

CHLORDÉCONE AUX ANTILLES

Une approche *One Health*
en construction

Pierre Benoit, Malcom Ferdinand,
Jeanne Garric, Magalie Jannoyer, coord.



Chlordécone aux Antilles

Une approche *One Health* en construction

Pierre Benoit, Malcom Ferdinand,
Jeanne Garric, Magalie Jannoyer, coord.

Éditions Quæ

Pour citer cet ouvrage :

Benoit P., Ferdinand M., Garric J., Jannoyer M., coord., 2026. *Chlordécone aux Antilles. Une approche One Health en construction*, Versailles, éditions Quæ, 268 p.
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4147-7>

Les éditions Quæ réalisent une évaluation scientifique des manuscrits avant publication dont la procédure est décrite ici : <https://www.quae.com/store/page/199/processus-d-evaluation>

Le processus éditorial s'appuie également sur un logiciel de détection des similitudes et des textes potentiellement générés par intelligence artificielle.

Les versions numériques de cet ouvrage sont diffusées sous licence CC-by-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

La diffusion en accès ouvert de cet ouvrage a été soutenue par le Plan national d'action Chlordécone.

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles cedex
www.quae.com – www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2026

ISBN papier : 978-2-7592-4146-0
ISBN epub : 978-2-7592-4148-4

ISBN PDF : 978-2-7592-4147-7

Sommaire

Introduction	7
Chapitre 1. Contamination des milieux par le chlordécone : origines, constats et premières mesures de gestion	11
<i>Magalie Jannoyer, Luc Multigner</i>	
Les origines.....	11
Le temps des constats	13
Premières mesures de gestion.....	14
Retour d'expérience	16
Une contamination singulière.....	19
Références bibliographiques.....	19
Chapitre 2. Défis analytiques pour quantifier et suivre la contamination ainsi que pour évaluer des solutions de remédiation	22
<i>Mailie Saint-Hilaire, Jean-Pierre Thomé, Laurence Amalric, Pierre-Loïc Saaidi</i>	
La chlordécone, un insecticide organochloré pas tout à fait comme les autres.....	22
Historique et état des lieux des méthodes de dosage de la chlordécone et de ses produits de transformation	28
Défis analytiques pour mieux caractériser la contamination, ses évolutions et évaluer l'efficacité des méthodes de remédiation.....	45
Références bibliographiques.....	52
Chapitre 3. Quels dispositifs pour observer, comprendre et quantifier les trajectoires de la contamination des sols et des eaux sur des temps longs ?	57
<i>Lai Ting Pak, Charlotte R. Dromard, Anne-Lise Tailamé, Olivier Grünberger, Marc Voltz, Jean-Baptiste Charlier, Patrick Lachassagne, Anatja Samouëlian</i>	
Les dispositifs réglementaires pour suivre les pollutions et leurs impacts	58
Les dispositifs de recherche pour comprendre, prévoir et maîtriser les contaminations.....	65
Vers une consolidation à long terme des dispositifs d'observation.....	72
Références bibliographiques.....	73
Chapitre 4. Perceptions, expériences et savoirs de la pollution au chlordécone et des risques sanitaires associés : apport des sciences sociales	75
<i>Sara Angeli Aguiton, Iris Cervenka, Jérôme Foucaud, Rubis Le Coq</i>	
Rétrospective historique du chlordécone	75
Perceptions et vécus citoyens de la pollution.....	77
Santé environnementale : pathologies en milieu contaminé.....	80
Références bibliographiques.....	85

Chapitre 5. L'évaluation des risques de contamination des écosystèmes et des êtres humains : processus, impacts et méthodologies	88
<i>Marc Voltz, Dominique Monti, Mathieu Coulis, Magalie Jannoyer, Agnès Fournier, Guido Rychen, Xavier Coumoul</i>	
Évaluation des risques de contamination des écosystèmes et d'impacts écotoxicologiques.....	89
Évaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire humaine	101
Démarches d'évaluation des risques sanitaires liés à une exposition à la chlordécone.....	107
Toxicité et dangers potentiels de la chlordécone.....	108
Évaluation des impacts sanitaires de la contamination et événements de santé en fonction de l'exposition.....	108
Évaluation du risque de persistance de la contamination chez l'humain	109
Enjeux futurs en lien avec l'évaluation des risques liés à la contamination par la chlordécone.....	110
Références bibliographiques.....	110
Chapitre 6. Comment prendre en compte la vulnérabilité des écosystèmes?	114
<i>Dominique Monti, Charlotte R. Dromard</i>	
Sévérité du paysage aquatique contaminé	114
Raisons de la grande vulnérabilité des eaux douces antillaises.....	116
Milieu marin.....	118
Localisation de la chlordécone dans les organismes aquatiques	121
Impacts sur les communautés aquatiques	122
Une bio-indication difficile.....	123
Références bibliographiques.....	124
Chapitre 7. Comment prendre en compte la vulnérabilité des populations antillaises ?	126
<i>Jacqueline Deloumeaux, Bernard Bhakkan-Mambir, Jonathan Macni, Jacqueline Véronique-Baudin, Clarisse Joachim, Danièle Luce, Jean-François Desprats, Anne-Lise Tailamé, Jean-Baptiste Charlier, Vincent Bonnal, Philippe Cattan, Pascal Degenne, Victor Dufleit, Jérémy Lavarenne, Lucie Lecat, Annelise Tran</i>	
Profil épidémiologique et contexte socio-économique de la population antillaise	126
Approches pour mettre en relation la contamination des sols et des données sanitaires : application aux données d'incidence des cancers.....	128
Vers une approche intégrée de l'exposome antillais	139
Références bibliographiques.....	139
Chapitre 8. Gestion de la pollution par le chlordécone aux Antilles françaises et risques associés : un problème épineux	142
<i>Valérie Angeon, Jean-Luc Volatier, Josselin Thuilliez</i>	
La crise chlordécone : au-delà d'un problème complexe.....	143
La crise chlordécone : une construction sociale des problèmes et de leurs voies de résolution.....	147

