



Lesueur Jannoyer  
Magalie (1),

Cabidoche  
Yves-Marie (2),

Vannière Henri (3),

(1) CIRAD,  
Pôle de recherche  
Agroenvironnementale  
de la Martinique,  
Petit Morne,  
972385 LE LAMENTIN,  
jannoyer@cirad.fr

(2) INRA,  
Unité APC, Domaine  
de Duclos,  
97170 PETIT BOURG,  
cabidoch@antilles.inra.fr

(3) CIRAD,  
Unité Hortsys, PS4,  
Bd de la Lironde  
34395 Montpellier  
cedex 5

Figure 1 : structure de la  
molécule de chlordécone

Figure 2 : synthèse des  
transferts de chlordécone  
possibles.  
(M. Lesueur Jannoyer)

# Synthèse des conclusions du Groupe d'Etude et de Prospective "Pollution par les organochlorés aux Antilles" - Aspects agronomiques

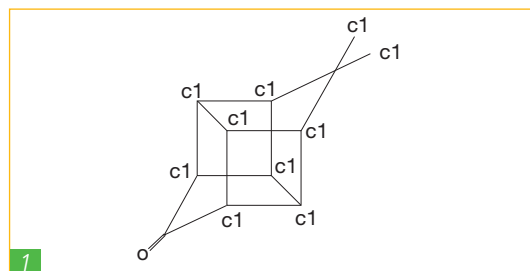
**C**ette synthèse présente l'ensemble du travail réalisé de juin 2005 à décembre 2006 dans le cadre du groupe d'Etude et de Prospective, sur le volet agronomique de la pollution. Ce groupe a été constitué à la demande de 5 ministères (ministère de la Santé, de l'Agriculture et de la Forêt, de l'Environnement et du Développement Durable, de l'Outre Mer et de l'Economie), il regroupe des experts de l'AFSSA, du CIRAD et de l'INRA. L'objectif de ce travail était de faire un premier point sur les acquis scientifiques et de proposer des programmes de recherche afin d'élaborer et de renforcer des mesures de gestion pertinentes de la pollution. La synthèse des premiers résultats agronomiques sur ce sujet a été possible grâce à la tenue d'un atelier en octobre 2005, rassemblant l'ensemble des acteurs scientifiques et techniques des Antilles. Le rapport final est disponible depuis juin 2006 [1]. Certaines informations ont été réactualisées depuis (cas de la détermination des LMR).

## LA SITUATION ET L'ÉTAT DES LIEUX : ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION PAR LES ORGANOCHLORÉS AUX ANTILLES

Notre étude a été plus spécialement focalisée sur la molécule chlordécone, à cause de ses propriétés physico-chimiques particulières d'une part, et des importantes quantités cumulées épandues d'autre part. Les autres molécules organochlorées autrefois utilisées aux Antilles comme pesticides agricoles (la dieldrine, le HCH et le mirex) ont été sporadiquement détectées dans les sols, à des moindres teneurs.

### La molécule chlordécone

La chlordécone, autorisée pour lutter contre les attaques de charançons du bananier des années

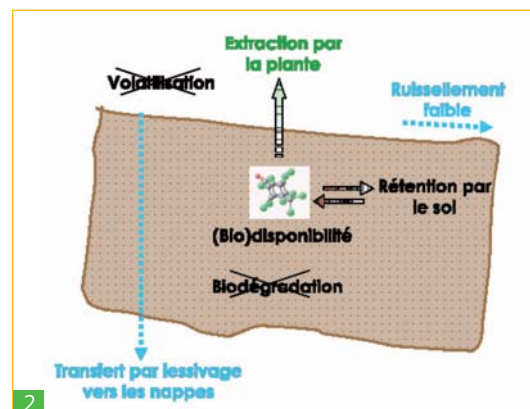


1972 à 1993, est une molécule à la fois très stable, très peu volatile, très peu soluble dans l'eau, et d'une très grande affinité avec la matière organique des sols. Ses caractéristiques toxicologiques sont décrites dans l'avis de l'AFSSA (10 décembre 2003) [2] et dans le rapport InVS (juin 2004) [3] définissant les valeurs toxicologiques de référence chronique et aiguë.

