

THÈSE
pour le
DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE
par

COTTRELL Cindy

Présentée et soutenue publiquement le 19 Juin 2015

*La problématique du chlordécone aux Antilles,
de la contamination à la prise de conscience.*

Président : M. Alain PINEAU, Professeur de Toxicologie,
Faculté de pharmacie de Nantes

Membres du jury : M. Christophe OLIVIER, directeur de thèse, Maître de conférences
en toxicologie, Faculté de pharmacie de Nantes
M. Bruno CAROFF, Directeur général d'Inovalys

Sommaire

Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	5
Liste des abréviations.....	6
Remerciements.....	7
Introduction.....	8
PARTIE 1 : Le chlordécone et son utilisation.....	9
I. Le chlordécone.....	9
I-1) La molécule : ses propriétés physico-chimiques.....	9
I-2) Métabolisation chez l'homme et l'animal.....	11
I-3) Toxicité chez l'homme et l'animal.....	12
I-3-1) Toxicité aiguë et subaiguë	12
I-3-2) Toxicité chronique.....	13
I-4) Les Valeurs Toxicologiques de Référence	14
I-4-1) VTR et chlordécone.....	15
I-4-1-1) Effets non cancérogènes.....	15
I-4-1-2) Effets cancérogènes.....	16
I-4-1-3) Limites Maximales de Résidus.....	16
II. Historique de l'utilisation du chlordécone.....	17
II-1) La production du chlordécone aux Etats-Unis de 1951 à 1976.....	17
II-2) L'arrivée du chlordécone aux Antilles et son utilisation de 1972 à 1993.....	18
II-3) La mise en avant des risques liés à la pollution au chlordécone de 1994 à 1999.....	19
PARTIE 2 : Evaluation de la contamination de l'environnement par le chlordécone aux Antilles.....	21
I. Les domaines d'utilisation du chlordécone et sa localisation dans le territoire Antillais.....	21
II. La contamination de l'eau.....	23
II-1) Les eaux superficielles.....	23
II-2) Les eaux souterraines.....	24
II-2-1) Processus de décontamination des eaux.....	26
II-3) Les milieux marins.....	28

III. La contamination des sols.....	33
III-1) Le niveau de contamination des sols.....	33
III-2) Rôle de la nature du sol dans la persistance de la molécule.....	34
III-3) La propagation de la pollution des sols.....	35
III-3-1) Propagation latérale.....	35
III-3-2) Propagation verticale.....	36
III-4) Les solutions pour remédier à la pollution du sol.....	38
IV. La contamination des denrées alimentaires.....	39
IV-1) La contamination des végétaux.....	41
IV-2) La contamination des animaux d'élevage.....	47
PARTIE 3 : Le risque sanitaire pour la population Antillaise.....	51
I. Niveau d'exposition globale de la population.....	51
I-1) Exposition aiguë et chronique de la population générale.....	54
I-2) Cas de l'exposition sanitaire des jeunes enfants.....	57
II. Impacts sur la santé.....	61
II-1) Prévalence du cancer de la prostate aux Antilles.....	61
II-1-1) Etude du lien entre l'exposition au chlordécone et le cancer de la prostate.....	62
II-1-1-1) Etude Karuprostate.....	62
III. Les plans d'actions nationaux.....	64
III-1) Le plan d'action chlordécone 2008-2010.....	65
III-1-1) Le programme des Jardins familiaux (<i>Jafa</i>) en Guadeloupe.....	67
III-2) Le plan d'action chlordécone 2011-2013.....	70
III-3) Le plan « Ecophyto 2018 »	74
III-3-1) Le plan « Ecophyto DOM »	75
III-4) Le plan « banane durable »	77
Conclusion.....	81
Bibliographie.....	82

Liste des figures

Figure 1 : Structure moléculaire du chlordécone ($C_{10}Cl_{10}O$, PM : 490,7 g.mol ⁻¹).....	9
Figure 2 : Hydratation d'un composé carbonylé et formation d'un gem-diol.....	10
Figure 3 : Schéma de métabolisation du chlordécone.....	11
Figure 4 : Carte des risques de pollution des sols des Antilles (Guadeloupe et Martinique) par le chlordécone.....	22
Figure 5 : Schéma de l'articulation des axes et hypothèses scientifiques proposés dans un système théorique du devenir du chlordécone dans le milieu marin.....	28
Figure 6 : Emplacement des sites d'échantillonnage sur la côte sud-est de la Guadeloupe.....	30
Figure 7 : Représentation cartographique des prélèvements de produits de la pêche réalisée au niveau du milieu marin en Guadeloupe de 2008 à 2011.....	31
Figure 8 : Représentation cartographique des zones définies aux articles 1 à 3 de l'arrêté du 26 Juin 2013.....	32
Figure 9 : Stimulation de l'évolution des teneurs en chlordécone de la couche de surface des sols de bananeraies du sud de Basse-Terre (Guadeloupe).....	35
Figure 10 : Effet du système de culture sur les teneurs en chlordécone.....	36
Figure 11 : Teneurs moyennes en chlordécone (mg/kg sol sec) pour deux horizons (0-30 cm et 30-60 cm) de systèmes de cultures contrastés et de type de sol différents.....	37
Figure 12 : Voie de contamination par le chlordécone chez les plantes.....	40
Figure 13 : Représentation de l'organisation du bananier.....	41
Figure 14 : Test de l'hypothèse de contamination par contact de l'igname.....	43
Figure 15 : Schéma représentatif du flux de chlordécone dans les produits issus de la transformation de la canne à sucre.....	44
Figure 16 : Schéma représentatif de la sensibilité des productions végétales au transfert de chlordécone et les seuils de teneur du sol en chlordécone pour les recommandations de mise en culture.....	45
Figure 17 : Mode de contamination des animaux d'élevage.....	47
Figure 18 : Réponse de la concentration de chlordécone dans l'œuf et le gras abdominal à l'ingestion de chlordécone.....	49
Figure 19 : Fréquence de contamination des aliments en Guadeloupe et Martinique.....	53
Figure 20 : Répartition de la consommation chez les enfants de 18 mois en Guadeloupe par groupe d'aliments.....	59
Figure 21 : Extrait du livret « les recettes du programme <i>Jafa</i> - Vol. 1.....	69
Figure 22 : Carte des zones de pêche interdites – Arrêté du 26 Juin 2013.....	72
Figure 23 : Evolution des quantités de matières actives utilisées dans la filière banane en Martinique et en Guadeloupe.....	79

Liste des tableaux

Tableau I : Principales toxicités observées à Hopewell ou dans les modèles animaux.....	14
Tableau II : VTR pour une exposition chronique orale au chlordécone.....	15
Tableau III : BMDL ₁₀ et VTR pour différents effets.....	16
Tableau IV : Estimation des surfaces de terres impactées en chlordécone sur les aires d'alimentation en eaux superficielles sur l'île de Basse-Terre en Guadeloupe.....	24
Tableau V : Mesures prises concernant les sources d'alimentation en eau potable en Guadeloupe	25
Tableau VI : Niveau de contamination des échantillons analysés	30
Tableau VII : Contamination des sols dans les deux îles	33
Tableau VIII : Résultat du plan de contrôle 2011.....	46
Tableau IX: Résultat du plan de surveillance 2011.....	46
Tableau X: Identification des aliments susceptibles de poser un risque aigu.....	55
Tableau XI : Niveaux de contamination en ng/mL du lait maternel.....	58
Tableau XII : Principaux résultats de l'évaluation de l'exposition alimentaire chronique au chlordécone des enfants de 18 mois en Guadeloupe.....	60
Tableau XIII : Taux plasmatique en chlordécone et risque de cancer de la prostate.....	63

Liste des abréviations

AFSSA : Agence française de Sécurité Sanitaire des Aliments
AFSSE : Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale
AMREC : L'Association Martiniquaise pour la Recherche Epidémiologique sur le Cancer
ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
APV : Autorisation Provisoire de Vente
ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BMD : Benchmark Dose
CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DAAF : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DGAL : Direction Générale de l'Alimentation
DL₅₀ : « dose létale »₅₀.
DGCCRF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes
DOM : Département d'Outre Mer
DSDS : Direction de la Santé et du développement Social
DSV : Direction des Services Vétérinaires
ERU : Excès de Risque Unitaire
FAO : Food and Agriculture Organization
HCH : Hexachlorocyclohexane
IARC : International Agency for Research on Cancer
IFAC : Institut Français de recherche Fruitière d'Outre Mer
INPES : Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale
InVS : Institut de Veille Sanitaire
IREPS : Instance Régionale d'Education et de Promotion de la Santé
IT² : Institut Technique Tropical
Jafa : Programme des Jardins Familiaux
LMP : Limite Maximale Provisoire
LMR : Limite Maximale Résiduelle
LOAEL : Lowest Observed Adverse Effect Level
NOAEL : No Observable Adverse Effect Level
OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PIRRP : Plan Interministériel de Réduction des Risques liés aux Pesticides
PNSE : Plan national Santé Environnement
POP : Polluant Organique Persistant
PPNU : Produits Phytosanitaires Non Utilisés
PPO : Polluants Persistants Organochlorés
PSPPC : Plan de Surveillance et Plan de Contrôle
REL : Réticulum Endoplasmique Lisse
SAU : Surface Agricole Utile
SOERE : Système d'Observation et d'Expérimentation au long terme pour la Recherche en Environnement
SPV : Service de la Protection des Végétaux
UGPBAN : Union des Groupements de Producteurs de Banane
US-EPA : United States Environmental Protection Agency
VTR : Valeur Toxicologique de Référence

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon Maître de thèse, Monsieur Christophe OLIVIER pour sa patience, son aide et le soutien qu'il m'a apporté tout au long de la réalisation de cette thèse. Ses commentaires judicieux m'ont permis de structurer mon sujet, et ainsi d'aboutir à la finalisation de ce travail. Merci également à Monsieur PINEAU et à Monsieur CAROFF d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Un grand Merci à ma famille, pour son soutien permanent tout au long de la rédaction. Je remercie particulièrement mes parents de m'avoir permis de faire de si longues études, même si avec la distance cela n'a pas toujours été facile.

Merci à ma petite sœur qui a toujours été présente malgré ces 8000 km qui nous séparaient, elle a su être là pour me remonter le moral. Merci pour cette année 2015 particulièrement, durant ces derniers mois de rédaction de thèse, où elle m'a aidé à ne rien lâcher.

Merci également à toutes ces personnes que j'ai pu rencontrer durant ces 6 années d'études et particulièrement à Laura sans qui ces études n'auraient pas été pareilles, merci à ses parents et sa sœur que je considère comme ma seconde famille !

Je tiens à remercier aussi Virginie, Hafida, Bountha, Clotilde, Fany, Shira, Claire, Marion et Maureen pour tous les bons moments que j'ai pu partager avec elles. Merci également à Cyrielle pour tous ces longs coups de fils lors des périodes de révisions !

Je tiens aussi à dire un mot à deux êtres qui me sont chers : Raymond et Yvette, merci de votre gentillesse et de l'attention que vous m'avez porté durant ces longues années d'études loin de la Guadeloupe.

Enfin, merci à Christopher de m'avoir soutenu et attendu pendant tout ce temps.

Introduction

Le terme « pesticide » fait référence à toutes les substances (molécules) ou produits (formulations) qui éliminent les organismes nuisibles. Ce terme général comprend les insecticides, les fongicides, les herbicides, et les antiparasitaires.

L'utilisation des pesticides en agriculture remonte à l'Antiquité. Aujourd'hui on estime que 2,5 millions de tonnes de pesticides sont appliqués chaque année dans les diverses cultures de la planète.

Même s'ils sont à l'origine d'un énorme progrès dans la maîtrise des ressources alimentaires ainsi que dans l'amélioration de la santé publique, ils peuvent représenter, par leur caractère persistant éventuel, un danger pour les écosystèmes et également pour les hommes.

En fait, l'impact environnemental d'un pesticide va dépendre de son degré d'exposition (résultant de sa dispersion et de sa concentration dans l'environnement), de sa persistance, et de ses caractéristiques toxicologiques.

Etant originaire des Antilles, j'ai donc porté une attention particulière sur l'exemple « édifiant » d'une utilisation mal contrôlée d'un produit phytosanitaire dangereux, le chlordécone, et de ses conséquences en terme de santé publique. Il s'agit ici d'une illustration typique d'un usage abusif des insecticides tel qu'il a été longtemps pratiqué partout dans le monde, conduisant à une crise sanitaire et environnementale, en l'occurrence ici dans les DOM-TOM.

Le chlordécone est un pesticide organochloré polluant organique persistant, pouvant se concentrer dans les organismes vivants, cancérogène possible et perturbateur endocrinien potentiel chez l'homme. Il a été utilisé durant de nombreuses années dans les départements français des Antilles principalement pour lutter contre le charançon du bananier.

Le chlordécone fut breveté en 1952 aux Etats-Unis. En 1958, il a été commercialisé sous le nom de Képone[®] puis fut exporté dans la plupart des continents jusqu'en 1976 où il fut interdit de production.

Mais à la suite d'évènements climatiques entraînant une recrudescence du charançon de la banane aux Antilles, une seconde formulation commerciale à base de chlordécone (le Curlone[®]) fut autorisée en 1981 uniquement pour cette indication. Néanmoins, en 1990 celui-ci a fait état d'un retrait d'autorisation de vente, avec tout de même un usage qui se prolongea jusqu'en 1993.

Au cours de cet exposé, nous verrons dans un premier temps, les différentes propriétés du chlordécone ainsi que l'historique de son utilisation, puis nous évaluerons la contamination de l'environnement par celui-ci et enfin dans un dernier temps nous estimerons le risque sanitaire encouru par la population antillaise, ainsi que les mesures prises dans le cadre du Plan National Santé Environnement. En effet, compte tenu de sa persistance dans le temps et de l'ampleur de son utilisation, la pollution par le chlordécone représente un enjeu environnemental, agricole et sanitaire important pour la population antillaise et a conduit à mettre en place des plans d'actions qui seront également développés en fin d'exposé.

PARTIE 1 :

Le chlordécone et son utilisation

I. Le chlordécone

I-1) la molécule : ses propriétés physico-chimiques

Le chlordécone, de formule $C_{10}Cl_{10}O$ (Figure 1) a été utilisé aux Antilles pour lutter contre le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*). De 1972 à 1993 deux spécialités en contenaient : Kepone[®] et Curlone[®].

Le chlordécone est fabriqué en faisant réagir de l'hexachlorocyclopentadiène et de l'anhydride sulfurique chauffés et sous pression en présence de pentachlorure d'antimoine comme catalyseur. On fait ensuite subir au produit de réaction une hydrolyse en milieu basique suivi d'une neutralisation à l'acide. Le chlordécone est récupéré par centrifugation ou filtrage et séchage à l'air chaud ⁴⁶.

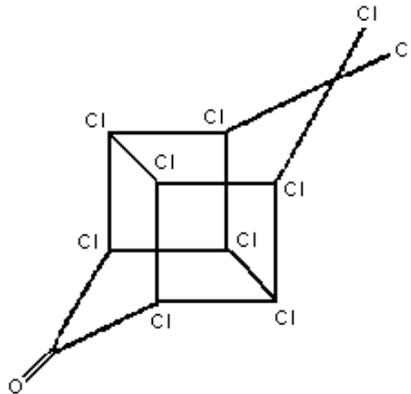


Figure 1 : Structure moléculaire du chlordécone ($C_{10}Cl_{10}O$, PM : 490,7 g.mol⁻¹) ⁵³

Le chlordécone, composé organochloré, appartient à la catégorie des polluants organiques persistants (POP).

Ces POP sont caractérisés par 4 propriétés :

- persistance dans l'environnement (les substances se dégradent « lentement » et résistent aux dégradations biologiques naturelles),
- bioaccumulation : les substances s'accumulent au sein des tissus vivants (cerveau, foie, tissu adipeux),
- toxicité : les substances présentent un ou plusieurs impacts prouvés sur la santé humaine,
- mobilité : liée à la persistance et la bioaccumulation de ces substances qui auront tendance à se déplacer sur de très longues distances et se déposer loin des lieux d'émission.

Les organochlorés sont des substances de poids moléculaire élevé (de 290 à 545 g/mol) qui possèdent de nombreuses substitutions par des atomes de chlore, responsable d'une stabilité chimique très élevée.

Le chlordécone est résistant à la dégradation chimique ou biologique.

Une photodégradation par les UV est observée seulement après utilisation d'éthylène-diamine au bout d'une dizaine de jours ⁵⁶. Cependant, la photolyse directe du chlordécone n'est pas significative ⁹⁴.

Les organochlorés ont une excellente affinité pour les sols riches en matières organiques dû à leur fort coefficient de sorption au carbone organique (K_{oc}). En effet, lorsqu'un pesticide s'introduit dans le sol, une partie adhère aux particules de sol (notamment aux matières organiques) selon un processus appelé sorption. Ceci explique en partie les raisons de l'accumulation du chlordécone dans les sols.

En revanche, il n'est peu ou pratiquement pas soluble dans l'eau, donc ce compartiment n'est théoriquement pas un milieu d'accumulation privilégié. Mais compte tenu du climat aux Antilles, il est difficile d'avoir une idée précise quant à sa solubilité réelle dans ces conditions.

En effet, selon les conditions du milieu, le chlordécone est susceptible d'évoluer vers une forme plus soluble. Comme les autres cétones, elle subit en milieu basique et en milieu acide une réaction d'hydratation qui entraîne la formation d'un « gem-diol » (= chlordécone-hydrate) soluble en phase aqueuse et instable. Toutefois, du fait de l'acidité des sols aux Antilles, la formation de ce composé reste peu probable.



Figure 2 : Hydratation d'un composé carbonyle et formation d'un gem-diol ⁴⁵

Par ailleurs, lors du ruissellement (majoré à la saison humide), l'érosion des sols peut participer à une arrivée massive dans le compartiment aqueux de matières premières particulaires contaminées par les organochlorés ²¹.

Les organochlorés sont des substances faiblement volatiles du fait de leur faible pression de vapeur ($3 \cdot 10^{-7}$ à $5 \cdot 10^{-3}$ mm Hg).

Enfin, le chlordécone a un fort pouvoir bio-accumulatif et une lipophilie marquée démontrés par un logarithme du coefficient de répartition octanol/eau ($\text{Log}K_{ow}$) égal à 4 ¹¹, Il aura donc tendance à s'accumuler dans les tissus riches en graisse des organismes vivants (tissu adipeux, foie, système nerveux central) et à contaminer la chaîne alimentaire ²¹.

I-2) Métabolisation chez l'homme et l'animal

Le chlordécone est largement distribué dans l'organisme. Il se lie préférentiellement à l'albumine et aux lipoprotéines de haut poids moléculaire (HDL), chez l'animal comme chez l'homme. Cette distribution particulière est responsable de son accumulation préférentielle dans le foie (ratio concentration hépatique/sanguine =15).

Le chlordécone est métabolisé en chlordécanol (dérivé alcool moins toxique) par une enzyme hépatique, la chlordécone réductase (aldo-céto réductase), spécifique de certaines espèces. Ce métabolisme est aujourd'hui retrouvé chez l'homme et le porc mais pas chez le rat. Ceci nous laisse penser que le rat serait plus sensible à la toxicité du chlordécone, celui-ci ne transformant pas la molécule en produits moins toxiques.

La présence de chlordécanol dans la bile, mais pas dans le plasma, suggère que ce composé est formé et conjugué dans le foie puis directement excrété dans la bile.

Il est ensuite glucuronoconjugué (conjugaison avec l'acide glucuronique endogène) dans de faibles proportions (9%) alors que 72 % sont retrouvés sous forme non conjuguée dans la bile¹².

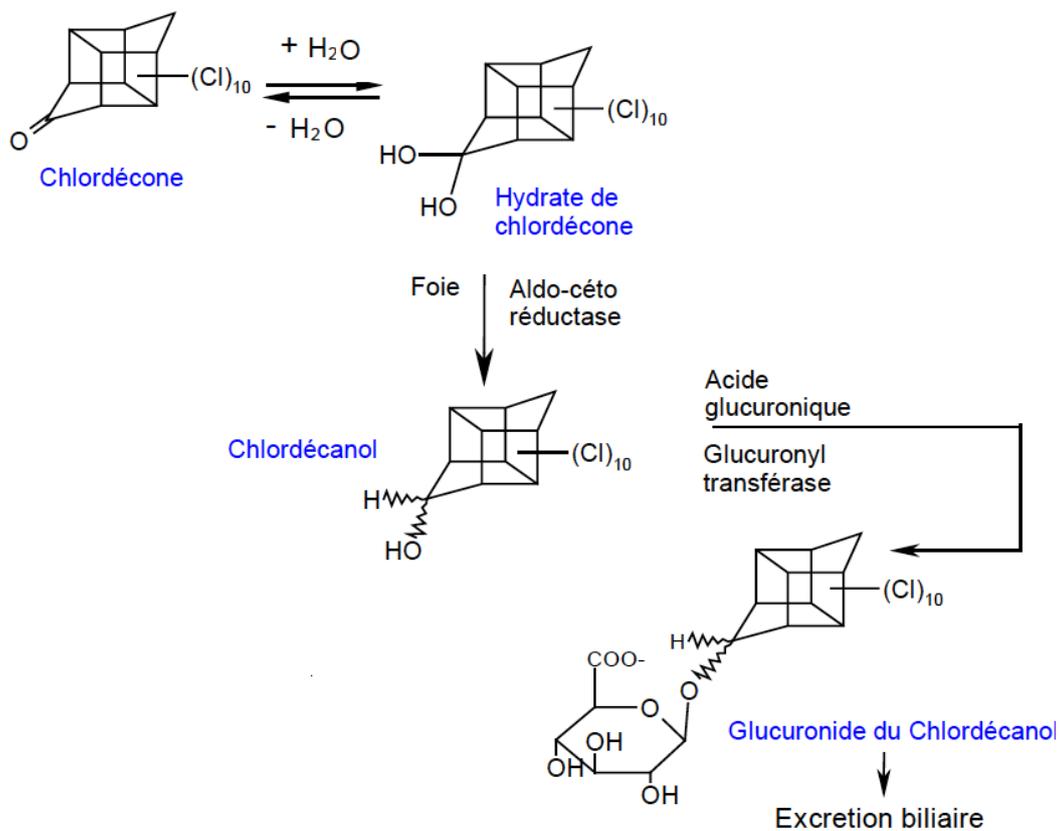


Figure 3 : Schéma de métabolisation du chlordécone¹¹

Sa demi-vie dans le sang chez l'homme est de 165 jours (125 jours dans les graisses). Son élimination se fait principalement par voie biliaire, une partie pouvant être résorbée au niveau intestinal. Pour diminuer cette résorption intestinale, il existe un chélateur intestinal du chlordécone (la cholestyramine) qui permettra une excrétion par les selles.

La toxicodynamie du chlordécone n'est pas complètement élucidée. Celle-ci est définie par le comportement de la molécule mère ou de ses métabolites sur l'organisme. En d'autres termes, elle correspond au mécanisme d'action cellulaire et/ou biochimique responsable de la toxicité du chlordécone.

I-3) Toxicité chez l'homme et l'animal

Les effets présentés ci-dessous ont été relevés chez les travailleurs de l'usine de Hopewell aux Etats-Unis⁸⁹. Il est important de rappeler que cette contamination des travailleurs fait suite à des défaillances dans les structures d'hygiène et de sécurité de l'usine, ce qui entrainera la fermeture de celle-ci et l'arrêt de la fabrication du chlordécone aux Etats-Unis en 1976.

I-3-1) Toxicité aiguë et subaiguë

Chez l'animal, lors d'une exposition unique, la DL₅₀ (Dose Létale 50) va refléter la dose unique ingérée par les animaux qui entraîne 50% de morts. Elle varie d'un animal à l'autre (91-132mg/kg chez le rat, 250 mg/kg chez le chien). En revanche, des tremblements seront retrouvés chez toutes les espèces quelque soit la dose. Pour une forte exposition, une toxicité neurologique sera présente. Des études de toxicité à court terme (<14 jours) ont été réalisées. Dans ce cas, des doses plus faibles vont entrainer la mort des animaux. On peut également noter des effets hépatiques, une diminution du poids corporel ainsi que des effets sur le développement embryofœtal et sur la reproduction.

Pour tous ces effets rapportés les NOAEL (« no observable adverse effect level » en anglais, la dose sans effet toxique observable) varient entre 1 à 10 mg/kg/j. Les LOAEL (« lowest observed adverse effect level » en anglais, doses minimales pour lesquelles un effet est observé) sont elles aussi variables en fonction de l'effet.

Chez l'homme, les effets toxiques pour des expositions aiguës sont essentiellement localisés au niveau du système nerveux entrainant une neurotoxicité avec tremblements, convulsions. Cette neurotoxicité provoque souvent la mort en cas d'intoxications massives. Lors d'une absorption orale à fortes doses, des nausées et une diarrhée seront observées.

Cet effet toxique sur le système nerveux central pourrait être expliqué par certaines études expérimentales montrant que le chlordécone agit au niveau des récepteurs du GABA, bloquant l'action inhibitrice de ce neurotransmetteur sur les neurones¹⁴.

I-3-2) Toxicité chronique

Chez les animaux exposés (rat et souris) des modifications au niveau du foie peuvent être constatées : hépatomégalies, augmentation du REL (Réticulum Endoplasmique Lisse), augmentation des protéines microsomales, ainsi que l'augmentation de nombreuses enzymes. Ces changements ont également été observés chez l'homme¹².

De plus, des effets rénaux sont observés chez l'animal (à la différence de l'homme) avec une protéinurie, une augmentation de la sévérité de la glomérulosclérose, ainsi que des inclusions éosinophiles dans les tubules proximaux⁶².

Les effets neurotoxiques et sur la reproduction sont également illustrés et ils sont dose-dépendants.

Concernant les effets sur le développement embryofœtal (tableau I), si les rongeurs sont exposés durant la période d'organogénèse, ils vont présenter des malformations, des problèmes d'ossification du squelette, un petit poids de naissance voire une mort fœtale¹².

Selon une étude, après une exposition du rat pendant la dernière partie de sa gestation on note l'apparition d'arythmie cardiaque chez le nouveau-né pour une dose de 0,1 mg/kg/j.

Chez la souris et le rat, le chlordécone est cancérigène par induction de carcinomes hépatocellulaires, quelque soit le sexe de ces deux espèces. Le mécanisme d'action n'est pas complètement élaboré, mais il semblerait tout de même qu'il ne soit pas génotoxique²¹.

Chez l'homme, la majeure partie des observations a été faite en milieu professionnel chez des travailleurs exposés surtout par voie respiratoire et cutanée, voire par voie orale (dans un contexte d'hygiène insuffisante). Cette étude a été réalisée sur un groupe de 133 hommes de l'usine Hopewell aux USA sur une période de 1 à 22 mois.

Comme précédemment, des effets neurotoxiques ont été décrits (tremblements, nervosité...) notamment pour les travailleurs ayant une concentration sanguine de chlordécone supérieure à 2mg/L⁸⁸. Dans les cas les plus graves, la démarche était modifiée.

D'autres effets ont été mis en évidence tels que des effets hépatotoxiques (hépatomégalie, augmentation de l'activité enzymatique des microsomes, prolifération du REL (Réticulum Endoplasmique Lisse) indépendante des concentrations. Ceux-ci sont dus en partie à la propriété d'inducteur enzymatique du chlordécone. Il entraîne alors une prolifération microsomale avec une stimulation des cytochromes P450. Ce mécanisme est démontré plus clairement chez les rongeurs que chez l'homme.

D'autre part, on relève également des effets sur la spermatogénèse pour des concentrations de chlordécone supérieure à 1 mg/L (diminution de la mobilité des spermatozoïdes et oligospermie)⁵⁰. Cette perturbation de l'équilibre hormonal chez l'homme ou la femme signifierait que le chlordécone possède des propriétés estrogéniques ou anti-estrogénique⁴⁰.

Concernant l'effet cancérigène chez l'homme, les études ne sont pas représentatives et ne permettent pas de conclure. En 1979, le chlordécone a été classé comme cancérigène possible chez l'homme (2B) par l'IARC (International Agency for Research on Cancer)⁵⁴.

La substance est également inscrite à l'annexe VI du règlement (CE) No 1272/2/2008 et est classé Carc. 2²⁵.

Il est important de noter que l'analyse chez l'homme concerne les ouvriers contaminés à Hopewell et que ceux-ci avaient des concentrations sanguines bien plus élevées que les résidents de cette ville. De ce fait, les études réalisées chez l'animal ont été réalisées avec des doses élevées afin d'avoir des taux sanguins proches de ceux des ouvriers contaminés. Il existe alors un manque d'informations expérimentales pour une exposition au long terme et à des doses faibles.

Toxicité	Espèce	Niveau de preuve (certain, probable, possible, absence de preuve)	Commentaire
Cancer tumeurs du foie	Rongeur	Certain	Très fortes doses utilisées
Autres cancers	Rongeur	Absence de preuve pour chlordécone	Possible pour Mirex
Atteinte hépatique (hépatomégalie, induction enzymatique)	Homme, rongeur	Certain	Argument en faveur d'une cancérisation hépatique chez le rongeur
Neurologique	Homme, rongeur	Certain	
Système reproducteur mâle (spermatogenèse)	Homme, rongeur	Certain (rongeur), probable (homme)	Pas d'effet net sur la fertilité chez l'homme
Système reproducteur femelle	Rongeur	Certain	Non exploré à Hopewell; pas d'arguments chez la femme
Développement neurologique	Rongeur	Probable	Non exploré à Hopewell
Tératogenèse	Rongeur	Probable	Non exploré à Hopewell
Toxicité rénale	Rongeur	Certain	Non observé à Hopewell (mais exploré)
Immuno-perturbation	Rongeur	Possible	Pas d'argument à Hopewell (doute sur l'exploration)
Éruption cutanée	Homme	Certain	Rongeurs?
Autres toxicités (muscles, anémie, surrénales, lipides sanguins...)	Rongeur	Certain	Non observées chez l'homme (mais explorés à Hopewell)

Tableau I : Principales toxicités observées à Hopewell ou dans les modèles animaux⁹¹.

I-4) Les Valeurs toxicologiques de référence

Les Valeurs Toxicologique de Référence (VTR) permettent de caractériser le lien entre l'exposition à une substance toxique et la présence d'un effet néfaste observé. Elles sont généralement établies par des instances nationales ou internationales (ATSDR, US-EPA, Health Canada...)⁴.

Ces valeurs sont le plus souvent spécifiques d'un effet donné, d'une voie et d'une durée d'exposition.

Elles sont surtout définies pour des expositions sur la totalité de la vie de la personne, même s'il existe des VTR définies pour des expositions aiguës (inférieures ou égales à 14 jours) et subchroniques (de 14 jours à 1 an).

Ces valeurs vont notamment être utilisées dans les démarches d'évaluation des risques sanitaires, dans un contexte d'incertitudes scientifiques. En effet, les VTR sont construites à partir d'hypothèses, lorsqu'il n'y a pas d'informations scientifiques disponibles.

Selon le principe de prudence, l'absence de donnée entraîne l'application de nombreux facteurs d'incertitudes, amenant souvent à des valeurs de VTR très faibles.