L'évaluation, une solution concrète au problème épineux de la crise chlordécone ?	153
La crise chlordécone : un révélateur des nécessités de renouvellement de l'action publique.....	158
Références bibliographiques.....	159
Chapitre 9. Quels outils et solutions pour réduire l'exposition via le sol, l'eau et les aliments ?	162
<i>Audrey Bruneau, Matthieu Delannoy, Agnès Fournier, Sarra Gaspard, Magalie Jannoyer, Soazig Lemoine, Christophe Mouvet, Guido Rychen</i>	
Agir sur le réservoir de la chlordécone dans les sols.....	163
Agir pour réduire l'exposition des populations humaines et animales au moyen de la qualité sanitaire des aliments.....	172
Principales avancées en vue de la réduction de l'exposition.....	181
Références bibliographiques.....	183
Chapitre 10. Approches communicationnelles des crises du chlordécone en Guadeloupe et en Martinique — Pouvoir, communication publique et médiations	188
<i>Séverine Ely-Marius, Yannick Exilie, Marthe Berthide-Limier, Célia Perito-Cincinnatus, Guillaume Pompougnac, Axelle Beniey, Raoul Legba, Daniel Césarus, Aurélie Pourrez</i>	
Approches sociopolitiques et communicationnelles de la crise du chlordécone comme contexte d'interaction.....	190
Communication publique : discours culpabilisants et pratiques descendantes.....	193
Enjeux scientifiques en communication sur les processus de médiation et de participation.....	195
Communication publique et environnementale incluant une co-existence culturelle, demain ?	
Médiations multiples pour accompagner la population.....	201
Références bibliographiques.....	202
Chapitre 11. Construction du problème public et réception des politiques publiques chlordécone aux Antilles (1968-2023)	205
<i>Malcom Ferdinand, Justin Daniel</i>	
Constitution du problème public (1972-2022) : pollution, santé et justice.....	205
Luttes de cadrage et démonétisation de la parole officielle	210
Conclusion.....	217
Références bibliographiques.....	218
Chapitre 12. Quelle évolution de la mise à disposition et de l'utilisation des données pour une approche plus intégrée de l'exposition au chlordécone ? ...	221
<i>Pierre Benoit, Philippe Hunel, Jeanne Garric</i>	
État des lieux	221
Freins à l'utilisation des données.....	229
Quelle évolution de la mise à disposition et l'utilisation des données environnementales et de santé ?	233
Références bibliographiques.....	239

Chapitre 13. Conclusion : quelles pistes prioritaires pour de nouvelles recherches ?	241
<i>Justin Daniel, Aurore Fourcot, Michel Samson, Guido Rychen</i>	
Pistes de recherche liées à l'analyse de la chlordécone et de ses produits de transformation dans les matrices d'intérêt	241
Pistes de recherche visant à dégrader la chlordécone dans les sols contaminés et à réduire l'exposition humaine au travers des chaînes trophiques	243
Pistes de recherches en lien avec la santé des populations : poursuites des recherches en cours et nouvelles perspectives pour la compréhension des impacts sanitaires	248
Pistes de recherche en sciences humaines et sociales	252
Glossaire	257
Liste des abréviations, sigles et acronymes	260
Liste des auteurs et leurs affiliations	265
Remerciements	267

Introduction

Le cas du chlordécone aux Antilles représente une situation inédite d'une contamination généralisée des compartiments environnementaux et de la chaîne alimentaire qui impacte sur un large territoire et de manière durable la santé des populations humaines et non humaines. Cet insecticide a été utilisé pendant plus de deux décennies (entre 1972 et 1993) sur les cultures de bananes et des surfaces de plusieurs milliers d'hectares aux Antilles françaises. En dépit de son interdiction en 1993, le chlordécone continue de nos jours à être présent dans les sols où il a été appliqué et sa persistance est estimée de plusieurs dizaines d'années à plusieurs siècles selon la nature des sols rencontrés en Martinique et en Guadeloupe. Comme d'autres organochlorés, cette molécule fait partie depuis 2009 des polluants organiques persistants (POP) bannis, recensés dans le cadre de la Convention de Stockholm en raison de sa grande stabilité chimique et de sa toxicité. En France, à l'issue de premiers travaux de recherche identifiant l'ampleur du problème, la situation a nécessité la mise en place de mesures de gestion et d'actions visant à réduire l'exposition des populations et les risques sanitaires associés. Ces actions ont été organisées et coordonnées par l'État à partir de la fin des années 2000 dans le cadre de plans nationaux d'action chlordécone (Pnac) successifs. Le dernier en date, le Pnac IV est en cours (2021-2027).

Partie intégrante de ce plan, le colloque international et interdisciplinaire «Chlordécone, connaître pour agir» a été organisé du 14 au 16 décembre 2022 au Gosier en Guadeloupe, sous l'égide du comité de pilotage scientifique national du plan chlordécone (CPSN) mis en place par le ministère de la Recherche. L'objectif principal du présent livre, ouvrage collectif, est de partager l'état des connaissances récentes, en s'appuyant sur des résultats de recherche publiés ou présentés à ce colloque par la communauté de chercheurs¹ présents. Une seconde ambition est de proposer une réflexion sur l'évolution souhaitable, tant en matière de recherche que de gestion des risques, qu'il s'agisse d'interdisciplinarité scientifique ou d'approche systémique pour la gestion des risques d'exposition. Dans cette perspective, certains chapitres dépassent le cas du chlordécone, pour se référer à des pollutions chroniques durables passées ou actuelles — par exemple, les polychlorobiphényles (PCB), les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (Pfas), ou encore la pollution minière — afin d'illustrer en quoi et d'analyser pourquoi la pollution par la chlordécone est différente ou similaire à ces pollutions dans ses impacts et dans sa gestion sur des temps longs. Enfin, cet ouvrage propose une analyse historique de la reconnaissance de la pollution aux Antilles, de sa caractérisation, de ses impacts environnementaux et sanitaires, ainsi que de sa gestion par les politiques publiques ayant abouti à des engagements de l'État et à des attentes de la société. Il paraît dans la collection « Synthèse » des éditions Quæ consacrée à des ouvrages scientifiques et techniques de référence, destinés à l'enseignement supérieur, aux scientifiques et aux ingénieurs.