### La contamination des sols

La présence de chlordécone dans le sol est principalement liée aux pratiques agronomiques dans les bananeraies entre 1972 et 1993.

On n'observe **pas de dégradation apparente**. Le lessivage est très faible. La contamination est durable (figure 2).



Les expérimentations au champ que nous avons menées ont toujours montré une **très forte hétérogénéité** de la teneur en chlordécone du sol au sein d'une même parcelle, du fait du mode d'application du pesticide très localisée, au pied de chaque bananier.

Pour obtenir une bonne représentation de la contamination d'une parcelle, un nombre suffisant de points de prélèvements est nécessaire. Ce nombre a été fixé à 20 au moins en respectant une méthodologie d'échantillonnage spécifique déterminée lors de l'atelier d'octobre 2005 [4].

Le risque de contamination des sols a été cartographié en Guadeloupe (DAF-SPV, INRA, 2006) et en Martinique (BRGM, CIRAD, 2004) [5], à partir de l'historique des systèmes de culture des parcelles agricoles.

Pour les deux départements, le croisement des cartes de risque et des données d'analyses de sol obtenues dans l'application des arrêtés préfectoraux permet d'estimer des majorants des surfaces moyennement et fortement contaminées par la chlordécone (> 0.25 mg/kg sol sec) à 5 200 ha (15% de la Surface Agricole Utile - SAU de 34 500 ha pour la Guadeloupe «continentale», 11% de la SAU de l'archipel guadeloupéen) et à 6200 ha (19% de la SAU de 32 000 ha) pour la Martinique.

Il existe une forte disparité entre les communes : dans les croissants bananiers du sud-est de la Guadeloupe et du nord-est de la Martinique, plus de 50% des surfaces agricoles sont moyennement à fortement contaminées.

Une cartographie exacte de la pollution, encadrée par les zonages évoqués ci-dessus, nécessite la poursuite de l'inventaire de contamination par l'analyse de sol.

#### **La contamination des productions végétales**

Les niveaux de contaminations des racines et tubercules («légumes racines»), qui sont les productions végétales les plus sensibles au transfert de la molécule, sont détaillés dans l'article de Achard et al. dans ce même numéro.

De récents essais ont permis de déterminer que la pulpe est beaucoup moins contaminée que la partie épluchée pour les racines et tubercules (dans le cas de l'igname, les pulpes sont dix fois moins contaminées que les épluchures).

Les organes aériens sont également contaminés (tiges, fruits), le recul actuel n'est pas suffisant pour déterminer des valeurs maximales de contamination. Pour les organes aériens, la contamination est, en général, inférieure à la contamination souterraine, et souvent proche du seuil limite de quantification de la molécule.

La voie de contact est la voie privilégiée de la contamination par la chlordécone des organes souterrains, mais elle n'est pas l'unique voie de contamination des végétaux. Le transfert peut s'exercer via les systèmes racinaires, et contaminer des organes aériens, apparemment d'autant plus fortement que ceux-ci seront en connexion rapide avec le sol contaminé et longs à se former.

#### **Jardins familiaux, élevage traditionnel, agriculture informelle**

Très peu de données sont disponibles pour les productions animales, qui devront être considérées surtout dans les conditions des productions

informelles (valorisation de jachères, transfert d'herbe pendant les périodes sèches).

Les productions informelles contribuent à une autoconsommation partielle, mais comportent une part d'échanges de proximité et de commercialisation sans aucune traçabilité. La contamination des produits de l'agriculture informelle est à ce jour très peu connue. Une enquête est en cours par les services de santé pour mieux cerner ces pratiques et leur impact (programme Jafa piloté par la DSDS).

#### **Produits de l'environnement**

La pollution chronique des **eaux de surface** et des nappes sous andosols est avérée. Les eaux d'irrigation, si les captages en rivière sont à l'aval d'anciennes bananeraies, devront être surveillées. La qualité des ressources en eau fait l'objet de suivis réguliers par les services des DIREN, cependant, peu d'informations sont disponibles sur les matières solides en suspension. Suite au constat de la contamination des **eaux potables**, des mesures ont été prises pour garantir la conformité de l'eau distribuée (pose de filtres, procédure de dilution, fermeture de certains captages). Sous réserve du bon suivi technique des installations, la qualité de l'eau de consommation est assurée.