A l'inverse, plus les données scientifiques permettant la détermination de la VTR sont importantes, plus la VTR calculée sera proche de la réalité. En tenant compte de ces éléments, il semble logique que les valeurs de VTR soient revues à la hausse lorsque les données scientifiques évoluent.

I-4-1) VTR et chlordécone

I-4-1-1) Effets non cancérogènes

En 1995, L'Agence pour le registre des substances toxiques et maladie (ATSDR) a décrit une VTR à 5.10^{-4} mg/kg/j pour une exposition chronique orale au chlordécone. Pour se faire, elle s'est appuyée sur une étude toxicologique⁶² chez des rats des deux sexes, exposés pendant 1 et 2 ans par voie orale à des doses croissantes de 0 à 4 mg/kg/j de chlordécone (Tableau II).

L'étude de *Larson* avait permis de constater l'absence de lésions testiculaires pour les expositions chroniques ainsi que la survenue de lésions hépatiques pour des doses supérieures à celles qui induisent des lésions rénales. Ceci a donc amené à calculer la VTR à partir de cette toxicité rénale. Néanmoins, cette toxicité rénale (glomérulosclérose) était présente uniquement chez les rats femelles ; chez les rats mâles, la valeur de glomérulosclérose était aussi élevée dans le groupe non traité.

Pour ceux qui ont été exposés à 0,25 mg/kg/j et plus, on observe une glomérulosclérose et une protéinurie. Le LOAEL est à 0,25 mg/kg/j, et le NOAEL correspond à une dose de 0,05 mg/kg/j.

Compte tenu de la variabilité qui peut exister lors de la transposition de l'animal à l'homme ainsi que les différences présentes au sein même de l'espèce humaine, deux facteurs d'incertitudes de 10 ont été appliqués.

Type de VTR	Exposition		Espèce/ souche	Effets	NOAEL (LOAEL) (mg/kg/j)	UF	VTR (mg/kg/j)	Date évaluation	Etude toxico
	Voie	Durée							
MRLc (ATSDR)	Orale	2 ans	Rat Wistar	Rénaux	0,05	100	5.10^{-4}	1995	Larson <i>et al.</i> 1979

Tableau II : VTR pour une exposition chronique orale au chlordécone¹²

Nous pouvons aussi noter qu'en 2008, l'Agence américaine de protection de l'environnement (US-EPA) publie un rapport précisant également la notion de VTR pour le chlordécone. Elle a été calculée par des méthodes différentes de celles vues précédemment⁹⁵.

Elle s'est aussi appuyée sur l'étude de *Larson* (1979) qui traitait de la toxicité hépatique, rénale et reproductive de l'administration orale de chlordécone.

L'US-EPA a donc calculé une BMD (Benchmark Dose) avec un seuil de 10% (qui correspond à une augmentation du risque de glomérulosclérose de 10%). La BMD₁₀ est de 0,12 mg/kg/j. On estimera aussi la BMDL₁₀ (borne inférieure de l'intervalle de confiance à 95%) à 0,08 mg/kg/j.

Le calcul de la VTR a ensuite été établi en attribuant à cette BMDL un facteur d'incertitude de 300. Des calculs du même type ont également été réalisés pour d'autres effets toxiques. (Tableau III).

A la suite de cette analyse, nous pouvons noter qu'il existe peu de différences pour chacun des effets entre le BMD et la BMDL₁₀ ceci prouve alors la validité de cette étude, à la fois d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

D'après l'US-EPA on ne peut pas exclure que l'effet toxique sur le rein n'existe pas chez l'homme tenant compte du fait que cet effet n'aurait pas été retrouvé chez les employés de l'usine car ceux-ci n'auraient pas été exposés suffisamment longtemps.

Effet	NOAEL/LOAEL	BMD	BMDL ₁₀	VTR
Glomérulosclérose femelle	0,06/0,3 mg/kg/j	0,12 mg/kg/j	0,08 mg/kg/j	0,0003 mg/kg/j
Atrophie testiculaire mâle	0,3/0,5 mg/kg/j	0,21 mg/kg/j	0,12 mg/kg/j	0,00004 mg/kg/j ^a
Taille diminuée des portées ^b	-/0,94 mg/kg/j	-	-	0,0003 mg/kg/j
Altérations hépatiques	0,3/0,5 mg/kg/j	0,23 mg/kg/j	0,14 mg/kg/j	0,0005 mg/kg/j

Tableau III : BMDL₁₀ et VTR pour différents effets⁹⁵.

I-4-1-2) Effets cancérogènes

Il existe là aussi une VTR proposée par l'OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) en 1992. La valeur est issue d'une étude du National Cancer Institute sur des souris B6C3F1 mâles exposées au chlordécone pendant 2 ans. Les tumeurs observées sont des tumeurs hépatiques.

L'OEHHA a calculé une VTR sans seuil illustrée par un excès de risque unitaire (ERU) de $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$ malgré l'absence de génotoxicité et l'absence de cohérence animal-homme pour les effets cancérogènes sur le foie.

En fait, cette VTR a été établie dans le cadre de l'application d'une loi californienne sur l'eau de boisson, afin de protéger la santé de la population. Elle visait spécifiquement un certain nombre de substances cancérogènes et toxiques sur la reproduction et le développement.

L'absence de cohérence des effets cancérogènes entre l'homme et l'animal rend fragile le choix de cette VTR.

I-4-1-3) Limites Maximales de Résidus

Les limites maximales de résidus (LMR) de pesticides correspondent aux quantités maximales attendues, établies à partir des bonnes pratiques agricoles fixées lors de l'autorisation de mise sur le marché du produit phytosanitaire.

Ces limites sont définies pour les denrées d'origine végétale (fruit, légume, céréale) en prenant en considération les réalités agronomiques ainsi que les exigences toxicologiques.

Entre 2003 et 2008, l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) a définie des limites maximales de résidus admissibles pour la population humaine en tenant compte des valeurs toxicologiques de références (VTR) et des coefficients de sécurité. Celle-ci a été fixée à 50 µg/kg.

Puis en 2008, le ministère de la santé a décidé de se rapprocher des normes européennes par défaut, et fixe cette limite à 20 µg/kg, pour les denrées cultivables sous le climat tropical ou tempéré (agrumes, fruits tropicaux, tous les légumes, maïs, canne à sucre ...) et à 10 µg/kg pour certains produits spécifiques aux régions de climat tempéré ou susceptibles d'être importés de pays autre que les Antilles (blé, riz, pommes, poires et fruits à noyaux, betterave sucrière...).

Quant aux denrées animales, elles doivent respecter une valeur limite de 20 µg/kg qu'elles soient d'origine terrestre ou aquatique.

Les différents changements de normes des années 2003 à 2008, sont préjudiciables à la crédibilité des mesures d'évaluations et de gestion des risques, et subissent de nombreuses critiques. Elles sont décrites comme trop strictes, s'inscrivant dans une « précaution excessive » ou une « politique de parapluie »⁹² par une partie des agriculteurs.

II. Historique de l'utilisation du chlordécone

Dans les années 1950, « l'ennemi n°1 du bananier » était le charançon (*Cosmopolites sordidus*) dont les larves détruisent le bulbe du bananier. C'est une espèce de coléoptère qui appartient à la famille des *Curculionidae* et qui fait partie de l'ordre des insectes. Caché dans la journée, son activité est essentiellement nocturne⁹⁶.

Des techniques de lutte utilisant de l'hexachlorocyclohexane (HCH), étaient utilisées aux Antilles par L'institut Français de Recherches Fruitières d'Outre-Mer (IFAC), au milieu des années 1950. Dans un même temps, les sociétés américaines de production de bananes implantées en Amérique centrale faisaient des essais avec la dieldrine, qui s'avérait plutôt efficace⁹⁷.

Mais l'utilisation régulière de ces produits a créé des résistances chez certaines populations de charançons, ce qui a amené à tester d'autres molécules. C'est donc au cours de ces études que l'intérêt de l'utilisation du chlordécone va apparaître.

II-1) La production du chlordécone aux Etats-Unis de 1951 à 1976

Le chlordécone a été découvert en 1951 aux Etats-Unis.

La molécule a été brevetée en 1952 puis commercialisée sous les noms de Képone® et GC-1189® par la société *Dupont de Nemour* en 1958.

Sa synthèse était assurée par la société *Allied Chemical*. Le chlordécone était alors principalement utilisé comme pesticide à usage agricole.

La molécule était produite dans trois usines situées dans le Delaware, en Pennsylvanie, et en Virginie. Les formulations commerciales pour lutter contre le charançon du bananier contenaient 5% de chlordécone.

Le produit était exporté en Asie, en Europe, en Amérique latine et en Afrique.

En 1974, afin de faire face à une demande accrue, la société *Allied Chemical* demanda à la société *Life Sciences Products* de produire du Képone dans son usine d'Hopewell, en Virginie.

Mais un an plus tard, des défaillances graves ont été constatées dans le dispositif d'hygiène et de sécurité de la fabrication du chlordécone de l'usine de Virginie. Ceci entraîna une pollution importante dans les lieux proches de l'usine ainsi que des effets toxiques aigus sur les ouvriers et les habitants à proximité qui ont permis par la suite de mieux appréhender les effets de cette substance sur l'homme⁶¹.

On estime qu'environ 1 600 tonnes de képone[®] ont été produites aux Etats-Unis entre 1952 et 1975⁸⁵.

Compte tenu des dégâts engendrés au niveau sanitaire suite à ce dysfonctionnement, les autorités fédérales américaines ont interdit la fabrication et la commercialisation du Képone[®] en 1976 aux Etats-Unis.

De ce fait à partir de cette année là, les autres pays n'ont pu se contenter que des stocks dont ils disposaient.

II-2) L'arrivée du chlordécone aux Antilles et son utilisation de 1972 à 1993

Aux Antilles, c'est en 1968 que le Comité d'Etudes des Produits Antiparasitaires à Usage Agricole a examiné une demande d'homologation pour le Képone[®].

Pour le comité il s'agissait d'une « substance nouvelle » qui devait préalablement être étudiée par la Commission des Toxiques. Toutefois, ils notaient une toxicité (neurotoxicité)⁵⁵ proche de celle de l'heptachlore. Donc, en raison des dangers potentiels pour la santé humaine et animale, la commission conseillait l'interdiction du produit.

Cependant, en 1972, une autorisation provisoire de vente (APV) a été accordée pour un an en raison de l'efficacité du produit et des faibles quantités nécessaires pour lutter contre le charançon du bananier. A cette période, le chlordécone était qualifié de « produit miracle » dans le monde de production de la banane¹⁶.

Mais en 1976, suite à la fermeture du site de production aux Etats-Unis, de nombreuses spécialités furent réexaminées, et notamment le Képone[®]. L'APV de celui-ci fut prolongée en France. Cette conduite était tout de même surprenante compte tenu des dégâts évoqués à l'usine aux Etats-Unis. Le produit était toujours disponible sous la forme de quelques stocks, puis progressivement son utilisation a diminué, les populations de charançons étant faibles.

Quelques années plus tard, les stocks de Képone[®] étant épuisés, une seconde formulation commerciale à base de 5% de chlordécone également, le Curlone[®], sera homologuée en France par le ministère de l'agriculture en 1981.

Cette spécialité est fabriquée notamment pour pallier à la recrudescence du charançon due aux passages des cyclones Allen et David, respectivement en 1979 et 1980. Elle a été appliquée à raison de 30g/pied/an soit 3kg de chlordécone/ha/an.

Cette nouvelle formulation a été commercialisée par la société *De Laguarique*, située en Martinique, et sa synthèse était sous le contrôle d'une société Brésilienne.

Plus tard, en 1989, la commission d'étude de la toxicité a réexaminé l'ensemble des dossiers et a interdit l'usage du chlordécone en France. Ceci a conduit au retrait de l'autorisation de vente de la spécialité commerciale (Curlone[®]) en 1990.

Néanmoins selon la législation en France à cette époque : « lorsqu'une spécialité est l'objet d'un retrait d'homologation, la vente, la mise en vente ainsi que toute distribution à titre gratuit par le demandeur responsable de la mise sur le marché français doivent cesser un an après la notification de ce retrait. Toutefois, un délai supplémentaire d'un an est toléré dans les mêmes conditions que ci-dessus »⁹.

De ce fait, la vente du Curlone[®] pouvait donc se poursuivre jusqu'en 1992.

Mais une dérogation supplémentaire fut accordée pour les DOM. La Guadeloupe et la Martinique ont pu utiliser des préparations à bases de chlordécone jusqu'en 1993.

Le sous-directeur de la protection des végétaux a précisé que cette dérogation s'adressait à l'ensemble des planteurs de bananiers qui pourraient ainsi utiliser le reliquat de Curlone[®] qu'ils avaient en stock.

Ces dérogations peuvent tout de même interpeller, quand on sait que la question sur la nocivité environnementale de l'insecticide était mentionnée dès la fin des années 1970.

II-3) La mise en avant des risques liés à la pollution au chlordécone de 1994 à 1999

Dès 1977, *Snegaroff* a publié un rapport dans lequel il réalisait une enquête sur la contamination des eaux de Guadeloupe par les pesticides organochlorés, et plus particulièrement par l'HCH et le chlordécone⁸⁷.

Plus tard, en 1980, le rapport *Kermarrec* faisait le constat de l'accumulation d'insecticides organochlorés dans l'environnement en Guadeloupe⁶⁰.

En 1993, après l'arrêt de l'utilisation du chlordécone, une étude a été menée par l'Unesco¹⁶ à l'embouchure du Grand Carbet en Guadeloupe dans le but de faire un bilan de l'état de la mer des Caraïbes. Cette étude a mis en évidence la présence de chlordécone dans les eaux et sédiments de l'estuaire.

De ce fait, dès la fin des années 1990, l'analyse de la qualité des eaux potables est devenue obligatoire. La mission a été confiée aux services de santé. Cette réglementation a donc été le point de départ de la prise de conscience du problème du chlordécone.

Mais il est difficile de cibler les recherches de molécules dans les eaux potables alors que plusieurs centaines de molécules sont présentes.

D'autant plus que les obligations réglementaires imposaient de rechercher uniquement les molécules qui faisaient l'objet d'une norme spécifique (aldrine, dieldrine, hexachlorobenzène (de 1989 à 1995), heptachlore et époxyde d'heptachlore pour les eaux distribuées ; parathion, HCH et dieldrine pour les eaux douces superficielles brutes).

Le chlordécone lui, n'étant plus utilisé officiellement, les normes sanitaires européennes relatives aux recherches de pesticides dans l'eau de boisson humaine étaient muettes à son sujet.

En 1996, une stagiaire à la Direction départementale des affaires sanitaires et sociale (DDASS) de Guadeloupe, proposait de rechercher la présence de chlordécone dans l'eau puisque les rapports de *Snegaroff* et *Kermarec* avaient montré sa présence massive dans les sols antillais.

Il faudra alors attendre 3 ans pour que cette idée soit entendue par les agents de la DDASS. Des échantillons ont été envoyés au laboratoire départemental de la Drome. La présence de chlordécone a pu être constatée pour les échantillons de Guadeloupe et de Martinique. A cette même période, les associations de protection de l'environnement de Martinique reprochaient l'emploi massif de pesticides et posaient la question de la qualité des résultats des analyses présentées par la DDASS. Ils accusaient également l'Etat de ne pas dire la vérité sur la contamination de l'eau.

Outre la contamination des eaux, la question des risques pour la santé humaine suite à l'usage de pesticides se posait. Le Docteur Luc Multigner, épidémiologiste de l'INSERM a lancé des travaux sur les pesticides depuis 1995⁷⁶.

Quelques années plus tard, en 1998 il a travaillé en collaborant avec des médecins du travail de Guadeloupe qui l'ont aidé à identifier les ouvriers agricoles qui ont été exposés. Il s'est intéressé également au service de gynécologie-obstétrique du CHU de Pointe à Pitre⁷⁷.

Cette même année, trois ingénieurs *P. Balland, R. Mestres et M. Fagot* publiaient un rapport qui faisait état d'un risque potentiel de contamination des deux îles par les pesticides¹⁵.

Il était donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance de cette pollution par les pesticides ainsi que leurs effets sur la santé. Pour se faire, des mesures de santé publique ont été prises, avec la mise en place localement de moyens de mesure des résidus.

A la suite de ce rapport, les Ministres de l'agriculture et de l'environnement ont demandé aux Préfets l'élaboration d'un plan d'action dans chaque département, dans lequel ils tiendraient compte des différentes notions mises en évidence.

Ce plan d'action insistera notamment sur le traitement aérien, les modalités de réduction du recours aux pesticides, la protection et la formation des salariés agricoles. Il permettra de renforcer la connaissance des milieux et ainsi de mieux contrôler les zones contaminées.

PARTIE 2 :

Evaluation de la contamination de l'environnement par le chlordécone aux Antilles

I) Les domaines d'utilisation du chlordécone et sa localisation dans le territoire Antillais

En Martinique, le chlordécone a été appliqué pour lutter contre les charançons des agrumes (*Daprepes spp*) sur une dizaine d'hectares de cultures arboricoles et également dans les bananeraies.

En Guadeloupe, le chlordécone était utilisé dans les bananeraies, principalement situées en Basse-Terre. Néanmoins, il peut également provenir d'un dérivé du Mirex[®] (Perchlordécone), appliqué près de cultures vivrières afin de lutter contre la fourmi-manioc dans les années 90, en Guadeloupe uniquement. Ceci pouvant expliquer les résultats positifs enregistrés sur les sols de Grande-Terre.

De ce fait, une grande partie des terres polluées sont tout de même majoritairement les sols occupés par les bananeraies de 1972 à 1993.

Afin de localiser précisément la pollution des sols en Guadeloupe, des cartes de risques ont été réalisées (Figure 4). Elles sont fondées sur l'occupation rétrospective des bananeraies durant la période d'utilisation du chlordécone.

A partir de photos et de cartes d'occupation du sol, quatre zones de risques de pollution ont été définies⁹⁰:

- Risque très fort : risque de teneur élevée (probabilité de 0,95 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg de sol sec (SS)) du fait de la présence de bananeraies pendant plus de 10 ans.

- Risque fort : risque de teneur élevée (probabilité de 0,86 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg SS) du fait de la présence de bananeraies avant 1980.

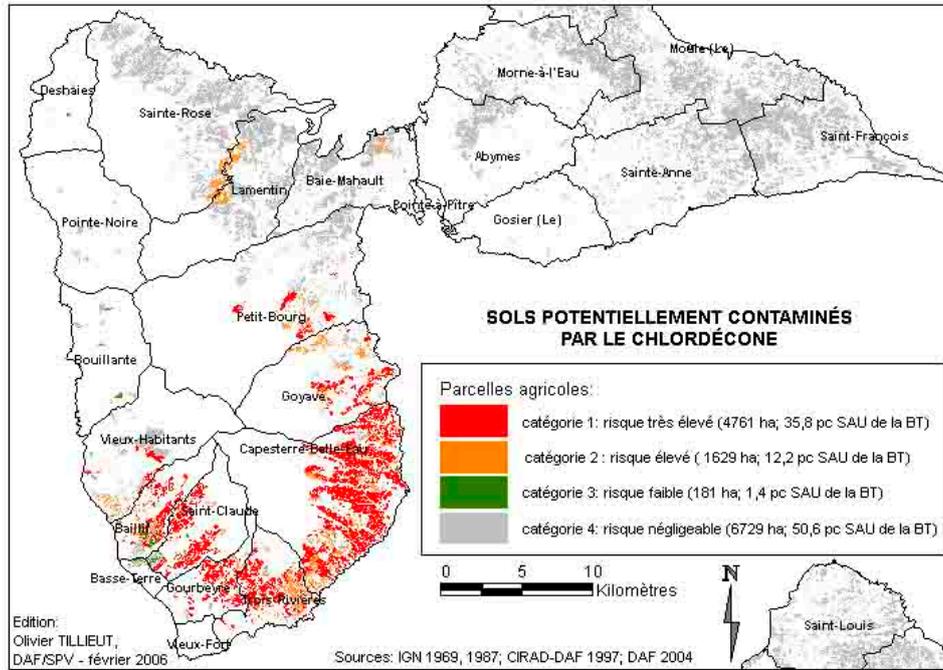
- Risque moyen : risque de teneur faible (probabilité de 0,50 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg SS) du fait de la présence de bananeraies entre 1977 et 1982.

- Risque faible à nul : pas de présence de bananeraies sur les périodes considérées (probabilité de 0,08 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg SS).

En 2008, avec 2400 analyses disponibles, on conclut que la carte des risques de pollution des sols qui a été établie deux ans plus tôt est de bonne qualité, et que l'on peut considérer que les zones polluées ont été bien définies.

Pour la Martinique, 11 classes de risques ont été définies en prenant en compte le type du sol, la pluviométrie et la durée d'occupation du sol en bananeraies.

En Guadeloupe



En Martinique

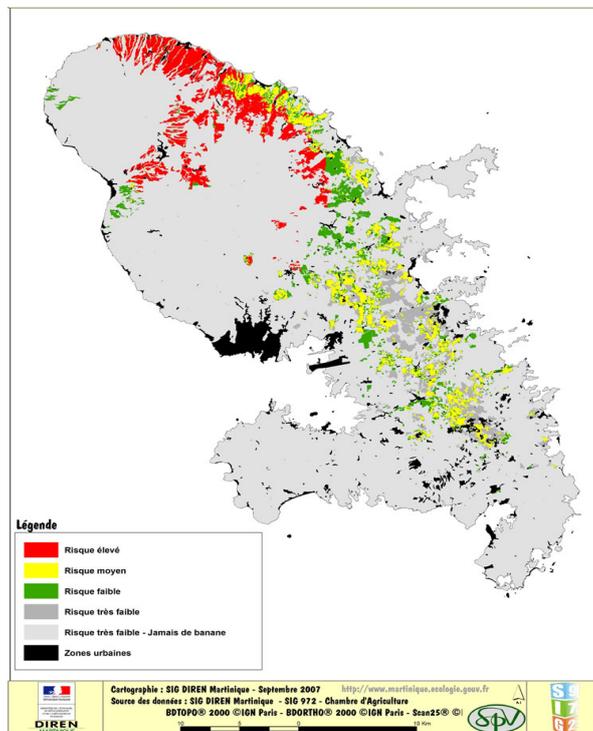


Figure 4 : Carte des risques de pollution des sols des Antilles (Guadeloupe et Martinique) par le chlordécone²⁸.

II. La contamination de l'eau

La pollution de l'eau par les pesticides est une préoccupation ancienne. En effet, les conclusions des rapports de *Snégaroff (1977)* et *Kermarrec (1979-1980)* soulignaient déjà la bioaccumulation dans l'environnement de substances organochlorées utilisées comme pesticides en Guadeloupe.

Il existe un décret, du 3 Janvier 1989 (décret 89-3), relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles et qui définit les exigences de qualité auxquelles doivent satisfaire les eaux distribuées.

En 1995, celui-ci a été modifié puis remplacé par le décret n°95-363 qui a introduit la notion de valeurs limites acceptables pour les pesticides et produits assimilés.

En 1999, une analyse multi-résidus des eaux potables distribuées a révélé des concentrations en chlordécone supérieures aux normes sanitaires européennes dans certaines sources captées, et ceci dû au fort taux de rémanence de cette molécule. De ce fait, une filtration par charbons actifs ou une dilution avec des eaux indemnes sont alors mises en place sur les captages des sources contaminées.

La concentration maximale admissible pour les eaux destinées à la consommation humaine est de 0,1 µg/L pour le chlordécone et de 0,5 µg/L pour la somme de tous les pesticides⁷.

II-1) Les eaux superficielles

D'après les données physico-chimiques de la molécule étudiée précédemment, nous savons que l'eau n'est pas un milieu privilégié pour le chlordécone, contrairement aux sols et aux sédiments. Toutefois, l'eau superficielle peut être contaminée à partir du ruissellement et de l'érosion des sols contaminés.

Si le chlordécone est présent dans l'eau, il sera fixé sur les sédiments riches en matières organiques et restera relativement immobile dans des conditions de pH et de salinité normales (pH 6-8 ; salinité 0,06-19,5%).

En Guadeloupe, la ressource préférentiellement utilisée pour la production d'eau potable provient des prises d'eau superficielle (71% de la totalité des prélèvements effectués pour cette production). Les prises d'eau superficielles sont principalement localisées sur la Basse-Terre.

Les sols les plus sensibles à l'érosion et au ruissellement sont les ferrisols, les bassins versants les plus sensibles seraient donc ceux présentant à la fois des ferrisols et des concentrations en chlordécone importantes.

Les estimations de surfaces des zones à enjeux se trouvant sur les zones à risque de contamination des sols ont été réalisées en recoupant les bassins versants des captages d'alimentation en eau potable (AEP) en rivière avec les zones à risque de contamination des sols (Tableau IV).

Aucun rendu cartographique n'est fourni, les zones identifiées étant de faible dimension. Les captages *La Digue grande Rivière Capesterre*, *Moustique Petit Bourg* et *Saint-Louis* sont ceux présentant les surfaces les plus importantes de zones à risque élevé de contamination.

Les aires d'alimentation sur lesquelles se trouvent des zones à risque élevé et très élevé de contamination à la chlordécone représentent en surface environ 6 % des aires d'alimentation mais elles correspondent aux aires des captages les plus vulnérables.

Enjeu	Surface des aires d'alimentation des captages en km2	Superposition avec les zones à risque élevé et très élevé de contamination en km2	% zones à risque élevé et très élevé dans l'aire d'alimentation par rapport à la surface totale de l'aire d'alimentation
Toutes les aires d'alimentation en eau potable rivières	861,51	2,00	0,23
Aires d'alimentation des captages AEP présentant des zones à risque élevé et très élevé de contamination	51,85	2,00	3,85
La Digue grande Rivière Capesterre	2,14	0,37	17,30
Moustique Petit Bourg	1,86	0,33	17,74
Saint-Louis	1,17	0,32	27,35

Tableau IV : Estimation des surfaces de terres impactées en chlordécone sur les aires d'alimentation en eaux superficielles sur l'île de Basse-Terre en Guadeloupe⁴¹.

II-2) Les eaux souterraines

La part d'alimentation en eau potable via les eaux souterraines est faible. Des aquifères sont néanmoins utilisés pour l'alimentation en eau potable notamment via l'exploitation de sources.

Une partie des eaux souterraines montrent une contamination au chlordécone. Ceci indique donc qu'un relargage des sources de sols en surface vers les eaux souterraines est possible. Ces transferts peuvent se produire du fait d'une mobilisation du chlordécone sous forme dissoute et/ou particulaire et colloïdale.

On peut également observer un effet de transfert vers les eaux profondes si le sol est très argileux ou encore si les sols ont été fortement contaminés.

Depuis la prise de conscience de la contamination aux pesticides dont le chlordécone, des mesures ont été prises au niveau des sources d'alimentation en eau potable (Tableau V).

Exploitant	Source	Mesures prises	Problème rencontré
Commune rivières	Trois Lumia	Fermeture en mars 2000	Pesticides
	Gommier	Traitement charbon actif en poudre – octobre 2000	Pesticides
	La Plaine	Traitement charbon actif en poudre – octobre 2000	Pesticides
Commune Fort	Vieux Soldat	Traitement charbon actif en poudre – août 2000	Pesticides
	Belle-Terre	Fermeture du 10 au 20 avril 2000 / usage limité depuis 20 avril 2000, usage de filtres à charbon actif	Pesticides
Commune Gourbeyre	Pont des Braves	Fermeture – avril 2000	Pesticides
	Capes-Dolé	Fermeture – avril 2000	Pesticides
		Traitement depuis avec filtre à charbon actif	
Commune Capesterre	Tabaco	Mélange avec d'autres sources – Belle Eau Cadeau avec filtre à charbon actif	Pesticides
Belle - Eau	Belle-Eau-Cadeau	Traitement filtre à charbon actif – septembre 2001	Pesticides

Tableau V : Mesures prises concernant les sources d'alimentation en eau potable en Guadeloupe⁴¹.

Les sources présentant les plus fortes concentrations sont la source Gommier (pic de concentration en chlordécone à 9 µg/L en Janvier 2007) et la source Soldat (pic de concentration en chlordécone à plus de 5 µg/L en Janvier 2007).

Compte tenu de ces concentrations, les sources ont du faire l'objet d'un traitement plus onéreux en comparaison avec d'autres sources présentant de plus faibles concentrations en chlordécone et ont donc subi des traitement prioritaires des sols contaminés se trouvant dans la zone d'alimentation de ces captages.

Une pollution chronique des eaux de surface et des nappes sous les andosols est avérée³².

Un andosol étant défini comme un sol noir fertile, sur les roches volcaniques des régions humides, riche en matière organique et en constituants amorphe.

Les andosols sont les sols qui retiennent le plus le chlordécone, mais ce sont aussi les sols qui représentent les plus fortes capacités d'infiltration. Les zones les plus vulnérables pour les eaux souterraines correspondent donc aux zones à andosols impactées par le chlordécone.

Pour évaluer le potentiel de lixiviation des sols vers les eaux souterraines, il faut établir des indices relatifs en tenant compte de la nature des sols (capacité à relarguer le chlordécone) et de leur capacité à se laisser traverser par l'eau (conductivité hydraulique à saturation) et du stock de chlordécone restant dans le sol.

Mais le transfert du chlordécone dans les nappes reste mal connu et non prévisible. La connaissance des transferts sol/eaux souterraines et du régime des aquifères n'est pas encore assez avancée pour que l'on puisse faire des calculs des concentrations maximales dans les sols qui n'engendraient pas de conséquences sur la qualité des eaux souterraines.

Selon les dernières données disponibles, au sud de Basse-Terre, il existe cinq captages exploités pour la production d'eau potable. Ces captages sont suivis par la Direction de la santé et du développement social (DSDS) de Guadeloupe depuis 2000 à fréquence trimestrielle. 81 prélèvements ont ainsi été réalisés à la ressource entre 2005 et 2008.

Le contrôle sanitaire renforcé mis en oeuvre confirme la contamination durable, stable et généralisée des captages du Sud Basse Terre.

La rémanence de cette contamination se confirme d'année en année, avec une tendance à la baisse, notamment sur le captage de Gommier (Trois Rivières), tendance qu'il faut toutefois interpréter avec prudence compte tenu de la durée d'observation encore très courte et du faible nombre de données disponibles.

Le niveau et l'étendue de la contamination du milieu aquatique par la chlordécone seront étudiés chaque année au sein de différents volets pour répondre aux objectifs du Plan d'action Chlordécone. Au cours du dernier volet en 2012, les résultats disponibles restent en accord avec les normes sanitaires en vigueur⁸⁰.

Depuis les années 2000, la pollution des eaux de consommation est résolue techniquement (filtre à charbons etc..) sur les deux îles. L'eau est donc conforme aux standards sanitaires et sa consommation est sans impact sur la santé depuis cette date.

Il faut souligner que ces mesures ont concerné non seulement l'eau potable au robinet, mais également les eaux en bouteille : par exemple, la société Capes Dolé a dû arrêter son exploitation pour installer des filtres à charbon et donc traiter son eau de source.

Après vérification de l'absence de pesticides, elle a été de nouveau autorisée à produire²⁰.