1. Dans tout l'ouvrage, pour ne pas alourdir le texte et sans aucune intention discriminatoire, les termes employés pour désigner des personnes sont au masculin, ayant à la fois valeur d'un masculin et d'un féminin.

Cet ouvrage fait appel à diverses disciplines pour présenter les nouvelles avancées des connaissances, des analyses et des résultats des recherches. Cette pluridisciplinarité fait sa richesse, mais elle implique une complexité et des nuances dans l'usage des termes employés au fil de l'ouvrage. En lien avec la pluralité de points de vue disciplinaires, les acceptions de certains termes peuvent donc différer selon les chapitres. Dans ce cas, les définitions des termes et des concepts sont alors chaque fois précisées. En outre, dans cet ouvrage, en règle générale, le terme « chlordécone » présente un genre masculin lorsqu'il se réfère au pesticide, et féminin lorsqu'il se réfère à la molécule. Cette différence de genre est communément observée dans la littérature publiée en français depuis les premiers travaux menés sur le sujet.

Au-delà des connaissances, l'ouvrage propose aussi une analyse réflexive sur les leçons apprises, les outils, les méthodes ainsi que les approches, qui pourront être utiles dans d'autres contextes. Cette dimension méthodologique est transversale aux différents chapitres afin d'éclairer le lecteur sur la manière d'acquérir les données, de les transformer en connaissances et de les diffuser, sur la façon de gérer cette contamination à l'échelle d'un territoire sur le long terme, ainsi que sur les enseignements des différents Pnac et les recommandations pour les recherches futures. Elle permet dans le même temps de tracer des lignes directrices pour l'action publique et d'identifier les enjeux futurs.

Notre ambition initiale était de promouvoir les approches « une seule santé » (*One Health*) indispensables pour résoudre les enjeux de santé à long terme — santé des milieux et santé humaine, impliquant à la fois les sciences environnementales et médicales ainsi que les sciences humaines et sociales. Certains chapitres précisent lorsque des recherches de ce type ont déjà été menées et publiées, mais dans la plupart des champs d'action et de recherche, les approches de type *One Health* restent à construire. Elles sont donc évoquées en tant que perspectives dans de nombreux chapitres.

L'ouvrage traite successivement quatre grandes catégories de questions qui se sont posées à la recherche, comme à l'action, depuis le début de cette crise, dans les domaines de l'environnement, de l'alimentation et de la santé, ainsi que dans sa gestion par les décideurs publics, à l'échelle nationale comme territoriale :

- les questions posées en matière de mesures et de caractérisation des processus de pollution face à une contamination durable et généralisée ;
- les questions posées en matière d'impacts et d'évaluation des risques ;
- les questions posées en matière d'outils pour la gestion des risques et l'action sur le terrain ;
- les questions posées sur les enseignements de la crise du chlordécone pour l'action publique et les recherches à venir.

Ces parties s'enchaînent selon une logique et des liens entre chapitres illustrés dans la figure 0.1.

En matière de mesures et d'observations des processus de pollution face à une contamination durable et généralisée, le chapitre 1 « Contamination des milieux par le chlordécone : origines, constats et premières mesures de gestion » présente une analyse rétrospective des recherches menées pour mesurer et suivre la contamination de l'environnement et des populations. Le chapitre 2 « Défis analytiques pour quantifier et suivre la contamination ainsi que pour évaluer des solutions de remédiation » rappelle les propriétés et spécificités de la molécule ainsi que de ses produits de transforma-

tion et décrit les conséquences pour des méthodes d'analyse qu'il a fallu adapter et améliorer selon les milieux considérés (compartiments environnementaux, matrices biologiques^{2*}, dont fluides humains). Le chapitre 3 «Quels dispositifs pour observer, comprendre et quantifier les trajectoires de la contamination des sols et des eaux sur des temps longs?» décrit et analyse les moyens mis en œuvre en matière d'observations et de collectes de données pour suivre sur le terrain et à long terme le chlordécone ainsi que d'autres pesticides et contaminants dans les écosystèmes des deux îles.

Sur les impacts et la caractérisation des risques, le chapitre 4 «Perceptions, expériences et savoirs de la pollution au chlordécone et des risques sanitaires associés : apport des sciences sociales» explore les dimensions sociales et politiques, citoyennes comme institutionnelles, qui s'articulent autour de l'appréhension des risques sanitaires associés à l'exposition au chlordécone aux Antilles françaises. Le chapitre 5 «L'évaluation des risques de contamination des écosystèmes et des êtres humains : processus, impacts et méthodologies» rappelle les notions fondatrices de l'évaluation des risques environnementaux et sanitaires (exposition, danger et risque) pour faire le point sur les approches et les outils disponibles en discutant des limites rencontrées lors de leur utilisation aux Antilles. Le chapitre 6 «Comment prendre en compte la vulnérabilité des écosystèmes?» et le chapitre 7 «Comment prendre en compte la vulnérabilité des populations antillaises?» poursuivent sur ce thème sous l'angle de la vulnérabilité des populations humaines et non humaines, en approfondissant sur les spécificités des cas antillais.

Concernant les outils pour la gestion des risques et l'action sur le terrain, le chapitre 8 «Gestion de la pollution par le chlordécone aux Antilles françaises et risques associés : un problème épineux» s'intéresse aux enjeux de l'action pour la gestion de la pollution et des risques et pose la question des logiques de décision et d'action qui ont présidé au cours des dernières décennies. Le chapitre 9 «Quels outils et solutions pour réduire l'exposition via le sol, l'eau et les aliments?» présente une analyse critique de méthodes et de «solutions» existantes pour réduire l'exposition des écosystèmes et des populations par le biais des compartiments environnementaux

