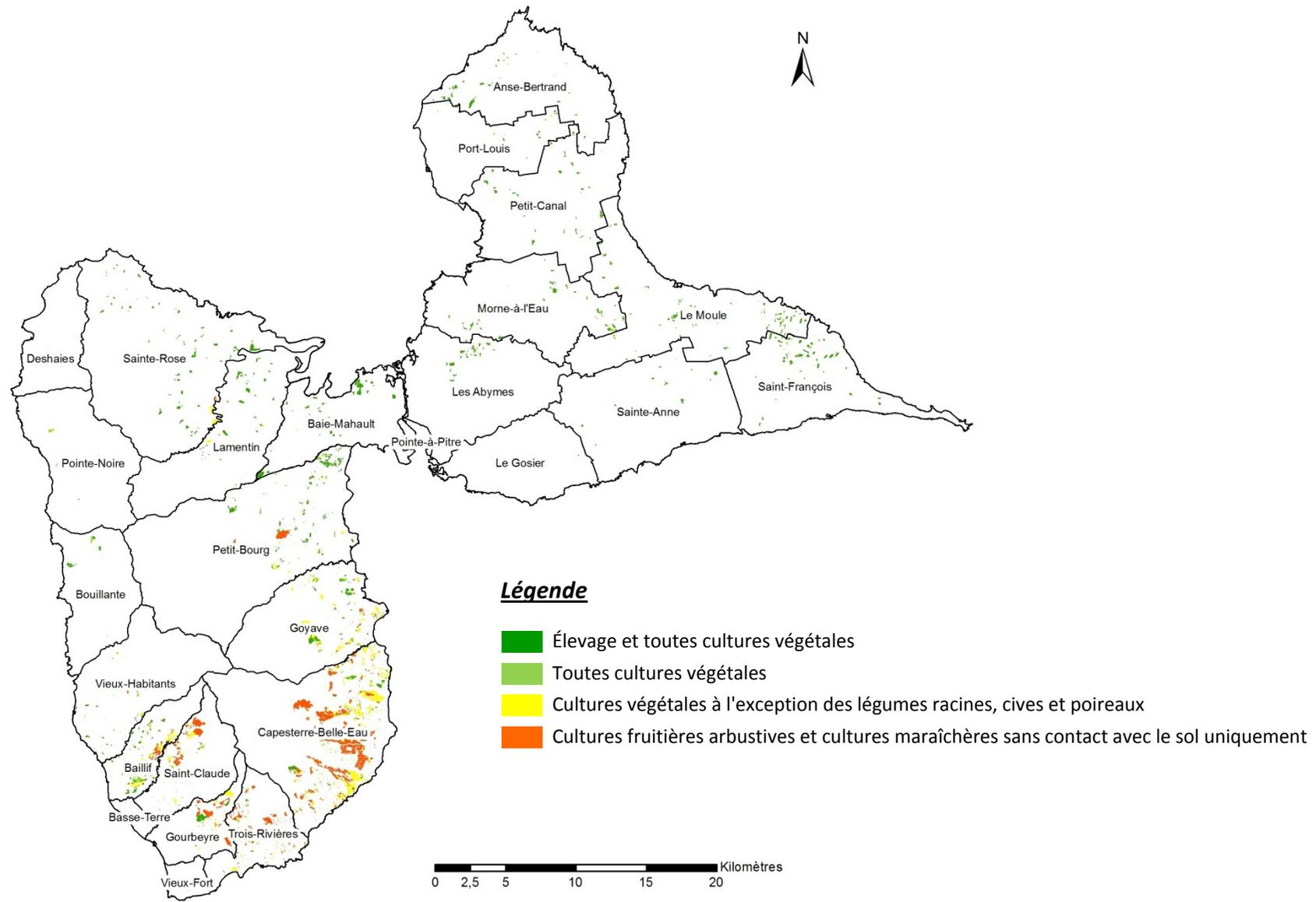


Fig. 31: Cartographie du SIG CLD Réelle - mise à jour 2017

Conclusions générales

Le projet ChIEauTerre a pour objectif de caractériser la contamination du territoire guadeloupéen continental par les pesticides, et notamment par la chlordécone. Une approche méthodologique a été développée et elle s'est appuyée sur des analyses d'eau de surface et de sol.

En premier lieu, des traitements SIG ont été entrepris pour définir les limites des bassins versants de la Guadeloupe continentale et pour identifier les points d'échantillonnage à réaliser. Ce travail préalable a permis de produire des informations spatialisées pouvant être réutilisées pour de futures études, à savoir:

- des axes d'écoulement (rivières et ravines) revus et corrigés ;
- un modèle numérique de terrain (MNT) ré-échantillonné et corrigé, reproduisant précisément les axes d'écoulement et les limites des différents bassins versants ;
- une délimitation des bassins versants de superficie supérieure à 50 ha.

Le projet a ensuite permis de dresser un état des lieux de la contamination par les pesticides (analyses multirésidus) des bassins versants d'intérêt agricole, ce qui n'avait jamais été réalisé auparavant. Il serait ainsi intéressant de répéter ce genre de diagnostic général de contamination d'une manière périodique (tous les 5 ans par exemple). Cela permettrait de suivre l'évolution dans le temps des contaminations sur l'ensemble des bassins de Guadeloupe, en complément des analyses déjà réalisées par l'Office de l'Eau ou l'ARS.

Le projet ChIEauTerre a également permis, de réaliser la cartographie de la contamination des bassins versants de la Guadeloupe continentale par la chlordécone. Elle se base sur des données de contamination par la chlordécone obtenues sur de nombreux cours d'eau. En Basse-Terre, 227 points d'échantillonnage différents ont été réalisés. Ils sont répartis sur 97 bassins versants ayant un exutoire mer et permettent de couvrir 83 % de la superficie de l'île. En Grande-Terre, 204 points d'échantillonnage différents ont été effectués. Ils sont répartis sur 33 bassins versants ayant un exutoire mer et permettent de couvrir 71 % de la superficie de l'île.

La démarche qui a été utilisée, visant à caractériser la contamination terrestre d'un bassin à partir de la qualité de ses cours d'eau, a été évaluée. En Basse-Terre, la démarche paraît robuste dans le sens où un bassin identifié comme non contaminé par nos analyses d'eau, a de très fortes chances de l'être effectivement. En Grande-Terre, notre démarche a montré certaines limites devant le caractère limité de la présence d'eau en surface et la faible connectivité hydrologique entre les différents points d'un bassin versant (due à la géomorphologie de la Grande-Terre). Cependant, des contaminations ont tout de même pu être détectées.

Enfin, le projet propose une nouvelle cartographie des risques de contamination des sols par la chlordécone sur la Guadeloupe continentale. Celle-ci se base sur l'ensemble des données historiques d'occupation du sol existantes pour la culture de la banane, sur la période d'utilisation de la chlordécone, et propose 4 nouvelles classes de risque. D'autre part, la base de données de contamination réelle des sols par la chlordécone (SIG CLD Réelle) a été consolidée et mise à jour, et une nouvelle cartographie a été réalisée. En plus de leur utilité propre, ces deux cartes peuvent alors être associées à celle de la contamination des bassins versants, pour permettre d'identifier des parcelles qu'il serait intéressant d'analyser ou de ré-analyser lors de futures campagnes de prélèvement.

Bibliographie

AQUAREF, 2011. Guide des prescriptions techniques pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques. Opérations d'échantillonnage en cours d'eau (eaux et sédiments) en milieu continental. Version 2011.

Baker M.E., Weller D.E. & Jordan T.E., 2006. Comparison of automated watershed delineations: effects on land cover areas, percentages, and relationships to nutrient discharge. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, February 2006.