II-2-1) Processus de décontamination des eaux

La problématique du traitement de l'eau potable a trouvé une première réponse, que ce soit en Guadeloupe ou en Martinique, avec la mise en place de systèmes de traitement de l'eau basés sur l'utilisation du charbon actif. Cette méthode est relativement facile à mettre en oeuvre par rapport à d'autres méthodes plus élaborées.

Il est malgré tout nécessaire d'examiner chaque étape du traitement de l'eau afin d'optimiser le processus en termes d'efficacité, mais aussi de coût et d'impact environnemental et de résoudre le problème de la gestion des boues contaminées générées.

Le traitement de l'eau potable est composé de plusieurs étapes : la coagulation, la filtration puis le traitement par charbon actif, éventuellement suivi par le recours à l'ultrafiltration comme c'est le cas en Martinique³⁷.

Toute la question est de savoir à quel niveau du traitement il est possible d'améliorer l'élimination du chlordécone voire d'envisager sa dégradation.

Quelque soit le procédé choisi, il faudra s'intéresser à la nature des métabolites (produits de dégradation) du chlordécone générés, à leur écotoxicité ainsi qu'aux caractéristiques physico-chimiques nécessaires aux charbons actifs afin de les fixer efficacement.

Par ailleurs, les eaux captées sont chargées de matières organiques que sont les acides humiques. Or, il existe une compétition entre la matière organique et le chlordécone pour la sorption du charbon actif, il est donc important de connaître l'influence de la matière organique sur le traitement de l'eau pour savoir comment limiter cette compétition diminuant l'efficacité du traitement.

D'autres traitements peuvent compléter l'utilisation de charbons actifs, comme l'oxydation avancée. L'utilisation de peroxyde d'hydrogène d'ozone pourrait améliorer la performance globale du système de traitement.

L'ozone pourrait être utilisé aussi, d'après ses propriétés d'oxydant puissant. En effet, l'ozonation est souvent utilisée dans le traitement de l'eau car l'ozone ne reste pas présent dans l'eau, n'entraîne pas la formation de composés nocifs et l'eau n'a ni goût ni odeur. Des essais complémentaires vont être menés afin d'évaluer les résultats pour le traitement du chlordécone.

Une autre méthode complémentaire serait l'ultrafiltration, correspondant à une filtration sur membrane microporeuse qui va opérer une sélection en fonction de la taille des molécules qui la traverse. Le chlordécone, grosse molécule, est retenue, alors que l'eau, plus petite, passe au travers. Cette technique peut s'appliquer avec traitement au charbon actif. Elle est déjà utilisée en Martinique.

De nouveaux absorbants à très faible impact sur l'environnement pourraient être explorés pour le traitement de l'eau. Leur efficacité demande toutefois d'être testée et validée pour l'absorption du chlordécone.

A propos des boues d'usine générées lors des traitements de l'eau potable, celles-ci contiennent des matières organiques et du charbon actif contaminé. En effet, le charbon actif est un composé poreux qui fixe le chlordécone à sa surface mais ne le dégrade pas.

Le problème rencontré est d'ordre réglementaire : c'est celui du stockage des ces boues contaminées.

Afin d'évaluer les risques liés au stockage des boues ainsi que l'efficacité des traitements, il est nécessaire de pouvoir connaître leur teneur en chlordécone. Cela relève la problématique de l'amélioration des techniques d'analyses actuelles pour permettre l'identification et la quantification du chlordécone dans les eaux très chargées.

Il y a une voie de traitement des charbons actifs contaminés qui consiste à traiter les boues par solvants doux tels que l'éthanol ou l'acétone ou à recourir à la dégradation microbienne des molécules fixées sur le charbon actif⁸¹.

D'autre part, la possibilité d'une production locale de charbon actif serait à étudier. Des travaux ont montré l'efficacité du charbon actif de bagasse de canne à sucre pour le traitement du chlordécone³⁰.

II.3) les milieux marins

D'après ses propriétés, le chlordécone peut potentiellement intégrer la base des réseaux trophiques marins, être bioaccumulé dans les organismes et bioamplifié le long des réseaux trophiques.

Des méthodes ont donc été développées pour mettre en évidence le rôle de la nature et la complexité des réseaux trophiques dans les transferts des contaminants par voie trophique en milieu marin (Figure 5).

Pour étudier les variations spatiales de la contamination et l'influence des apports terrigènes, plusieurs sites de prélèvement ont été choisis, différents par leur éloignement des zones de dépôts.

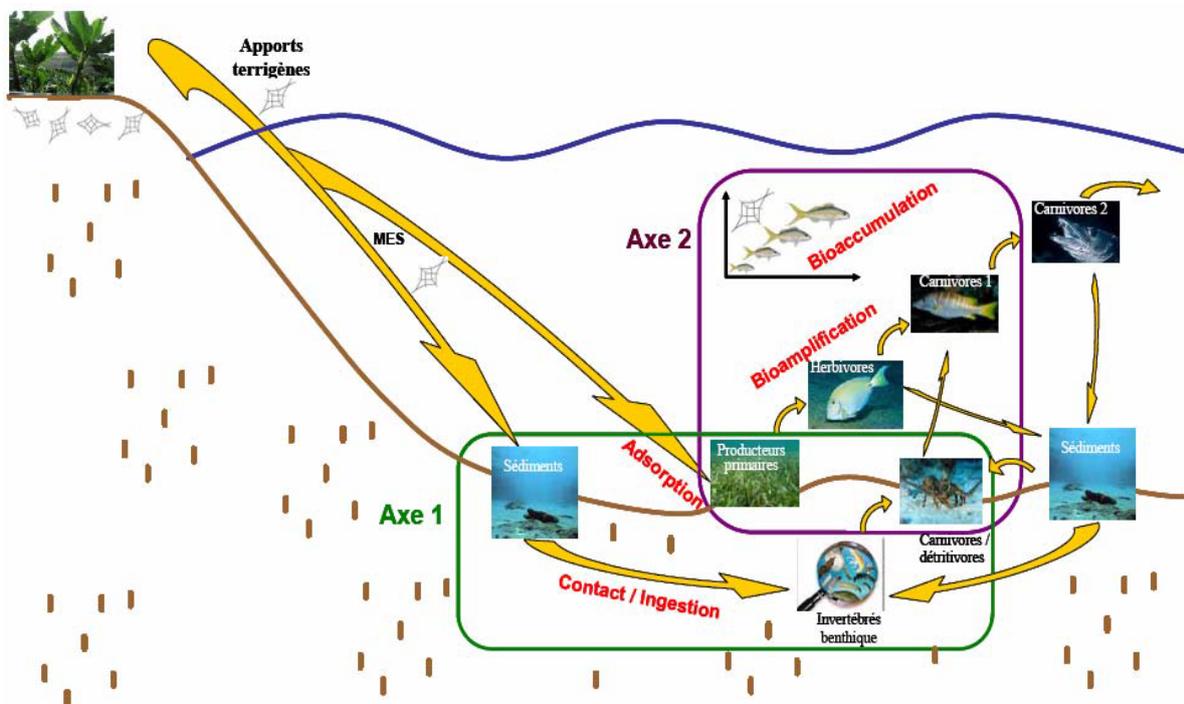


Figure 5 : Schéma de l'articulation des axes et hypothèses scientifiques proposés dans un système théorique du devenir du chlordécone dans le milieu marin¹⁸.

Les voies potentielles de contamination de l'environnement marin sont diverses :

- Par les aérosols susceptibles de retomber en mer lors d'opération d'épandage aérien de pesticides. On considère que 40% des herbicides épandus par avion étaient transformés en aérosols et transportés par les vents ;
- Par les rivières et les eaux de ruissellement. Beaucoup de molécules de pesticides sont très peu solubles dans l'eau. Néanmoins, elles peuvent être transportées par les eaux, soit dissoutes dans les huiles qui leur servent d'excipient, mais surtout absorbées sur des particules argileuses.

-Par les chaînes alimentaires. La contamination des organismes aquatiques se fait par deux voies : soit par contact direct avec le polluant (surtout pour les molécules hydrosolubles), soit par ingestion (surtout pour les molécules hydrophobes).

Dans le cas du chlordécone, la molécule étant peu soluble dans l'eau, la contamination des animaux marins se fera essentiellement par ingestion.

Deux phénomènes importants président au devenir des polluants dans les milieux biologiques, il s'agit de la bioconcentration et de la bioamplification. Ces mécanismes concernent uniquement les molécules possédant une longue rémanence, qui présentent une affinité particulière pour la matière organique (graisses, squelette...) et qui ne sont pas métabolisées par les organismes.

La bioconcentration part du principe que plus un organisme est âgé, plus il aura eu l'occasion d'entrer en contact ou d'ingérer un polluant et de le stocker dans ses tissus. Il en résulte que, dans la nature, les individus de grandes tailles, sont souvent plus contaminés que les jeunes.

Le phénomène de bioamplification constitue une deuxième voie de contamination des organismes et peut avoir un rôle prépondérant pour les animaux de rang trophique élevé⁷⁰.

Le facteur de bioamplification est défini comme le rapport de concentration entre la chair de poisson et celle de la nourriture.

La concentration dans la chair de poisson dépend du niveau de contamination de la nourriture, de la vitesse d'alimentation, de l'efficacité d'assimilation du composé chimique, et est inversement proportionnelle à la vitesse d'élimination²⁴.

En Guadeloupe, une étude a été réalisée en 2003 par le laboratoire de biologie marine de l'Université Antilles-Guyane afin de mesurer les niveaux de contamination des chaînes trophiques des milieux marins côtiers par différents pesticides²³.

Six stations de prélèvement ont été sélectionnées le long du littoral de la côte au vent, de Goyave à Trois Rivières (Figure 6). Cette région se caractérise, sur le plan agricole par une prédominance de la culture de la banane. Ces zones ont été sélectionnées car elles représentent trois grands écosystèmes marins différents (mangroves, herbiers de Phanérogames marines et récifs coralliens).

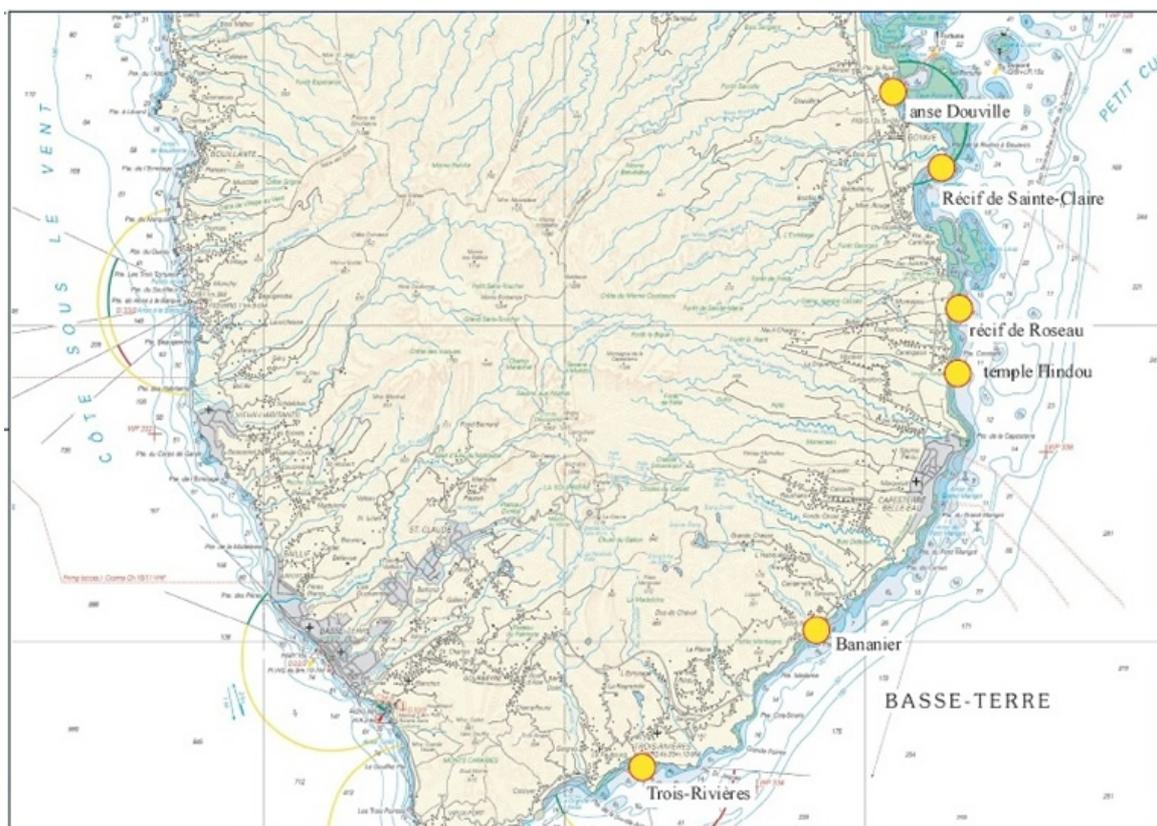


Figure 6 : Emplacement des sites d'échantillonnage sur la côte sud-est de la Guadeloupe²³.

Plusieurs pesticides appartenant à différentes familles chimiques ont été recherchés. Parmi celles-ci, seuls ont été détectés les composés de la famille des organochlorés et un composé de la famille des dicarboximides (la vinchlozoline).

Les dosages ont été réalisés dans différents tissus biologiques. A noter, que les organochlorés s'accumulent préférentiellement dans les tissus riches en lipides (0,1% dans la chair et 32% dans les gonades). Les niveaux de chlordécone les plus élevés étaient détectés dans le poisson chirurgien bleu et dans l'oursin blanc.

Station	Organismes	Habitat	Organe analysé	Molécule(s) détectée(s) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Poids sec (%)	Matière grasse (%)
Récif de Roseau	ECHINODERMES - Oursin blanc	Herbier	Gonades	11 de Chlordécone	15,6	5,3
	CNIDAIRES - <i>Zoanthus pulchellus</i>	Herbier	Animal entier	Aucune	15,9	4,6
Trois rivières	POISSONS - Barracuda (taille= 95cm)	Récif	Chair	2 de Chlordécone	23,8	0,1
			Gonades	3 de DDT-4-4'	47,2	32
	« Chirurgiens » - <i>Acanthurus coeruleus</i> - <i>Acanthurus chirurgus</i>	Récif	Chair	17 de chlordécone	20,8	4,7
		Récif	Chair	Aucune	21,6	4,5

Tableau VI : Niveau de contamination des échantillons analysés²³

En Avril 2013, la Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt (DAAF) de la Guadeloupe établie une représentation cartographique des prélèvements de produits de la pêche réalisés au niveau du milieu marin en Guadeloupe de 2008 à 2011 (figure 7).

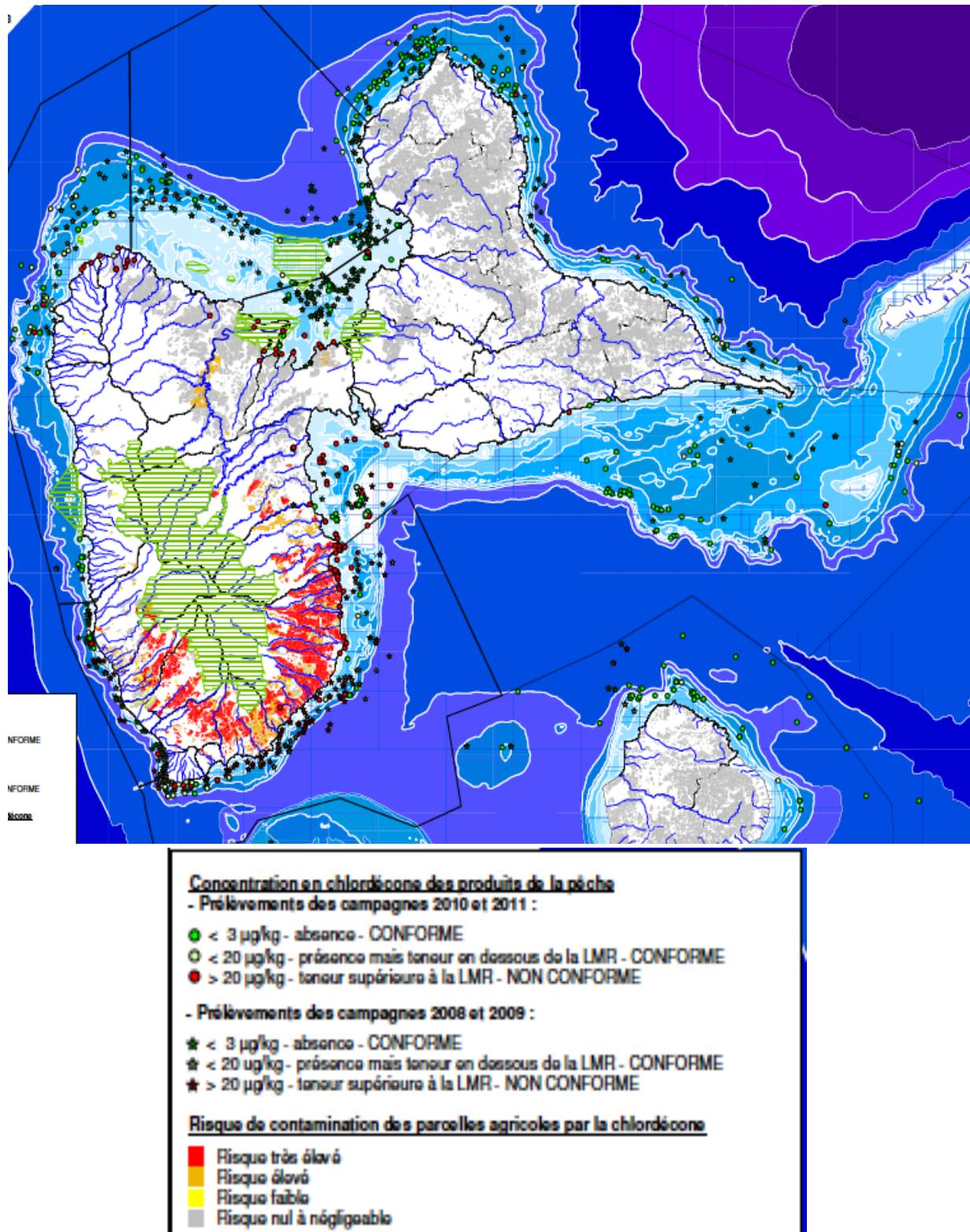


Figure 7 : représentation cartographique des prélèvements de produits de la pêche réalisée au niveau du milieu marin en Guadeloupe de 2008 à 2011

Un arrêté préfectoral datant du 26 juin 2013¹⁰, a actualisé les mesures d'interdiction de pêche afin de prévenir l'exposition de la population au chlordécone.

La réglementation en vigueur distingue une zone d'interdiction totale de pêche correspondant au secteur le plus contaminé et des zones d'interdiction partielle, où seules certaines espèces sont interdites à la pêche, dans les secteurs où la contamination est moins élevée.

La zone d'interdiction totale de pêche englobe un secteur maritime de 37 km² allant de la pointe la Rose sur la commune de Goyave à la pointe Violon sur la commune de Vieux-Fort (figure 8). Dans cette zone, la pêche de toutes les espèces de produits de la mer (poissons, crustacés, coquillage, oursins...) ainsi que la capture du crabe de terre et du crabe à barbe sur le littoral et les berges des rivières, en vue de la consommation humaine ou animale ou de leur commercialisation aux mêmes fins, sont interdites.

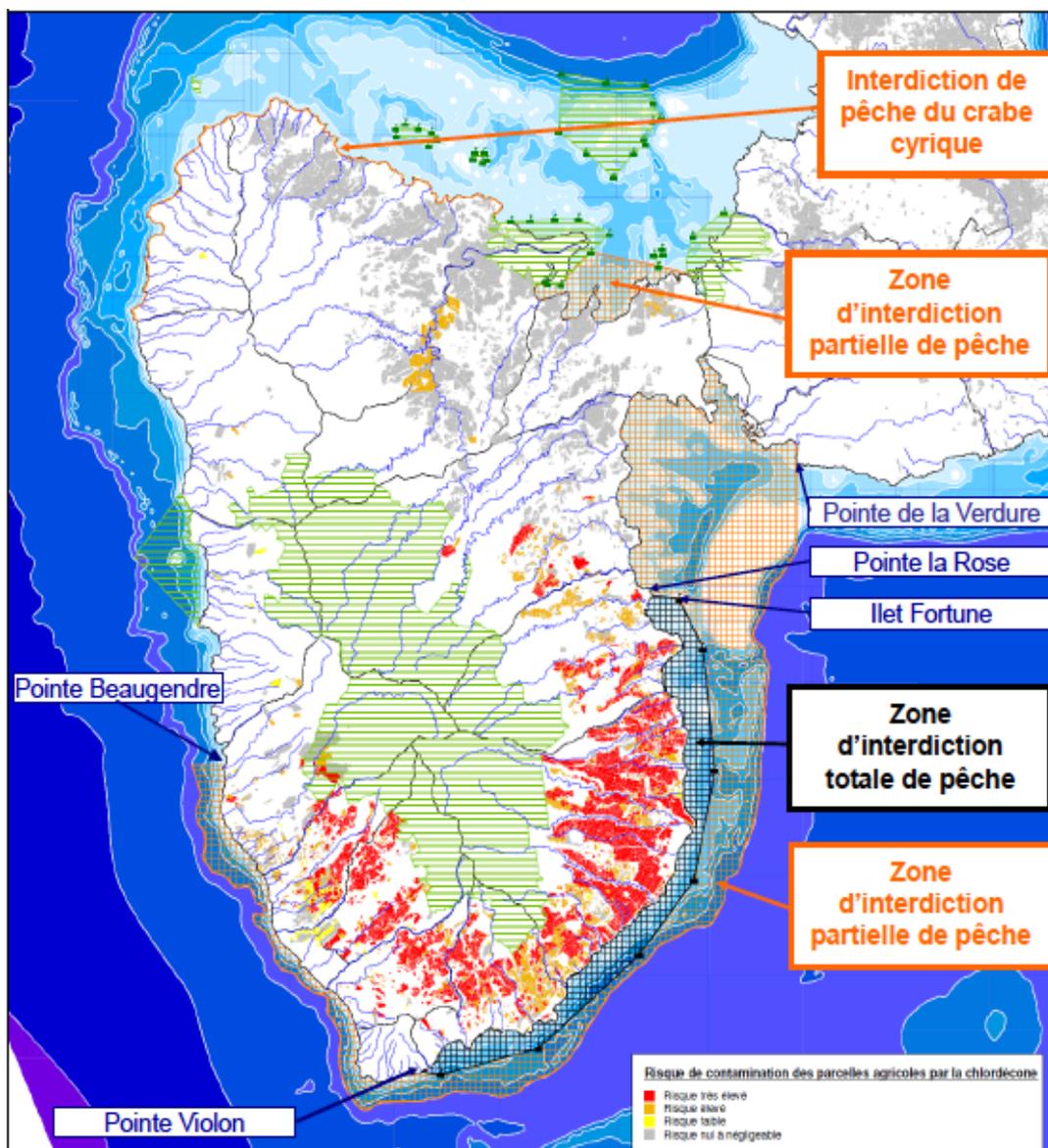


Figure 8 : Représentation cartographique des zones définies aux articles 1 à 3 de l'arrêté du 26 Juin 2013

Les zones d'interdiction partielle de pêche représentent 159 km². Dans ces zones, la pêche de certaines espèces est interdite (Figure 8). La pêche de la langouste royale (*Palinurus argus*) est par ailleurs limitée aux seuls individus d'une taille de plus de 25 cm mesurée de la pointe du rostre à l'extrémité du telson.

La pêche en vue de la consommation humaine des crabes ciriques (*Callinectes spp*) est également interdite sur le littoral des communes de Sainte-Rose et de Deshaies.

Ces cartes nous permettent d'observer que les zones d'interdiction de pêche sont principalement situées sur une partie de la Basse-Terre, aux alentours des parcelles agricoles sur lesquelles le chlordécone avait été utilisé.

Ceci montre bien que la molécule de chlordécone diffuse peu, et confirme alors que les autres zones côtières ne sont pas touchées par cette pollution.

Il conviendra alors d'informer les pêcheurs des zones autorisées à la pêche.

III. La contamination des sols

III-1) le niveau de contamination des sols

Aujourd'hui, en Guadeloupe on estime que la part polluée de surface agricole utile (SAU) est proche de 1/5^e. Pour la Martinique, elle est supérieure à 2/5^e. Donc au total, les zones fortement polluées ne représentent qu'une partie de la SAU des îles (respectivement 8 et 9%). Mais en y ajoutant les zones moyennement contaminées, ce pourcentage peut atteindre voire dépasser le quart de cette surface. (Tableau VII).

	Surface Agricole Utile (ha)	Surfaces en bananeraies pendant les années 1970 à 1993 (ha)	Surface moyennement à fortement contaminée* (ha) %SAU	Surface fortement contaminée (ha)** %SAU
GUADELOUPE	34500	6570	5200 (15%)	3100 (9%)
MARTINIQUE	3200	12400	6200 (19%)	2510 (8%)

*Sols présentant des concentrations > 0,25 mg CLD/kg, seuil garantissant une teneur dans les végétaux < 0,05 mg/kg.

**Sols présentant des concentrations > 1 mg CLD/kg, seuil garantissant une teneur dans les végétaux < 0,20 mg/kg.

Tableau VII : Contamination des sols dans les deux îles⁸⁵

III-2) Rôle de la nature du sol dans la persistance de la molécule

Les sols riches en matière organique retiennent fortement le chlordécone. La molécule ne se dégrade pas dans les sols aérés, seules les eaux de percolation peuvent la dissiper. Sa persistance est donc longue, d'un à quelques siècles selon les sols. Il est donc important de gérer cette pollution.

Afin de réduire l'exposition de la population et la contamination des denrées, les agriculteurs doivent disposer de systèmes de cultures et d'élevage compatibles avec les niveaux de chlordécone des sols restés fertiles. Il existe un outil qui prend en compte le niveau de pollution de la parcelle et la contamination des cultures.

En 2003, des parcelles d'agriculteurs ont été sélectionnées en fonction des apports de chlordécone sur celles-ci. Les teneurs en chlordécone, sur chaque type de sols, sont expliquées à 80% par l'importance des apports passés et par la teneur en carbone, sans même prendre en compte l'ancienneté de ces apports²⁸.

La dégradation de la molécule est donc très faible compte tenu des données de stabilité mentionnées dans la première partie et le seul moteur possible de sa dissipation est son lent lessivage par les eaux de drainage. Un modèle de lessivage (*Wisorch*) a été construit sur des hypothèses simples (cinétique de premier ordre)²⁶ :

- Plus le sol est riche en carbone (matière organique) et plus il retient le chlordécone, en fonction du coefficient de partage K_{oc} ,
- La fraction lessivée par les eaux de drainage est en proportion constante du stock restant adsorbé sur le sol,
- Le seul facteur de dilution apparente est le travail du sol : entre maintien du chlordécone dans les 30 premiers centimètres dans les bananeraies de montagne travaillées manuellement, et dilution mécanique jusqu'à 70 ou 80 centimètres dans les bananeraies au travail du sol lourdement mécanisé (charrues à défoncer).

La comparaison entre les teneurs mesurées en chlordécone sur les andosols du réseau de parcelles en 2003 et les teneurs calculées par le modèle *Wisorch* pour un coefficient de partage K_{oc} de 17500 L/kg a été excellente : seul le lessivage du chlordécone des sols par les eaux de drainage peut assurer leur lente dépollution.

Pour les autres types de sols (ferralitiques ou ferrisols), les teneurs calculées étaient nettement supérieures aux teneurs mesurées, ce qui a conduit à une révision à la baisse des valeurs de K_{oc} pour ces sols.

De plus la teneur en chlordécone d'un ferrisol est très inférieure à celle d'un andosol, au delà de l'effet d'une moindre teneur en carbone. Mais pour des teneurs en chlordécone équivalente, un ferrisol est beaucoup plus contaminant pour l'environnement qu'un andosol⁶⁶. Enfin, ce modèle nous informe également que le chlordécone ne se dégrade pas spontanément dans les sols agricoles bien aérés. Les délais de dépollution des sols par lessivage seront extrêmement longs, entre quelques décennies et un siècle pour les ferrisols, jusqu'à six siècles pour les andosols²⁶.

Il faudra donc apprendre à vivre avec cette pollution (Figure 9).

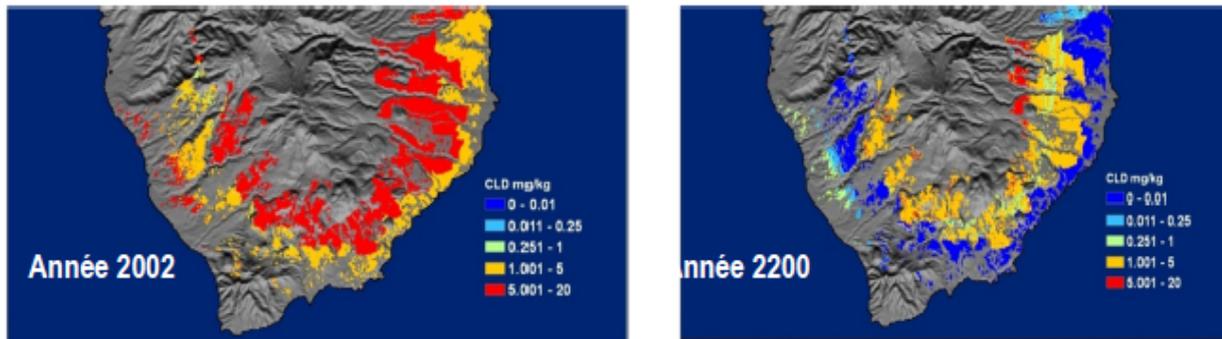


Figure 9 : Stimulation de l'évolution des teneurs en chlordécone de la couche de surface des sols de bananeraies du sud de Basse-Terre (Guadeloupe)²⁸.

III-3) La propagation de la pollution des sols

III-3-1) Propagation latérale

Le ruissellement représente en moyenne annuelle moins de 20% de la quantité d'eau qui s'infiltré dans les andosols et ferrisols acides. De plus, ce ruissellement est fugace et peu efficace dans le transport de chlordécone : les concentrations de chlordécone n'y dépassent pas 2 µg/L là où elles atteignent plus de 8 µg/L dans les eaux de drainage.

Des mesures effectuées sur des parcelles n'ayant pas reçu d'apports et situées immédiatement à l'aval de parcelles polluées ne subissent des contaminations que si des chemins d'écoulement concentrés (« talweg ») relie les deux parcelles.

Ces contaminations restent superficielles et très faibles, sur une dizaine de mètres au maximum. Tant que l'on reste dans le domaine des sols acides et bien structurés (andosols, sols ferrallitiques, ferrisols), le chlordécone ne « bave » pas et n'affecte que les sols sur lesquels il a été apporté.

Les contaminations environnementales se font essentiellement via les nappes souterraines, qui alimentent les sources, soutiennent le débit des rivières en période de basses eaux ou résurgent directement à la côte³⁴. Dans certains cas, ces nappes peuvent émerger en piedmont des collines en saturant des sols hydromorphes, notamment d'arrière mangroves : c'est le seul cas de sols apparemment pollués alors qu'ils n'ont jamais reçu de chlordécone.