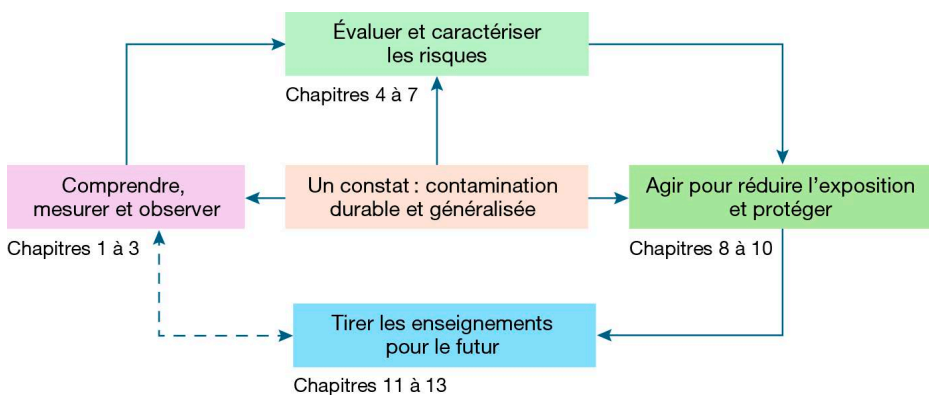


Figure 0.1. Organisation de l'ouvrage en quatre grandes thématiques et identification des chapitres correspondants.

2. Un glossaire est disponible en fin d'ouvrage. Les termes qui y sont définis sont signalés dans le texte, à la première occurrence, par un astérisque.

et de l'alimentation. Le chapitre 10 « Approches communicationnelles des crises du chlordécone en Guadeloupe et en Martinique — Pouvoir, communication publique et médiations » se penche sur les différentes approches communicationnelles déployées pour réduire les impacts sanitaires et écologiques de la pollution.

Enfin, sur les enseignements de la crise du chlordécone pour l'action publique à venir, le chapitre 11 « Construction du problème public et réception des politiques publiques sur le chlordécone aux Antilles (1968-2023) » propose une analyse historique de la constitution de la pollution environnementale par le chlordécone aux Antilles en problème public. Le chapitre 12 « Quelle évolution de la mise à disposition et de l'utilisation des données pour une approche plus intégrée de l'exposition au chlordécone ? » présente une cartographie des différents types de données et des nombreux acteurs qui collectent, centralisent et utilisent ces données sur la contamination comme sur les effets sur la santé des populations et des écosystèmes. Elle analyse également les freins actuels à la mise à disposition de ces données et à leur meilleure utilisation, notamment pour la caractérisation de l'exposome* (c'est-à-dire de l'ensemble des expositions environnementales auxquelles un organisme est soumis tout au long de sa vie). Enfin pour conclure, le chapitre 13 « Conclusion : quelles pistes prioritaires pour de nouvelles recherches ? » revient sur les différentes perspectives de recherche exposées dans l'ouvrage et propose des pistes prioritaires dans quatre grands domaines : quantification analytique, dégradation et transfert dans l'environnement, effets sur la santé humaine et apport des sciences humaines et sociales.

Chapitre 1

Contamination des milieux par le chlordécone : origines, constats et premières mesures de gestion

Magalie Jannoyer, Luc Multigner

» Les origines

En France, les décennies 1960 et 1970 se caractérisent par le début d'une prise de conscience des conséquences délétères des activités humaines sur l'environnement. En témoignage, par exemple, la création du premier ministère entièrement dédié à l'environnement en 1971. À cette époque, la problématique de la contamination des milieux naturels et de la faune sauvage entraînée par l'usage des insecticides dits « organochlorés » était devenue prégnante en conséquence de la constatation de leur rémanence ou persistance environnementale et de multiples observations faites dans les années 1950 aux quatre coins du globe montrant leur impact délétère sur la faune sauvage (Carson, 1962).

Les conditions climatiques qui caractérisent les régions tropicales (chaleur et humidité) telles que les Antilles françaises (composées de l'archipel de la Guadeloupe et de l'île de la Martinique) étaient connues pour favoriser le développement de pathogènes et bioagresseurs affectant les cultures, entraînant, qui plus est dans un contexte d'agriculture productiviste, un usage intensif de pesticides. C'est dans ce contexte qu'une première étude de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) fut initiée en 1975 en Guadeloupe pour caractériser et quantifier la contamination des bassins versants engendrée par l'usage d'insecticides organochlorés en culture bananière (Snegaroff, 1977). Les analyses montrèrent la présence dans les eaux de rivières, sédiments et sols de la région Basse-Terre de résidus de chlordécone dont l'autorisation provisoire de vente ne datait que de 1972. Les concentrations retrouvées dans les sols et les eaux de rivières atteignaient 9,5 mg/kg et 0,21 µg/l respectivement (Snegaroff, 1977).

À la fin des années 1970, l'Inra entreprit la réalisation d'une nouvelle étude associant l'Institut de recherche sur les fruits et agrumes, l'université des Antilles-Guyane et plusieurs services décentralisés de l'État et visant à décrire les contaminations agricoles et industrielles de la Guadeloupe (Kermarrec, 1980). Une partie fut consacrée à la description de la contamination de la faune sauvage par des pesticides organochlorés (HCH technique, dieldrine, DDT et ses métabolites DDD et DDE, mirex, chlordécone³)

3. HCH : hexachlorocyclohexane ; DDT : dichlorodiphényltrichloroéthane ; DDD : dichlorodiphényldichloroéthane ; DDE : dichlorodiphényldichloroéthylène.

et des PCB. Les espèces étudiées comprenaient des oiseaux (faucon «gigli», rouge-gorge «gros-bec», sporophile «cici», héron «kio», ces dénominations correspondant aux noms vernaculaires utilisés dans les Antilles françaises), des mammifères terrestres (rat noir), ainsi que des poissons, coquillages et crustacés d'eaux douces (anguilles, gobies, écrevisses, palourdes, huîtres de palétuviers, etc.) capturés en Basse-Terre, au niveau du canal Perrin en Grande-Terre, ainsi que dans la rivière salée, détroit séparant la Basse-Terre de la Grande-Terre. Au constat d'une contamination généralisée de la faune sauvage par la plupart des pesticides et des PCB, de l'ordre du microgramme par kilogramme de poids frais, ce qui apparut remarquable furent les concentrations observées pour la chlordécone, de l'ordre du milligramme par kilogramme dans les tissus, dépassant parfois les 100 mg/kg dans le foie des rats noirs. Le rapport final de l'Inra fut transmis en 1980 au Secrétariat général du haut comité de l'environnement du ministère de l'Environnement et du Cadre de la Vie.