Beaugendre J., 2005. Rapport d'information n°2430 sur l'utilisation du chlordécone et des autres pesticides dans l'agriculture martiniquaise et guadeloupéenne.

Bonan H. & Prime J.-L., 2001. Rapport sur la présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe, Rapport IGAS n°2001-070, IGE n°01/007.

Cabidoche Y.-M., Achard R., Cattan P., Clermont-Dauphin C., Massat F. & Sansoulet J., 2009. Long term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: a simple leaching model accounts for current residue contents. *Environmental Pollution* 157, 1697–1705.

Cabidoche Y.-M., Clermont-Dauphin C., Cattan P., Achard R., Caron A. & Chabrier C., 2004. Stockage dans les sols à charges variables et dissipation dans les eaux de zoocides organochlorés autrefois appliqués en bananeraies aux Antilles : Relation avec les systèmes de culture. INRA – Cirad-flhor, 52 p.

Cabidoche Y.-M., Jannoyer M. & Vannière H., 2006. Conclusions du Groupe d'Etude et de Prospective "Pollution par les organochlorés aux Antilles". Aspects agronomiques. Contributions Cirad – INRA.

Cabidoche Y.-M. & Lesueur-Jannoyer M., 2011. Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles: comment la gérer ?. *Innovations Agronomiques* 16, 117–133.

Callow J.N., Van Niel K.P. & Boggs G.S., 2007. How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis?. *Journal of Hydrology* 332, 30–39.

Cattan P., Cabidoche Y.-M., Lacas J.-G. & Voltz M., 2006. Effects of Tillage and Mulching on Runoff under Banana (*Musa Spp.*) on a Tropical Andosol. *Soil and Tillage Research* 86 (1): 38–51.

Cattan P., Dulcire M. & Bonin M., 2003. Etude des risques de pollution d'origine agricole en Martinique et en Guadeloupe. Gestion des transferts (eau, sol, produits phytosanitaires et engrais) à l'échelle du bassin versant. Rapport final.

Cattan P., Woignier T., Clostre F. & Lesueur Jannoyer M., 2016. Heterogeneity of soil pollution. In : Crisis management of chronic pollution: contaminated soil and human health. Lesueur Jannoyer M. (ed.), Cattan P. (ed.), Woignier T. (ed.), Clostre F. (ed.). Boca Raton: CRC Press, 31-44. (Urbanization, industrialization and the environment series) ISBN 978-1-4987-3783-8.

Charlier J.-B., 2007. Fonctionnement et modélisation hydrologique d'un petit bassin versant cultivé en milieu volcanique tropical. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier 2, 246p.

Clostre F., Lesueur-Jannoyer M., Achard R., Letourmy P., Cabidoche Y.-M. & Cattan P., 2013. Decision support tool for soil sampling of heterogeneous pesticide (chlordecone) pollution. *Environ Sci Pollut Res* 21, 1980–1992.

Cottez S., 1972. Etude des ressources en eau souterraine de la Grande-Terre (Guadeloupe). Rapport de synthèse des résultats acquis entre 1969 et 1972 par le B.R.G.M. et atlas des eaux souterraines de la Grande-Terre.

Crabit A., Cattan P., Colin F. & Voltz M., 2016. Soil and river contamination patterns of chlordecone in a tropical volcanic catchment in the French West Indies (Guadeloupe). *Environmental Pollution* 212, 615–626.

Djokic D., 2008. Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools. Tutorial ESRI, 61p.

Godard E., Bellec S., 2016. From controversy to pollution assessment: a chronicle of the chlordecone crisis management In : Crisis management of chronic pollution: contaminated soil and human health. Lesueur Jannoyer M. (ed.), Cattan P. (ed.), Woignier T. (ed.), Clostre F. (ed.). Boca Raton: CRC Press, 31-44. (Urbanization, industrialization and the environment series) ISBN 978-1-4987-3783-8.

Levillain J, Cattan P., Colin F., Voltz M. & Cabidoche Y.-M., 2012. Analysis of Environmental and Farming Factors of Soil Contamination by a Persistent Organic Pollutant, Chlordecone, in a Banana Production Area of French West Indies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 159 (0): 123–32. doi:10.1016/j.agee.2012.07.005.

Mizgalewicz P.J. & Maidment D.R., 1996. Modeling Agrichemical Transport in Midwest Rivers Using Geographic Information Systems, Center for Research in Water Resources Online Report 96-6, University of Texas, Austin, TX.

Morell, M., 1992. Variabilité et gestion des ressources en eau de la Guadeloupe. ORSTOM, 11 p.

OMS, 1984. Chlordécone. Critères d'hygiène de l'environnement 43. Genève, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Organisation Internationale du Travail, Organisation Mondiale de la Santé, 62 p.

Perrault M., 2005. Les déterminants des exploitations bananières dans le nord-est de la Basse-Terre (Guadeloupe) : conséquences sur le risque de contamination des sols par la chlordécone. Mémoire de Master Environnement, Milieux, Techniques, Sociétés, INAPG, MNHN, Univ. Paris VII, 51 p.

SAFEGE Guadeloupe, 2017. Diagnostic et suivi de la qualité de l'eau au niveau des ouvrages départementaux 2014-2017. Rapport de synthèse des résultats des investigations 2014-2016, Conseil départemental de la Guadeloupe, 240p.

Saunders W., 1999. Preparation of DEMs for use in environmental modeling analysis, 1999 Esri User Conference, July 24-30, 1999 San Diego, California.

Saunders W.K. & Maidment D.R., 1995. Grid-Based Watershed and Stream Network Delineation for the San Antonio-Nueces Coastal Basin, In Proceedings: Texas Water '95: A Component Conference of the First International Conference of Water Resources Engineering, August 16-17, 1995, American Society of Civil Engineers, San Antonio, TX.

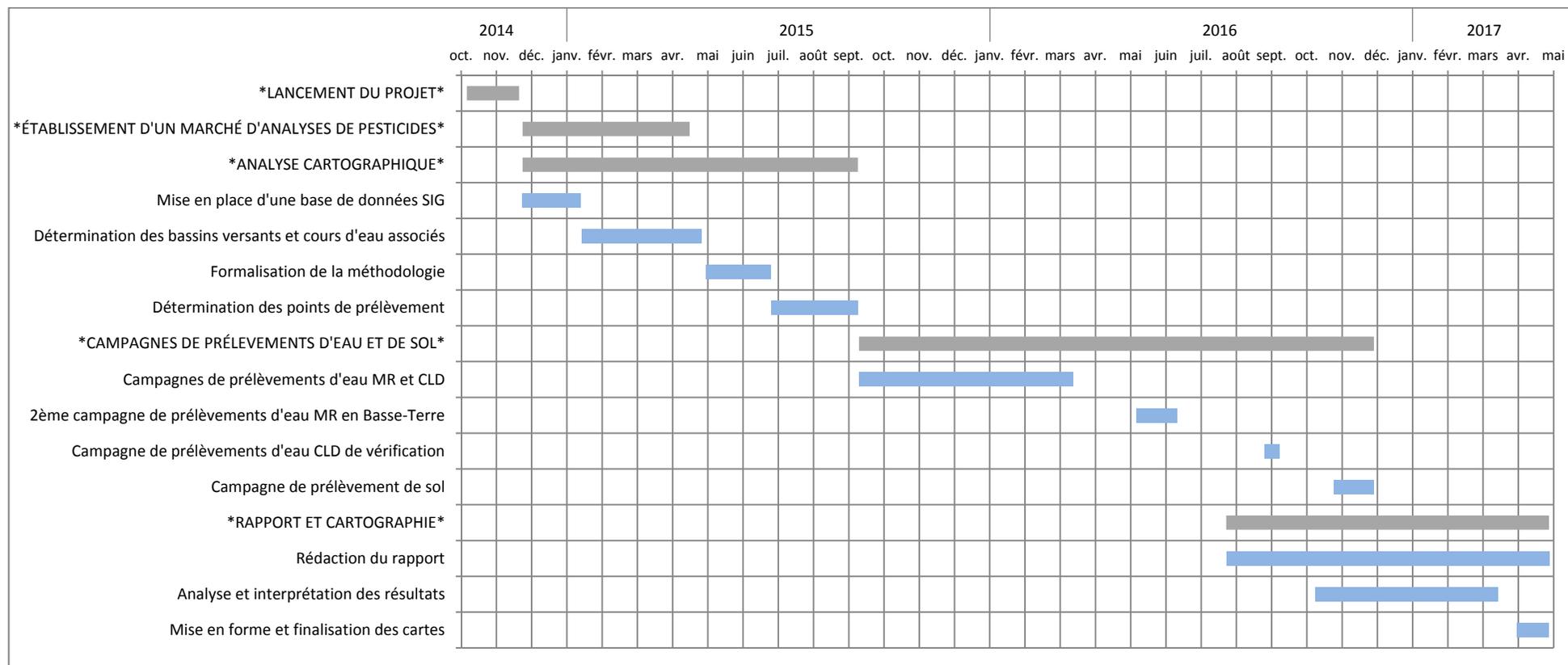
SIRS, 2015: Délimitation et caractérisation des espaces agricoles en Guadeloupe et à Saint-Martin, Rapport de production.