Il n'en est pas de même si le ruissellement transporte des particules argileuses en suspension. Cela peut se produire accidentellement sur les sols acides suite à des erreurs de préparation du sol. En effet, un sol laissé nu trop longtemps se fragmente en fins agrégats qui peuvent être transportés par des ruissellements concentrés à débit important. Cependant, ces transferts se font sur d'assez courtes distances.

D'autre part, les sols riches en smectites, vertisols au sens large, subissent une érosion superficielle favorisée par un ruissellement important et une détachabilité des particules argileuses. Ces particules fines restent en suspension dans le ruissellement et peuvent atteindre les rivières et la mer avant de se redéposer. Ce phénomène affecte presque exclusivement les sols à smectites du centre-est et du sud-est de la Martinique.

III-3-2) Propagation verticale

Compte tenu des K_{oc} élevés, la contamination des horizons profonds des andosols par les eaux de percolation est très lente, et faible à ce jour. Dans les bananeraies pérennes, cultivées sans labour, 90% du stock de chlordécone est présent dans les 30 premiers centimètres.

Dans les bananeraies labourées, une partie du chlordécone est incorporée à une profondeur supérieure à 30 cm. Dans de nombreuses parcelles labourables, les années chlordécone correspondaient à des passages répétés d'outils travaillant à des profondeurs atteignant couramment 60 cm (charrues à défoncer, charrues à disques lourds...). Ceci explique alors pourquoi dans beaucoup de parcelles mécanisables, le stock de chlordécone des 30 premiers centimètres ne représente que 50% du stock total du sol.

La question du travail mécanique du sol est bien illustrée par le modèle de *Cabidoche et al* en 2004 (figure 10)²⁷.

On a pu observer que les contaminations des sols de Guadeloupe apparaissaient supérieures à celles de la Martinique, en raisonnant sur des teneurs dans les 30 premiers centimètres de sol. En réalité, cela est dû à un échantillonnage important de sols de bananeraies pérennes, jamais labourées depuis plusieurs décennies, sous lesquelles la chlordécone apportée est quasi intégralement restée dans la couche superficielle. A l'inverse, la totalité des analyses issues de la Martinique ont portés sur des sols autrefois profondément travaillés, jusqu'à 60 voire 70 cm. Les mêmes stocks de chlordécone ont donc été dilués bien au-delà des 30 premiers centimètres.

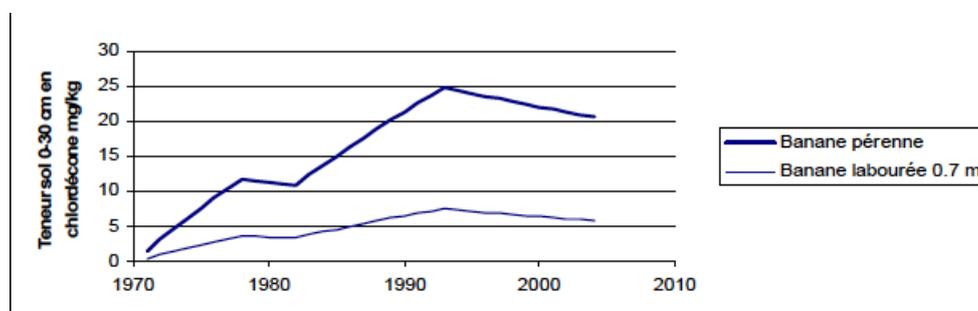


Figure 10 : Effet du système de culture sur les teneurs en chlordécone²⁷.

Ces pratiques de travail du sol compliquent le diagnostic du niveau de pollution d'un sol, qui ne devrait pas se faire sur une simple teneur des 30 premiers centimètres, mais sur le stock total.

L'obtention d'une teneur plus faible en surface va minimiser les risques de contamination des organes souterrains par contact, mais ne va pas changer le risque de capture par les enracinements. Le faible nombre de labour depuis la fin de la période d'utilisation du Curlone^{®*} entraîne une distribution extrêmement hétérogène du chlordécone adsorbé dans le sol².

*Le curlone[®] correspondant à la seconde spécialité produite à base de chlordécone, utilisée aux Antilles entre 1980 et 1993 (jusqu'à son interdiction).

Cette variabilité peut être expliquée par l'extrême affinité du chlordécone pour la matière organique du sol et la pratique d'apport du produit (application de la poudre au pied du bananier = concentration par point d'application) puis par les pratiques de travail du sol :

- Bananeraie pérenne (le sol n'est pas travaillé) : la teneur en chlordécone de la couche superficielle du sol est très élevée, puis très faible sur le profil cultural (profondeur >30 cm) ;
- Bananeraie avec travail du sol régulier : la teneur en chlordécone est diluée sur l'horizon du labour ;
- Bananeraie avec labour retourné sporadique : chlordécone plus abondante en profondeur ;
- Bananeraie avec labour dressé : chlordécone en minces cloisons.

En fait, la véritable évaluation des stocks résiduels de chlordécone demanderait une analyse de deux couches aux profondeurs 0 à 30 cm, et 30 à 60 cm, pour toutes les terres mécanisables (Figure 11).

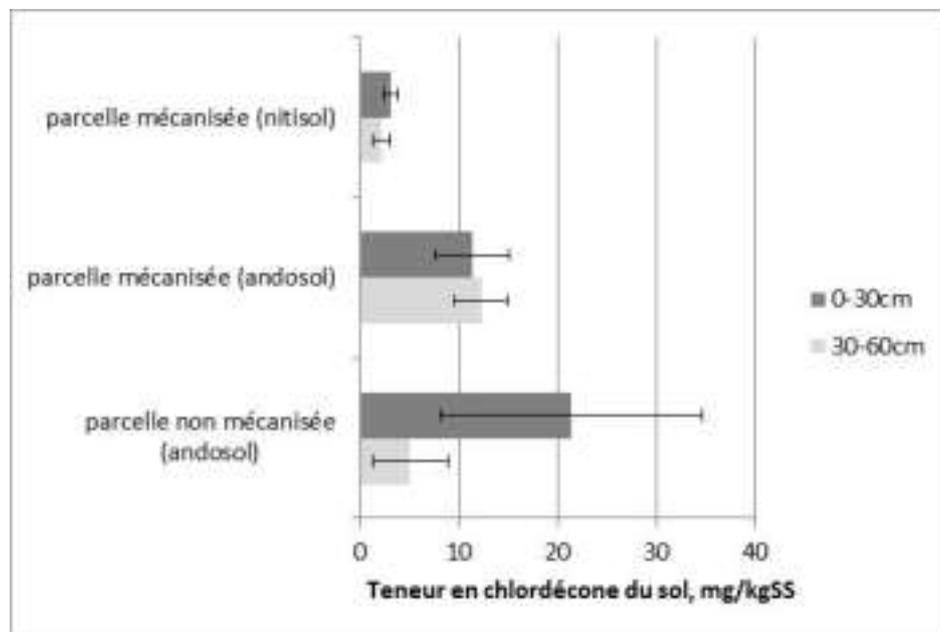


Figure 11 : Teneurs moyennes en chlordécone (mg/kgSolSec) pour deux horizons (0-30 cm et 30 -60 cm) de systèmes de cultures contrastés et de type de sol différents⁶⁵.

La teneur en eau et la température sont également des facteurs du milieu pouvant influencer la rétention d'un pesticide sur un sol. Ainsi, la teneur en eau affecte le processus d'adsorption par modification de l'accessibilité des sites d'adsorption et des propriétés de surface du sol.

Quant aux changements de température, ils ont un effet direct sur la distribution de phase du pesticide, de même qu'ils peuvent entraîner un changement de solubilité du pesticide.

La question de l'influence de ces facteurs sur la rétention du chlordécone dans les sols antillais, en conditions climatiques tropicales (chaud et humide) se pose.

III-4) Les solutions pour remédier à la pollution du sol

A première vue, une des solutions pour traiter les sols pollués serait de décaper la partie la plus affectée. Dans quelques cas de sols non labourés (bananeraies pérennes), on pourrait envisager de diminuer de 80% la charge polluante en découpant les sols de 20 cm.

Mais les surfaces concernées correspondraient à moins de 50ha sur les deux îles et engendraient une baisse de fertilité agronomique importante ainsi qu'un accroissement du risque d'érosion.

Dans tous les autres cas de pollution, la baisse de la charge polluante de 80% supposerait d'enlever au minimum 50 à 60 cm de terre. Ceci entraînerait une perte totale de fertilité des parcelles. Cette solution n'est donc pas envisageable, il va donc falloir privilégier le traitement *in situ* des parcelles.

La réduction de la diffusion de la molécule dans l'environnement pourrait être envisagée par la gestion de la matière organique du sol, par l'utilisation de biochars (charbon à usage agricole) ou de composts ligneux pour « bloquer » la molécule ou encore prolonger son stockage dans le sol.

En effet, déjà naturellement, certains types de sols tendent à confiner plus facilement le chlordécone que d'autres, les andosols par exemple. Ces derniers sont les plus contaminés mais les moins contaminants. Ceci s'explique par leur composition, faite principalement d'argile (allophane) qui agit comme un « labyrinthe » pour piéger le chlordécone.

Les chercheurs se sont donc demandés s'il n'était pas possible d'utiliser cette faculté.

En laboratoire, l'ajout de matières organique (compost) au sol permet de réduire le transfert vers les cultures pour deux types de sols (ferrisols et andosols)⁶⁴ et de séquestrer plus fortement la molécule dans les sols⁹⁸

Ces systèmes sont en cours de développement, ils ont été constatés en laboratoire mais doivent être validés par des expérimentations dans les parcelles.

Si la dégradation microbienne semble possible en conditions anaérobies⁶⁷, ces conditions ne correspondent pas aux conditions physico-chimiques naturelles des sols cultivés. De ce fait, la remédiation de cette pollution doit d'abord passer par des solutions de gestion qui permettent d'en minimiser l'impact et la rendre compatible avec les questions de santé publique.

La connaissance des mécanismes de transfert de la molécule des sols vers les systèmes naturels et agricoles ainsi que celle des impacts sur la santé humaine et des écosystèmes sont des points clés de la gestion de cette pollution. Ces différents points sont actuellement développés par des équipes de recherche locales et métropolitaines.

Tant en Guadeloupe qu'en Martinique, la majorité de la SAU n'est cependant pas polluée.

Sur ces surfaces indemnes de chlordécone, il convient de mettre en œuvre des systèmes de culture ou d'élevage favorisant les régulations physiques et biologiques, maîtrisant les produits phytosanitaires utilisés et leur devenir environnemental.

D'une source de contamination pour l'eau, les sols deviennent une source potentielle de contamination pour les aliments. La question sera alors évoquée localement dès le mois d'octobre 2000.

IV. La contamination des denrées alimentaires

En 2005, L'AFSSA va distinguer deux types de produits en fonction de leur consommation et de leur contamination : ceux qui sont les plus grands vecteurs doivent présenter un taux de chlordécone $< 50 \mu\text{g}/\text{kg}$, les autres $< 200 \mu\text{g}/\text{kg}$ ⁴.

Cette fixation de Limites maximales en résidus (LMR) était affichée avec prudence, en raison des incertitudes sur la contamination. Afin d'améliorer les connaissances, de nouvelles enquêtes ont été réalisées.

L'enquête RESO, développant des analyses sur de multiples aliments, a porté sur 894 prélèvements entre novembre 2005 et juillet 2006 en Martinique, et sur 744 prélèvements entre juillet 2006 et janvier 2007 en Guadeloupe⁶.

En 2007, sur proposition des autorités françaises, la Commission européenne a retenu des valeurs LMR inférieures à celle définies en 2005⁹³ :

- $20 \mu\text{g}/\text{kg}$ pour les denrées cultivables sous climat tropical ou tempéré (agrumes, fruits tropicaux, tous les légumes, maïs, canne à sucre ...)
- $10 \mu\text{g}/\text{kg}$ pour certains produits spécifiques aux régions de climat tempéré ou susceptibles d'être importés de pays autres que les Antilles (blé, riz, pommes, poires et fruits à noyaux, betterave sucrière...).

Quant aux denrées animales, elles doivent respecter une valeur limite de $20 \mu\text{g}/\text{kg}$ qu'elles soient d'origine terrestre ou aquatique.

Toutes ces mesures ont donc été reprises dans l'arrêté du 30 juin 2008⁸ qui remplace les arrêtés de 2005.

Concernant le transfert du chlordécone du sol vers les plantes, seule la voie sol/plante est considérée pour le transfert du chlordécone, la voie sol/air/plante n'est probablement que très peu ou pas mobilisée car la molécule est peu volatile.

Parmi les premiers résultats opérationnels, il a été clairement établi que le chlordécone du sol ne contamine pas de la même manière toutes les cultures. Le niveau de contamination va dépendre de l'espèce et de l'organe de la plante considérée, du niveau de pollution et du type de sol⁶⁴.

Ces données ont permis de construire un schéma hypothétique des modalités de transfert de la molécule au sein de la plante.

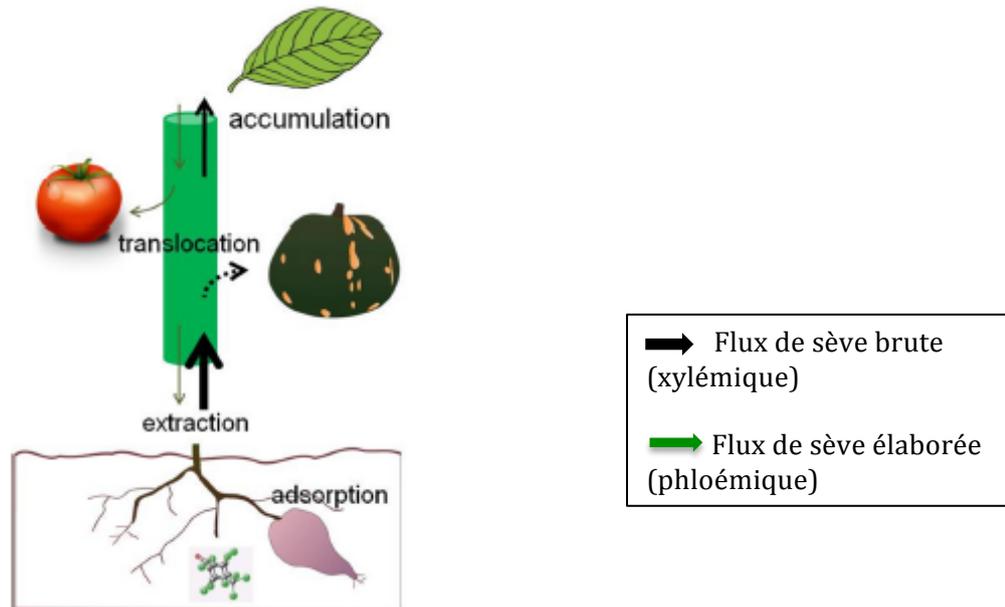


Figure 12 : Voie de contamination par le chlordécone chez les plantes⁶³

Le chlordécone peut être transféré dans les racines selon deux phénomènes : Le contact et la diffusion passive. En effet, au-dessus de leur apex et de la zone d'élongation, les racines se recouvrent d'un épiderme généralement riche en subérine. Cette substance est hydrophobe et présente une forte capacité à fixer le chlordécone. La partie externe des racines va alors être facilement contaminée par contact.

De plus, le chlordécone présent en solution dans le sol, peut pénétrer dans les racines par diffusion, entraîné par le flux d'absorption racinaire, sans que des phénomènes actifs ne soient mis en jeu. Il existe un gradient de contamination entre les organes souterrains et les organes aériens. En effet, les niveaux de contamination des parties aériennes sont toujours plus faibles que ceux des parties souterraines. Le transfert se fait via le flux de sève brute. On peut observer que le long de la tige, il y a un gradient de dilution. Les bas de tige sont beaucoup plus contaminés que les parties apicales.

En pénétrant dans les racines, le chlordécone peut croiser différents composants des tissus végétaux, qui pourront être des sites de fixations potentiels (surtout les fibres), et qui agiraient comme filtre pour les organes se trouvant en aval de ce flux.

La contamination des organes récoltés va dépendre à la fois de leur mode de remplissage, de la composition des tissus interposés et également de leur position dans le circuit de la sève.

Les organes récoltés pour lesquels le remplissage s'effectue principalement par des flux de sève phloémiques (sève élaborée) sont faiblement contaminés. En revanche, dans le cas où le remplissage est principalement effectué par des flux de sève xylémiques (sève brute), il est possible que les fruits soient contaminés à des niveaux supérieurs à la LMR en vigueur.

IV-1) La contamination des végétaux

-La banane

En ce qui concerne le bananier, la contamination décroît avec la hauteur, dans le faux-tronc, en affectant plus les gaines foliaires externes que les internes, plus jeunes. Dans les limbes des feuilles, une faible contamination est encore quantifiable, mais elle ne l'est plus lorsque l'on dose le chlordécone dans les bananes, quelque soit la position des « mains » sur le régime.

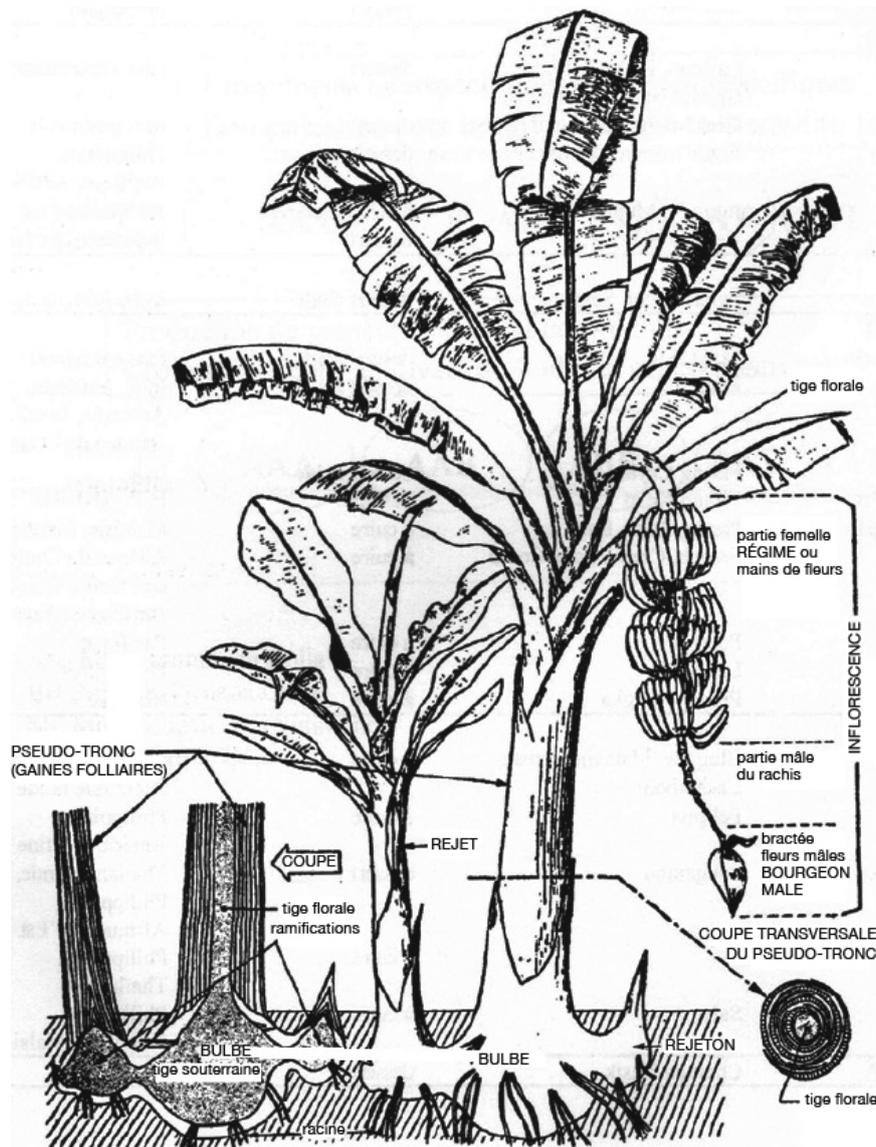


Figure 13 : Représentation de l'organisation du bananier³³

Ce transfert de chlordécone dans le bananier met en jeu des « filtres » successifs le long du circuit de la sève, et n'atteint pas ou très peu les fruits (Figure 13).

La banane fait partie des fruits dont le remplissage s'effectue majoritairement par des flux de sève phloémique (sève élaborée) : teneur en chlordécone < 5 µg/Kg de Matière Fraîche (MF).

-Les solanacées

Dans le cas de la tomate, aucune n'a été détectée contaminée, même si elles sont présentes sur les sols les plus pollués. En revanche les tiges et les feuilles de tomate le sont.

En fait, ce fruit a des conditions de croissance qui lui permet d'éviter la contamination. La tomate aura un remplissage nocturne par la sève élaborée (faiblement contaminée) et elle bénéficie également de « filtres » que sont les tiges et les feuilles en amont. De plus aucun des tissus du fruit n'a de forte affinité avec le chlordécone.

Ces propriétés permettent d'expliquer qu'aucun fruit de Solanacée n'est contaminé par le chlordécone (tomate, aubergine, poivron, piment).

-Les cucurbitacées

Concernant les cucurbitacées, la détection de contamination a été dans un premier temps attribuée à un contact avec le sol : c'est vrai pour un certain nombre d'entre eux mais pas pour tous. Un test a été fait avec la courgette, en évitant tout contact avec le sol, et toutes les courgettes récoltées étaient fortement contaminées quelles que soient leur position sur la plante, le moment de leur formation ou de leur récolte.

Leur contamination pourrait s'expliquer par deux spécificités de la plante : l'absence de tige « filtrante » et le remplissage en eau du fruit par le flux diurne de sève brute au même niveau que les feuilles. A l'inverse des fruits vu précédemment, le remplissage par la sève brute sera direct et intense, expliquant la contamination plus élevée.

Même si l'on sait que les propriétés de remplissage diurne sont communes aux cucurbitacées, il était important de faire une étude par espèce afin de savoir plus précisément au niveau de quel tissu la contamination est présente. Par exemple pour le giraumon (variété de potiron aux Antilles), le taux de transfert maximum entre le sol et le fruit, est 4 fois plus élevé dans la peau que dans la pulpe³⁸.

-Les légumes-racines

A propos des légumes-racine, les tiges peuvent être contaminées jusqu'à des hauteurs importantes (plus de 2m), mais à partir d'une certaine hauteur, les feuilles le sont 10 fois moins car elles sont plus riches en cellulose à faible affinité pour le chlordécone.

En fait, les sucres produits par les feuilles exemptes de chlordécone, migrent via la sève élaborée vers les tubercules.

De ce fait, plus le tubercule grossit, moins il est contaminé et ainsi la partie de la pulpe qui est indemne augmente par rapport au cortex contaminé.

In fine, la contamination des ignames récoltées se retrouve principalement au niveau du cortex, ainsi il suffira d'éplucher correctement les tubercules avant de les consommer afin d'obtenir une pulpe dont la teneur en chlordécone est 10 fois plus faible que celle du tubercule entier, ne franchissant pas la LMR, même sur un sol fortement pollué³⁹.

Le taux de contamination des espèces de racines et de tubercules va varier en fonction de la physiologie de la plante.

Lorsque l'on utilise des variétés aériennes d'igname (*Dioscorea bulbifera*), les bulbes récoltés sont très faiblement contaminés (<5 µg/kg MF) ce qui confirme aussi la contribution importante du contact direct entre le sol et le tubercule pour les autres espèces et l'interposition d'organes « filtres ».

Cette hypothèse de contamination par contact a été vérifiée expérimentalement sur l'igname *Dioscorea cayenensis* : si le tubercule se développe dans du sol sain alors que son enracinement explore un sol contaminé, il n'est que très faiblement contaminé (Figure 14).

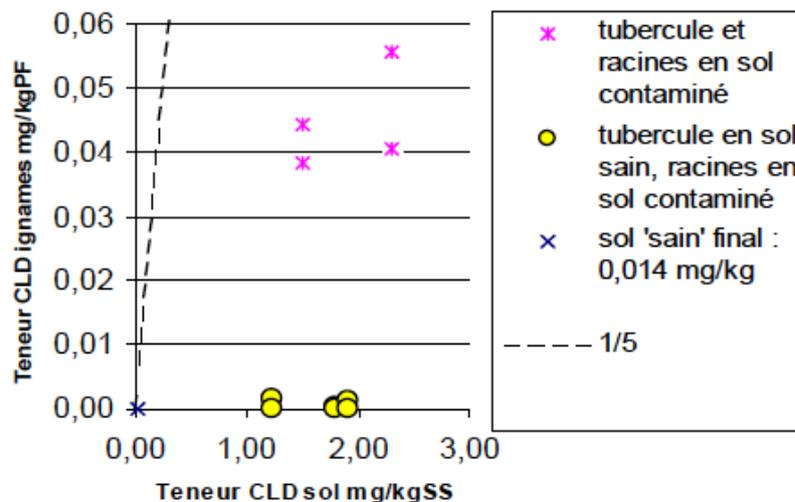


Figure 14 : Test de l'hypothèse de contamination par contact de l'igname²⁹

-La canne à sucre

On observe un gradient de contamination du bas de la tige vers le haut, le bas étant beaucoup plus contaminé que le haut. En revanche aucune contamination du sucre n'est observée (Figure 15).

Une grande partie de la contamination se trouve dans les produits fibreux (bagasses, déchet solide). De ce fait, les produits issus de la transformation de la canne à sucre (rhum et sucre) présentent une contamination quasi inexistante.

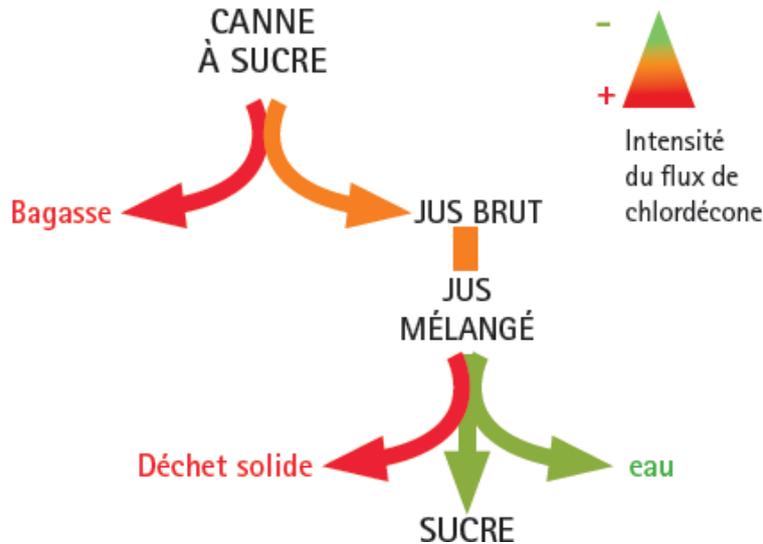


Figure 15 : Schéma représentatif du flux de chlordécone dans les produits issus de la transformation de la canne à sucre³⁶

De façon plus générale, le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) a classé les produits végétaux locaux en fonction de leur sensibilité au chlordécone.

Plus le sol est pollué par le chlordécone, plus le végétal risque d'être contaminé. Mais les cultures ne présentent pas la même sensibilité au polluant.

Nous pouvons distinguer trois catégories (figure 16) :

-Les cultures peu sensibles : arbres et arbustes ainsi que la plupart des plantes maraîchères (christophine, chou, haricot, aubergine, tomate...). Elles n'auront pas de restriction particulière pour la mise en culture. Il en est de même pour la banane et l'ananas.

Ces cultures fruitières ou maraîchères peuvent donc être produites sur toutes les parcelles, quelque soit la teneur en chlordécone.

-Les cultures intermédiaires : canne à sucre, cive, laitue, cucurbitacées (concombre, giraumon...) devront éviter d'être cultivées sur un sol pollué au-delà de 1 mg/kg de sol sec afin d'éviter de dépasser la LMR.

-Les cultures très sensibles : racines et tubercules (patate douce, igname, dachine, carotte, navet...) devront éviter d'être cultivées sur un sol pollué au-delà de 0,1 mg/kg de sol sec. Car nous le rappelons, les racines et tubercules sont très sensibles au transfert de chlordécone car la partie consommée se développe entièrement en contact direct avec le sol pollué.

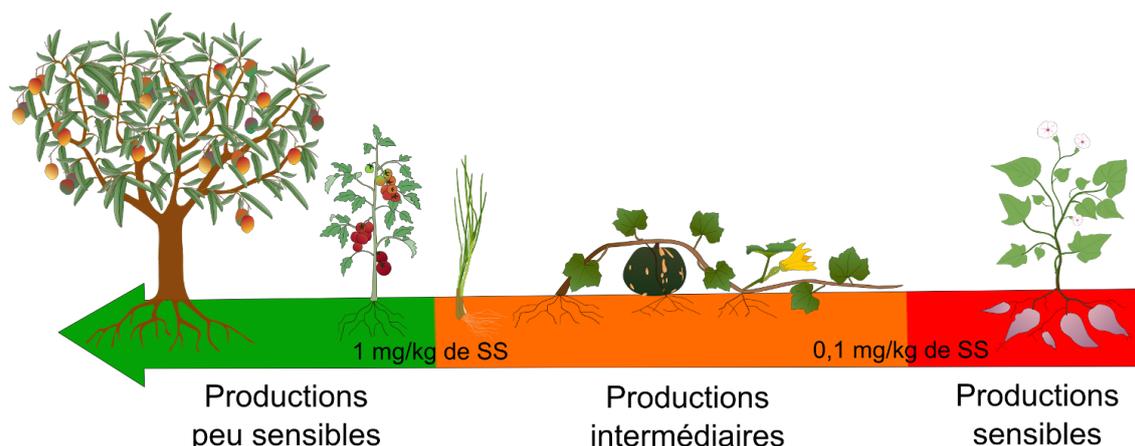


Figure 16 : Schéma représentatif de la sensibilité des productions végétales au transfert de chlordécone et les seuils de teneur du sol en chlordécone pour les recommandations de mise en culture³⁶.

Il est donc indispensable de connaître l'état de pollution de son sol avant de choisir la culture à implanter. Le respect des valeurs seuils pour la mise en culture ainsi que la pratique d'une récolte soignée sont les garants d'une récolte conforme.

Concernant la préparation des fruits et des légumes, pour éviter tout risque de contamination, il faudra toujours brosser la peau afin d'enlever toute trace de terre, les laver soigneusement et les éplucher gracieusement (2-4 mm). En opérant ainsi, la majorité de la contamination peut être éliminée.

Chaque année, les autorités françaises mettent en œuvre des contrôles officiels dans le domaine de la sécurité sanitaire des aliments. Le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, à travers sa Direction Générale de l'Alimentation (DGAL), est responsable du pilotage de plan de surveillance et de plan de contrôle (PSPC) de la contamination des productions primaires animales et végétales, des denrées alimentaires d'origine animale et de l'alimentation animale.

Un plan de surveillance (PS) est une campagne d'analyses sur des animaux, végétaux ou denrées alimentaires, qui a pour objectif principal d'évaluer la prévalence d'un contaminant dans une population définie et donc de l'exposition du consommateur à ce danger.