Ces premières observations auront été faites après un épandage du chlordécone de 3 kg de matière active par hectare et par traitement, sur un nombre réduit d'années (de 1972 à 1977), avec une fréquence de traitement variable selon les exploitations (Levillain *et al.*, 2012). Le ministère de l'Agriculture délivra en 1972 une autorisation provisoire de vente, pour une durée d'un an, du chlordécone sous la dénomination commerciale Kepone® (Fintz, 2010). En absence de réexamen de cette autorisation provisoire au terme prévu, son usage se poursuivra bien au-delà. Mais après l'arrêt définitif de production aux États-Unis dans la seule usine existante fabricant le chlordécone, son emploi aux Antilles s'arrêtera à l'épuisement des stocks importés, vraisemblablement vers 1977. En conséquence du passage des cyclones David (1979) et Allen (1980) en Guadeloupe et en Martinique, le chlordécone sera réintroduit aux Antilles en 1981 avec l'homologation de la formulation Curlone®, après rachat du brevet de fabrication par une compagnie française (Fintz, 2010).

Des années plus tard, en 1993, une étude conduite dans l'estuaire du Grand Carbet en Guadeloupe par la direction départementale de l'équipement montra, que parmi une dizaine de pesticides jusque-là employés en bananeraies, seul le chlordécone était systématiquement détecté et quantifié dans les sédiments (jusqu'à 120 µg/kg) et dans les eaux (jusqu'à 190 µg/l) de l'estuaire du Grand Carbet en Guadeloupe (Burgaud, 1993).

Toutes ces observations attireront l'attention de certains responsables locaux sur la nécessité d'une évaluation rigoureuse de la présence de pesticides aussi bien dans les eaux et l'environnement que dans les denrées alimentaires. Cependant, l'éloignement des laboratoires métropolitains prenant en charge les analyses de résidus de pesticides réduisait les opportunités d'un suivi régulier et d'un diagnostic étendu et précis de la contamination aux pesticides (Cooper, 1992). C'est ainsi que les services sanitaires locaux en charge du contrôle des eaux ne rapportaient que de fugitives et minimes contaminations par des pesticides. Et pour cause, les prélèvements étaient confiés à un laboratoire qui ne pouvait analyser qu'un nombre très réduit de molécules et qui se trouvait dans l'incapacité d'en identifier d'autres, très utilisées localement, dont la chlordécone. Cela entraîna la défiance des associations de protection de l'environnement qui dénoncèrent le peu de réalisme des résultats rendus publics et accusèrent les services de l'État de ne pas dire la vérité sur la contamination de l'eau. Cette controverse entre service de l'État et associations incita les ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement à réaliser une mission d'inspection visant à évaluer les risques liés à l'utilisation de pesticides en

Guadeloupe et en Martinique (Balland *et al.*, 1998). Les conclusions de cette mission d'inspection furent particulièrement sévères, en décrivant une situation à risque du fait de l'importante utilisation de pesticides, d'une connaissance peu fiable et très lacunaire de la contamination des milieux, d'une absence de données sur la qualité des aliments produits localement, d'un impact méconnu sur la santé des populations, d'une application laxiste de la réglementation et d'une mauvaise connaissance des mécanismes de transfert des molécules dans les divers écosystèmes.

►► Le temps des constats

Le rapport très critique émis par la mission d'inspection allait changer radicalement la donne en poussant les préfetures de la Martinique et de la Guadeloupe à la réalisation d'un plan d'action. À l'initiative du chef du service santé-environnement, la direction départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (Ddass) de la Martinique a pris les devants en identifiant un laboratoire disposant de capacités analytiques étendues incluant des molécules telles que la chlordécone. Elle lança alors courant 1999 une première campagne d'analyse des eaux provenant de différentes ressources. Les résultats montraient de nombreux dépassements des normes en vigueur pour les eaux destinées à la consommation humaine (0,1 µg/l) pour divers pesticides, dont le chlordécone. Ce dernier pouvait atteindre 3 µg/l dans certains captages (Basag, 2005), dépassant ainsi le seuil de potabilisation des eaux brutes. Des analyses entreprises en Guadeloupe au cours de la même année rapportèrent des observations similaires sur les sources et cours d'eau de la Basse-Terre avec pour la chlordécone des concentrations atteignant 10,3 µg/l (Blateau et Chaud, 2000). Selon la Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane (Cire-AG), antenne régionale de l'Institut de veille sanitaire (INVS), de telles concentrations représentaient une contribution excessive (supérieure à 10%), voire même un dépassement, de la dose journalière tolérable⁴ (DJT), également appelée valeur toxicologique de référence chronique (VTRc), établie par les autorités sanitaires des États-Unis (Blateau et Chaud, 2000).

Sur ces faits, les services décentralisés de l'État et de nombreuses institutions scientifiques et sanitaires présentes aux Antilles (notamment le Bureau de recherches géologiques et minières [BRGM], le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement [Cirad], la Cire-AG, l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), l'Institut national de la santé et de la recherche médicale [Inserm], l'Inra et l'université des Antilles et de la Guyane [UAG]) se mobilisèrent afin de disposer d'une vision globale de l'étendue de la contamination des écosystèmes, des ressources alimentaires et de la population par le chlordécone. Le dispositif mis en place confirma, dès le début des années 2000, autant en Guadeloupe qu'en Martinique, la présence de la molécule de chlordécone dans de nombreuses sources d'eaux destinées à la consommation humaine, dans les rivières ainsi que dans les sols historiquement consacrés à la culture bananière, pouvant atteindre pour ces derniers 13 mg/kg de sol

4. La dose journalière tolérable ou dose journalière admissible par voie orale correspond à la quantité maximum d'une substance pouvant être ingérée quotidiennement pendant toute une vie sans un risque appréciable pour la santé du consommateur. Elle est calculée sur la base de données toxicologiques ou épidémiologiques auxquelles des facteurs d'incertitude sont appliqués. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) considère que pour un contaminant donné, la consommation d'eau ne devrait pas dépasser 10% de sa dose journalière tolérable.