Tillieut O., 2006. Cartographie de la pollution des sols de Guadeloupe par la chlordécone : Rapport technique 2005-2006. DAF971, SPV.

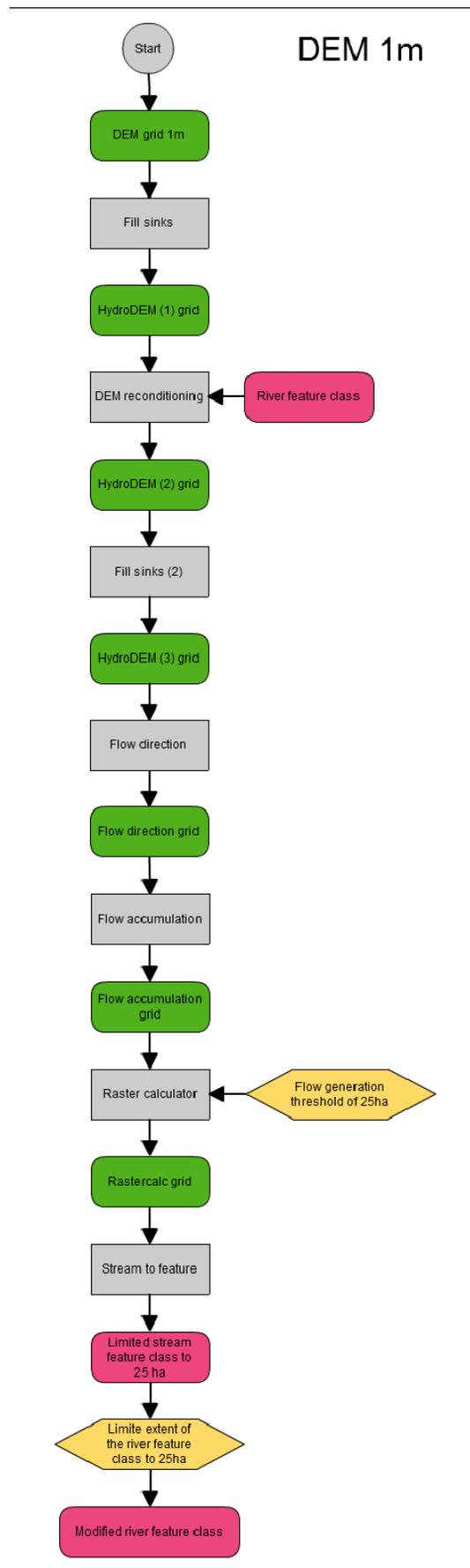
Turcotte R., Fortin J.-P., Rousseau A.N., Massicotte S. & Villeneuve J.-P., 2001. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology* 240, 225–242.

UNEP, 2007. Rapport du Comité d'étude des polluants organiques persistants sur les travaux de sa troisième réunion. Descriptif révisé des risques liés au chlordécone.

Annexe 1 : Calendrier des différentes étapes du projet ChIEauTerre

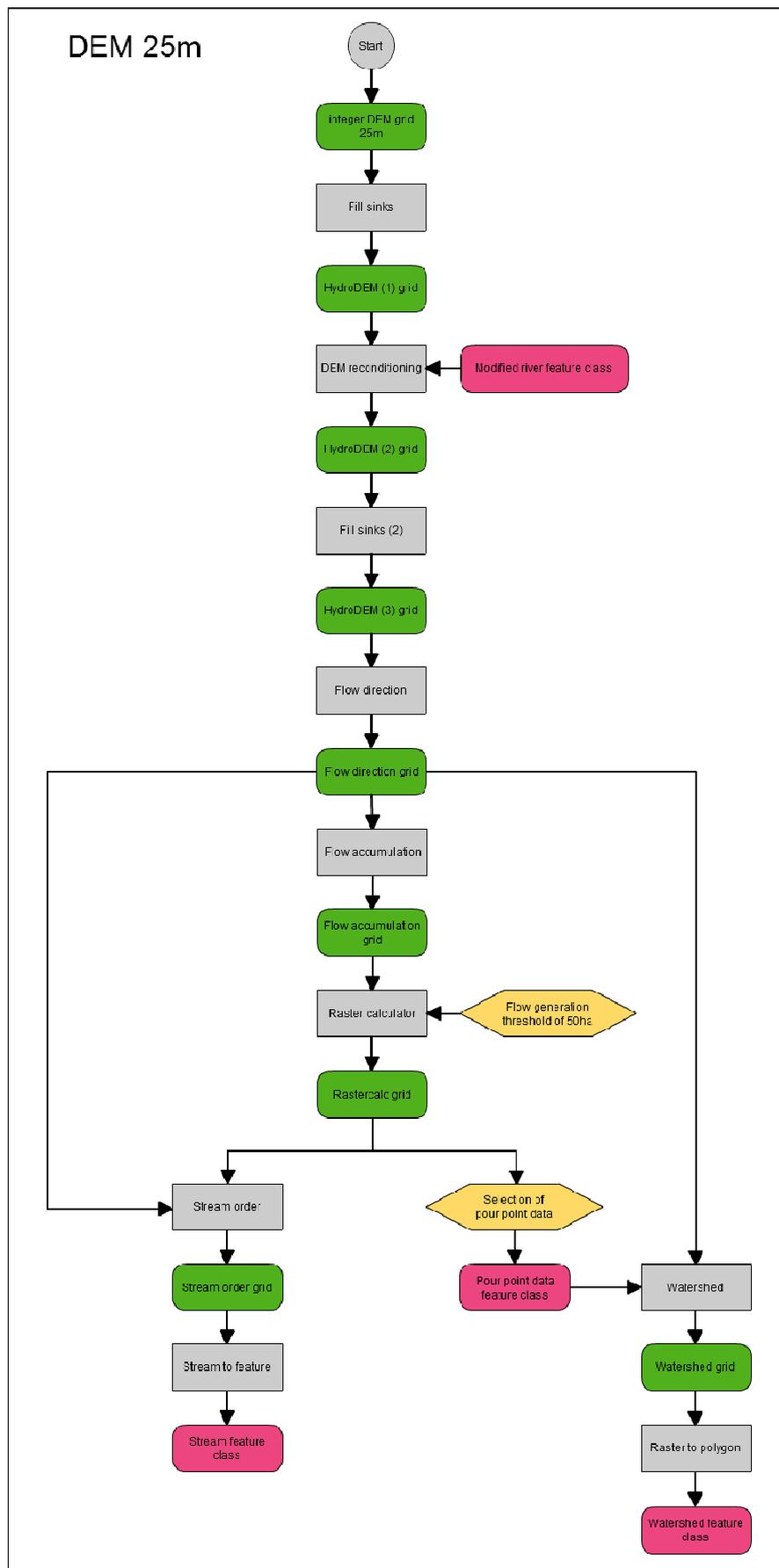


Annexe 2 : Procédure de limitation de la densité du réseau de drainage



Réalisé sous le logiciel en ligne Cacao (<http://cacao.com>), sur la base des diagrammes de Djokic (2008)