La contamination des eaux et des sédiments peut être rapprochée de la contamination avérée des produits de la pêche. Des concentrations en chlordécone très élevées sont observées sur les poissons et les crustacés (voir article D Monti et al, dans ce n°). Elles ont conduit à la publication d'arrêtés préfectoraux interdisant la pêche sur les cours d'eau pollués.

#### **Connaissances à approfondir**

Lors de cette synthèse, nous nous sommes heurtés à des lacunes dans différents domaines qui restent à combler afin de répondre à des interrogations précises en particulier :

- Chimie de la molécule : équilibre et rôle de différentes formes de la molécule (forme hydratée en particulier), interaction (affinité et complexation) avec d'autres molécules.
- Comportement de la molécule dans les différents sols : influence de l'état hydrique des sols, capacité de fixation ou de relargage, interaction avec les matières organiques du sol, notamment les composés hydrosolubles.
- Processus de transfert de la molécule de chlordécone entre le sol et les cultures ainsi que dynamique au sein de la plante : facteurs du milieu rendant la molécule biodisponible, mécanismes d'absorption par la racine et de



Figure 3 : arbre de décision pour la gestion du risque sanitaire par l'analyse du sol, exemple des racine et tubercules, pour une LMp (Limite Maximale provisoire) fixée à 50 µg/kg sol sec.

transfert de la molécule dans la plante (organes de stockage ?), spécificité des plantes «sensibles».

- Dégradation microbiologique : mécanismes et microorganismes impliqués.
- Contamination des produits animaux (exploration approfondie notamment en production informelle) : impact du régime alimentaire, facteurs favorisant la bioaccumulation, tissus sensibles.
- Contamination des produits transformés : impact des procédés.
- Impact du mode de consommation et de préparation des aliments

## LA GESTION DU RISQUE

### Utilisation des limites maximales de résidu (LMR)

Notre raisonnement sur la gestion du risque s'est appuyé sur les limites maximales provisoires déterminées par l'AFSSA (approche sanitaire) [6] puis par le LMR fixée par l'Union Européenne [7]. Notre démarche est de fournir aux producteurs un outil d'aide à la décision pour la mise en culture de leurs parcelles en fonction du niveau de contamination du sol et de la sensibilité de chaque culture à la contamination par la chlordécone. Cet outil vise à anticiper la contamination possible des produits issus de parcelles contaminées, et donc de gérer/mesurer le risque à la mise en culture et bien avant la récolte.

Suite aux différentes expérimentations, les analyses des données couplées entre le sol et la plante ont montré que les teneurs en chlordécone dans les « légumes racines » ne dépassent jamais 1/5e de celles du sol. On observe ainsi qu'une teneur supérieure à 50µg/kg MF (matière fraîche) dans un légume racine, ne peut être obtenue qu'avec une teneur du sol supérieure à 0.25 mg/kg sol. Nous proposons d'utiliser la teneur limite du sol (LMsol= 5 x LMp, limite maximale plante) comme outil de gestion du risque de contamination des organes souterrains récoltés. Pour les autres cultures, ces relations restent à déterminer.

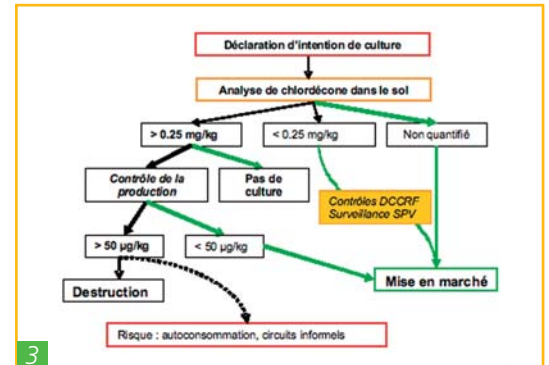
### Aspects réglementaires au niveau national et européen

Sur la base de l'avis de l'AFSSA sur l'exposition des populations antillaises, des arrêtés ministériels ont fixé des LM provisoires pour les denrées animales et végétales. Les instances européennes ont été saisies pour introduire des LMR dans le cadre réglementaire communautaire, les LMR sont aujourd'hui fixées à 20µg/kg MF pour les productions cultivées aux Antilles. Ces références réglementaires ne préjugent en rien du

niveau d'exigence commerciale que pourraient imposer certains acheteurs.