Un plan de contrôle (PC), est une campagne d'analyses sur des animaux, végétaux ou denrées alimentaires, qui a pour objectif principal la recherche des anomalies, des non-conformités, voire des fraudes.

Les PSPC sont donc des éléments essentiels de la gestion du risque sanitaire lié aux aliments. Les PS permettent d'évaluer l'exposition au danger et d'identifier les mesures de gestion associées. Les PC participent à la maîtrise du risque, en évaluant l'application et l'efficacité des mesures de gestion.

Dans le cadre d'un plan de contrôle entre 2008 et 2011, la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt a réalisé 284 prélèvements (environ 70/an). Ceci a concerné 19 communes de la Guadeloupe mais surtout le Sud Basse-Terre, avec 83% des prélèvements.

En 2011 sur 71 prélèvements réalisés, il y a eu 46 résultats et 1 « non conformité » soit 2%. (Tableau VIII).

Matrices Végétales	Nb Contrôles Réalisés	Nb de résultats obtenus	<LD		LD < <20		>LMR		Contrôles conformes	
			Nb	%	Nb	%	Nb	%	Nb	%
Ananas	2	2	2	100%	0	0%	0	0%	2	100%
Aubergine	1	1	1	100%	0	0%	0	0%	1	100%
Avocat	1	1	1	100%	0	0%	0	0%	1	100%
Banane	15	0		0%		0%		0%	0	0%
Choux	2	1	1	50%		0%		0%	1	50%
Christophines	3	3	3	100%	0	0%	0	0%	3	100%
Citron	2	2	2	100%	0	0%	0	0%	2	100%
Cives	10	9	7	70%	1	10%	1	10%	8	80%
Concombre	4	4	4	100%	0	0%	0	0%	4	100%
Giraumon	1	1	1	100%	0	0%	0	0%	1	100%
Gombos	2	1	1	50%		0%		0%	1	50%
Igname	12	8	8	67%		0%		0%	8	67%
Laitue	4	3	3	75%		0%		0%	3	75%
Madère	1	1	1	100%	0	0%	0	0%	1	100%
Malanga	2	1	1	50%		0%		0%	1	50%
Manioc	2	2	2	100%		0%		0%	2	100%
Patate douce	3	2	1	33%	1	33%		0%	2	67%
Piment	4	4	4	100%	0	0%	0	0%	4	100%
Total	71	46	43	93%	2	4%	1	2%	45	98%

Tableau VIII : Résultat du plan de contrôle 2011⁴⁹.

De même, entre 2008 et 2011, un plan de surveillance a été mis en place. Il y a eu 680 prélèvements (environ 170/an) réalisés sur 14 communes de Guadeloupe, avec 91% de prélèvements sur le Sud Basse-Terre.

Pour l'année 2011, sur 170 prélèvements réalisés, on comptait 170 résultats et 0 « non conformité » sur l'alimentation humaine (Tableau IX).

Plan de Surveillance 2011							
Matrices Végétales	Nb Contrôles Réalisés	<LD		LD < [CLD] < 20		> 20 µg/kg	
		En nombre	En %	En nombre	En %	En nombre	En %
Solanacées	7	7	100%	0	0%	0	0%
Ananas	7	7	100%	0	0%	0	0%
Citrons	8	8	100%	0	0%	0	0%
Mandarine	3	3	100%	0	0%	0	0%
Orange	8	8	100%	0	0%	0	0%
Pamplemousse	3	3	100%	0	0%	0	0%
Autres Vergers	51	51	100%	0	0%	0	0%
Prairie	83	50	60%	31	37%	2	2%
Total	170	137	81%	31	18%	2	1%

Tableau IX: Résultat du plan de surveillance 2011⁴⁹.

Ces PSPC contribuent à la vérification de la conformité des denrées, par rapport à la réglementation en vigueur. Ils participent au recueil des données en vue de l'évaluation de l'exposition du consommateur aux dangers d'origine alimentaire.

Si les végétaux contribuent à l'exposition des consommateurs au chlordécone, les denrées animales peuvent elles aussi être contaminées. Il faut donc porter une attention particulière aux animaux élevés au sol notamment volailles, porcs et ruminants.

IV-2) La contamination des animaux d'élevage

La contamination des animaux est un processus complexe.

En effet, lorsque la consommation d'herbe est abondante, la contamination sera faible car les feuilles sont indemnes. Mais lorsque l'herbe est insuffisante, les animaux sont obligés de consommer les bases de tige, significativement contaminées à des niveaux supérieurs (Figure 17).

Le système d'élevage le plus sûr est fondé sur une stabulation permanente et un affouragement en fauche avec des hauteurs de coupes croissantes, alternant avec des fauches de rabattement, et un abreuvement avec de l'eau saine²⁸.

Les mammifères d'élevage (bovins, caprins, ovins, porcins) possèdent (comme l'homme) une enzyme, la chlordécone-réductase, transformant le chlordécone en une molécule moins toxique.

La LMR est fixée à 100 µg/kg de matière grasse (MG) pour ces mammifères d'élevage. Pour les volailles, la LMR est de 200 µg/kg⁸.

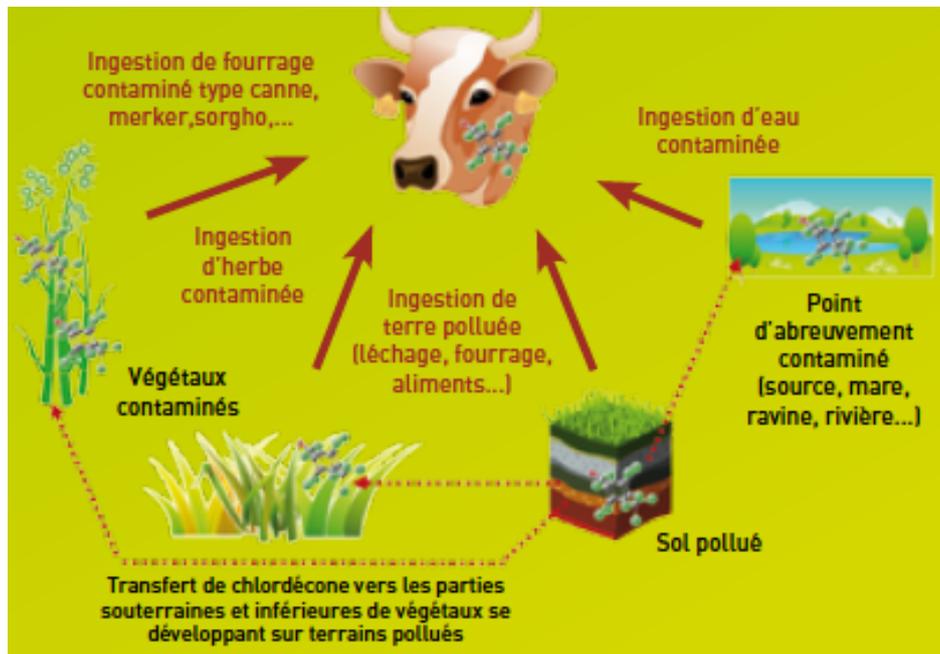


Figure 17 : Mode de contamination des animaux d'élevage – Extrait du livret de préconisation de la DAAF – Décembre 2012⁴³

Ce risque de contamination est géré par une forte coopération entre les professionnels et les services vétérinaires. Des contrôles sont effectués à l'abattoir sur la totalité des élevages à risques : si les animaux s'avèrent non contaminés, ils sont normalement commercialisés, et dans le cas contraire les carcasses sont détruites.

Parmi les productions animales, la chair et les oeufs de volailles représentent une grande part de la consommation locale.

Concernant la contamination des volailles, elle sera présente exclusivement pour les petits élevages familiaux (cas des jardins créoles) car aux Antilles, les systèmes d'élevage majoritaires sont des systèmes de type hors sols situés dans des zones non polluées.

Une première étude a montré que les poules ont une forte capacité d'extraction de la molécule du sol, quelque soit le type de sol⁵⁸. Dans cette étude, on a évalué la biodisponibilité du chlordécone pour les poules dans le sol ingéré en comparant deux types de sols présentant des capacités de rétention du polluant contrastées, le nitisol et l'andosol.

L'étude a été menée avec un andosol et un nitisol présentant des teneurs en chlordécone de respectivement 5,5 et 3,3 mg/kg de sol sec (SS).

Ces deux types de sols présentent des caractéristiques physico-chimiques bien différentes influant sur la biodisponibilité de la molécule et donc sur le pouvoir contaminant du sol notamment pour les végétaux. L'huile de colza a été contaminée afin de constituer une matrice de référence et les poules ont été exposées au chlordécone via l'alimentation.

Rapportés à la teneur en matière grasse, les valeurs maximales sont nettement plus élevées dans le foie (1300 µg/kg de Matière Grasse (MG)) que dans l'œuf (300 µg/kg de MG) ou dans le gras abdominal (100 µg/kg de MG). Ceci confirme bien la spécificité du chlordécone par rapport à d'autres polluants organochlorés (dieldrine, mirex).

Chez la poule pondeuse, aucun des deux sols ne module la biodisponibilité du chlordécone qu'il contient. En dépit de compositions très contrastées, les deux sols, nitisol et andosol, ne montrent aucune capacité de rétention différenciée du chlordécone dans le tube digestif de la poule (figure 18).

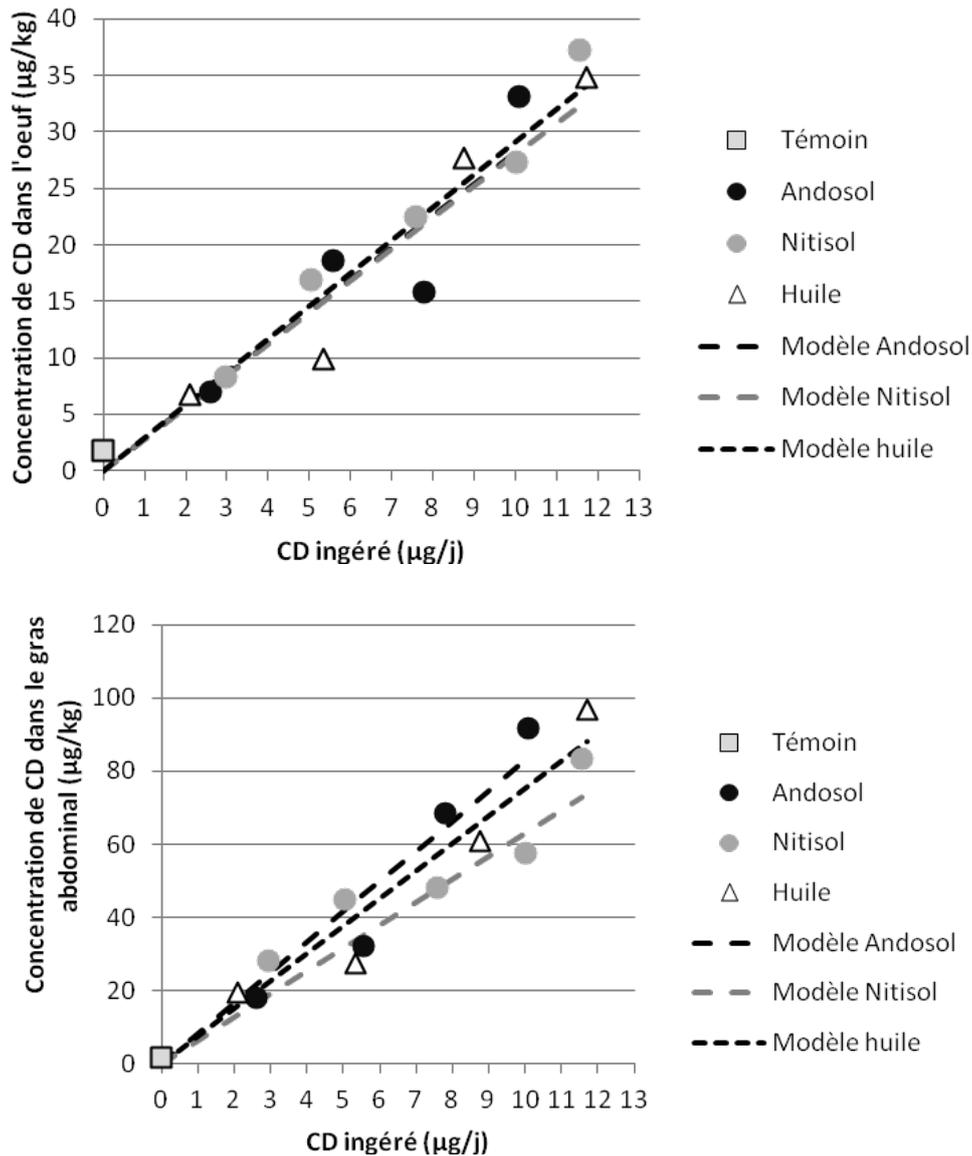


Figure 18 : Réponse de la concentration de chlordécone dans l'œuf et le gras abdominal à l'ingestion de chlordécone⁵⁷

Une seconde étude similaire à la première, avait pour objectif de déterminer si l'andosol et le nitisol limitaient la biodisponibilité du chlordécone chez le porcelet. Les résultats aboutissent à la même conclusion que chez la poule pondeuse. Le sol, qu'il s'agisse de l'andosol ou du nitisol ne module pas la biodisponibilité du chlordécone chez le porcelet.

Afin de compléter ces évaluations et pouvoir prédire les niveaux de contamination du sol susceptibles de conduire à la production de produits avicoles contaminés, il est nécessaire d'estimer le taux de transfert du chlordécone vers ces produits, qui demeure inconnu dans l'état actuel des connaissances.

Sur des sols contaminés par le chlordécone, des règles simples comme éviter de donner du fourrage contaminé par la terre, ne pas donner les aliments à même le sol, donner de l'eau provenant du réseau de distribution permettent d'éviter la contamination des animaux.

D'autres mesures peuvent être prises comme engraisser les animaux pendant au minimum 6 à 8 mois avec du fourrage provenant de sols non contaminés.

L'avancée des connaissances sur le risque pour la santé humaine, tenant compte du régime alimentaire des populations, a été traduite par l'Agence Française de Sécurité des Aliments (AFSSA) en limites maximales provisoires de résidus (LMP) dans les aliments : en dessous de ces limites, qualifiées de provisoires au sens où elles sont assorties de coefficients de sécurité drastiques, il n'y a pas de risque pour la santé humaine.

Les travaux de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) et du CIRAD ont pu mettre en regard de ces LMP des aliments végétaux, des limites de contamination des sols (LMsol) en dessous desquelles on récoltera des végétaux ne dépassant pas les LMP.

La surveillance et le contrôle des denrées d'origine animale et végétale produites, mises sur le marché ou consommées, sont assurés dans le cadre des plans de surveillance et de contrôle des administrations dépendant de la Direction générale de l'alimentation, d'une part (DSV, DAF-SPV), de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes, d'autre part (DGCCRF). Depuis 2008, ces contrôles ont été renforcés pour tenir compte de l'évolution des LMR, particulièrement en milieu marin.

Concernant les recommandations de consommation faisant suite aux évaluations des risques et à la caractérisation des populations sensibles, des préconisations ont été formulées par l'ANSES (anciennement AFSSA), pour la population générale, et en particulier les femmes en âge de procréer.

Il convient alors :

- de limiter la consommation de dachines^{*}, patates douces et ignames du jardin à deux fois par semaine, pour les familles ayant un jardin sur un sol contaminé ;
- de respecter les arrêtés d'interdiction de pêche en vigueur et, en cas de doute sur l'origine des produits, à limiter leur consommation à un jour sur deux pour les populations ayant des habitudes de pêche de loisir ou de subsistance.

Compte tenu des données que nous avons sur la contamination de l'environnement, nous allons nous intéresser dans la dernière partie à l'exposition de la population antillaise ainsi qu'au risque sanitaire qu'elle encourt face à cette pollution durable.

^{*}De son nom latin *Colocasia esculenta*. C'est une plante de la famille des Aracées, texture sèche et goût proche de celui de la patate douce. En Guadeloupe on l'appelle : madère.

PARTIE 3 :

Le risque sanitaire pour la population Antillaise

En 2008, l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (Inpes) a mené une étude afin de mesurer les connaissances, les perceptions et les comportements de la population antillaise sur le chlordécone.

La population se sent personnellement concernée par la problématique du chlordécone, puisque respectivement 77,6% des répondants martiniquais et 77,2% des répondants guadeloupéens estiment que celui-ci peut avoir des effets sur leur propre santé⁴⁸.

Les résultats de cette étude mettent en évidence un réel besoin d'information de la population antillaise. Si la grande majorité de la population a déjà entendu parlé du chlordécone, les connaissances restent dans l'ensemble peu précises et l'information reçue est perçue comme insatisfaisante pour la moitié des Antillais.

I. Niveau d'exposition globale de la population

Au début des années 2000, plusieurs études^{3,35,82} ont permis d'estimer l'exposition au chlordécone des populations de Guadeloupe et de Martinique, soit par le dosage direct dans les liquides biologiques (sang, lait, et graisses), soit de façon indirecte par le calcul de l'apport alimentaire en chlordécone, à partir de données de consommation et de contamination des aliments.

L'approche directe a l'avantage de prendre en compte toutes les voies d'exposition de l'individu, tant passées que présentes et l'approche indirecte permettra de définir les leviers d'actions (limites maximales de contamination des aliments, préconisations de consommation) afin de limiter l'exposition actuelle de la population au chlordécone.

L'exposition alimentaire est évaluée au niveau individuel afin d'intégrer la variabilité entre les individus composant la population sur la base des niveaux réels de contamination des aliments, en s'appuyant sur la méthodologie internationale préconisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)⁴⁷.

L'exposition alimentaire est analysée sous deux angles :

- l'exposition chronique qui va refléter le niveau moyen de chlordécone apporté par les aliments, auquel est exposé chaque individu tout au long de la vie. Elle est rapportée au poids corporel de la personne, afin d'être comparée à la limite tolérable d'exposition chronique.
- l'exposition aiguë qui va refléter un niveau élevé de contamination de chlordécone apporté par un aliment exceptionnellement contaminé, auquel est exposé un individu un jour donné. Elle est aussi rapportée au poids corporel de la personne, afin d'être comparée à la limite tolérable d'exposition aiguë.

Deux enquêtes ont été menées par les Observatoires de la santé de Martinique et de Guadeloupe et la Cellule de L'institut de Veille Sanitaire (InVS) sur le comportement alimentaire aux Antilles.

La première, *Escal*, entre novembre 2003 et février 2004, a concerné l'ensemble de la Martinique avec une sur-représentation de la population vivant sur les terres contaminées par le chlordécone⁷².

Puis la seconde, *Calbas*, en avril 2005, n'a porté que sur les communes de Guadeloupe dont les sols sont considérés comme contaminés.

Seuls les individus résidant depuis plus de 12 mois dans les zones d'enquête ont été inclus dans ces études³⁵.

Un questionnaire sur les fréquences de consommation a été spécialement développé pour ces deux enquêtes afin de renseigner les aliments connus pour être, ou pouvant être, contaminés par le chlordécone. Il a été administré à l'ensemble des individus de plus de 3 ans.

Leurs objectifs étaient de connaître les habitudes des populations en termes de choix d'aliments et de fréquence de consommation ainsi que les habitudes d'approvisionnement de ces populations pour les produits alimentaires. En effet, il a été demandé au chef de foyer de renseigner les habitudes d'approvisionnement et d'autoconsommation du foyer, en précisant les fréquences relatives d'approvisionnement : en grande distribution (hypermarché, supermarché, supérette), en petite distribution (épicerie, boucherie, boulangerie, au marché), par le « circuit court » (concept incluant l'autoproduction, les dons, ainsi que les achats sur le bords des routes ou directement auprès du producteur).

Ces études ont permis d'identifier des aliments vecteurs tels que les légumes-racines, le concombre, le melon, ainsi que les produits de la mer et d'eau douce.

D'après les enquêtes *Escal* et *Calbas*, plus de la moitié des adultes et plus de trois quart des enfants des zones contaminées en Guadeloupe et en Martinique ont des habitudes de consommation dans la limite préconisée.

D'autre part, les enquêtes *Reso*¹⁷ réalisées en partenariat entre la Cire Antilles-Guyane et l'ANSES (anciennement AFSSA), ont quant à elles précisé les niveaux de contamination des aliments disponibles dans les circuits de distribution, aussi bien en Martinique qu'en Guadeloupe.

En ce qui concerne la Guadeloupe, 744 échantillons alimentaires ont été prélevés sur 59 types de denrées différentes (légumes, fruits, viandes, poissons, œufs et produits laitiers, crustacés et produits de la mer) répartis sur divers circuits de distribution (grande distribution, petite distribution, marché et circuit court).

Ces échantillons prélevés de juillet 2006 à janvier 2007 sous la responsabilité de la DSDS ont été acheminés en métropole vers plusieurs laboratoires d'analyses. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées par ordre décroissant dans le chou caraïbe, certains poissons et crustacés d'élevage, la dachine (madère), les carottes, la patate douce et le concombre.

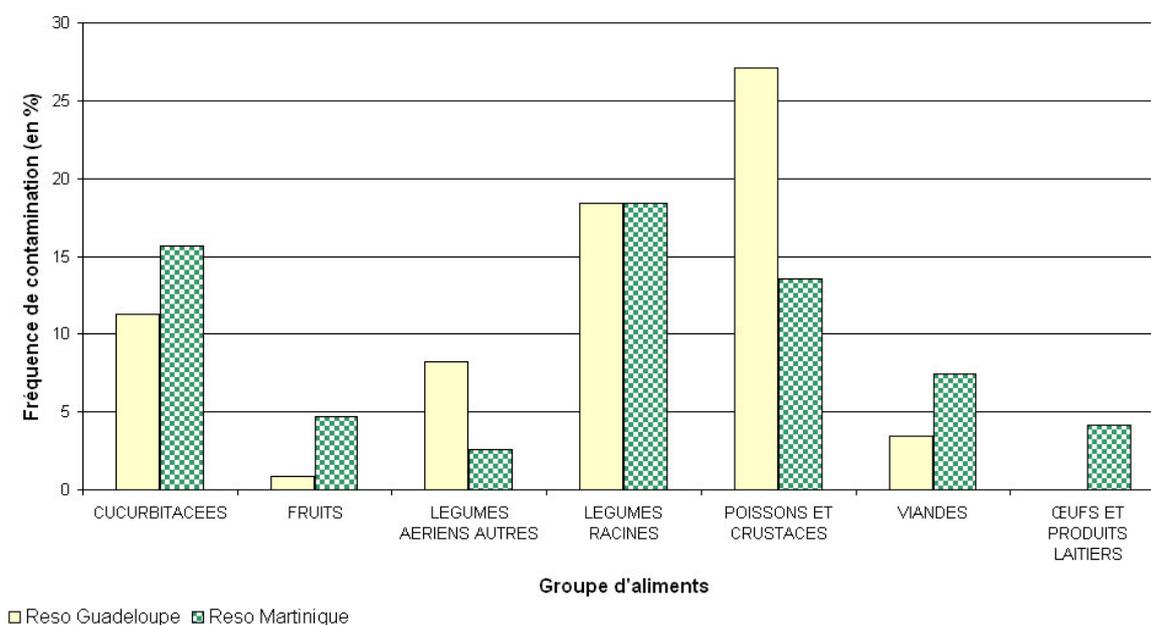


Figure 19 : Fréquence de contamination des aliments en Guadeloupe et Martinique⁴

On peut observer des dépassements de la LMp de 50 µg/kg pf pour les légumes racines à une fréquence comprise entre 3,7 et 4,1% ainsi que sur les produits de la mer et d'eau douce, à une fréquence de l'ordre de 5,9%.

Les dépassements de la LMp de 200 µg/kg pf sont observés à 4 reprises sur un total de 1638 échantillons (2 de choux caraïbes en provenance de Guadeloupe et 2 de patate douce en provenance de Martinique).

L'exposition est modulée selon le lieu d'habitation des individus et les origines de leur approvisionnement alimentaire.

En zone contaminée, il est considéré, selon une hypothèse protectrice, que les produits consommés issus de l'auto production sont systématiquement contaminés. Les produits en provenance des marchés, de petite et grande distribution sont quant à eux considérés comme étant parfois contaminés, parfois non contaminés, selon la fréquence et le niveau de contamination mesurés à travers les enquêtes *Reso*.

Compte tenu des facteurs de sécurité utilisés dans l'établissement des limites tolérables, un dépassement de cette limite n'est pas synonyme de risque pour la santé humaine. Il place cependant les individus concernés dans une situation d'incertitude sur l'existence d'un risque éventuel.

Pour rappel, à cette période, les limites maximales s'élevaient à 200 µg/kg MF pour les produits d'eau douce afin de protéger la population d'un risque aiguë, et à 50 µg/kg MF pour les principaux contributeurs afin de protéger la population d'un risque chronique.

En considérant une efficacité des limites maximales uniquement sur les produits commercialisés, il apparaît que ces dernières, dans la limite des hypothèses du modèle, ne suffisent cependant pas à protéger l'ensemble de la population. En effet, l'étude détaillée des individus à risque révèle qu'entre 95% et 99% de leur exposition est en réalité expliquée par les apports des produits autoconsommés (jardins familiaux, dons, approvisionnement direct auprès du producteur ou sur le bord des routes). Ainsi, quelques années plus tard, en 2009, un programme sera créé en Guadeloupe dans le cadre des Plans Nationaux d'Action Chlordécone : Le programme des Jardins Familiaux (Jafa) qui aura pour objectif de réduire l'exposition au chlordécone des populations ayant des habitudes d'approvisionnement et d'autoconsommation de denrées animales et végétales issues de jardins familiaux.

En outre dès 2005, sur la base de cette première évaluation de l'exposition de la population antillaise, l'AFSSA a préconisé pour les familles exploitant un jardin sur un sol contaminé de limiter la consommation de dachine, igname et patate douce provenant du jardin à deux fois par semaine.

I-1) Exposition aiguë et chronique de la population générale

Seuls 4 types de denrées sont susceptibles de représenter un risque aigu suite à une exposition accidentelle du consommateur, parmi lesquels :

- trois légumes racines déjà identifiés comme principaux contributeurs de l'exposition chronique : le chou caraïbe, la dachine et la patate douce.
- les produits d'eau douce (sauvage ou d'élevage).

Les maximums de contamination utilisés dans cette évaluation correspondent (Tableau X) :

- pour le chou caraïbe : au maximum mesuré dans le cadre de l'enquête Reso Guadeloupe sur un échantillon de choux caraïbes prélevé sur un marché,

- pour les produits d'eau douce sauvage : à des maximums mesurés dans le cadre d'une étude sur le niveau de contamination des organismes aquatiques d'eau douce par les pesticides, réalisée sur les rivières de la région de Basse-Terre en Guadeloupe⁷⁴. Cette étude ne reflète donc pas les niveaux réels de produits consommés par la population guadeloupéenne. Par ailleurs, elle a abouti à l'adoption d'un arrêté d'interdiction de la pêche dans les rivières de la région de Basse-Terre. Le résultat d'exposition obtenu confirme l'importance de cette mesure.

- pour la patate douce, la dachine, les produits d'eau douce d'élevage : à des maximums mesurés dans le cadre des plans de surveillance et de contrôle menés en Martinique. Les produits incriminés n'ont en conséquence pas été mis sur le marché.

En revanche, de tels niveaux ne sont pas observés à travers les enquêtes Reso sur les circuits de distribution antillais.

Type d'aliments	Population générale	% de consommateurs	% de personnes à risque parmi les consommateurs	P97,5
Chou caraïbe (Max = 762 µg / kg pf)	Enfants de 3 à 5 ans ZC Guad	53,8	7,1	19,1
	Enfants de 3 à 5 ans ZC Mart	37,0	10,0	19,0
	Enfants de 6 à 10 ans ZC Guad	50,0	7,4	11,4
	Enfants de 6 à 10 ans ZC Mart	48,3	3,6	6,0
	Enfants de 11 à 15 ans ZNC Mart	30,4	8,8	12,8
	Adultes ZC Guad	55,4	0,9	5,7
	Adultes ZNC Mart	47,5	0,7	2,8
Poissons et crustacés d'eau douce sauvage (Max = 7 000 µg / kg pf)	Enfants de 3 à 5 ans ZC Guad	34,6	11,1	13,3
	Adultes ZC Guad	65,3	1,5	5,8
Poissons et crustacés d'eau douce d'élevage (Max = 2 300 µg / kg pf)	Adultes ZC Guad	31,2	0,8	0,7
Dachine (Max = 1 600 µg / kg pf)	Enfants de 3 à 5 ans ZC Guad	57,7	26,7	68,4
	Enfants de 3 à 5 ans ZNC Mart	79,5	38,7	50,0
	Enfants de 3 à 5 ans ZC Mart	85,2	34,8	47,5
	Enfants de 6 à 10 ans ZC Guad	72,2	7,7	42,3
	Enfants de 6 à 10 ans ZNC Mart	73,3	12,1	28,9
	Enfants de 6 à 10 ans ZC Mart	89,7	17,3	30,4
	Enfants de 11 à 15 ans ZC Guad	83,9	6,4	28,1
	Enfants de 11 à 15 ans ZNC Mart	77,7	16,1	27,3
	Enfants de 11 à 15 ans ZC Mart	92,4	26,0	33,6
	Adultes ZC Guad	81,5	13,1	19,9
	Adultes ZNC Mart	85,1	17,3	19,6
Patate douce (Max = 1 870 µg / kg pf)	Enfants de 3 à 5 ans ZC Guad	84,6	13,6	60,1
	Enfants de 3 à 5 ans ZNC Mart	59,0	4,3	25,8
	Enfants de 3 à 5 ans ZC Mart	85,2	4,3	23,3
	Enfants de 6 à 10 ans ZC Guad	61,1	9,1	31,4
	Enfants de 6 à 10 ans ZNC Mart	64,4	3,4	6,4
	Enfants de 6 à 10 ans ZC Mart	63,8	2,7	9,7
	Enfants de 11 à 15 ans ZC Guad	67,9	7,9	22,3
	Enfants de 11 à 15 ans ZNC Mart	61,6	5,8	13,4
	Enfants de 11 à 15 ans ZC Mart	74,7	3,4	14,3
	Adultes ZC Guad	71,1	8,8	14,7
	Adultes ZNC Mart	69,6	1,9	9,3
	Adultes ZC Mart	72,9	4,9	11,1

Légende : ZC : Zone contaminée, ZNC : Zone non contaminée, Guad : Guadeloupe, Mart : Martinique. Les résultats fournis correspondent aux estimations hautes. Grille de lecture : % de consommateurs : pourcentage de personnes dans la population consommant la denrée, % de personnes à risque parmi les consommateurs : pourcentage de personnes parmi les consommateurs ayant une exposition aiguë dépassant la limite tolérable d'exposition aiguë, P97,5 : niveau d'exposition en µg / kg p. c./ jour atteint ou dépassé par les 2,5% de la population ayant les expositions les plus élevées.

Tableau X : Identification des aliments susceptibles de poser un risque aigu⁴.

Lorsque les habitudes d'autoconsommation de la population antillaise sont prises en compte, il ressort que les limites maximales n'ont un impact que très limité sur le niveau d'exposition de la population habitant en zone contaminée.