Annexe 3 : Procédure de forçage du MNT et de traitements d'analyse spatiale



Réalisé sous le logiciel en ligne Cacao (<http://cacao.com>), sur la base des diagrammes de Djokic (2008)

Annexe 4 : Liste de paramètres non conservés pour le projet ChIEauTerre

Paramètre	Code Sandre
1,3 Dichloropropylène Cis	1834
1,3 Dichloropropylène Trans	1835
Alachlore ESA	6800
Alachlore OXA	6855
Chlorates	1752
Chloroforme	1135
DEDIA	1830
DEDIA OH	
Desethyl Atrazine (2-Hydroxy)	3159
Desethyl Deisopropylatrazine	1830
Dibromomonochlorométhane	1158
Dichloromonobromométhane	1167
Dichlorprop-P	1169
Diéthylamine	2826
Diméthylamine	2773
Dioctylétain	7494
Dithiocarbamates (CS ₂)	2066
Epichlorhydrine	1494
Flonicamide	6393
Formaldéhyde	1702
Prothioconazole	5603
S-métolachlor	2974
S-Metolachlore ESA	6854
S-Metolachlore OXA	6853
Somme Dichloropropylène 1,3 (Cis & Trans)	1487
Somme métabolite atrazine	6282
Toluene	1278
Tributylétain Cation	2879
Tricyclohexylétain Cation	2885
Triphényl étain	6372

Annexe 5 : Liste de paramètres retenus pour le projet ChIEauTerre

Paramètres	Code Sandre	LQ	Cofrac	Rendement %
1-(3,4-DichloroPhényl) Urée	1930	0,020	Y	67
1-(3,4-DichloroPhényl)-3-MéthylUrée	1929	0,020	N	71
2,4 D - Isopropyl-Ester	2872	0,050	Y	81
2,4 D - Methyl-Ester	2873	0,050	Y	75
2,4' DDD	1143	0,010	Y	79
2,4' DDE	1145	0,010	Y	73
2,4' DDT	1147	0,010	Y	79
2,4,5-T	1264	0,020	Y	80
2,4-D	1141	0,02	N	81
2,4-DB	1142	0,040	Y	82
2,4-MCPA	1212	0,020	Y	82
2,4-MCPB	1213	0,04	N	75
2,6 Dichlorobenzamide	2011	0,020	Y	60
4,4' DDD	1144	0,010	Y	82
4,4' DDE	1146	0,010	Y	75
4,4' DDT	1148	0,010	N	73
Abamectine	2007	0,05	Y	80
Acetamiprid	5579	0,020	N	80
Acetochlor	1903	0,020	N	89
Acibenzolar-s-Méthyl	5581	0,1	Y	80
Acifluorfen	1970	0,040	N	107
Aclonifen	1688	0,05	Y	116
Acrinathrine	1310	0,020	Y	100
Alachlore	1101	0,040	Y	82
Aldicarbe	1102	0,02	N	100
Aldicarbe Sulfone	1807	0,02	N	100
Aldicarbe Sulfoxyde	1806	0,02	Y	100
Aldrine	1103	0,010	N	62
Allethrine	1697	0,010	Y	103
Alphaméthrine	1812	0,020	N	121
Amétryne	1104	0,020	Y	85
Amidosulfuron	2012	0,100	N	119
Aminotriazole	1105	0,05	Y	100
Amitraze	1308	0,020	Y	80
AMPA	1907	0,05	Y	100
Anthraquinone	2013	0,020	Y	99
Asulam	1965	0,100	N	80
Atrazine	1107	0,020	N	88
Atrazine Déisopropyl	1109	0,020	N	100
Atrazine Déséthyl	1108	0,020	Y	100
Azaconazol	2014	0,040	Y	97
Azaméthiphos	2015	0,010	Y	84
Azimsulfuron	2937	0,050	N	80
Azinphos Ethyl	1110	0,040	Y	87

Azinphos Méthyl	1111	0,040	N	107
Azoxystrobin	1951	0,010	N	93
Bénalaxyl	1687	0,010	N	100
Bendiocarbe	1329	0,020	N	84
Benfluraline	1112	0,020	N	83
Benfuracarbe	2924	0,1	Y	64
Bénomyl	1407	0,080	N	80
Benoxacor	2074	0,02	N	100
Bensulfuron-Méthyl	5512	0,020	N	80
Bentazone	1113	0,020	N	79
Benthiocarbe	1764	0,02	N	82
Béta-Cyfluthrine	3209	0,02	N	96
Bifenazate	5545	0,050	N	80
Bifénox	1119	0,050	N	118
Bifentrine	1120	0,020	N	90
Bioresméthrine	1502	0,040	Y	83
Biphényl	1584	0,01	Y	80
Bitertanol	1529	0,040	N	100
Boscalid	5526	0,020	Y	80
Brodifacoum	5546	0,020	Y	80
Bromacil	1686	0,050	N	96
Bromadiolone	1859	0,100	Y	80
Bromophos Méthyl	1124	0,040	N	84
Bromophos Ethyl	1123	0,040	N	81
Bromopropylate	1685	0,020	N	100
Bromoxynil	1125	0,040	Y	78
Bromoxynil Octanoate	1941	0,050	N	80
Bromuconazole	1860	0,020	Y	103
Bupirimate	1861	0,020	N	85
Buprofézine	1862	0,050	N	91
Butraline	1126	0,040	N	96
Buturon	1531	0,050	Y	83
Cadusaphos	1863	0,020	Y	76
Captafol	1127	0,020	N	120
Captane	1128	0,040	Y	81
Carbaryl	1463	0,02	Y	100
Carbendazime	1129	0,020	Y	100
Carbétamide	1333	0,040	N	79
Carbofuran	1130	0,020	N	100
Carbofuran-3-Hydroxy	1805	0,025	N	100
Carbophénouthion	1131	0,04	N	83
Carbosulfan	1864	0,020	Y	65
Carboxine	2975	0,020	Y	100
Carfentrazone-Ethyl	2976	0,020	N	112
Chinométhionate	1865	0,020	N	88
Chlorbromuron	2016	0,010	Y	82
Chlorbufame	1336	0,040	Y	76