### Productions végétales

La traduction des LM plante en LMsol a permis, dans un premier temps, d'élaborer un outil



d'aide à la gestion du risque de contamination de productions comme les racines et tubercules. Le schéma de gestion par les analyses de sol (figure 3) résume les différentes situations de production et de gestion possibles pour les sols contaminés. Cet outil d'aide à la gestion par anticipation (teneur du sol) implique un dispositif local d'analyses performant et une validation en termes réglementaires.

### Conditions de mise en œuvre

- Les LM sol sont calées sur les LM plante qui restent la référence réglementaire.
- La mise au point d'un **système de détection analytique** performant implanté localement, associant rapidité et fiabilité est impératif. Le développement d'un tel outil permettrait de réduire les temps de réponse pour une prise de décision lors de la mise en marché par les producteurs. Cela impliquera la mise au point et la validation des méthodes de prélèvement et d'échantillonnage et de nouvelles techniques analytiques, comme la SPME (Micro Extraction en Phase Solide) par exemple, et leur transfert technologique localement.
- La mise en place d'un tel système de gestion implique une **communication précise et pédagogique** sur les risques et sur les outils de gestion du risque utilisés.

### Impact sur les productions animales

La contamination observée des produits d'élevage (bovins, poulets, lait et oeufs) est très faible. L'hypothèse d'une production hors zone contaminée et/ou d'une alimentation essentiellement importée peut être avancée. Le suivi doit se poursuivre, en particulier celui des productions

les plus sensibles comme la production laitière. Aucune donnée n'est disponible en ce qui concerne les productions informelles familiales (bovins, caprins, porcins, poulets, oeufs).

## LES PISTES DE VALORISATION

Beaucoup trop d'incertitudes subsistent pour se prononcer sur des recommandations de modification du système de culture ou du système de production.

A l'échelle des deux îles, le traitement physique des sols n'est pas possible en raison de leur épaisseur et des surfaces concernées. Des solutions mécaniques ont été envisagées : décapages localisés pour une culture en créneaux de racines ou tubercules. De tels systèmes ne sont applicables que pour les situations de sols mécanisables contaminés seulement en surface. Ces situations sont rares, car, dans la plupart des parcelles mécanisables, les sols ont été remaniés par des labours profonds.

La phyto-extraction et la dégradation biologique ne sont pas des solutions plausibles à court terme.

Les alternatives aux productions actuelles ne sont envisageables qu'après une évaluation exhaustive de la contamination, en particulier là où le risque est élevé. Pour cela, une campagne d'analyses complémentaires est nécessaire pour affiner les relations entre le sol et la plante. En l'absence de résultats et de connaissances précises sur le transfert de la molécule entre le sol et la plante, sur sa répartition dans la plante, nous avons ciblé nos propositions principalement sur des cultures non alimentaires dont l'intérêt semble grandissant dans le contexte actuel :

- **Bois d'œuvre** (bois précieux et étais de bâtiment).
- **Bioénergies** (biocarburant et biomasse énergie avec des systèmes à base de canne fibre et de bois).
- **Cultures ornementales.**

Ces filières de reconversion impliqueront un changement culturel pour les producteurs :

- proposer de nouveaux produits pour de nouveaux services (énergie),
- intégrer la dimension environnementale et adopter de nouveaux modes de production.

La pression de l'urbanisation pourrait conduire au déclassement des sols agricoles pollués. La gestion de la pollution et l'exposition des populations seraient transférées du secteur agricole

vers celui des jardins familiaux et de leurs productions informelles.