Ces habitudes d'autoconsommation, très fréquentes dans les Antilles françaises, expliquent donc l'impact non total des limites maximales de contaminations des aliments lorsque l'on considère que ces dernières ne s'appliquent qu'aux produits commercialisés. Compte tenu de la contribution des produits autoconsommés, dépassant 95% de l'apport total pour les populations à risque, même l'abaissement du seuil n'aurait aucun impact sur le niveau de protection de ces populations.

D'où le fait qu'il soit important de mieux caractériser les niveaux de contamination des aliments issus de jardins familiaux des zones contaminées de Martinique et de Guadeloupe, afin de valider et le cas échéant affiner l'hypothèse du modèle estimant que l'ensemble des produits provenant des jardins des zones contaminées sont contaminés.

Les préconisations de consommation prises par l'AFSSA en 2005 ont été évaluées de manière indirecte en comparant les niveaux d'exposition des populations respectant les préconisations, à ceux des populations ne les respectant pas.

Il en ressort qu'une très grande majorité de la population vivant en zone contaminée ont des habitudes alimentaires qui conduisent au respect de cette préconisation. En effet, en Guadeloupe, selon les groupes d'âges, entre 84% (adultes) et 92,6% (enfants de 6 à 10 ans) de la population ne consomment pas plus de 2 fois par semaine des patates douces, ignames et dachines issus de leur jardin. En Martinique selon les groupes d'âges, entre 62,2% (adultes) et 92,6% (enfants de 3 à 5 ans) de la population respecte également cette préconisation.

Les niveaux moyens d'exposition sont nettement plus faibles pour les personnes dont les habitudes alimentaires conduisent au respect de ces préconisations que pour les personnes ne les respectant pas.

Néanmoins, si le respect d'une limitation à 2 fois par semaine de la consommation de dachines, ignames et patates douces issus du jardin semble garantir une certaine protection de la population, il ne suffirait pas à protéger l'ensemble de la population.

Des dépassements de la limite tolérable d'exposition chronique sont effectivement encore observés chez les enfants ne consommant pas plus de 2 fois par semaine les produits issus du jardin familial. Ceux-ci ne seraient en réalité pas uniquement liés à la consommation de légumes racines du jardin. Les produits de la mer issus du circuit court contribueraient également de manière significative à l'exposition.

L'impact d'une limitation de la consommation des produits de la mer issus des circuits courts est donc simulé. Il ressort qu'une consommation des produits de la mer issus des circuits courts limitée à 4 fois par semaine, ce qui représente environ un jour sur deux, permet une protection totale des populations à risque.

Toutes ces études sont accompagnées d'un certain nombre d'incertitudes qu'il convient de prendre en considération dans l'interprétation des résultats et dans les décisions qui pourraient en découler.

Au niveau des habitudes de consommation, l'incertitude la plus importante concerne les nourrissons et jeunes enfants qui ne sont pas inclus dans cette évaluation, mais pour lesquels une étude de consommation spécifique a été faite en Guadeloupe⁷⁵.

Étant donné les effets néfastes associés au chlordécone, et compte tenu des habitudes alimentaires particulières de cette population (allaitement maternel, alimentation peu diversifiée), les nourrissons et jeunes enfants représentent une population potentiellement à risque. Nous allons nous y intéresser par la suite.

Concernant la contamination des aliments, l'incertitude la plus importante concerne les niveaux de contamination des aliments issus des jardins situés dans les zones contaminées, qui restent mal renseignés malgré les efforts réalisés en ce sens dans les enquêtes Reso.

De plus, les analyses réalisées dans le cadre de ces études portent sur les denrées entières, et non uniquement sur les parties comestibles, ou sur les parties effectivement consommées par la population antillaise.

Une meilleure connaissance à la fois de la répartition du chlordécone dans les matrices végétales et animales ainsi que les modes de préparation des aliments de la population antillaise permettra d'affiner l'estimation de l'exposition réelle au chlordécone.

Des incertitudes sont aussi associées aux hypothèses des modèles, réalisées dans le cadre de ces évaluations. Par exemple, les aliments issus du circuit court en zone contaminée sont considérés systématiquement contaminés. Cette hypothèse conduit en toute vraisemblance à une surestimation de niveau réel de contamination de ces aliments, et donc de l'exposition des populations ayant des habitudes d'autoconsommation en zone contaminée.

Une meilleure caractérisation des niveaux de contamination des produits issus des jardins familiaux, ou de manière indirecte du niveau de pollution des sols où sont situés ces jardins, paraît indispensable. Elle permettra d'affiner les préconisations de consommation envers ces populations à risque.

I-2) Cas de l'exposition sanitaire des jeunes enfants

Les enquêtes de consommation *Escal* et *Calbas* n'ont pris en compte que les individus âgés de 3 ans et plus, la méthode de recueil des informations n'étant pas adaptée aux nourrissons et jeunes enfants.

L'évaluation de l'exposition des nourrissons et jeunes enfants requiert l'acquisition de connaissances sur leurs habitudes de consommation ainsi que sur le niveau de contamination qui leur sont spécifiques, en particulier le lait maternel.

S'inscrivant dans la problématique de l'exposition aux polluants environnementaux de la femme enceinte et son enfant dans le département de la Guadeloupe, l'étude *Hibiscus*, pilotée par l'INSERM U 625 et le service de Gynécologie-Obstétrique du CHU de Pointe à Pitre, a permis la mesure des niveaux de contamination du lait maternel chez 103 femmes⁷⁵.

Les prélèvements ont été réalisés pendant les 3 premiers jours suivant la naissance, soit principalement sur du colostrum. Le dosage du chlordécone dans le lait maternel a été réalisé par le Laboratoire d'Ecologie Animale et d'Ecotoxicologie du Centre d'Analyse de Résidus en Trace de l'Université de Liège.

Seuls 101 prélèvements sur les 103 ont pu être analysés, parmi lesquels 41 sont contaminés au chlordécone. La limite de quantification des méthodes est estimée à 0,12 ng/mL (tableau XI).

Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons contaminés (%)	LOQ	Contamination moyenne (ensemble des échantillons)	Contamination des seuls échantillons contaminés		95 ^{ème} perc	Max
				Moy	ET		
101	41 (40,6%)	0,12	0,30	0,58	0,58	0,86	2,8

Légende : LOQ : limite de quantification, Moy ± ET : moyenne et écart-type associé, P95 : 95^{ème} percentile de contamination. La contamination moyenne de l'ensemble des échantillons est estimée en faisant l'hypothèse que l'ensemble des résultats non quantifiés sont au niveau de la limite de quantification.

Tableau XI : Niveaux de contamination en ng/mL du lait maternel observés dans HIBISCUS

Ces calculs ne prennent pas en compte l'évolution de la teneur en chlordécone dans le lait maternel pendant la durée de l'allaitement.

Afin d'évaluer l'impact de l'exposition au chlordécone sur le déroulement de la grossesse, l'équipe dirigée par Sylvaine Cordier à Rennes et Luc Multigner à Pointe-à-Pitre a mis en place, en Guadeloupe, une grande cohorte mère-enfant baptisée TIMOUN (enfant en créole)⁴².

L'étude TIMOUN est une étude de cohorte menée conjointement par l'unité 1085 de l'Inserm et les services de Gynécologie-Obstétrique et de pédiatrie du CHU de Pointe-à-Pitre et en collaboration avec le Centre de recherche du CHUQ au Québec, l'école de psychologie de l'Université de Laval.

Le protocole de l'étude TIMOUN prévoit un dosage de chlordécone dans des échantillons de lait maternel à 3 mois.

Plus de 1000 femmes ont été incluses au cours de leur troisième trimestre de grossesse entre 2005 et 2007, principalement au CHU de Pointe-à-Pitre et au CH de Basse-Terre.

L'exposition au chlordécone a été estimée par son dosage dans le sang maternel prélevé lors de l'accouchement.

Les facteurs pris en compte sont : l'âge, la parité, l'indice de masse corporelle avant le début de la grossesse, le lieu d'inclusion, le lieu de naissance des mamans, le statut marital, le niveau de scolarité, l'hypertension gestationnelle, le diabète gestationnel et d'autres polluants comme les PCB.

Un sous-groupe d'enfants a été constitué parmi ceux nés à terme sans malformation ou retard de croissance intra-utérin issus de mère n'ayant pas présentée de pathologie majeure au cours de la grossesse. Ces enfants ont fait l'objet d'examens à l'âge de 3 et/ou 7 mois.

Un questionnaire alimentaire portant principalement sur l'allaitement et sur l'introduction d'aliments dans le régime de l'enfant a été administré aux mères lors des examens des 3^{ème} et 7^{ème} mois. Sachant que la diversification alimentaire n'est pas encore complète à 7 mois, les enfants ont été revus à 18 mois, afin de caractériser plus précisément leurs habitudes alimentaires.

Le questionnaire alimentaire était composé de trois parties, la première basée sur les fréquences de consommation ciblées sur les aliments connus pour être contaminés au chlordécone, la seconde partie sur la consommation de lait pour distinguer la fréquence et la quantité de lait maternel consommé, de lait spécifique infantile et de lait de consommation courante, et enfin une dernière partie sur l'alimentation totale, destinée à quantifier les portions données à l'enfant.

L'enquête ne permet pas de décrire correctement la consommation en eau de boisson des enfants de 18 mois, celle-ci étant souvent laissée en libre accès.

La figure 20 montre la répartition de la consommation quotidienne moyenne des aliments ciblés par le questionnaire fréquentiel sur les 240 enfants guadeloupéens de 18 mois.

Les groupes d'aliments les plus consommés sont les produits laitiers et œufs, l'eau et les fruits. Le groupe d'aliments le moins consommé est celui des légumes autres que les racines.

Parmi les 240 enfants enquêtés, 44 sont encore allaités, aucun de manière exclusive.

Parmi eux, 39 alternent entre lait maternel et les préparations lactées infantiles, les 5 autres ne consommant que du lait maternel.

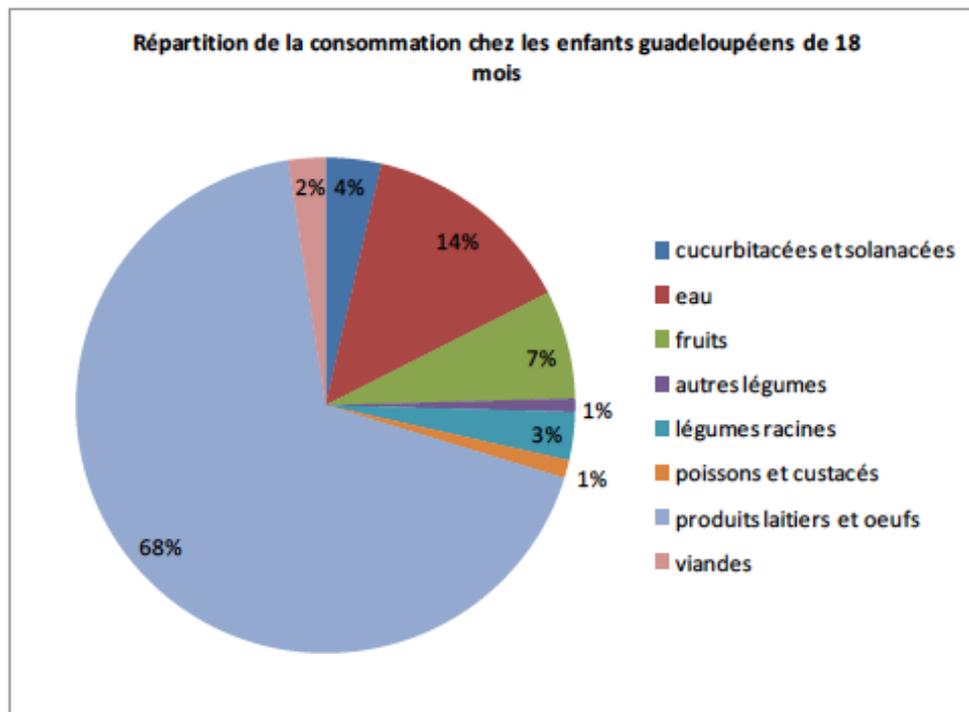


Figure 20 : Répartition de la consommation chez les enfants de 18 mois en Guadeloupe par groupe d'aliments⁵².

D'autre part, 44 consomment de une à sept denrée(s) exclusivement sous forme de petits pots. Les plats concernés sont l'agneau, l'ananas, le bœuf, la carotte, le porc, le poulet et le veau. La part des aliments exclusivement consommés sous forme de petits pots ne représenterait, chez les enfants concernés, que 3,8% de l'alimentation totale couverte par le fréquentiel. L'enquête révèle que 73,7% des jeunes enfants de 18 mois consomment au moins un type de denrées en provenance du circuit court, et 60,8% consomment au moins un produit de la pêche ou un légume racine issu du circuit court.

En conclusion de cette étude, les niveaux estimés d'exposition chronique des enfants guadeloupéens âgés de 18 mois ne révèlent pas de dépassement de la limite tolérable (tableau XII). Ils sont moins élevés que ceux précédemment estimés pour des tranches d'âge supérieures.

N	zone	Moyenne (µg/kg p.c./jour)	ET (µg/kg p.c./jour)	P95 (µg/kg p.c./jour)	% de personnes dépassant la limite
Hypothèse haute					
150	ZNC	0,05	0,01	0,10	0%
81	ZC	0,08	0,05	0,14	0%
Hypothèse basse					
150	ZNC	0,02	0,02	0,04	0%
81	ZC	0,05	0,05	0,11	0%

Légende : ZC : Zone contaminée, ZNC : Zone non contaminée, N : nombre d'individus dans la population, P95 : 95^{ème} percentile de l'exposition. Grille de lecture : hypothèse basse : niveau d'exposition estimé en considérant, pour les aliments autre que ceux issus du circuit court en zone contaminée, un niveau « bas » de contamination des aliments. Hypothèse haute : niveau d'exposition estimé en considérant, pour les aliments autres que ceux issus du circuit court en zone contaminée, un niveau « haut » de contamination des aliments. P95 : niveau d'exposition atteint ou dépassé par les 5% de la population ayant les expositions les plus élevées. % de personnes dépassant la limite : pourcentage de personnes dépassant la limite tolérable d'exposition chronique.

Tableau XII : Principaux résultats de l'évaluation de l'exposition alimentaire chronique au chlordécone des enfants de 18 mois en Guadeloupe⁵².

Ces observations sont expliquées par le fait que les enfants guadeloupéens âgés de 18 mois ont un régime alimentaire qui, malgré le début de la diversification, reste encore bien distinct du régime du reste de la population.

Leur alimentation principale reste le lait, représentant 68% de la consommation totale décrite par le questionnaire alimentaire de l'étude, peu voire pas contaminé en chlordécone, ceci expliquant le non dépassement de la limite tolérable.

Concernant l'exposition aiguë des enfants de 18 mois, des dépassements de la limite tolérable sont observés pour la dachine, sur la base des maximums observés dans le cadre des études *Réso*. Néanmoins, la teneur maximale de contamination des aliments actuellement en vigueur, fixée à 20 µg/kg de poids frais (pf) pour cette denrée, est protectrice du risque lié à l'exposition aiguë des enfants de 18 mois. Ces estimations montrent donc l'importance du respect des arrêtés actuellement en vigueur (par exemple, arrêté d'interdiction de pêche) et du contrôle de la qualité sanitaire des produits mis sur le marché.

L'étude permet également de mettre en évidence que la population la plus critique au regard de l'exposition alimentaire au chlordécone serait les enfants âgés de 3 à 5 ans. Etant donné leur faible représentation dans les enquêtes *Escal* et *Calbas*, il conviendrait d'acquérir des données complémentaires sur des effectifs plus importants afin de mieux caractériser l'exposition de cette population.

II. Impacts sur la santé

Le chlordécone est un perturbateur endocrinien, classé comme potentiellement cancérigène chez l'homme par le CIRC (groupe 2B). Il pourrait donc augmenter le risque de cancer hormono-dépendant, tels que le cancer de la prostate⁸⁶.

II-1) Prévalence du cancer de la prostate aux Antilles

Comme en France métropolitaine, le cancer de la prostate se situe au 1^{er} rang des cancers incidents aux Antilles, avec pour la Guadeloupe des taux d'incidence plus élevés qu'en France métropolitaine. Il représente la 1^{ère} cause de mortalité par tumeurs chez l'homme aux Antilles.

Cependant c'est une situation qui n'est pas spécifique au cancer de la prostate.

En effet, d'autres cancers comme le cancer de l'estomac, présentent des taux d'incidence et de mortalité environ deux fois plus élevés pour les Antilles que pour la France métropolitaine.

L'appréciation de la situation épidémiologique aux Antilles, au regard de celle de la France métropolitaine, repose sur des données d'incidence et de mortalité qui présentent certaines limites, compte tenu de modalités de recueil et d'estimation différentes.

A titre d'exemple, s'il existe un registre général des cancers en Martinique depuis 1983, la mise en place d'un tel registre en Guadeloupe est plus récente (2009).

De ce fait, l'interprétation de ce type de données doit alors rester prudente pour cette raison mais également compte tenu des nombreux facteurs sociaux-économiques et environnementaux pouvant expliquer les différences constatées.

La Guadeloupe comme la Martinique présentent l'une des incidences les plus élevées au monde de cancer de la prostate en liaison vraisemblable avec les origines africaines de la population. Mais, le vieillissement de la population ainsi que le développement du diagnostic précoce contribuent à l'augmentation de l'incidence observée depuis plusieurs décennies dans l'ensemble des pays du monde.

L'incidence de ce cancer présente une très grande variabilité, d'un facteur de 1 à 30, en fonction des zones géographiques et des caractéristiques ethniques des populations. En effet, l'incidence la plus élevée est retrouvée chez les populations noires-américaines et caribéennes et la plus faible chez les populations asiatiques.

Cette forte disparité géographique et ethnique dans l'incidence soutient la présence de facteurs génétiques, idée renforcée par l'existence de formes familiales ou héréditaires.

II-1-1) Etude du lien entre l'exposition au chlordécone et le cancer de la prostate

En tenant compte des propriétés toxicologiques du chlordécone mentionnées ci-dessus ainsi que la fréquence élevée du cancer de la prostate aux Antilles, la question relative à une éventuelle association entre exposition au chlordécone et cancer de la prostate se pose.

Deux études ont été menées localement sur le lien entre exposition aux organochlorés et les cancers.

Une première étude écologique géographique a été réalisée en Martinique, par l'Association Martiniquaise pour la recherche épidémiologique sur le cancer (Amrec) en collaboration avec la Cire Antilles Guyane afin d'étudier la répartition spatio-temporelle des cancers potentiellement liés à une exposition aux pesticides organochlorés⁴⁴.

Les cancers étudiés étaient le lymphome malin non hodgkinien, le myélome multiple, les leucémies, les cancers de la prostate, du rein, des testicules, du sein, de l'estomac, du pancréas et recto-coliques diagnostiqués entre 1981 et 2000 chez des personnes résidant en Martinique. En ce qui concerne l'incidence des cancers les plus fréquemment observés en Martinique (prostate et sein), la tendance est inversée puisque l'incidence de ces types de cancers est plus élevée dans les communes présentant les niveaux de contamination des sols par le chlordécone les plus faibles.

Cette étude a donc permis d'écarter l'hypothèse d'une sur-incidence de cancers en population générale dans la zone historique de culture de la banane.

II-1-1-1) Etude *Karuprostate*

Réalisée en 2004, l'Etude *Karuprostate*⁷⁸ est une étude cas-témoins, issue d'un programme de recherche visant à identifier et caractériser des déterminants génétiques et environnementaux de survenue et d'évolution du cancer de la prostate aux Antilles.

Le promoteur de cette étude était le CHU de Pointe-à-Pitre. La coordination était assurée conjointement par Luc Multigner (Inserm U625, Rennes et Pointe-à-Pitre) et Pascal Blanchet (service d'Urologie du CHU de Pointe-à-Pitre).

Cette étude a permis de comparer 709 hommes ayant un cancer de la prostate à 723 hommes indemnes de la maladie. L'exposition au chlordécone a été évaluée par son dosage dans le sang et en tenant compte du nombre d'années de résidence en Guadeloupe ou en Martinique depuis le milieu des années 70. Différents facteurs ont été pris en compte tels que : l'âge, le poids et la taille, le parcours résidentiel depuis la naissance, le parcours professionnel, les expositions aux pesticides, les antécédents médicaux et chirurgicaux, les antécédents familiaux de cancer, la consommation de tabac et d'alcool, etc.

L'exposition au chlordécone est associée à un risque augmenté de survenue du cancer de la prostate (tableau XIII). L'augmentation du risque est statistiquement significative chez les hommes les plus exposés, c'est à dire lorsque les concentrations en chlordécone sont supérieures à 1µg/litre de sang.

Ces concentrations résultent beaucoup plus, selon les auteurs de l'étude, de la consommation de produits alimentaires contaminés que de la manipulation de la molécule elle-même par les ouvriers agricoles qui assuraient son épandage.

Les groupes qui présentent les concentrations plasmatiques les plus élevées en chlordécone ont un risque significatif plus élevé de développer un cancer de la prostate, avec un risque environ 1,8 fois plus important chez ceux les plus exposés (taux > 0,96 µg/litre de sang) comparé à ceux chez qui le chlordécone est faiblement détecté (taux < 0,25 µg/litre de sang). Ces résultats sont confortés par le fait que, les hommes présentant des variations génétiques qui diminuent leur capacité d'élimination de la molécule, ont un risque accru de développer la maladie.

Chlordecone	No. of Patients	No. of Controls	Age Adjusted		Multivariable*		
			OR	95% CI	OR	95% CI	
Plasma concentration, µg/L							
≤ 0.25 (LD)	195	223		1.00		1.00	
> 0.25-0.47	128	150	0.95	0.69 to 1.31	1.11	0.75 to 1.65	
> 0.47-0.96	139	149	1.16	0.84 to 1.59	1.22	0.82 to 1.83	
> 0.96	161	149	1.27	0.93 to 1.72	1.77	1.21 to 2.58	
Cumulative exposure index by quartile, µg/L × No. of years†							
1 (lowest)	88	112		1.00		1.00	
2	101	112	1.05	0.69 to 1.58	1.06	0.62 to 1.82	
3	101	112	1.15	0.76 to 1.74	1.23	0.72 to 2.11	
4	134	112	1.33	0.89 to 1.99	1.73	1.04 to 2.88	

Abbreviations: OR, odds ratio; LD, limit of detection.
 *The multivariable logistic model includes age (5-year intervals), total plasma lipid concentration (continuous), waist-to-hip ratio (≤ 0.95, > 0.95) and history of prostate cancer screening (no, yes).
 †For subjects with values above LD.

Tableau XIII : Taux plasmatique en chlordécone et risque de cancer de la prostate⁷⁹.

Parmi les nombreux facteurs étudiés, deux facteurs modulent cette augmentation de risque. Les antécédents familiaux de cancer de la prostate ainsi que la résidence dans un pays occidental (industrialisé), essentiellement la France métropolitaine, modifient l'effet de l'exposition au chlordécone sur le risque de survenue du cancer de la prostate.

L'interaction avec les antécédents familiaux de cancer de la prostate pourrait être expliquée par la présence de facteurs de susceptibilité génétiques communs à la maladie et à la sensibilité à l'exposition au chlordécone, mais aussi par des facteurs de risque environnementaux de la maladie partagés par les membres d'une même famille.

De plus, la résidence dans un pays occidental a entraîné une co-exposition à d'autres polluants chimiques suspectés de favoriser la survenue de la maladie. C'est le cas des polluants persistants organochlorés (PPO) autres que le chlordécone, dont l'intensité de l'exposition est plus élevée dans les pays occidentaux qu'aux Antilles, et qui pourraient agir en synergie avec le chlordécone⁵⁹.

Une autre hypothèse peut être avancée concernant les modifications des comportements alimentaires des populations antillaises qui ont résidé temporairement dans un pays industrialisé. D'une alimentation traditionnelle riche en poissons, fruits et légumes racines à faible index glycémique, les populations migrantes se sont vues confrontées à une alimentation de type « occidentale ».

Certains de ces aliments, à forte teneur en graisses animales et en laitages, ont été associés à un risque accru de survenue du cancer de la prostate.

Le risque n'apparaît significativement augmenté que parmi les patients ayant déclaré des antécédents familiaux ainsi que parmi ceux ayant résidés dans un pays occidental. Le risque de survenue de cancer de la prostate est multiplié par 5 chez les hommes présentant simultanément ces deux facteurs.

Au-delà des biais inhérents à ce types d'étude (biais de sélections, de mémorisation, de confusion) et de la difficulté à établir la chronologie entre l'exposition et la maladie, l'étude *Karuprostate* témoigne que le développement d'un cancer de la prostate est multifactoriel et résulte d'interactions imparfaitement cernées entre des facteurs d'ordre génétique et d'ordre environnemental.

« L'exposition au chlordécone ne peut en aucune manière expliquer la totalité des cas de cancer de la prostate » en Guadeloupe et en Martinique, où plus de 1000 nouveaux cas sont enregistrés chaque année, « mais elle apparaît comme un facteur de risque supplémentaire », affirme l'étude.

Il faut garder à l'esprit que les populations antillaises sont soumises à d'autres risques aussi, voire plus importants que le chlordécone.

En analysant l'ensemble des données caractérisant l'état de santé des populations antillaises, l'attention du conseil scientifique a été attirée par la fréquence élevée des facteurs de risques, notamment nutritionnels, contribuant au diabète, à l'obésité et à l'hypertension artérielle, affections plus fréquentes aux Antilles qu'en métropole.

Les actions de réduction de l'exposition au chlordécone doivent donc se faire selon une approche coût-bénéfice en tenant compte de leur impact sur l'état nutritionnel des différents groupes de populations.

III. Les plans d'actions nationaux

En 2003, les députés ont adopté la création d'un plan national santé environnement (PNSE), qui sera élaboré tous les cinq ans, pour la prévention des risques sanitaires liés à l'environnement sur la base d'une analyse des risques sanitaires environnementaux réalisée par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale (AFSSE). Cette disposition a été intégrée dans la loi du 9 Août 2004 relative à la politique de santé publique.

Le PNSE présenté par le premier ministre le 21 Juin 2004 identifiait les actions que le gouvernement avait décidé de mettre en œuvre pour la période 2004-2008, en vue de réduire les atteintes à la santé liées à la dégradation de notre environnement.

Ce Plan contenait au total 45 actions, organisées en 8 axes, et qui recouvraient l'ensemble du champ des relations entre environnement et santé.

L'ensemble de ces actions visait à répondre à 3 objectifs majeurs :

- Garantir un air et boire une eau de bonne qualité
- Prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers
- Mieux informer le public et protéger les populations sensibles (enfants et femmes enceintes).

Plus particulièrement, l'action n°12 du PNSE, s'intéressait à l'exposition aux pesticides en Guadeloupe et en Martinique. Elle visait à quantifier les risques sanitaires, principalement via la chaîne alimentaire. Des éléments de réponses ont été apportés à l'aide des enquêtes *Escal*, *Calbas* et *Réso* dont nous avons déjà parlé auparavant.

Afin de répondre aux engagements pris par le gouvernement dans le PNSE publié en Juin 2004, un Plan Interministériel de Réduction des Risques liés aux Pesticides (PIRRP) a été proposé ensuite en 2006.

Celui-ci visait à réduire l'utilisation des pesticides et les risques qu'ils engendrent sur le plan sanitaire pour les utilisateurs de produits et les consommateurs de denrées, ainsi que leurs effets potentiels sur les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol) et la biodiversité.

L'un des objectifs était de réduire de 50% les quantités de substances actives vendues les plus dangereuses, d'ici l'achèvement du plan en 2009. En revanche, à l'heure actuelle, nous sommes dans l'incapacité de savoir si les objectifs ont été atteints.

III-1) Le plan d'action chlordécone 2008-2010

Un plan d'action chlordécone 2008-2010 en Guadeloupe et en Martinique a été décidé par le gouvernement afin de renforcer les actions et mesures concernant cette contamination.

Ce plan avait pour objectifs :

- d'améliorer la surveillance de l'état de santé de la population ainsi que la connaissance des problèmes cliniques et environnementaux liés au chlordécone ;
- de continuer à réduire l'exposition de la population au chlordécone ;
- de proposer des mesures d'accompagnement nécessaires en agriculture et d'améliorer la surveillance des sols et produits des jardins familiaux.

Il tenait également à communiquer à la population antillaise toutes les informations utiles dans le domaine des pratiques agricoles ou de la consommation des aliments.

Il était composé de 4 volets :

- Volet 1 : Renforcer la connaissance des milieux
- Volet 2 : Réduire l'exposition et mieux connaître les effets sur la santé
- Volet 3 : Assurer une alimentation saine et gérer les milieux contaminés
- Volet 4 : Améliorer la communication et piloter le plan

Dans le premier volet, une mise à jour des cartes des sols contaminés a été effectuée.

Pour obtenir des données plus rapidement, il souhaitait inciter au développement des laboratoires et des techniques analytiques dans les deux îles, permettant l'analyse des sols, des eaux, des denrées alimentaires et des tissus biologiques.

Le second volet portait sur la réduction de l'exposition de la population.

En effet, c'est au cours de ce plan, en 2008, que la commission européenne avait fixé les LMR à 20 µg/kg pour les denrées végétales pouvant être produites indifféremment sous climat tropical ou tempéré et 10 µg/kg pour les autres produits végétaux spécifiques aux régions de climat tempéré ou susceptibles d'être importés de zones autres que les Antilles. De plus, une LMR nationale de 20 µg/kg avait aussi été fixée pour les produits de la mer et d'eau douce.

Le troisième volet s'inscrivait dans la continuité du second, ayant pour but d'aboutir à une réconciliation des Antillais avec leur agriculture.

En effet, cette pollution a provoqué chez la population une perte de confiance dans la qualité des produits agricoles locaux. A l'échelle des départements antillais, cette crise de confiance rappelle les grandes crises qu'il y a eu en métropole (ESB, grippe aviaire), tant par la défiance des consommateurs vis-à-vis des filières locales que par le découragement des producteurs.

Depuis 2003 et encore aujourd'hui, avant mise en culture de toute production végétale sensible à la présence de résidus de chlordécone, les exploitants agricoles font réaliser l'analyse de sol des parcelles concernées par la chambre d'agriculture. Ce dispositif permet à la fois une gestion satisfaisante des productions à risque puisque les exploitants ont déplacé les cultures vers des parcelles saines, et l'acquisition par l'administration et les Chambres d'agriculture d'une grande quantité d'information sur l'état de contamination des parcelles.

L'une des actions de ce 3^e volet était d'impliquer la grande distribution dans l'information du consommateur sur l'origine des produits.

Enfin le dernier volet de ce plan a contribué à une meilleure communication et gestion du plan. La communication en direction de la population a permis répondre à deux objectifs : informer sur l'état des connaissances, sur ce qu'est le chlordécone, sur les risques encourus et sur les précautions à prendre.

En 2010, un bilan a pu être réalisé afin de constater les principaux acquis de ce premier plan d'action⁸³.

Dans le cadre de la réduction de l'exposition, en 2008, les valeurs limites en chlordécone dans les aliments ont été abaissées. Les légumes sensibles à la contamination par le chlordécone ne sont cultivés désormais que sur des sols sains ou dont le niveau de contamination est compatible avec leur culture.