Chlordane	1132	0,020	N	93
Chlordane alpha	7010	0,020	N	80
Chlordane Béta	1757	0,020	N	76
Chlordane gamma	1758	0,020	N	80
Chlordecol		0,01	N	80
Chlordécone	1866	0,010	Y	82
Chlordecone 5b Hydro	6577	0,010	Y	75
Chlorfenvinphos	1464	0,020	Y	97
Chlorfluazuron	2950	0,05	Y	82
Chloridazone (Pyrazon)	1133	0,050	Y	60
Chlorméphos	1134	0,040	N	77
Chlorméquat chlorure	2097	0,02	Y	100
Chloroneb	1341	0,040	N	89
Chlorophacinone	1684	0,050	Y	81
Chlorothalonil	1473	0,040	N	84
Chloroxuron	1683	0,050	N	90
Chlorpropham	1474	0,020	N	87
Chlorpyriphos Ethyl	1083	0,02	N	83
Chlorpyriphos Méthyl	1540	0,020	N	85
Chlorsulfuron	1353	0,040	N	106
Chlorthal Diméthyl	2966	0,040	N	76
Chlorthiamide	1813	0,010	N	100
Chlortoluron	1136	0,020	N	76
Cinidon-Ethyl	2938	0,020	Y	80
Clethodim	2978	0,050	N	100
Clodinafop-Propargyl	2095	0,020	N	105
Clofentézine	1868	0,02	Y	80
Clomazone	2017	0,040	Y	86
Clopyralide	1810	0,10	Y	60
Cloquintocet Méxyl	2018	0,100	Y	100
Coumaphos	1682	0,050	N	100
Coumatétralyl	2019	0,040	N	60
Cyanazine	1137	0,020	N	92
Cyazofamide	5567	0,020	N	80
Cycloxydime	2729	0,02	N	100
Cycluron	1696	0,020	N	90
Cyfluthrine	1681	0,020	Y	100
Cyhalofop Butyl	5569	0,020	N	80
Cymoxanil	1139	0,100	N	60
Cyperméthrine	1140	0,020	Y	111
Cyproconazol	1680	0,050	N	99
Cyprodinil	1359	0,040	N	87
Dazomet	1869	0,02	N	80
Deltaméthrine	1149	0,020	N	99
Déméton (O+S)	1550	0,100	Y	80
Demeton O	1150	0,100	N	80
Déméton S Methyl	1153	0,100	Y	80

Déméton S Methyl Sulfone	1154	0,100	Y	80
Desmedipham	2980	0,020	Y	80
Desméthylisoproturon (IPPMU)	2738	0,020	N	100
Desmétryne	1155	0,020	N	83
Diallate	1156	0,050	Y	84
Diazinon	1157	0,040	N	88
Dicamba	1480	0,040	N	91
Dichlobenil	1679	0,050	Y	68
Dichlofenthion	1159	0,020	Y	84
Dichlofluanide	1360	0,040	Y	100
Dichlofop Méthyl	1171	0,040	N	89
Dichloroaniline 3,4	1586	0,02	Y	65
Dichlorophène	2981	0,020	Y	80
Dichlorprop	1169	0,02	N	84
Dichlorvos	1170	0,040	Y	86
Dicofol	1172	0,020	Y	80
Didemethylisoproturon 1-(4-IsopropylPhényl) Urée	2847	0,020	Y	100
Dieldrine	1173	0,010	Y	90
Diethofencarbe	1402	0,040	N	83
Difenacoum	2982	0,05	N	80
Difénoconazole	1905	0,050	Y	86
Difethialone	2983	0,020	N	80
Diflubenzuron	1488	0,050	Y	71
Diflufénicanil	1814	0,020	Y	96
Diméfuron	1870	0,020	Y	81
Dimétachlor	2546	0,05	Y	89
Diméthénamide	1678	0,040	Y	78
Diméthoate	1175	0,050	Y	106
Diméthomorphe	1403	0,05	N	106
Dimetilan	1698	0,040	Y	94
Diniconazole	1871	0,040	N	81
DiNitroOrthoCrésol (DNOC)	1490	0,050	N	77
Dinocap	5619	0,050	Y	100
Dinosèbe	1491	0,040	N	70
Dinoterbe	1176	0,040	N	74
Diquat	1699	0,05	N	100
Disulfoton	1492	0,050	N	60
Dithianon	1966	0,050	Y	63
Diuron	1177	0,020	N	73
Dodemorphe	5622	0,020	N	80
Endosulfan Alpha	1178	0,005	Y	77
Endosulfan Béta	1179	0,010	N	85
Endosulfan Sulfate	1742	0,010	N	89
Endrine	1181	0,005	N	113
Epoxyconazole	1744	0,020	Y	101
EPTC	1182	0,040	N	71
Esfenvalérate	1809	0,040	N	91

Ethidimuron	1763	0,050	N	100
Ethion (Diethion)	1183	0,020	N	99
Ethiophencarbe	1874	0,050	N	110
Ethofumésate	1184	0,040	N	86
Ethoprophos	1495	0,040	N	89
Etofenprox	5624	0,020	Y	80
Etoxazole	5625	0,020	Y	80
Famoxadone	2020	0,020	N	107
Fénamidone	2057	0,050	Y	99
Fénarimol	1185	0,040	N	118
Fénazaquin	2742	0,020	Y	89
Fenbuconazole	1906	0,05	Y	101
Fenchlorphos	1186	0,050	N	103
Fenhéxamide	2743	0,050	N	80
Fénitrothion	1187	0,040	N	98
Fénoxaprop Ethyl	1973	0,040	Y	100
Fénoxycarbe	1967	0,040	N	85
Fenpropathrine	1188	0,020	Y	90
Fenpropidine	1700	0,050	N	90
Fenpropimorphe	1189	0,050	N	85
Fenpyroximate E	5630	0,020	N	80
Fenthion	1190	0,040	N	67
Fénuron	1500	0,040	N	60
Fipronil	2009	0,010	N	121
Flazasulfuron	1939	0,100	Y	97
Flocoumafen	5633	0,02	Y	80
Florasulam	2810	0,020	Y	100
Fluazifop-p-Butyl	1404	0,050	Y	96
Fluazinam	2984	0,020	N	80
Fludioxonil	2022	0,040	Y	99
Flufénoxuron	1676	0,050	Y	75
Flumioxazine	2023	0,020	Y	102
Flupyrulfuron Méthyl	2565	0,100	Y	80
Fluquinconazole	2056	0,010	Y	84
Fluridone	1974	0,050	Y	84
Flurochloridone	1675	0,040	N	101
Fluroxypyr	1765	0,040	N	65
Fluroxypyr Methyl Heptyl Ester	2547	0,05	Y	113
Flurprimidol	2024	0,020	Y	101
Flurtamone	2008	0,020	Y	81
Flusilazole	1194	0,050	Y	85
Flutolanil	2985	0,020	N	80
Flutriafol	1503	0,050	Y	96
Folpel	1192	0,020	Y	98
Fomesafen	2075	0,050	N	104
Fonofos	1674	0,020	Y	91
Foramsulfuron	2806	0,05	Y	80

Formétanate Hydrochloride	1703	0,020	N	100
Formothion	1504	0,040	N	90
Fosetyl Aluminium	1975	0,1	N	100
Fosthiazate	2744	0,020	Y	87
Furalaxyl	1908	0,050	Y	91
Furathiocarbe	2567	0,020	N	101
Glufosinate d'ammonium	2731	0,10	Y	100
Glyphosate	1506	0,10	N	100
Haloxyfop	2047	0,100	Y	76
HCH Alpha	1200	0,010	Y	77
HCH Beta	1201	0,010	Y	82
HCH Delta	1202	0,010	Y	85
HCH Epsilon	2046	0,010	N	92
HCH Gamma (Lindane)	1203	0,010	N	83
Heptachlore	1197	0,010	Y	69
Heptachlore Endo Epoxyde	1749	0,01	Y	80
Heptachlore Epoxyde (Somme des isomères)	1198	0,01	Y	sans objet
Heptachlore Exo Epoxyde	1748	0,01	Y	80
Hepténophos	1910	0,020	N	114
Hexachlorobenzène	1199	0,010	Y	62
Hexaconazole	1405	0,05	Y	92
Hexaflumuron	1875	0,040	Y	72
Hexazinone	1673	0,050	Y	74
Hexythiazox	1876	0,050	Y	95
Hydramethylnon	5644	0,020	Y	100
Hydroxyatrazine (2 Hydroxy)	1832	0,040	Y	100
Hydroxyterbutylazine	1954	0,020	Y	100
Imazalil	1704	0,020	Y	94
Imazamétabenz-Méthyl	1911	0,050	Y	110
Imazamox		0,5	N	80
Imidaclopride	1877	0,050	Y	102
Indoxacarbe	5483	0,020	Y	109
Iodofenphos	2025	0,020	Y	93
Iodosulfuron Méthyl	2563	0,070	Y	97
Ioxynil	1205	0,040	N	66
Ioxynil Methyl Ester	2871	0,050	N	88
Ioxynil Octanoate	1942	0,050	N	116
Iprodione	1206	0,040	N	119
Iprovalicarbe	2951	0,100	N	108
Isazofos	1976	0,040	Y	94
Isodrine	1207	0,010	N	74
Isophenphos	1829	0,040	N	86
Isoproturon	1208	0,020	Y	83
Isoxaben	1672	0,040	N	113
Isoxaflutole	1945	0,020	Y	101
Kresoxim Méthyl	1950	0,010	Y	91
Lambda Cyhalothrine	1094	0,020	N	92