sec en Martinique (Godard et Bellec, 2002) et jusqu'à 36 mg/kg de sol sec en Guadeloupe (Cabidoche et Lesueur Jannoyer, 2012). Dans la foulée, les premières campagnes destinées à caractériser la contamination de la chaîne alimentaire ont été entreprises. C'est ainsi que l'importante contamination des racines et tubercules (igname, patate douce, etc.) fut montrée et, dans une moindre mesure, celle des cucurbitacées par transfert passif du chlordécone à partir des sols pollués ainsi que celle d'espèces aquatiques d'eau douce et saumâtre (tilapias, par exemple), marines (anchois, pisquettes, chirurgiens, langoustes, etc.) et celle des productions d'aquaculture en eau de mer (Saint-Pierre, par exemple) et en eau douce (écrevisses, crevettes, etc.) à des concentrations allant des quelques microgrammes par kilogramme de matière fraîche jusqu'à plusieurs centaines de microgrammes par kilogramme de matière fraîche (Coat, 2002; Coat *et al.*, 2006; Monti, 2007). Ces premières estimations seront complétées par les enquêtes Reso (résidus organochlorés en Guadeloupe et en Martinique), coordonnées par la Cire-AG, au cours des années 2005 à 2007 (Blateau *et al.*, 2011) et conçues selon un plan d'échantillonnage représentatif des habitudes de consommation et d'approvisionnement de la population guadeloupéenne et martiniquaise. Elles confirmeront des fréquences de contamination plus élevées pour les produits d'eau douce, les produits de la mer (27% et 13% respectivement), les racines et tubercules et les cucurbitacées (18% à 11% respectivement), et constateront l'extension de la contamination au chlordécone à des produits carnés (bœuf, poulet, porc, mouton, etc.) avec une grande variabilité pour les valeurs mesurées.

Restait finalement à obtenir des données sur l'imprégnation de la population à la chlordécone. Des analyses de sang réalisées par l'Inserm entre 1999 et 2001 chez des hommes salariés (du secteur agricole et non agricole) résidant en Basse-Terre en Guadeloupe, puis en 2003 chez des femmes enceintes et leurs nouveau-nés accouchant au centre hospitalier universitaire de Pointe-à-Pitre Abymes et au centre hospitalier de Basse-Terre confirmèrent l'imprégnation par la chlordécone (Multigner *et al.*, 2006; Multigner et Kadhel, 2004, 2008). Chez les salariés, le taux de détection était de 88% avec une concentration médiane de 5,5 µg/l et un maximum de 104,5 µg/l. S'agissant des femmes enceintes, le taux de détection était de 87% (médiane : 2,2 µg/l; maximum : 16,6 µg/l). Chez les nouveau-nés (sang du cordon), le taux de détection était de 61% (médiane : 0,7 µg/l; maximum : 3,7 µg/l). Une analyse des déterminants de l'imprégnation maternelle à la chlordécone a montré, comme attendu, que la fréquence de consommation de légumes racines, mais aussi de produits carnés d'origine locale, était positivement corrélée à la concentration plasmatique en chlordécone.

Par la suite, au fil des années et jusqu'à ce jour, de nombreuses études renseigneront plus finement sur les niveaux de contamination des milieux et des ressources naturelles, des denrées alimentaires, notamment celles issues de productions informelles et des circuits courts de distribution, ainsi que sur les niveaux d'imprégnation des populations.

► Premières mesures de gestion

À compter de 1999 et au fur et à mesure que la caractérisation des niveaux de contamination au chlordécone des milieux naturels et de la chaîne trophique était complétée, l'ensemble des services de l'État et des institutions scientifiques et sanitaires présentes aux Antilles se mobilisèrent pour mettre en place des mesures de gestion visant à protéger la population ou à apporter, par la recherche, les informations nécessaires servant de support aux mesures de gestion.

Dans un premier temps, pour respecter les normes régissant la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, des arrêtés préfectoraux et municipaux imposèrent dès 1999 l'arrêt de l'exploitation des ressources en eaux les plus fortement contaminées et, pour celles moyennement ou faiblement contaminées, le mélange avec des sources non contaminées ou le traitement par charbon actif.

La création en 2001 du Groupe de réflexion et d'étude sur les produits phytosanitaires (Grepp) en Guadeloupe et du Groupe régional phytosanitaire (Grepby) en Martinique associant l'ensemble des parties prenantes (services de l'État, professionnels, institutions de recherche, associations) permit de mettre en commun l'état des connaissances et de proposer des actions de gestion.

Dès 2003, sur la base des connaissances scientifiques acquises par le Cirad et l'Inra sur le transfert sol-plantes de la chlordécone (Cabidoche et Lesueur Jannoyer, 2012), des arrêtés préfectoraux en Martinique et en Guadeloupe obligèrent les agriculteurs à faire analyser les sols avant toute mise en culture de légumes racines. Les producteurs qui persistaient à cultiver des racines et tubercules sur sols contaminés devaient s'astreindre, à leur charge, à un contrôle des végétaux commercialisés. En cas de contrôle positif, le lot était impropre à la commercialisation et détruit, sans indemnité.

Les travaux du BRGM conduiront en 2004 aux premières cartographies de risques de contamination des sols, permettant ainsi de mieux cibler les zones affectées et d'anticiper les pratiques (Desprats *et al.*, 2004). Les recherches menées par l'Ifremer (Bocquené et Franco, 2005; Coat *et al.*, 2006) et l'UAG (Monti, 2007) serviront de support aux arrêtés interdisant la pêche dans des estuaires et rivières et sur les littoraux marins en lien avec les bassins versants pollués par le chlordécone.

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa, 2003) puis l'INVS (Bonvallot et Dor, 2004) s'accorderont sur la VTRc à utiliser (0,5 µg/kg poids corporel/j), la même que celle retenue antérieurement par les autorités états-uniennes. Une première évaluation de l'exposition alimentaire de la population antillaise à la chlordécone (Afssa, 2005) servira de support aux arrêtés ministériels de 2005 réglementant la teneur maximale en chlordécone que ne devraient pas dépasser certaines denrées d'origine végétale et animale pour être reconnues propres à la consommation humaine (également appelée « limite maximale de résidus* » ou LMR⁵).