Pour les personnes consommant les produits de leur jardin et habitant dans les zones d'utilisation du chlordécone par le passé, des équipes d'enquêteurs recrutés dans le cadre du programme de Jardin Familiaux (*Jafa*) ont proposé des analyses de sols et des solutions pour réduire si nécessaire l'exposition au chlordécone.

III-1-1) Le programme des Jardins familiaux (*Jafa*) en Guadeloupe

Débuté en 2009, *Jafa* est un programme régional de prévention et d'éducation à la santé, piloté par l'Agence de santé de Guadeloupe, Saint-Martin et Saint-Barthélemy (ARS) et l'Instance régionale d'éducation et de promotion de la santé de Guadeloupe (IREPS).

Il s'inscrit dans le cadre du plan d'action chlordécone et a pour objectif général de « réduire l'exposition au chlordécone des populations ayant des habitudes d'approvisionnement et d'autoconsommation de denrées animales et végétales issues de jardins familiaux ».

Ainsi, il s'adresse aux particuliers habitant des zones où les terres sont potentiellement polluées par le chlordécone et s'alimentant régulièrement des productions issues de leur jardin, de celui de leur voisinage ou de circuits informels de distribution (dons, échanges, marchand de bord de route...).

Mise en œuvre avec les populations concernées, dans une démarche éducative de promotion de santé, et s'appuyant sur un réseau de partenaires et de prestataires, les différentes phases de ce programme se décomposent en 3 axes :

-Un diagnostic des jardins familiaux : En se référant à la carte des sols de Guadeloupe potentiellement pollués par le chlordécone, de 2009 à 2012 des enquêtes ont été menées en porte-à-porte auprès de l'ensemble des foyers résidant sur les zones potentiellement polluées par le chlordécone.

Ces enquêtes ont été réalisées dans le but de mieux connaître les habitudes alimentaires et sources d'approvisionnement de ces foyers.

En fonction des réponses apportées, si le foyer présentait des pratiques alimentaires considérées « à risque » (c'est à dire ayant une fréquence de consommation élevée de racines et tubercules provenant de leur jardin), des prélèvements et analyses de sol étaient proposés afin d'évaluer le niveau de pollution du jardin.

Au total, près de 20 000 bâtiments ont été visités, plus de 10 000 foyers enquêtés, plus de 2500 jardins familiaux analysés, permettant ainsi d'identifier environ 950 foyers « à risque » de surexposition au chlordécone via l'autoconsommation des productions de leur jardin. Toutes ces enquêtes alimentaires, ces prélèvements et ces analyses de sols ont été réalisés par Qualistat et l'institut pasteur de Guadeloupe.

-Une communication régionale et de proximité : de 2009 à 2011, la communication régionale du programme *Jafa* a utilisé les médias locaux (radios, TV, presses écrites...) ; des plaquettes et livrets ont également été créés. Puis en 2014, une nouvelle campagne de communication grand public a été lancée via des chroniques audios.

Dans le même temps, de 2009 à 2014, le programme a organisé des réunions de quartiers et autres manifestations grand public dans différentes communes. Et celles-ci se poursuivent encore en 2015.

-Des actions d'éducation pour la santé : Les foyers dits « à risque » sont invités à adapter leur comportements alimentaires, à adopter des méthodes culturelles alternatives dans le but de réduire leur exposition au chlordécone.

Afin de faciliter les échanges et explications avec les foyers « à risque », des supports pédagogiques ont été créés et remis à chaque foyer.

Nous pouvons distinguer deux types d'actions d'accompagnement, d'une part l'accompagnement individuel ou « retour foyer ». De mars 2010 à fin 2013, un conseiller du Programme *Jafa* a pris rendez-vous avec chaque foyer « à risque » afin de présenter les recommandations pour réduire leur exposition au chlordécone via les denrées végétales de leur jardin et également de répondre aux nombreuses questions. Ce retour-foyer est une occasion de rencontre et d'échange avec les familles concernées.

D'autre part, l'accompagnement collectif via les « Jardin Pilote *Jafa* ». En effet, en 2010, des animations collectives appelées « Jardin pilote *Jafa* » ont été créés spécialement pour les familles « à risque » de surexposition au chlordécone via l'autoconsommation des productions de leur jardin.

Ces animations se déroulaient dans le jardin d'une famille accompagnée par le programme *Jafa* et permettait de répondre à des questions essentielles pour ces familles comme par exemple : Comment continuer à cultiver des racines et tubercules dans son jardin pollué ?

Pour clôturer ces animations, une collation à but pédagogique à base de féculents locaux était organisée. A la fin de l'année 2013, on comptait 25 animations de ce type. Elles ont permis de regrouper au total plus de 700 personnes.

Un autre objectif du Programme *Jafa* est de promouvoir la consommation des fruits, légumes et féculents de Guadeloupe qui, consommés régulièrement, sont bénéfiques pour notre santé. Ainsi des petits livrets ont été conçus à partir de différents produits locaux, et contiennent des recettes élaborées à partir de ces produits.

Ils rappellent également les recommandations de l'ANSES (anciennement AFSSA) permettant de limiter son exposition au chlordécone, adapté par les soins et pour les besoins du programme (Figure 21).

Le programme précise, qu'en l'état actuel des connaissances, un sol pollué peut continuer à être cultivé et les produits de ce jardin à être consommés.

Le choix des cultures devra s'effectuer en fonction :

- Du niveau de sensibilité des fruits, légumes, racines ou tubercules cultivés ;
- Du niveau de pollution de la parcelle cultivée.

D'autres manifestations sont prévues au cours de l'année 2015. Elles sont destinées au grand public, d'accès libre et gratuit. Elles présentent des animations, des dégustations pour mieux appréhender la « problématique chlordécone. »

J'ai eu l'occasion de me rendre à l'une d'entre elle le Vendredi 16 Janvier 2015 dans la commune de Baillif. J'ai donc assisté aux différentes activités mises en place, comme un sketch sur la problématique du chlordécone commenté ensuite par le public, et également d'un atelier portant sur la préparation des légumes-racines. Des volontaires se sont pris au « jeu » autour d'une table, à l'aide d'une bassine d'eau, d'une brosse et d'un couteau.

A la fin, nous avons débattus sur chacune des méthodes employées par les participants, à savoir si celles-ci étaient correctes ou non par rapport aux bonnes pratiques définies pour limiter son exposition au chlordécone. Ceux ou celles qui avaient bien suivi(e)s les recommandations, remportaient un panier rempli de fruits et légumes locaux.

Limiter à maximum 2 fois par semaine sa consommation de racines et tubercules à l'origine "risquée" (c'est-à-dire provenant de jardins potentiellement pollués et/ou de circuits informels de distribution (vente au bord des routes, dons ou échanges avec la famille, les voisins, les amis) ...)*



Eplucher généreusement (pelure de 1/2cm d'épaisseur) et laver avant et après épluchage les racines et tubercules à l'origine "risquée" (c'est-à-dire provenant de jardins potentiellement pollués et/ou de circuits informels de distribution).



Adopter des techniques de culture diminuant fortement le niveau de contamination des racines et tubercules cultivés sur sol pollué. (Reposant sur l'utilisation de compost indemne de chlordécone, ces méthodes de culture Jafa permettent alors de cultiver des racines et tubercules aptes à la consommation).

* Recommandation de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail)
(ex-AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments))

Figure 21 : Extrait du livret « les recettes du programme Jafa- Vol. 1

Grâce à ce programme créé il y a 6 ans, la population Guadeloupéenne peut désormais apprendre à consommer les produits locaux sans aucun risque et donc bénéficier de leur bien faits pour la santé.

Le bilan de ce premier plan d'action chlordécone reste « globalement mitigé » car si les moyens importants mobilisés (33 M€) ont permis de réelles avancées, leur portée a été toutefois limitée par l'absence de stratégie et un pilotage inefficace.

Mais, grâce à une mobilisation renforcée des services et de ses opérateurs, la poursuite d'actions déjà engagées accompagnées du développement d'actions originales ont permis une meilleure appréhension du risque sanitaire de façon à limiter l'exposition des populations.

La mission d'évaluation a formulé de nombreuses propositions pour l'élaboration du 2^e plan d'action chlordécone 2011-2013. Elle recommandait de fonder une véritable stratégie donnant du sens aux actions menées et des outils de mesure des résultats attendus.

La recherche s'inscrit dans le long terme et justifie la mise en place d'un Conseil scientifique qui doit veiller à la qualité et à la pertinence des actions menées, assurer une meilleure articulation entre les bases de données et les réseaux de surveillance en s'appuyant sur un SOERE (système d'observation et d'expérimentation au long terme pour la recherche en environnement) qu'il convient de créer avec la mobilisation de compétences en sciences humaines et sociales nécessaires à la gestion collective de cette contamination.

III-2) Le plan d'action chlordécone 2011-2013

Ce deuxième plan d'action s'inscrivait dans la continuité du premier.

Ses principaux objectifs étaient :

- d'approfondir l'état des connaissances des milieux ;
- de rechercher et d'expérimenter des techniques de remédiation de la pollution ;
- de consolider le dispositif de surveillance de l'état de santé des populations, et d'approfondir la connaissance des effets sur la santé ;
- de poursuivre la réduction de l'exposition des populations, d'assurer la qualité de la production alimentaire locale et de soutenir les professionnels impactés ;
- de gérer les milieux contaminés et d'assurer une bonne information de la population.

Etant donné l'absence de solution de dépollution à court terme, des travaux ont été réalisés sur la dégradation biologique du chlordécone. Un rapport a été publié en 2009 pour traiter des différentes possibilités de traitement⁴¹.

Concernant sa biodégradabilité, de nombreuses études ont été menées suite au développement de képone[®] dans la rivière James à Hopewell en Virginie et notamment sur l'impact du chlordécone sur la faune microbienne locale et sur d'autres organismes^{13,68}. Dans les années 1980 les pistes de bioremédiation* envisagées aux Etats-Unis ont privilégié le recours aux communautés microbiennes des sols cultivés impactés. L'absence de résultats significatifs de ces recherches⁸⁴ a abouti à la conclusion d'une quasi-impossibilité de biodégradation de cette molécule *in situ*.

Mais la détection de monohydro et de di-hydro chlordécone qui sont des intermédiaires potentiels de déchloration du chlordécone dans des échantillons de sols, des tissus de poissons, de crustacés et d'oiseaux près de l'usine de production à Hopewell suggèrent au contraire que le chlordécone pourrait être accessible à des transformations biologiques^{22,31}.

* Ensemble de techniques utilisées pour dépolluer un site naturel (sol, sédiments, eaux de surface ou souterraines), mais qui font appel à l'utilisation de micro-organismes, de champignons, de végétaux divers ou d'enzymes qu'ils produisent.

Il faut tout de même considérer la détection de chlordécone-alcool avec précaution car ce composé peut correspondre à un artefact analytique. En effet Soine *et al.* 1983, ont montré que le chlordécone alcool pouvait se former spontanément dans l'injecteur d'un chromatographe quand une solution alcoolique de chlordécone est injectée.

D'après les travaux de Suflita *et al.* 1982, nous apprenons qu'une grande variété de composés organochlorés aromatiques et aliphatiques est biodégradable en anaérobiose. Un nombre élevé de chlore n'est pas un problème pour les micro-organismes anaérobies, au contraire plus le nombre de chlore est élevé plus le composé leur est accessible.

Le mécanisme de dégradation est en général une déchloration réductive (remplacement d'un chlore par un hydrogène et libération du chlore sous la forme d'un ion), cela impliquant le besoin d'équivalents réducteurs^{73,51,69}.

De façon à obtenir *in situ* une transformation biologique importante du chlordécone, trois conditions initiales semblent requises :

- Anaérobiose
- Présence d'un donneur d'électrons et d'une source de carbone (qui peuvent être identiques)
- Présence de micro-organisme ayant la capacité à déchlurer le chlordécone.

A priori, les deux premières conditions semblent faciles à remplir au moyen de l'apport de matière organique à l'environnement.

En parallèle à la validation des concepts de remédiation développés au laboratoire, l'étude à l'échelle pilote devra être conçue afin de pouvoir estimer le coût du traitement sélectionné et définir si en plus des aspects techniques il est aussi économiquement viable.

En fait, cette contamination par le chlordécone, en l'absence de solutions de dépollution des sols, persistera encore pendant des dizaines d'année. De ce fait, sur la base des résultats acquis lors du premier plan, il convient de mettre en place une surveillance pérenne de l'état de l'environnement afin d'appréhender l'étendue et l'évolution de cette contamination.

L'actualisation des cartes des sols et milieux aquatiques contaminés a aidé à maîtriser cette pollution.

De plus, nous constatons que la mise en œuvre du plan chlordécone a entraîné une forte augmentation du nombre d'analyses de pesticides. Les laboratoires locaux ont donc commencé à se structurer pour offrir un service complet local et éviter l'envoi de la plupart des échantillons en métropole. La réduction des délais de réponses des laboratoires locaux ainsi que les méthodes d'analyses plus rapide ont permis une meilleure estimation du degré de contamination des milieux.

Dans le cadre de la loi n° 2010-874 du 27 juillet 2010 concernant la modernisation de l'agriculture et de la pêche, l'article 84 concernait la mise en place d'un plan de lutte contre la pollution marine engendrée par le chlordécone.

Le volet marin a donc été intégré dans deux axes du plan d'action chlordécone 2011-2013 dont le premier visait à approfondir la connaissance de l'état de l'environnement.

Dans cet objectif, la mise en place d'un dispositif de surveillance et l'amélioration des techniques d'analyses a permis de suivre l'évolution de la contamination du milieu marin.

Les populations ont été informées sur les risques liés à l'autoconsommation des produits de la mer. Par ailleurs, les professionnels de l'aquaculture et de la pêche ont bénéficié d'un appui technique et financier permettant leur reconversion ou l'adaptation de leurs pratiques afin de mettre sur le marché des produits sains.

Dans cette démarche d'aide et d'informations aux pêcheurs, la DAAF avait mis à leur disposition un dépliant indicatif des zones de pêche autorisées, en lien avec l'arrêté du 26 juin 2013.

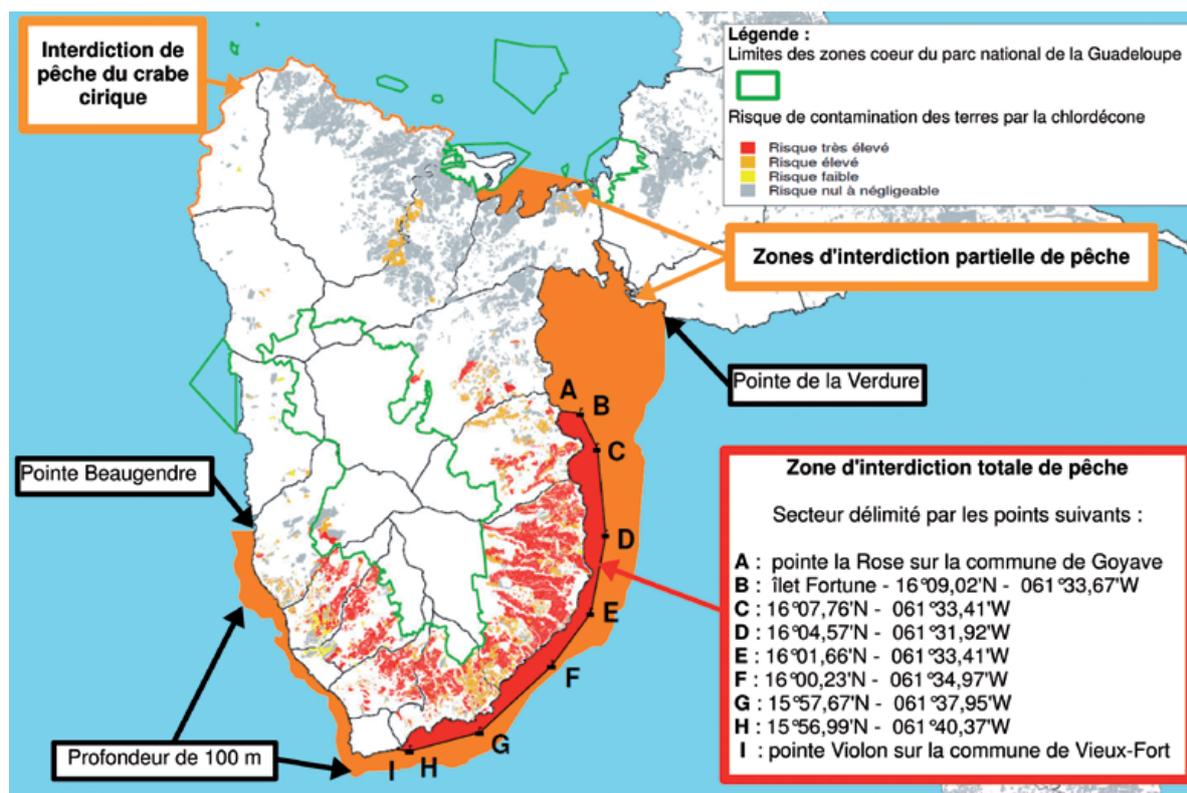


Figure 22 : Carte des zones de pêche interdites – Arrêté du 26 Juin 2013

La contamination va se limiter essentiellement aux espèces du récif corallien et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des côtes et avec l'augmentation de la profondeur.

Les analyses réalisées sur les espèces de poissons pêchées au large (thon à nageoires jaunes, dorade, marlin...) n'ont ainsi jamais révélé de trace de contamination.

En pratique, les zones contaminées représentent moins de 5% des zones de pêches guadeloupéennes. Les campagnes d'analyses des produits de la mer réalisées depuis 2008, ont permis d'affiner les connaissances sur la contamination de la faune aquatique par le chlordécone.

Dans le but de garantir la conformité aux normes des denrées mises sur le marché et consommées, le dispositif de surveillance renforcé mis en place depuis 2008 a été complété :

- par des plans de contrôle pour détecter les espèces végétales et les produits d'origine animale susceptibles de poser des difficultés au regard des limites maximales de résidus ;

- par des plans de surveillance représentatifs sur les denrées mises sur le marché aux Antilles, avec un renforcement de l'effort d'échantillonnage des denrées.

On portera une attention toute particulière aux produits de la mer et d'eau douce pour la définition de plan d'échantillonnage marin et la connaissance de la contamination des groupes d'espèces de poissons et de crustacés.

Concernant les risques liés à l'autoconsommation évoquée précédemment, la première phase du programme Jafa lancé en 2009, s'est terminée en Guadeloupe en 2011. Après l'étape d'identification des foyers en situation de surexposition au chlordécone, il est nécessaire encore aujourd'hui de consolider les modifications de comportement, en assurant des visites périodiques de conseillers Jafa, et de répondre aux demandes de diagnostic des sols.

La ressource halieutique ainsi que les produits d'eau douce constituent une source d'exposition potentielle au chlordécone dans certaines zones de Guadeloupe et Martinique.

L'information des auto-consommateurs de ces produits (pêcheurs amateurs ou de subsistance, familles de professionnels) exploitant les zones contaminées a donc été requise pour qu'ils évitent de dépasser les limites tolérables liés à la consommation de certaines espèces de poissons ou coquillages. De ce fait, des modifications de pratiques alimentaires se sont avérées nécessaires.

Les premiers produits concernés par des préconisations furent les légumes racines qui ont fait l'objet de mesures réglementaires dès 2003. Cependant, l'extension de la surveillance au domaine des productions animales et la modification des Limites Maximales de Résidus (LMR), ont élargi le champ du risque de non conformité. La baisse des LMR a ainsi réduit les possibilités d'exploitation des terres contaminées, et certains agriculteurs se sont retrouvés dans des situations difficiles lorsque le diagnostic conduisait à choisir l'abandon de l'agriculture, pouvant conduire à un transfert ou une reconversion de l'exploitation.

Le soutien économique à court terme et à moyen terme aux producteurs obligés d'envisager une reconversion a dû s'appuyer sur des règles de modalités de financement compatibles avec la situation des producteurs. Ils disposaient d'un guichet unique pour les orienter et les assister dans leurs demandes de financement.

Le marché concurrent a pu profiter de cette situation. On a constaté la montée en puissance d'importations de produits concurrents, d'autres origines, qui n'offraient sûrement pas les garanties sanitaires équivalentes à celles des productions locales.

En conséquent, l'un des volets de ce plan devait permettre d'aboutir, par le soutien des professionnels, à la relance des productions locales, malgré le handicap lié à la présence du chlordécone.

La production sous le signe de qualité, garantie par un cahier des charges (conformité et qualité des produits garantis) était encouragée, afin de restaurer une image valorisante des produits. Plus concrètement, il s'agissait d'améliorer l'affichage des informations relatives aux mesures de prévention et l'origine des produits sur les lieux de vente.

Depuis 2005, tous les prélèvements de sols ou de végétaux réalisés par les services de l'Etat ou par les organisations professionnelles, quelque soit leur objectif (contrôle, surveillance, recherche, programme de santé, notamment programme JAFSA), doivent être géo-référencés, de manière à permettre leur incorporation dans un Système d'information Géographique (SIG).

Etant donné les risques liés à l'exploitation de terres contaminées par le chlordécone, *in situ* ou après transport de celles-ci l'information de tout acquéreur ou locataire de terres susceptibles d'être contaminées doit pouvoir être assurée. Il est également nécessaire d'éviter de déplacer la pollution vers des lieux qui en sont indemnes, par transport de terre, et d'évaluer les risques liés à l'irrigation à partir d'eaux contaminées.

Afin d'assurer une communication de proximité, les préfets de Guadeloupe et de Martinique, s'appuyant sur un comité régional de pilotage de la communication, élargi à l'ensemble des partenaires locaux du plan chlordécone, ont diffusé par tous moyens appropriés les informations utiles à l'appréhension de l'état d'avancement des actions mises en œuvre localement pour assurer la sécurité de l'alimentation, ainsi que les conseils pratiques à l'usage des populations.

Ce second plan d'action Chlordécone s'est construit rapidement autour d'actions engagées dans le plan précédent, dont il reproduit l'essentiel malgré quelques améliorations.

En 2011, la mission d'évaluation a donc recommandé de clarifier la stratégie, avec des objectifs clairs et mesurables. Les avancées permises par le premier plan ont démontré que les perspectives n'étaient pas de revenir rapidement à un « risque zéro » mais d'apprendre à vivre avec la présence de cette pollution pour de longues années.

Le contexte mondial lié à l'augmentation de la demande alimentaire pour la population et l'élevage, ainsi que pour les usages non alimentaires, remet au premier plan les enjeux de sécurité alimentaire. La France se doit donc de maintenir un niveau de production agricole élevé, mais aussi de produire mieux, en respectant les équilibres écologiques. Ceci suppose notamment de rendre les exploitations agricoles moins dépendantes des pesticides.

III-3) Le plan « Ecophyto 2018 »

En 2008, à la suite du Grenelle de l'environnement, le plan Ecophyto a été créé.

Il s'inscrit dans une stratégie plus globale au niveau européen. Il vise à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires tout en maintenant un niveau de production agricole élevé.

Plus précisément, il prévoyait de diminuer l'emploi des pesticides de 50%, à l'horizon 2018 ainsi que le retrait d'autorisation de mises sur le marché des spécialités contenant les 53 substances les plus actives d'ici à 2010.

Il comprend 8 axes d'actions, dont l'axe 6 qui est réservé aux DOM : le plan « Ecophyto DOM », prenant en compte les spécificités des DOM -TOM.

III-3-1) Le plan « Ecophyto DOM »

Il se divise en six points :

- disposer d'indicateurs adaptés ;
- sécuriser et assurer la durabilité des itinéraires techniques ;
- sécuriser les pratiques
- orienter le programme de recherche vers la réduction de l'utilisation des pesticides ;
- professionnaliser les acteurs et favoriser le transfert de compétences ;
- et, développer des réseaux de surveillance du territoire.

Avant de détailler ces différents points, il semble important de constater l'effort qui est demandé à l'agriculture ultramarine, en rappelant que non seulement elle doit faire face à des bioagresseurs* mais aussi que l'action « Ecophyto DOM » intervient dans un contexte européen de forte réduction du panier de pesticides à la disposition des agriculteurs. Ceci dans des îles qui ne disposent pas de centres techniques agricoles, comparables à ceux de la métropole.

Il faut savoir que l'autorisation de mise sur le marché de produits phytosanitaires (prononcée par le ministre de l'agriculture après autorisation de l'ANSES) n'est accordée que pour des usages précis (telle substance pour telle mise en culture).

Le développement d'un produit reposant sur une nouvelle substance active prend environ une dizaine d'années, pour un coût de 200 à 300 millions d'euros. Les études d'homologation ont un coût d'environ 150 000 euros. La faible représentation du marché de certains produits tropicaux et la spécificité des problèmes parasitaires locaux font que les grandes firmes ne demandent pas l'homologation des spécialités qui pourraient être employées dans les DOM.

En effet, l'agriculture antillaise s'exerce dans des conditions différentes de celle de la métropole de par ses conditions climatiques (forte température, forte pluviométrie), l'absence de période végétative impliquant des rythmes d'épandage d'herbicides différents de ceux des climats tempérés, mais aussi de par la nature tropicale de certaines espèces cultivées.

La chaleur et la forte hygrométrie saisonnière soumettent les cultures à un grand nombre de bioagresseurs beaucoup plus diversifiés que sous les latitudes tempérés.

Prenons l'exemple de la banane, les plants peuvent être touchés par : la fusariose (maladie de Panama), la cercosporiose (jaune ou noire), différentes maladies bactériennes ou virales, des ravageurs (nématodes, charançons noirs), des maladies post récoltes qui accélèrent la pourriture des fruits (anthracoses).

De plus, la restriction du panier de molécules disponibles conduit à l'utilisation répétée de pesticides systémiques qui ont le double inconvénient de ne pas être sélectifs vis-à-vis de l'environnement et de renforcer l'apparition de biorésistances. Aussi, ce phénomène laisse les agriculteurs des DOM à l'écart du progrès scientifique, puisqu'il les condamne à utiliser des molécules anciennes (glyphosate, mancozèbe, abamectine, malathion) qui ont un profil toxicologique souvent plus nocif que les substances actives nouvelles.

* être-vivants pouvant s'attaquer aux plantes (puceron, mildiou ...)

Du fait de cette problématique, deux actions ont été proposées. D'une part, la conduite, usage par usage, d'expérimentations de produits de substitution aux pesticides actuellement utilisés. Celles-ci reposent sur une combinaison d'amélioration des pratiques culturales, d'introduction de produits d'origine biologique et d'essais de lutte biologique contre les ravageurs.

D'autre part, il est prévu de mettre en place dans une des îles, une installation d'homologation par les usages tropicaux laissés orphelins. En collaboration avec les firmes phytosanitaires, des préparations phytosanitaires innovantes ont pu être identifiées comme potentiellement efficaces sur ces usages. Un programme d'expérimentation pluriannuel inter-Dom a été établi afin d'autoriser ces préparations sur ces usages prioritaires.

Au total, depuis 2009, plus de 130 essais ont été réalisés. Ils ont ainsi permis d'obtenir 12 extensions d'usages, principalement sur canne à sucre et bananier. La situation des usages est ainsi passée de 85% d'usages non pourvus en 2008 à 71% en 2013. D'autres demandes sont toujours en cours d'évaluation à l'ANSES. L'autorisation de celles-ci pourrait permettre de couvrir en 2015 entre 38 et 49% des usages sur les cultures tropicales¹⁹.

Par ailleurs, la formation des agriculteurs aux bonnes pratiques d'utilisations (stockage, épandage, gestion des emballages) a été lancée, dès 2005 par les producteurs et distributeurs de pesticides. Ceci a, en outre, abouti à une action systématique de collecte des emballages usagés et à la mise au point d'une combinaison d'épandage sécurisé, et sera donc poursuivi.

Il n'existe aucune filière de récupération des produits phytosanitaire non utilisés (PPNU). Si une opération de récupération des stock a été menée pour le Curlone[®] et pour le paraquat, le rappel des spécialités dont l'autorisation de mise sur le marché a été retirée n'est pas systématique.

La mise en place d'une filière pérenne de récupération a donc été mise à l'étude. A l'heure actuelle, nous attendons encore les résultats de cette étude menée entre 2012 et 2013.

Néanmoins, dans l'attente de la mise en place de cette filière pérenne de gestions des PPNU, des opérations ponctuelles de collecte des emballages et des PPNU organisées par la Chambre d'agriculture ont été subventionnés par plusieurs organismes¹.

L'orientation des programmes sur la réduction de l'utilisation des pesticides, propres aux DOM comprend de nombreuses recherches :

- sur la généralisation de la vitroculture* (déjà appliquée dans les bananeraies), afin d'éviter l'emploi de plants obtenu par multiplication végétatives qui véhiculent de fortes résistances,
- sur la maîtrise de l'enherbement afin de réduire l'usage des herbicides. Cette action porte en particulier sur l'amélioration des « plantes de service** » et l'expérimentation du paillage,
- sur le développement de la lutte biologique reposant sur des nématodes entomopathogènes,
- et, sur la promotion de pratiques culturales plus économe en intrants*** dans les activités maraîchères.

*aussi appelé micropropagation, est une technique visant à régénérer une plante entière à partir de cellules ou de tissus végétaux en milieux nutritif. Elle permet de garder des plants stériles, exempts d'infections ou autres maladies.

**plante capable de fournir certains services écosystémiques à travers certaines de leurs propriétés, permettant de limiter l'utilisation de pesticides.

***différents produits apportés aux terres et aux cultures. Ce terme comprends : les engrais, les produits phytosanitaires, etc.

Enfin, des réseaux de surveillance des bioagresseurs se développent.

Certains existent déjà, dans les sols des bananeraies à la fois pour surveiller une éventuelle apparition de la cercosporiose noire et pour rationaliser l'usage de fongicide contre la cercosporiose jaune. Ils sont également présents en arboriculture pour lutter contre la mouche des fruits.

Il s'agit ici de généraliser par filière de production, en créant un dispositif permettant de formuler des alertes et de prévoir des stratégies d'intervention, encourageant les pratiques raisonnées de lutte.

Cette pollution durable par le chlordécone pourrait conduire à une approche nouvelle de l'agriculture dans ces territoires fragiles. Les Antilles ne font que témoigner un peu plus tôt qu'en métropole, du fait de leur échelle géographique plus réduite, des dangers et des conséquences des pesticides. Elles présentent toutes les caractéristiques objectives d'un essai « grandeur nature » de gestion intégrée des pollutions, de par leur insularité et de la taille géographique de chacune des îles.

Développer « une agriculture sans pesticides » sur tout le territoire devient donc indispensable, et, associé à la préservation des richesses des forêts et de la végétation tropicale dont l'attrait touristique est encore peu mis en valeur, ces objectifs pourront devenir des atouts pour un développement durable de ces îles.

III-4) Le plan « Banane durable »

En partenariat avec l'Union des groupements de producteurs de banane (UGPBAN) et le Centre de coopération internationale pour la recherche agronomique pour le développement (Cirad), le plan « banane durable » s'inscrit dans le volet Ecophyto DOM du plan Ecophyto 2018 du Grenelle de l'environnement.

Le 5 décembre 2008, il a été signé entre la filière Banane de Guadeloupe et de Martinique, le ministère de l'Agriculture et les collectivités locales.