Lénacile	1406	0,05	Y	109
Linuron	1209	0,020	Y	79
Lufénuron	2026	0,020	Y	77
Malathion	1210	0,040	Y	91
MCPA-1-Butyl Ester	2745	0,050	Y	83
MCPA-2-Ethyl Hexyl Ester	2746	0,050	N	85
MCPA-Butoxy Ethyl Ester	2747	0,050	Y	94
MCPA-Ethyl-Ester	2748	0,050	N	86
MCPA-Methyl-Ester	2749	0,050	N	86
Mecoprop (MCP)	1214	0,020	N	84
Mecoprop-1-Octyl Ester	2750	0,01	Y	91
Mecoprop-2,4,4-Trimethyl Pentyl Ester	2751	0,050	Y	80
Mecoprop-2-butoxy Ethyl Ester	2752	0,050	N	90
Mecoprop-2-Ethyl Hexyl Ester	2753	0,050	N	83
Mecoprop-2-Octyl Ester	2754	0,050	Y	88
Mecoprop-Methyl Ester	2755	0,050	Y	85
Mecoprop-n iso-Butyl Ester	2870	0,050	Y	82
Mefénacet	1968	0,040	N	105
Mefenpyr-diéthyl	2930	0,020	Y	114
Mefluidide	2568	0,07	N	100
Mepanipirim	5533	0,020	Y	80
Mépiquat chlorure	2089	0,02	Y	100
Mépronil	1878	0,040	Y	101
Mercaptodiméthur	1510	0,02	Y	70
Mésosulfuron Méthyl	2578	0,100	Y	92
Mésotrione	2076	0,020	N	82
Métalaxyle	1706	0,020	N	94
Metaldéhyde	1796	0,05	N	80
Métamitron	1215	0,050	N	60
Métazachlore	1670	0,050	N	95
Metconazole	1879	0,02	Y	86
Methabenzthiazuron	1216	0,020	N	86
Méthidathion	1217	0,040	N	85
Méthomyl	1218	0,01	N	100
Méthoxychlore	1511	0,020	N	79
Métobromuron	1515	0,020	Y	69
Métolachlore (R+S)	1221	0,020	Y	96
Métosulam	1912	0,100	Y	119
Métoxuron	1222	0,020	Y	75
Metrafenone	5654	0,020	N	80
Métribuzine	1225	0,050	Y	69
Metsulfuron méthyl	1797	0,100	Y	120
Mévinphos	1226	0,040	Y	94
Mirex	5438	0,020	Y	77
Molinate	1707	0,020	N	73
Monocrotophos	1880	0,05	Y	80
Monolinuron	1227	0,020	Y	63

Monuron	1228	0,020	Y	64
Myclobutanyl	1881	0,050	N	120
Naled	1516	0,040	N	93
Napropamide	1519	0,020	N	92
Naptalam	1937	0,020	Y	74
Néburon	1520	0,040	N	69
Nicosulfuron	1882	0,020	N	100
Norflurazon	1669	0,050	N	91
Norflurazon Desméthyl	2737	0,050	Y	100
Nuarimol	1883	0,040	N	93
Ofurace	2027	0,010	N	94
Ométhoate	1230	0,10	Y	100
Oryzalin	1668	0,050	N	80
Oxadiargyl	2068	0,100	Y	89
Oxadiazon	1667	0,020	Y	82
Oxadixyl	1666	0,020	N	91
Oxamyl	1850	0,100	N	60
Oxydémeton Méthyl	1231	0,020	Y	100
Oxyfluorène	1952	0,100	Y	106
Paclobutrazole	2545	0,060	Y	97
Paraquat	1522	0,05	Y	100
Parathion Ethyl	1232	0,040	N	93
Parathion Méthyl	1233	0,040	Y	99
Penconazole	1762	0,050	N	79
Pencycuron	1887	0,050	N	94
Pendimethaline	1234	0,020	N	92
Penoxsulam	6394	0,020	N	100
Pentachlorobenzène	1888	0,010	N	89
Pentachlorophénol	1235	0,020	N	71
Perméthrine	1523	0,020	N	102
Phenmediphame	1236	0,100	Y	88
Phorate	1525	0,040	Y	61
Phosalone	1237	0,040	Y	120
Phosmet	1971	0,020	N	104
Phosphamidon	1238	0,050	Y	84
Phoxime	1665	0,100	N	74
Picloram	1708	0,04	Y	80
Picolinafen	5665	0,020	N	80
Picoxystrobine	2669	0,020	N	107
Piperonyl Butoxide	1709	0,040	Y	92
Pirimicarbe	1528	0,01	N	73
Pirimicarbe Desmethyl	5531	0,01	Y	80
Prétilachlore	1949	0,02	Y	106
Prochloraze	1253	0,050	N	83
Procymidone	1664	0,040	Y	92
Profenophos	1889	0,040	Y	116
Promecarbe	1710	0,050	N	77

Prométhryne	1254	0,050	N	87
Prométon	1711	0,040	N	82
Propachlor	1712	0,040	N	89
Propamocarb hydrochloride	2988	0,02	N	100
Propamocarbe	6398	123456	N	80
Propanil	1532	0,040	N	88
Propaquizafop	1972	0,040	N	110
Propargite	1255	0,050	Y	117
Propazine	1256	0,020	Y	86
Propazine-2-Hydroxy	5968	0,02	N	100
Propétamphos	1533	0,040	Y	92
Propiconazole	1257	0,05	Y	88
Propoxur	1535	0,02	Y	70
Propoxycarbazone Sodium	5602	0,020	N	80
Propyzamide	1414	0,040	N	76
Prosulfocarbe	1092	0,040	N	95
Prosulfuron	2534	0,02	N	100
Pymetrozine	5416	0,02	Y	80
Pyraclostrobin	2576	0,05	N	112
Pyrazophos	1258	0,020	N	91
Pyridabène	1890	0,040	Y	96
Pyridate	1259	0,050	N	96
Pyrifénox	1663	0,020	N	60
Pyriméthanil	1432	0,040	N	76
Pyrimiphos Ethyl	1260	0,040	N	82
Pyrimiphos Méthyl	1261	0,040	N	81
Pyriproxyfen	5499	0,020	Y	94
Quinalphos	1891	0,040	N	106
Quinmerac	2087	0,2	N	100
Quinoxifen	2028	0,010	N	89
Quintozène	1538	0,010	N	81
Quizalofop	2069	0,05	Y	118
Quizalofop Ethyl	2070	0,02	N	88
Rimsulfuron	1892	0,02	Y	0
Rotenone	2029	0,040	N	82
Sébuthylazine	1923	0,020	Y	91
Secbuméton	1262	0,040	N	83
Silthiopham	5609	0,020	Y	80
Simazine	1263	0,020	N	75
Somme des DDT	3268	0,010	Y	sans objet
Somme Endosulfan (Alpha+Béta+Sulfate)	1743	0,01	N	sans objet
Spinosad	5610	0,020	Y	50
Spiroxamine	2664	0,100	N	100
Sulcotrione	1662	0,040	N	77
Sulfosulfuron	2085	0,020	N	100
Sulfotep	1894	0,050	N	77
Tau-Fluvalinate	1193	0,040	N	105