La Cire-AG coordonnera à partir de 2003 les enquêtes sur la santé et les comportements alimentaires (Escal) en Martinique (Merle *et al.*, 2008) et le comportement alimentaire dans le sud de la Basse-Terre (Calbas) en Guadeloupe (Cornely et Théodore, 2007) permettant de caractériser les comportements alimentaires ainsi que les habitudes d'approvisionnement. Couplées aux enquêtes Reso (Blateau *et al.*, 2011), elles serviront ultérieurement de support aux agences sanitaires pour estimer les taux de dépassements de la VTRc de la population antillaise et caractériser les sous-populations dépassant cette valeur. Dès 2004, l'Inserm lancera un programme de recherche comprenant des études épidémiologiques et toxicologiques afin d'améliorer la connaissance des dangers et identifier les risques sanitaires dans le contexte

5. Les limites maximales de résidus (LMR) sont les concentrations maximales en résidus de pesticides, biocides ou médicaments vétérinaires autorisées légalement dans ou sur les denrées alimentaires commercialisées. Elles sont censées garantir à l'ensemble des consommateurs des niveaux d'exposition inférieurs aux valeurs toxicologiques de référence.

propre à l'exposition de la population antillaise au chlordécone. Les conclusions de ces recherches contribueront en 2021 à la diminution de la VTRc par voie orale ainsi qu'à l'élaboration d'une VTRc interne basée sur la concentration de chlordécone dans le sang (Anses, 2021).

Dès 2005, un Groupe d'étude et prospective associant le Cirad et l'Inra sera chargé par cinq ministères d'établir un état des lieux des connaissances sur les volets agronomiques et environnementaux ainsi que les recherches prioritaires à lancer pour une meilleure caractérisation et gestion de la contamination territoriale (Cabidoche *et al.*, 2006).

Ce n'est qu'en 2008 qu'une gestion centralisée du dossier chlordécone sera installée avec la mise en place du plan d'action national chlordécone I (2008-2010) et qui sera reconduit jusqu'au plan IV, actuellement en cours (2021-2027).

► Retour d'expérience

La contamination des Antilles au chlordécone est inédite à de nombreux égards. Elle concerne un vaste territoire insulaire de 2 700 km², où résident près de 800 000 personnes. En dépit de son interdiction en 1993, le chlordécone continue de nos jours à être présent dans les sols des parcelles où il a été appliqué. Cette contamination durable concerne plusieurs milliers d'hectares, estimés à un tiers des surfaces agricoles utiles, et s'explique par la forte capacité du chlordécone à se fixer à la matière organique et à sa très faible capacité de dégradation biotique et abiotique. En absence de technique opérationnelle de décontamination, sa persistance est estimée à un ou plusieurs siècles selon la nature géologique des sols (Cabidoche *et al.*, 2009). Cette persistance, et les durées estimées de contamination qui en découlent, font aujourd'hui débat (Comte *et al.*, 2022; Saaidi *et al.*, 2023) et la question n'est pas encore élucidée (chapitre 5). Sa capacité de transfert à partir des sols vers les eaux superficielles, ou vers les nappes ainsi que vers la chaîne trophique, explique la contamination de nombreuses denrées alimentaires, végétales et animales, terrestres ou aquatiques, et, *in fine*, l'imprégnation de l'ensemble de la population. De plus, le chlordécone présente une forte capacité de bio-accumulation* avec des demi-vies* plasmatiques variables selon les organismes et pouvant atteindre 131 jours chez l'humain (Emond et Multigner, 2022). Finalement, la dangerosité du chlordécone, bien établie dès la fin des années 1980 et ne souffrant pas de controverse scientifique, a conduit les instances internationales à le considérer comme agent neurotoxique, toxique pour la reproduction, cancérigène et perturbateur endocrinien (ATSDR, 2020; IARC, 1979) et à l'intégrer à la liste A des polluants organiques persistants de la Convention de Stockholm en 2007.

La France n'ayant jamais été confrontée dans le passé à une contamination environnementale présentant l'ensemble des caractéristiques décrites ci-dessus, il n'était pas possible de puiser dans une expérience antérieure pour y faire face. Pour autant, la mobilisation des acteurs de la recherche et des services de l'État aura permis d'établir rapidement un diagnostic de situation et d'orienter les autorités à prendre les premières mesures de gestion. Une analyse critique des procédures mises en place pour estimer l'étendue et l'intensité de la contamination au chlordécone en conséquence des premières observations de dépassement des normes de qualité pour l'eau de consommation fait émerger trois aspects qui apparaissent essentiels pour estimer une telle contamination : les procédures de mesure, les procédures d'échantillonnage ainsi que le partage des informations et la capitalisation des acquis.