Le projet « Banane Durable Caraïbes » vise à établir, pour la première fois, une collaboration ambitieuse, réunissant les différents acteurs de la production bananière (planteurs, techniciens et chercheurs) entre les îles des Windwards (Dominique, Grenade, Sainte-Lucie et Saint-Vincent), les Antilles Françaises et la République Dominicaine.

Dans la Caraïbe, presque la totalité des régions sont exportatrices de bananes, le maintien de la culture de la banane est donc essentiel pour l'économie des îles. L'adoption de meilleures pratiques agricoles par tous les planteurs permettrait une augmentation de la part des bananes sous label de qualité et une meilleure valorisation de la production.

Un des enjeux du programme était de développer des moyens de lutte durable contre la cercosporiose noire, champignon dévastateur des bananiers qui a déjà envahi une grande partie de la Caraïbe.

En début d'année 2010, la cercosporiose noire était découverte à Ste Lucie, un mois après s'être déclarée dans l'île voisine de St Vincent.

De ce fait, beaucoup de zones de production ont atteint un état sanitaire critique, les filières bananes n'étant pas préparées à l'arrivée de la maladie, et les moyens de lutte étant limités.

Dans ce contexte la mission d'Eric Fouré, phytopathologiste du CIRAD, dans ces îles nouvellement touchées a permis de définir des actions applicables de manière immédiate :

- arrêt temporaire des traitements fongicides sur les zones de production présentant un état sanitaire critique,
- destruction des bananeraies abandonnées,
- assainissement de l'ensemble des plantations par un effeuillage sévère.

Suite aux différentes missions d'appui, expertises et formations, les techniciens et planteurs ont été sensibilisés et formés à la lutte contre la cercosporiose noire. Des fonds ont été mobilisés pour établir un système de contrôle de la maladie et acquérir du matériel de traitement.

A la fin du mois de septembre 2010, la maladie a été détectée en Martinique, les spores du champignon ayant vraisemblablement été transportées par le vent depuis Ste Lucie.

Et deux ans plus tard, en 2012, c'est la Guadeloupe qui sera touchée par la maladie.

Cette même année, des formations sur l'effeuillage seront organisées à l'initiative de l'Institut technique tropical (IT²). Les participants ont donc pu apprendre à reconnaître cette maladie dès ses jeunes stades, et à adapter la lutte selon son cycle de vie.

Un deuxième enjeu visait notamment à encourager les 700 producteurs de bananes que comptent la Guadeloupe et la Martinique à utiliser moins de produits phytosanitaires et privilégier les techniques alternatives (naturelles ou raisonnées) de protection des cultures.

A la fin du 1^{er} semestre 2010, un programme de coopération régionale sur les thématiques d'innovations culturelles porté par le Cirad et l'UGPBAN a été créé.

Il a permis d'évaluer 4 nouvelles variétés de bananiers résistants à la cercosporiose noire. Ces hybrides ont été envoyés sous forme de vitroplants. Le comportement des 4 variétés hybrides de bananier a ensuite été évalué dans chaque île. Les premiers tests de consommation sont en cours actuellement.

En Martinique et en Guadeloupe, les nouveaux systèmes de cultures reposent en particulier sur l'installation de « plantes de couvertures » sur le sol de la bananeraie ou lors des jachères. Ces plantes permettent d'éviter l'utilisation d'herbicides, d'améliorer la fertilité des sols et de réduire l'érosion, ou selon l'usage, d'assainir le sol.

La banane caribéenne ne sera jamais la moins chère du marché car elle respecte des standards environnementaux et sociaux plus élevés que la plupart de ses concurrentes. Ses conditions de productions sont également plus difficiles : petits producteurs, topographie montagneuse, cyclones, isolement géographique. La seule solution pour survivre à terme est de proposer un produit différent, plaisant au consommateur.

Pour l'UGPBAN, les premiers résultats ont été concluants. 80% des 270 000 tonnes de bananes de Guadeloupe et de Martinique, produites en 2009, ont respecté le cahier des charges du plan « banane durable », selon *Sébastien Zanoletti*, directeur du développement durable de l'Union des producteurs.

Dès 2012, les objectifs environnementaux de la première phase du plan Banane durable ont été atteints, avec une diminution de 50% de l'utilisation de produits phytosanitaires par rapport à 2006 (Tableau XIV).

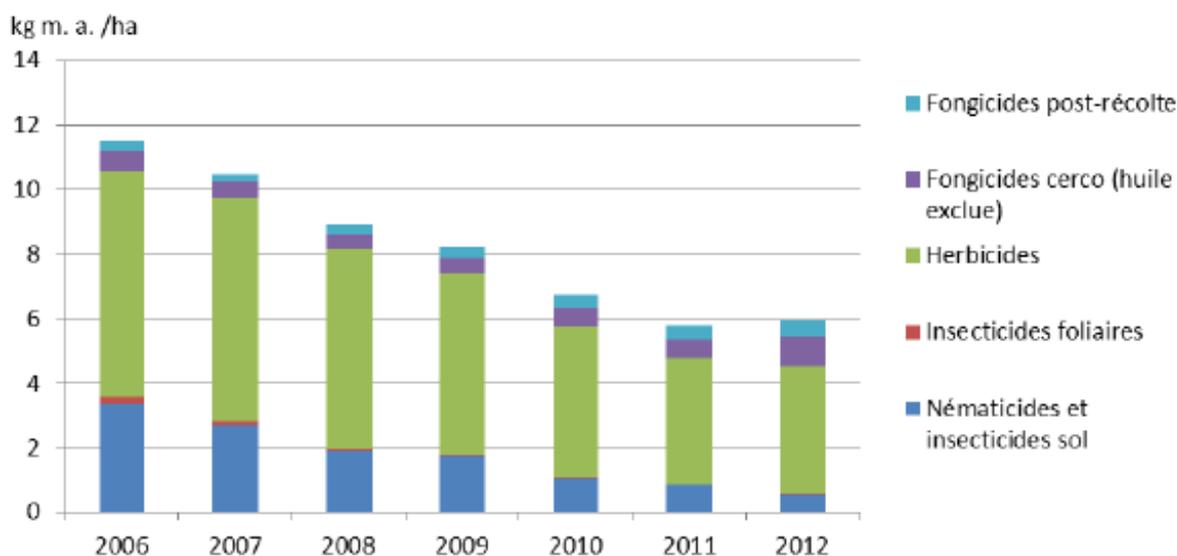


Figure 23 : Evolution des quantités de matières actives utilisées dans la filière banane en Martinique et en Guadeloupe⁷¹.

Cela représente jusqu'à 10 fois moins de produits que dans les productions de bananes ailleurs dans le monde. Ce résultat valide et confirme l'inscription durable des producteurs de bananes des Antilles dans une démarche de production respectueuse de l'environnement.

Aujourd'hui, selon les chiffres communiqués par les producteurs, 6kg d'herbicides par hectare et par an sont pulvérisés aux Antilles françaises, quand le Belize ou le Costa Rica en sont à 70kg.

La première phase du plan Banane durable caraïbe a connu son épilogue à Sainte-Lucie, au mois de Novembre 2014. L'emploi de vitroplants, les pratiques d'effeuillage sélectif, la diffusion de pratiques d'agriculture de conservation et l'utilisation de plantes de couvertures semblent être passés au stade d'acquis au niveau des exploitations.

Fort de ces progrès, les producteurs ont entamé la deuxième phase du plan Banane durable (2014-2020). Ses objectifs sont les suivants : contrôle durable des bioagresseurs du bananier, généralisation de l'agriculture de conservation à tous les producteurs et contrôle des impacts de l'activité sur l'environnement, la mise en place de filières de transformation de la banane pour favoriser l'émergence de produits dérivés et contribuer à leur pérennité sur les différents marchés.

Depuis une dizaine d'années, de nombreuses mesures ont été prises pour gérer le risque lié à l'exposition de la population au chlordécone via l'alimentation. Malgré les limites réglementaires applicables aux aliments commercialisés, certaines populations restaient susceptibles de subir une exposition dépassant la VTR, à cause de leurs sources d'approvisionnement mais également de leur comportement alimentaire.

A l'aide du programme Jafa, ces populations ont pu connaître les aliments contribuant majoritairement à leur exposition, et apprendre à réduire leur contamination par des méthodes de préparations recommandées par l'ANSES ainsi que des règles de cultures.

Les résultats et conclusions de l'étude *Karuprostate*, ont apporté quelques éléments en faveur d'une association causale entre l'exposition au chlordécone et la survenue d'un cancer de la prostate. Mais à l'heure actuelle, nous n'avons pas de preuve formelle.

Après avoir constaté l'existence d'une pollution irréversible, il s'agit aujourd'hui de mieux la connaître mais aussi d'apprendre à vivre avec.

Conclusion

L'exposition des populations antillaises au chlordécone est due aujourd'hui à la consommation de denrées contaminées. La diminution de cette exposition à des niveaux les plus faibles possibles représente une priorité en terme de santé publique.

Les mesures de prévention et les contrôles mis en œuvre permettent de garantir la qualité des eaux de distribution et des aliments mis sur le marché.

De plus, l'identification des principaux aliments contributeurs de l'exposition, ainsi que l'élaboration d'une réglementation dans les secteurs de l'agriculture et de la pêche, contribuent également à la réduction de l'exposition de la population.

Pour les populations consommant les produits de leur jardin et habitant dans les zones d'utilisation du chlordécone, le programme JAJA a établi un diagnostic du sol et des solutions pour continuer à bénéficier des biens faits de produits locaux du jardin sans risque vis à vis du chlordécone. Un sol contaminé pourra être cultivé et donner des produits conformes pour l'alimentation humaine. Le choix des espèces devra s'effectuer en fonction du niveau de contamination de la parcelle.

Les connaissances actuelles concernant les transferts de chlordécone du sol vers les différentes cultures permettent de proposer au consommateur des produits de substitution non sensibles au transfert pour limiter leur consommation de racines et tubercules.

L'exposition au chlordécone apparaît être un facteur de risque associé à une probabilité plus élevée de survenue d'un cancer de la prostate. Cette notion d'association, strictement statistique, n'est pas synonyme de causalité. Les conclusions de l'étude *Karuprostate*, en dépit d'apport des preuves formelles, ont tout de même incité les autorités sanitaires à prendre toutes les mesures utiles destinées à protéger les populations, en particulier celle de la réduction des expositions.

D'après les études menées sur les moyens de réduction de cette pollution, on sait que le chlordécone ne répond pas à la plupart des techniques de dégradation. Des chercheurs se sont donc penchés sur sa « séquestration forcée » dans les sols. En effet, plutôt que de tenter d'éliminer celui-ci par des procédés physiques, chimiques, biologiques ou grâce aux plantes, les chercheurs ont pensé à le séquestrer dans le sol. Des essais complémentaires sont menés afin de connaître l'amplitude du phénomène et sa durabilité en lien avec la dégradation de la matière organique apportée.

Au regard de ces résultats, des méthodes alternatives de culture, adaptées aux jardins familiaux, pourraient être élaborées et diffusées auprès des particuliers et agriculteurs.

Bibliographie

1. A.D.I.VALOR. Etude de faisabilité sur la mise en place de filières pérennes de gestion des intrants agricoles en fin de vie dans les DOM. Agriculteurs, Distributeurs, Industriels pour la Valorisation des déchets agricoles (A.D.I.VALOR). Guadeloupe, résumé, Juillet 2014. 4p.
2. Achard R., Calba H. et Lebrun M. Etude du transfert de la chlordécone entre le sol et la plante. Atelier du 3 au 7 octobre 2005. Dossier «pollution par les organochlorés aux Antilles», 2005.
3. AFSSA, 2005a. Etat d'avancement de l'exploitation de l'enquête ESCAL pour l'estimation de l'exposition de la population martiniquaise au chlordécone. Note technique OCA/CD/2005 088, mai 2005, 20p.
4. AFSSA, Actualisation de l'exposition alimentaire au chlordécone de la population antillaise. Evaluation de l'impact de mesures de maîtrise des risques. Document technique AQR/FH/2007-219p Maisons-Alfort : Agence française de sécurité sanitaire des aliments, 2007; 79p.
5. AFSSA. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'actualisation des données scientifiques sur la toxicité du chlordécone en vue d'une éventuelle révision des limites tolérables d'exposition proposées par l'Afssa en 2003. N°2007-SA- 0305 (6 septembre 2007).
6. AFSSA. Bilan intermédiaire des enquêtes RESO Martinique et Guadeloupe. Note technique AQR/FH/2007-179, juillet 2007, 23p.
7. Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique. JORF n°31, 6 février 2007, p.2180.
8. Arrêté du 30 juin 2008 relatif aux limites maximales applicables aux résidus de chlordécone que ne doivent pas dépasser certaines denrées alimentaires d'origine végétale et animale pour être reconnues propres à la consommation humaine. JORF n°0155, du 4 juillet 2008, p.10736.
9. Arrêté du 7 octobre 1974 relatif à l'homologation des produits visés à l'article 1er de la loi du 2 novembre 1943 sur l'organisation du contrôle des produits antiparasitaires à usage agricole. Article 8. JORF du 20 octobre 1974, p.10760.
10. Arrêté n°2013-057 du 26 juin 2013 réglementant la pêche et la commercialisation des espèces de la faune marine dans certaines zones maritimes de la Guadeloupe.
11. Association Toxicologie-CNAM. Fiche toxico écotoxicologique chimique n°3, Mars 2005. Disponible sur : <http://www.observatoirepesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/380733721007205685273659339681/fiche-ecotox-chlordecone-Cnam.pdf>. (Page consultée le 18/03/2014).
12. ATSDR. Toxicological profile for mirex and chlordecone. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. August 1995, 362p.
13. Bahner L.H., et al. Kepone bioconcentration, accumulation, loss, and transfer through estuarine food chains. Chesapeake Sci., 1977,18, 299-308.
14. Bale SS. Cytological effect of Kepone on Chinese hamster cells. J. Hered, 1983, 74, 2, p.123-124.
15. Balland P., Mestres R., Fagot M. Rapport sur l'utilisation de produits phytosanitaires en Guadeloupe et en Martinique. Paris : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 1998, 93p.
16. Beaugendre J., Edmond-Mariette M.P., Le Guen J., et al. Rapport d'information par la commission des affaires économiques, de l'environnement et du territoire sur l'utilisation du chlordécone et des autres pesticides dans l'agriculture martiniquaise et guadeloupéenne. N° 2430. 2005.
17. Blateau A., Héraud F., Bordet F., *et al.* Données de contamination des aliments en Martinique et en Guadeloupe : les enquêtes Reso (RESidus Organochlorés), 2005-2007.

18. Bodiguel X., Bertrand J.A., Fremery J. Devenir de la chlordécone dans les eaux tropiques des espèces marines consommées aux Antilles (Chloretro). Rapport final, Juin 2011, 46p.
19. Boiffin J., Bourgouin C. *et al.* Séminaire Ecophyto DOM. 2013, 45p.
20. Bonan H., Prime J.L. Rapport sur la présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe. Juillet 2001, 80p.
21. Bonvallet N., Dor F. Insecticides organochlorés aux Antilles : identification des dangers et valeurs toxicologiques de référence (VTR) - Etat des connaissances. Département santé environnement de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), Juin 2004, 52p.
22. Borsetti A.P., Roach J.A.G. Identification of kepone alternation products in soil and mullet. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1978, 20, p241-247.
23. Bouchon C., Lemoine S. Niveau de contamination par les pesticides des chaînes trophiques des milieux marins côtiers de la Guadeloupe et recherche de biomarqueurs de génotoxicité. UAG - DIREN, 2003, 71 p.
24. Bruggeman W.A. Hydrophobic interactions in the aquatic environment. *Handbook of the environmental chemistry*, 2, 1982, 205p.
25. C.E. (2008). Règlement (CE) no 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) no 1907/2006.
26. Cabidoche Y.-M., Achard R., Cattan P., *et al.* Longterm pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies : A simple leaching model accounts for current residues. *Environmental Pollution*, 157, 2009, p1697-1705.
27. Cabidoche Y.M., Clermont-Dauphin C., Cattan P., *et al.* 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, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).CIRAD, 2004, 52 p.
28. Cabidoche Y.M., Lesueur-Jannoyer M. Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles : comment la gérer ? *Innovations Agronomiques* 16, 2011, p117-133.
29. Cabidoche Y.M., Lesueur-Jannoyer M., Vannière H. Conclusion du groupe d'étude et de prospective. Pollution par les organochlorés aux Antilles, Aspect agronomique, Contribution CIRAD INRA, 2006, 66p.
30. Cahiers du PRAM. Remédiation à la pollution par la chlordécone aux Antilles. Les Cahiers du PRAM vol 9-10, avril 2011, 97p.
31. Carver R.A., Griffith F.D Jr. Determination of kepone dechlorination products in finfish, oysters, and crustaceans. *J Agric Food Chem.* 1979, 27, 5, p1035-1037.
32. Cattan P., Bussiere F., and Nouvellon A. Evidence of large rainfall partitioning patterns by banana and impact on surface runoff generation. *Hydrological Processes*, 21, 16, 2007, p2196-2205.
33. Champion J. Le bananier. *Maisonneuve et Larose*, 1963, 263p.
34. Charlier J.B. Fonctionnement et modélisation hydrologique d'un petit bassin versant cultivé en milieu volcanique tropical. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier 2, 2007, 246p.
35. Cire-Antilles-Guyane., DSDS. Les habitudes alimentaires de la population résidant dans les communes du sud de la Basse-Terre en Guadeloupe (Etude Calbas), 2005.
36. Clostre F., Lesueur-Jannoyer M. Transfert de la chlordécone du sol vers les produits cultivés. Document de synthèse, Cirad, 2012, 19 p.
37. Clostre F., Lesueur-Jannoyer M., Cabidoche Y.M. Conclusions de l'Atelier « Remédiation à la pollution par la chlordécone aux Antilles », Cirad, 2010, 36p.
38. Clostre F., Lesueur-Jannoyer M., Turpin B. Impact des modes de préparation des aliments sur l'exposition des consommateurs à la chlordécone. Rapport final projet JAFA, Cirad, mars 2011, 147p.

39. Clostre F., Letourmy P., Lesueur-Jannoyer M. Organochlorine (chlordecone) uptake by root vegetable. *Chemosphere* 118, 2014, p96-102.
40. Cocco P. On the rumors about the silent spring. Review of the scientific evidence linking occupational and environmental pesticide exposure to endocrine disruption health effects, *Cad Saude Publica* 2002, 18, 2, p.379-402.
41. Colombano S., Blanc C., Guérin V., Chevrier B., en collaboration avec Allier D., Dumon A., d'Hugues P et Dictor M.C. Examen des possibilités de traitement de la chlordécone dans les sols notamment sur les aires d'alimentation des captages d'eau potable, Rapport final, Rapport Brgm RP-57708-FR, 2009, 207p.
42. Cordier S., Kadhel P., Rouget F., Multigner L. Facteurs de risque de prématurité en Guadeloupe : résultats de la cohorte Timoun. *Bull Epidémiol Hebd.* 2014, 34-35, p567-572. Disponible sur : http://www.invs.sante.fr/beh/2014/34-35/2014_34-35_2.html (Page consultée le 28 Janvier 2015).
43. DAAF. Mode de contamination des animaux d'élevage. Extrait du livret de préconisation de la Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt. Décembre 2012.
44. Dieye M., Quénel P., Gorla S., *et al.* Etude géographique de la répartition spatio-temporelle des cancers en Martinique en lien avec la contamination des sols par les pesticides. InVS, Association Martiniquaise pour la recherche épidémiologique en cancérologie (AMREC), 2009, 30p.
45. Dupuis, G. "Cours de chimie organique, 2005. Disponible sur : <http://www.faidherbe.org/site/cours/dupuis/carbon.htm> (Page consultée le 18/03/2014).
46. Epstein SS. Kepone-hazard evaluation. *Science of The Total Environment*, 1978, 9, 1, p.1-62.
47. FAO/OMS. Rapport de la consultation mixte FAO/O.MS sur la méthodologie d'évaluation de l'exposition aux contaminants et aux toxines alimentaires, juin 2000.
48. Girard D. Etude sur les connaissances, les perceptions et les comportements des populations de Martinique et de Guadeloupe vis-à-vis de la chlordécone. Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (INPES), 2009, 59p.
49. GREPP. Surveillance de la contamination par la chlordécone des produits végétaux au stade de la production primaire. Janvier 2012.
50. Guzelian P.S., Vranian G., Boylan J.J., *et al.* Liver structure and function in patients poisoned with chlordecone (Kepone). *Gastroenterology*, 1980, p.206-213.
51. Häggblom M., Bossert I.D. Dehalogenation : Microbial Processes and Environmental Applications. Kluwer Academic Publishers, January 2003.
52. Héraud F., Seurin S. Evaluation de l'exposition alimentaire au chlordécone des enfants guadeloupéens de 18 mois. Rapport d'étude Anses réalisé en partenariat avec l'Unité 625 de l'Inserm. Juin 2011.
53. HSDB, Kepone. Disponible sur : <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/kepone.pdf> (Page consultée le 17/03/2014).
54. IARC. Chlordecone. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to humans, 1979a, p.67-81.
55. INERIS. Heptachlore-n°CAS : 76-44-8. Mars 2010.
56. IPCS. Environmental Health Criteria n°43 for chlordecone. World Health Organization, International Programme on Chemical Safety, 1984. Disponible sur : <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc43.htm>. (Page consultée le 15/03/2014).
57. Jondreville C., *et al.* Relative bioavailability of indicator polychlorobiphenyls present in soil to farm animals: laying hens and lactating goats. 30th International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs, August 2011.
58. Jondreville C., Travel A., Besnard J., Feidt C. Ingestion de sol et de végétaux par des poules élevées en plein air nourries avec un aliment complet ou à base de blé et de coquilles marines. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, mars 2011, p.91-95.
59. Kadhel P. Pesticides aux Antilles. Impact sur la fonction de reproduction. Thèse de doctorat d'Université en Sciences de la vie. Université des Antilles et de la Guyane, 2008.

60. Kermarrec A., et al. Niveau actuel de la contamination des chaînes biologiques en Guadeloupe: pesticides et métaux lourds. INRA, 1980, 72p.
61. Klaassen, C.D. Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons, 6th ed. McGraw-Hill, 2001, 772p.
62. Larson P.S., Egle J.L., Hennigar G.R., et al. Acute and subchronic toxicity of mirex in the rat, dog and rabbit. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1979a, p.271-277.
63. Lesueur Jannoyer M., Woignier T., Achard R., Calba H. Pesticide transfer from soils to plants in tropical soils : influence of clay microstructure. In *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*, November 2009.
64. Lesueur-Jannoyer M., Carles C., Michel S. Évaluation de la contamination par la chlordécone et de son transfert dans les cultures sur différents sols des Antilles, Rapport final Ministère de l'Outre-Mer, octobre 2009, Cirad, 53p.
65. Lesueur-Jannoyer M., *et al.* Chlordécone aux Antilles : évolution des système de culture et leur incidence sur la dispersion de la pollution. *Agronomie, environnement et sociétés*, 2, 1, Juin 2012, p45-58.
66. Levillain J., Cattan P., Colin F., Voltz M., Cabidoche Y.M. 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 and Environment*, 159, 2012, p123-132.
67. Macarie H., Dolfing J. La chlordécone est-elle véritablement réfractaire à une dégradation microbienne? *Cahiers du PRAM*, 9/10 : p25-30.
68. Mahaffey W.R., Pritchard P.H., Bourquin A.W. Effects of Kepone on growth and respiration of several estuarine bacteria. *Appl. environ. Microbiol.*, 1982, 43, 1419-1424.
69. Maphosa F., *et al.* Microbial community and metabolite dynamics of an anoxic dechlorinating bioreactor. *Environ. Sci. Technol.*, 2010a, 44, p4884-4890.
70. Marchand M., Abarnou A., Marcaillou-Lebaut C. Les Polychlorobiphényles (PCB) en milieu marin. *Biogéochimie et écotoxicologie, Rapports scientifiques et techniques de l'Ifremer*, 1990, 162p.
71. Meiffren O., Oudin B., *et al.* Evaluation du plan Banane durable 1. Rapport final : synthèse de l'étude. Ministère de l'Agriculture et des Outre-Mer, Blezat consulting, 0C2, Juillet 2014, 17p.
72. Merle B., Deschamps V., Merle S., Malon A., Bateau A., Pierre-Louis K., et al. Enquête sur la santé et les comportements alimentaires en Martinique, Escal, 2003-2004, 37p.
73. Mohn W.W., Tiedje J.M. Microbial Reductive Dehalogenation. *Microbiol. Rev.*, 1992, 56, p482-507.
74. Monti D. Etude du niveau de contamination des organismes aquatiques d'eau douce par les pesticides, en Guadeloupe. Rapport DIREN, 2005, 44 p.
75. Multigner L. and Kadhel P. Exposition à des polluants environnementaux chez la femme enceinte et son enfant en Guadeloupe. Niveau de chlordécone dans le sang maternel et étude des déterminants de l'imprégnation. INSERM U625 & Service de Gynécologie-Obstétrique CHU Pointe à Pitre, Rapport Final, 2004, 35 p.
76. Multigner L. Effets retardés des pesticides sur la santé humaine. *Environnement, Risques & Santé*. 4,3, 2005, 8p.
77. Multigner L., Kadhel P., *et al.* Exposure to Chlordecone and Male Fertility in Guadeloupe (French West Indies) *Epidemiology*, 2006, S372.
78. Multigner L., Ndond J.R., Romana M., Blanchet P. Exposition au chlordécone et risque de survenue d'un cancer de la prostate. Etude Karuprostate. *Bulletin Epidemiologique Hebdomadaire*. 2011 ; 3-4-5 : p40-44.
79. Multigner L., Ndong J.R., Romana M., Blanchet P., et al. Chlordecone Exposure and Risk of Prostate Cancer. *JCO*. 2010.
80. Office de l'eau de Martinique. DEAL Martinique. ONEMA. Détermination de la contamination des milieux aquatiques par le chlordécone. Rapport Juillet 2012, 48p.

81. Ondorff S.A., Colwell R.R. Microbial transformation of kepone. *Appl. Environ. Microbiol.*, 39, 1980, p398-406.
82. ORS., Cire-Antilles-Guyane. Etude sur la santé et les comportements alimentaires en Martiniques (Etude escal), 2003-2004.
83. Plan d'action chlordécone 2008-2010. Bilan par actions. Disponible sur : <http://www.chlordecone-infos.fr>. (Page consulté le 23/01/2015).
84. Portier R.J., Meyers S.P. Monitoring biotransformation and biodegradation of xenobiotics in simulated aquatic microenvironmental systems. *Develop. Ind. Microbiol.*, 23, 1982, p459-475.
85. Procaccia C., Le Dehaut J.Y. Les impacts de l'utilisation de la chlordécone et des pesticides aux Antilles : bilan et perspectives d'évolution. Rapport de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Juin 2009, 223p.
86. Quénel P., Ledrans M. Pesticides organochlorés et cancers : apports des études épidémiologiques à l'évaluation des risques sanitaires liés à la chlordécone aux Antilles. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*, 2011, 3-4-5, p.44-46.
87. Snegaroff J. Les résidus d'insecticides organochlorés dans les sols et les rivières de la région bananière de Guadeloupe. *Phytiatrie phytopharmacie*, 26, 1977, p.251-268.
88. Taylor J.R., Selhorst J.B., Houff S.A., *et al.* Chlordecone intoxication in man: I. Clinical observations. *Neurology*, 1978, p.626-630.
89. Taylor J.R. Neurological manifestations in humans exposed to chlordecone and follow-up results. *Neurotoxicology*. 1982 ; 3, 2, p.9-16.
90. Tillieut O., Cabidoche Y.M. Cartographie de la pollution des sols de Guadeloupe par la chlordécone : Rapport technique. DAAF-SA & INRA-ASTRO, 2006, 23p.
91. Torny D. Impact sanitaire de l'utilisation du chlordécone aux Antilles française. Recommandations pour les recherches et les actions de santé publique, Santé environnement, Octobre 2009, 99p.
92. Torny D. L'administration des risques sanitaires face à l'éloignement de l'expertise : le cas français au tournant des années 2000. *Sociologie et sociétés*, 2007, 91, 1, p.181-196.
93. Torny, D. D'une pollution des eaux à une contamination alimentaire : la gestion sanitaire du chlordécone aux Antilles. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire* (3-4-5), 2011 p22-24.
94. UNEP. Proposal for listing chlordecone in Annex A of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (UNEP/POPS/POPRC.1/INF/6). United Nations Environment Programme, 2005. Disponible sur : http://www.pops.int/documents/meetings/poprc/meeting_docs/en/POPRC1-INF6-w-anx.pdf. (Page consultée le (16/03/2014).
95. United States Environmental Agency (US EPA). Toxicological review of chlordecone (kepone). Cas no 143-50-0). Janvier 2008, 133p.
96. Vilardebo A., Problèmes scientifiques posés par *Radopholus similis* et *Cosmopolites sordidus* en cultures bananières des zones francophones de production. 1984, 39, 4, p.227-233.
97. Vilardebo et al. Chlordécone et autres insecticides dans la lutte contre le charançon du bananier et *Cosmopolites sordidus*. 1974, 29, 4, p.267-278.
98. Woignier T., Fernandes P., Lesueur-Jannoyer M., Soler A. Influence of clay microstructure and organic matter on chlordecone sequestration in volcanic soils. (ISMOM) International Symposium of Interactions of Soil Minerals with Organic Components and Microorganisms, juin 2011.

Nom – Prénom : COTTRELL Cindy

Titre de la thèse : La problématique du chlordécone aux Antilles, de la contamination à la prise de conscience.

Résumé de la thèse :

Le chlordécone, insecticide organochloré fortement persistant, utilisé dans les années soixante-dix pour lutter contre le charançon du bananier, a conduit à la contamination durable d'une partie des sols de Martinique et de Guadeloupe. Malgré l'arrêt de son utilisation en 1993, l'exposition de la population continue via l'alimentation. En effet, la contamination des denrées alimentaires (eau potable, fruits et légumes, productions animales) est avérée.

Outre le fait de persister dans l'environnement, le chlordécone est un perturbateur endocrinien classé comme potentiellement cancérigène chez l'homme. Du fait de l'incidence élevée du cancer de la prostate dans ces deux îles, le lien avec l'exposition au chlordécone a soulevé de nombreuses interrogations. Cette problématique de santé publique mobilise de nombreux acteurs afin de diminuer le niveau d'exposition des consommateurs.

MOTS-CLÉS :

- CHLORDECONE
- PESTICIDES
- CONTAMINATION ENVIRONNEMENTALE
- ANTILLES
- PLAN D'ACTION SANITAIRE

JURY :

**PRESIDENT : M. Alain PINEAU, Professeur de toxicologie
Faculté de pharmacie de Nantes**

**JURY : M. Christophe OLIVIER, Maître de Conférences en toxicologie
Faculté de pharmacie de Nantes
M. Bruno CAROFF, Directeur général d'Inovalys**

Adresse de l'auteur :

Mlle Cindy COTTRELL
16 Lotissement Nouveau Dubreuil
97113 Gourbeyre (Guadeloupe)