Tébuconazole	1694	0,060	N	95
Tébufénozide	1895	0,040	N	80
Tébufenpyrad	1896	0,040	N	94
Tébutame	1661	0,020	N	78
Téflubenzuron	1897	0,050	N	82
Teméphos	1898	0,100	N	85
Terbacile	1659	0,040	N	117
Terbuméton	1266	0,020	N	73
Terbumeton Desethyl	2051	0,020	Y	100
Terbuphos	1267	0,020	Y	87
Terbutryne	1269	0,040	N	89
Terbutylazine	1268	0,020	N	83
Terbutylazine Déséthyl	2045	0,020	N	81
Tétrachlorobenzène	2735	0,050	N	60
Tétrachlorobenzène 1,2,3,4	2010	0,050	N	63
Tétrachlorobenzène 1,2,4,5	1631	0,010	N	65
Tétrachlorvinphos	1277	0,040	N	116
Tétraconazole	1660	0,05	N	96
Tétradifon	1900	0,100	Y	109
Tétraméthrine	5921	0,04	Y	100
Thiabendazole	1713	0,020	N	60
Thiaclopride	5671	0,020	N	80
Thiaflumide (flufenacet)	1940	0,020	Y	105
Thiametoxam	6390	0,25	Y	100
Thiazasulfuron	1714	0,080	N	65
Thifensulfuron Méthyl	1913	0,100	Y	96
Thiodicarbe	1093	0,060	N	107
Thiométon	2071	0,100	N	70
Thiophanate Méthyl	1717	0,02	N	100
Tolclofos Methyl	5675	0,020	N	80
Tolyfluanide	1719	0,040	Y	91
Tralomethrine	1658	0,020	Y	110
Triadimefon	1544	0,050	N	124
Triadimenol	1280	0,100	N	111
Triallate	1281	0,04	Y	77
Triasulfuron	1914	0,100	Y	120
Triazophos	1657	0,05	N	116
Triazoxide	2990	0,020	N	80
Triclopyr	1288	0,020	Y	76
Triclorsan		0,01	N	80
Trifloxystrobine	2678	0,05	N	103
Triflumuron	1902	0,05	N	69
Trifluraline	1289	0,020	Y	76
Trinexapac éthyl	2096	0,020	Y	88
Vinchlozoline	1291	0,020	Y	77
Zoxamide	2858	0,030	Y	115

Annexe 6 : Méthodes de dosage de la chlordécone utilisées par le LDA26

Méthode de dosage de la chlordécone dans l'eau

- Un litre d'échantillon est extrait en partage liquide/liquide avec un mélange dichlorométhane/acétate d'éthyle (80/20) à plusieurs pH, Des traceurs d'extraction HBB/TPP/DIA-D5 sont ajoutés avant l'extraction.
- Les phases organiques sont rassemblées puis mises au congélateur à -18°C pour enlever les traces d'eau.
- Ensuite, l'extrait est concentré sous flux d'azote dans un bain à 35°C (Turbo-Vap) et un traceur de volume, la Propazine D6, est ajouté.
- L'extrait est séparé en deux: 0,5 mL pour les analyses en chromatographie en phase gazeuse dans de l'acétate d'éthyle et 0,5 mL pour les analyses en HPLC dans un mélange eau/acétonitrile (50/50). Les étalons internes sont ajoutés à ce moment-là: 2,4-D D3 et atrazine D5 pour l'HPLC/MS/MS. Un changement de solvant est réalisé en laissant évaporer sous hotte l'acétate d'éthyle, les extraits ne sont jamais "à sec" grâce à l'ajout de pentanol.
- Les extraits sont analysés en combinant une multidétection systématique à l'issue d'une chromatographie gazeuse et liquide (HPLC/MS/MS, GC/MS), La combinaison de ces techniques permet de quantifier le composé et d'obtenir simultanément la confirmation par une autre méthode de détection.

Méthode de dosage de la chlordécone dans les sols

- 10 grammes de sol sont introduits dans une cellule d'extraction, Les traceurs sont ajoutés (HBB/TPP) pour contrôler l'extraction. L'ASE permet d'extraire les molécules par un mélange dichlorométhane/acétone sous pression (120 bar) et à chaud (100°C) durant 30 minutes afin d'augmenter l'efficacité de l'extraction. L'extrait obtenu est concentré avec un système de centrifugation sous vide (GENEVAC EZ2) qui réduit fortement la perte des composés volatils. L'extrait est concentré à 10 mL, Un aliquote de 1 mL est prélevé.
- Une goutte de pentanol est ajoutée dans l'extrait, le solvant est évaporé dans un système GENEVAC MiVac jusqu'à la goutte de pentanol. Cette procédure permet de préserver les composés volatils. L'extrait est ensuite repris par un mélange d'acétonitrile et d'eau avec l'étalon interne le Chlordécone C13, Des traceurs d'injections (Atrazine D5 et 2,4-D D3) sont introduits dans l'extrait afin de vérifier le bon processus d'injection avant l'analyse par HPLC/MS/MS.

Annexe 7: Protocole d'échantillonnage d'eau du projet ChlEauTerre

Les campagnes de terrain doivent être menées par une équipe composée *a minima* de 2 personnes, pour des raisons de sécurité (risque du travailleur isolé) mais également pour optimiser le travail à effectuer.

Paramètres à relever	
<u>Sur le carnet de terrain</u>	
<ul style="list-style-type: none">➤ Numéro de l'échantillon➤ Date et heure de prélèvement (arrondi à 5 min près)➤ Résultats des mesures physico-chimiques (avec leurs unités) :<ul style="list-style-type: none">- Température de l'eau (°C)- Conductivité à 25°C (µS/cm)- pH➤ Conditions climatiques lors du prélèvement : très beau / beau, qq nuages / nuageux / couvert / pluie fine / pluie➤ Moyen de prélèvement : préciser si un seau a été utilisé, et renseigner d'où il a été jeté (d'un pont ou de la berge)➤ Caractérisation du débit : très fort / fort /moyen / faible / très faible / très très faible Si l'écoulement est nul, renseigner "eau stagnante" et préciser l'endroit d'où a été réalisé le prélèvement (marre sur axe d'écoulement, canal, tranchée, mangrove, sol gorgé d'eau, ...)➤ Caractéristiques olfactives ou visuelles particulières : odeur, couleur, charge en floccules ou particules, part d'eau usée éventuelle...)➤ Commentaires liés à l'échantillonnage (difficultés observées au cours de l'échantillonnage pouvant induire un biais dans le résultat),➤ Relevés GPS de chaque point de prélèvement➤ Photos de chaque point de prélèvement ainsi que du cours d'eau en amont et en aval de chacun d'entre eux	
<u>Sur le flaconnage</u>	
<ul style="list-style-type: none">➤ Numéro de l'échantillon➤ Organisme payeur (INRA ou Cirad)➤ Date et heure de prélèvement (arrondi à 5 min près)	

Flaconnage	
<u>Analyse CLD</u>	<u>Analyse MR</u>
<ul style="list-style-type: none">➤ 2 bouteilles de 1 L en verre brun	<ul style="list-style-type: none">➤ 2 bouteilles de 1 L en verre brun (multirésidus)➤ 1 flacon de 150 mL en PET avec opercule (glyphosate et aminotriazole)➤ 1 flacon de 100 mL en PET brun (diquat et paraquat)

Consignes d'échantillonnage

➤ Équipement

Les préleveurs doivent s'équiper de gants en nitrile, à renouveler lors de chaque prélèvement, Il s'agit d'une mesure de protection individuelle qui permet de limiter les risques de contamination des échantillons.