Les **préalables** à toute recommandation sont :

- une analyse de la demande et des marchés tant au niveau local, régional qu'international,
- un calcul de la rentabilité de telles filières (coût de la main d'œuvre, investissements, ...),
- une analyse de la capacité de reconversion des exploitations agricoles (technique, financière, sociale),
- une analyse de la rapidité des opportunités de structuration des filières (organisation, contractualisation, négociations, ...),
- une analyse de l'impact et du bilan environnemental global de chaque filière.

## PROGRAMMATION SCIENTIFIQUE

Ces propositions concernent l'ensemble de la communauté scientifique, qui devra se positionner selon ses compétences. Les travaux devront être conduits dans un cadre harmonisé, garant de leur cohérence. Des termes de référence préalables préciseront les objectifs, les moyens alloués et les délais d'exécution.

### *Proposition de nouvelles activités à conduire*

Certaines actions (en gras dans le texte) nous semblent prioritaires par rapport à d'autres, avec un certain caractère d'urgence pour les deux premières.

#### *a) Expertise*

- **Evaluation de la contamination pour les productions conduites sur sols contaminés** : campagne d'échantillonnages et d'analyses portant sur des couples sol/plantes, objectivation du risque, priorité aux plantes sensibles, très consommées, à fort impact social ou ayant un potentiel de reconversion.
- **Rôle, place et impact des productions informelles dans le risque d'exposition** : quantification des volumes et des espèces, des flux et des circuits d'échange, identification des populations les plus exposées.
- Pré faisabilité et faisabilité agronomique, technologique des filières biomasse-énergie : conditions et choix possibles pour la mise en place de telles filières.
- Veille scientifique sur la décontamination et/ou la séquestration de la molécule dans les sols : nouvelles techniques de décontamination, de biorémediation ou de blocage de la molécule.



### **b) Recherches ciblées**

- **Comportement et Dynamique** de la molécule dans le sol : vitesses de désorption et biodisponibilité dans différents types de sols, influence de l'état hydrique et des composés organiques hydrosolubles, intégration à l'échelle du bassin versant et modélisation des voies de contamination des ressources en eau (nappes, cours d'eau, ...), comparaison avec d'autres molécules pesticides.
- **Relations sol/plantes et dynamique de la molécule dans la plante** : déterminisme de la contamination (transfert et/ou contact), cinétique du transfert selon les espèces, diffusion et stockage de la molécule dans la plante (modèle cucurbitacées).
- Méthodologie analytique nouvelle, fiable et rapide : mise au point et validation de processus analytiques innovants (prélèvement, échantillonnage, technique d'analyse) prenant en compte la variabilité spatiale de la contamination et les spécificités de la molécule.
- Contamination des produits animaux : évaluation de la contamination pour les produits issus de productions informelles, facteurs et modes de concentration dans la chaîne alimentaire, outils de gestion du risque.
- Contamination des produits transformés :

impact des procédés et des modes de consommation des produits.

### **c) Recherches d'accompagnement**

- Impact du niveau de pollution des sols pour les filières de production aux Antilles : diagnostic de la contamination, évaluation, par filière de production, des surfaces, du type de producteurs, des volumes de produits, détermination des impacts agronomiques, économiques et environnementaux des niveaux de contamination des sols, proposition de mesures d'accompagnement (complémentaire de la première proposition d'expertise).
- Accompagnement des filières existantes pour la gestion des risques liés aux pesticides : élaboration d'outils d'aide à la gestion du risque, transfert auprès des utilisateurs, cohérence des actions, intégration des pratiques culturelles innovantes dans les systèmes de production.
- Appui au changement et à l'évolution de l'agriculture aux Antilles : intégration de la problématique pesticides dans les dynamiques agricoles locales, co-construction de critères et élaboration d'indicateurs de la durabilité des systèmes de production, proposition de scénarios de politique agricole (zones insulaires tropicales, RUP, ...).

Figure 1 : bassin versant de Féfé (Capesterre, Belle Eau, Guadeloupe, photo JB Charlier).

Figure 2 : bassin versant de Féfé (Capesterre, Belle Eau, Guadeloupe, photo JB Charlier).

Figure 3 : bilan des transferts hydriques du bassin versant de Féfé (Capesterre Belle Eau, Guadeloupe, JB Charlier).