S'agissant des procédures de mesure, les prélèvements d'eaux destinés au contrôle sanitaire de l'eau de consommation humaine étaient jusque-là expédiés en France hexagonale à des laboratoires qui se limitaient à la recherche de pesticides ciblés, employés dans l'Hexagone (et non outre-mer). À l'initiative de la direction régionale des Affaires Sanitaires et Sociales (Drass) de la Martinique, les prélèvements d'eaux furent envoyés, à partir de 1999, à un nouveau laboratoire qui permit la caractérisation d'un grand nombre de molécules, incluant celles employées dans le passé aux Antilles, dont la chlordécone. Avec comme objectif d'estimer l'étendue de la contamination, des échantillons furent prélevés et envoyés à divers laboratoires, situés sur le territoire européen (en France et en Belgique), en fonction du type de matrice (sols, aliments, tissus biologiques, etc.), chaque laboratoire étant spécialisé dans l'une d'entre elles. Tenant compte des propriétés physico-chimiques particulières de la chlordécone, qui la différencie de la plupart des autres organochlorés, chaque laboratoire dut faire un investissement conséquent pour la mise au point analytique, avec l'abaissement des seuils de sensibilité en particulier. Avec le recul, on peut regretter une absence de concertation entre laboratoires, ce qui aurait permis un partage d'expérience, incluant des comparaisons interlaboratoires et, *in fine*, une plus grande efficacité (justesse et précision) et rapidité dans les validations des procédures d'analyse (Le Déhaut et Procaccia, 2009). On peut déplorer également que, à la suite du rapport commandité en 1992 par le service de Protection des Végétaux de la Martinique, les recommandations portant sur l'installation d'un laboratoire d'analyse des pesticides aux Antilles n'aient pas été suivies d'effets (Cooper, 1992). Un tel dispositif aurait sûrement permis, dès le début des années 2000, de faire face à deux difficultés majeures : le coût élevé d'expédition des échantillons en territoire européen et les longs délais d'obtention des résultats. Or la question du coût et des délais peut peser à la fois sur la caractérisation de la contamination, mais également sur la mise en place de mesures de gestion. Ainsi, le coût d'analyse a réduit la fréquence et le nombre de prélèvements, ce qui, à son tour, a impacté la précision et la résolution à l'échelle du territoire. Pour ce qui est de l'allongement des délais, dans certaines situations, celui-ci n'a pas permis la réactivité nécessaire pour une gestion efficace de terrain, par exemple pour l'analyse de la conformité des denrées alimentaires conditionnant leur mise sur le marché, dont le délai était supérieur à celui de la périssabilité de la denrée.

Les procédures de mesure ne concernent pas uniquement la performance analytique des laboratoires. En effet, un tel processus débute dès la prise d'échantillons. L'adaptation des protocoles de mesure au contexte est indispensable pour éviter certaines erreurs. Les sols constituant le réservoir de la contamination, leur analyse s'est vite imposée comme l'outil indispensable, tant pour la caractérisation du niveau de contamination que pour la gestion des pratiques agricoles ou d'élevage. Or le chlordécone a été appliqué de manière très hétérogène à l'échelle de la parcelle (application manuelle et ponctuelle sous forme de poudre autour des souches de bananiers), générant des points chauds (*hot spots*) de contamination des sols au sein des parcelles. De plus, cette hétérogénéité a pu être combinée avec la diversité de la nature des sols et avec certaines pratiques agricoles (fréquence très variable d'épandage selon les exploitations, travail du sol) sur des décennies, aboutissant à une situation complexe de la contamination. Une méthode d'échantillonnage des parcelles a été mise au point pour représenter au mieux une valeur moyenne de la contamination du fait de cette hétérogénéité. Un nombre minimum de 20 points de prélèvements par hectare a été jugé

nécessaire afin d'obtenir un échantillon composite représentatif de chaque parcelle (Achard *et al.*, 2003). Des fiches méthodologiques ont été produites pour harmoniser l'échantillonnage des sols (Achard *et al.*, 2003) et des végétaux (Carles *et al.*, 2010). S'agissant des méthodes d'échantillonnage pour les eaux, le prélèvement ponctuel est resté longtemps la référence, alors que la question de la variabilité temporelle et spatiale à l'échelle des bassins versants a été mise en évidence à partir de 2007 (ARS, 2017; Lesueur Jannoyer *et al.*, 2016). Un échantillonnage plus intégratif est actuellement mis en œuvre. Enfin, la préparation des échantillons de certaines denrées alimentaires des enquêtes Reso (Blateau *et al.*, 2011) réalisée selon les protocoles classiques de contrôle (réglementation en vigueur et *Codex alimentarius*) a pu conduire à des résultats aberrants pour la contamination par le chlordécone. En effet, la préparation sans lavage, exigée pour les pesticides contenus sur ou dans les fruits et légumes, ne prenait pas en compte la contamination fréquente liée à la présence de terre résiduelle contaminée sur ces denrées, notamment sur les légumes racines. Des ajustements progressifs ont ainsi permis la correction de ces premières erreurs et l'adaptation de protocoles dédiés aux différentes hypothèses testées et questions posées.

Enfin, la capitalisation d'expérience n'est que rarement intégrée dans la gestion d'une contamination. Or elle implique une posture d'amélioration continue, en limitant par exemple la perte d'informations, et permet *in fine* de mieux gérer, voire d'éviter, d'autres situations. Il est vrai que la mémoire d'un événement, dans ce cas la gestion d'une contamination majeure, n'est pas simple à formaliser et à transmettre. Pourtant, cela est encore plus précieux dans un contexte où les parties prenantes ont une dynamique de renouvellement rapide, avec, en particulier aux Antilles, beaucoup de rotations dans les équipes scientifiques et les services de l'État. La recommandation est simple, mais la mise en pratique complexe. Pour les acteurs de la recherche, la capitalisation scientifique a souvent été différée au profit d'une posture de transparence des résultats au service des mesures et des actions à mettre en œuvre par les gestionnaires du territoire. Une grande proximité avec des échanges réguliers et des productions conjointes entre recherche, services de l'État et institutions territoriales s'est ainsi mise en place.

Nous convenons que les résultats et conclusions qui découlent des premières phases de caractérisation d'une contamination ne sont pas toujours simples à exposer. En 2008, une enquête de l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (Inpes) a porté sur la connaissance et la perception de la population antillaise de la problématique chlordécone (Girard, 2009). Une large majorité des personnes enquêtées avaient entendu parler du chlordécone et se sentaient concernées dans la mesure où cette contamination pouvait avoir des effets sur leur santé, mais elles déploraient un manque de transparence des pouvoirs publics. Cette défiance était bien moindre pour ce qui concernait les scientifiques et leurs travaux. Globalement, les résultats de cette enquête manifestaient un réel besoin d'information de la population antillaise, celle-ci étant jugée insuffisante, voire parfois contradictoire et incohérente. Aussi les connaissances et les données sur la perception de la contamination par les populations antillaises, des risques associés et des pratiques ou des stratégies mises en place ont été très utiles pour améliorer l'autonomie de décision et de gestion individuelle ou collective. Le niveau d'information de chacun est d'ailleurs clé dans la perception et la confiance accordée à la gestion (Girard, 2009).