➤ Conditions hydrologiques de prise d'échantillons

Il est recommandé de prélever quand il y a un écoulement normal.

En cas de forte crue, si le cours d'eau sort de son lit, il sera demandé de ne pas procéder à l'échantillonnage.

Pour les cours d'eau intermittents, présents en Grande-Terre notamment, aucun écoulement n'est observable dans majorité des cas, Il est alors demandé de prélever dans les marres/retenues d'eau étant situées sur les axes d'écoulement en précisant bien cela dans le carnet de terrain.

Attention, si les eaux sont des eaux usées ou eaux saumâtres, il ne faut pas prélever.

➤ Prise d'échantillons

Les bouteilles, flacons et leurs bouchons doivent être rincés au moins 3 fois avec l'échantillon. Il faut ensuite remplir à 2 cm au-dessous du bouchon.

Si un seau est utilisé pour le remplissage des bouteilles/flacons (voir conditions ci-après), il doit également être rincé avec l'eau du point d'échantillonnage afin d'éviter la contamination de l'échantillon par les éventuels polluants d'un échantillonnage antérieur. On veillera notamment à s'assurer qu'il ne reste pas de boue/de sédiments au fond du seau. L'eau du seau devra être versée dans le récipient, il ne faut pas immerger le récipient dans le seau.

➤ Mesures physico-chimiques et caractérisations à réaliser

Les paramètres *in situ* seront mesurés prioritairement dans le cours eau. Si le prélèvement est réalisé à partir d'un seau, la mesure pourra être prise à l'intérieur de ce dernier.

Les sondes doivent être rincées à l'eau distillée après chaque utilisation. La sonde pH devra être étalonnée au début de chaque semaine de prélèvement et la sonde de conductivité une fois par mois, tout ceci dans le but de maîtriser une dérive éventuelle des appareils au cours du temps.

Protocole d'échantillonnage

Le préleveur devra privilégier par ordre de priorité les protocoles d'échantillonnage suivants :

- à pied dans le chenal d'écoulement principal du cours d'eau ;
- en cas d'impossibilité, d'un pont ;
- en dernier recours, de la berge avec un seau.

➤ À pied dans le chenal d'écoulement principal du cours d'eau :

L'échantillonnage devra être réalisé dans le chenal d'écoulement principal, de préférence loin des berges et des obstacles présents dans le lit, en se positionnant dans la veine principale du cours d'eau, face au courant. Dans ce cas, l'échantillonnage est réalisé directement dans le cours d'eau à l'aide des flacons fournis par le prestataire des analyses.

En pénétrant dans le cours d'eau, le préleveur veillera à éviter de perturber la zone d'échantillonnage (remise en suspension de sédiments). De même, durant l'étape de rinçage des flacons fournis par le laboratoire d'analyses, il veillera à rejeter les eaux de rinçage en aval de la zone d'échantillonnage.

Il faut dans tous les cas éviter de prélever les eaux de surface (pour ne pas récupérer les corps flottants ou les hydrocarbures à la surface) et éviter également de remettre en suspension les dépôts du fond du cours d'eau.

➤ À partir d'un pont :

Selon la configuration du pont et les éventuels obstacles présents (présence de tuyaux de canalisations), l'échantillonnage pourra être réalisé en amont ou en aval. Il devra être réalisé dans la veine principale du cours d'eau hors des zones de turbulences créées par les piles du pont,

La prise d'échantillon à l'amont doit être privilégiée pour plusieurs raisons:

- l'écoulement y est laminaire ;
- permet de ne pas prélever de l'eau urbaine pouvant provenir de canalisations présentes sous le pont.

Il faut cependant faire attention à la chute de particules provoquée au frottement de la corde sur le parapet.

Durant l'étape de rinçage du matériel d'échantillonnage, le préleveur veillera à rejeter les eaux de rinçage en aval du pont afin d'éviter de contaminer la zone d'échantillonnage. Si le prélèvement a lieu en aval, il faudra les rejeter hors de la zone à échantillonner.

➤ De la berge :

Si le lit du cours d'eau à échantillonner ne permet pas l'immersion du préleveur et qu'il n'existe aucun pont d'où réaliser le prélèvement, l'échantillonnage se fera de la berge à l'aide d'un seau en l'envoyant dans la veine principale du cours d'eau. Pour le reste, les recommandations sont les mêmes que pour les autres types d'échantillonnage.

Annexe 8: Protocole d'échantillonnage de sol du projet ChlEauTerre

Les campagnes de terrain doivent être menées par une équipe composée *a minima* de 2 personnes, pour des raisons de sécurité (risque du travailleur isolé) mais également pour optimiser le travail à effectuer.

Paramètres à relever	
<u>Sur le carnet de terrain</u>	
<ul style="list-style-type: none">➤ Numéro de l'échantillon➤ Date et heure de prélèvement (arrondi à 5 min près)➤ Conditions climatiques lors du prélèvement : très beau / beau, qq nuages / nuageux / couvert / pluie fine / pluie➤ Occupation du sol➤ Texture du sol : à préciser dans les cas où le sol est argileux ou très argileux➤ Humidité du sol : Saturé / Humide / Frais / Sec➤ Commentaires liés à l'échantillonnage (difficultés observées au cours de l'échantillonnage pouvant induire un biais dans le résultat),➤ Relevés GPS des limites de la surface échantillonnée➤ Photos de chacune des parcelles analysées	
<u>Sur le flaconnage</u>	
<ul style="list-style-type: none">➤ Numéro de l'échantillon➤ Organisme payeur (INRA ou Cirad)➤ Date et heure de prélèvement (arrondi à 5 min près)	

Flaconnage	
<u>Sur le terrain</u>	<u>Au laboratoire</u>
<ul style="list-style-type: none">➤ 1 sac plastique épais	<ul style="list-style-type: none">➤ 1 pot en polypropylène, d'une capacité de 500 g de sol

Consignes d'échantillonnage
<ul style="list-style-type: none">➤ Pour chaque prélèvement, il est demandé de ne pas marcher à l'emplacement des points de prélèvement pour ne pas risquer d'apporter de la contamination extérieure.➤ Le préleveur doit s'équiper de gants en nitrile, à renouveler pour chacune des parcelles à échantillonner dans le but de limiter les risques de contamination inter-échantillons.➤ À la fin de l'échantillonnage de chaque parcelle, nettoyer rigoureusement la gouge avec une brosse et de l'eau afin d'éviter les risques de contamination inter-échantillons.

Protocole d'échantillonnage

- Pour une parcelle donnée, réaliser un **maillage** homogène et régulier, **éloigné d'au moins 7 m des limites de la parcelle** pour limiter les effets de bordure, avec des **transects espacés de 10-30 m** sur lesquels seront disposés les points de prélèvements.
- **Densité de points** : au minimum de **15 prélèvements par hectare**, avec un minimum de **8 prélèvements pour les parcelles plus petites**.
- **Horizon prélevé : 0 – 30 cm** (pour être en accord avec le référentiel existant).
- Les prélèvements d'une même parcelle seront **rassemblés dans un sac plastique épais**, à refermer une fois rempli.
- De retour au laboratoire, l'échantillon devra être **mélangé** avant d'en **extraire un échantillon composite** à insérer dans le flacon d'échantillonnage.